UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LA VOLADURA, PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL CHANCADO PRIMARIO EN UNA MINA SUBTERRÁNEA"

PRESENTADO POR:

Bach. Jheyson Smith Rivera Silva

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM

INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 071

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : ☒

Trabajo de Suficiencia Profesional : ☐

Otro: ..... : ☐

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD N°288-2025-CE-FAIM-UNAM.

Fecha: 15-12-2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LA VOLADURA, PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL CHANCADO PRIMARIO EN UNAMINA SUBTERRÁNEA"

Bachiller: JHEYSON SMITH RIVERA SILVA

Asesor Principal: Dr. MARCOS LUIS HUISPE PEREZ.

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADA por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial ☒ : Virtual ☐

Con nota: DIECISÉIS (16) por lo que; Sí ☒ No ☐

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:00 horas, del 15 de DICIEMBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente

ERNESTO LARICANO FLORES

(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro

Dr. VICTOR ADRIAN PONCE ESTRADA.

(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro

César augusto villa alegría

(Nombres y Apellidos)

Bachiller

Jheyson Smith Rivera Silva.

(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes han sido la razón de mi esfuerzo y constancia.

A mis padres, que me enseñaron que los sueños se alcanzan con sacrificio y humildad.

A mi familia, que con su apoyo silencioso me dio la fuerza en los días difíciles.

A quienes ya no están conmigo, pero siguen vivos en mis recuerdos y motivan cada uno de mis logros.

Y a mí mismo, por no rendirme y seguir adelante incluso cuando el camino se hizo cuesta arriba.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a Dios, por la vida, por la salud y por darme la fortaleza de concluir esta etapa.

A mi alma máter, la Universidad Nacional de Moquegua, por ser el espacio donde crecí no solo como profesional, sino también como persona.

A mis docentes y asesores, quienes con paciencia y dedicación compartieron sus conocimientos, encendiendo en mí el deseo de aprender y superarme.

A la Mina Magistral que abrió sus puertas y confió en mí para realizar esta investigación, permitiéndome transformar el conocimiento en experiencia.

Finalmente, a mi familia, que siempre creyó en mí: este logro no es solo mío, sino de todos ustedes.

RESUMEN

El presente estudio titulado “Optimización de los parámetros en la voladura, para incrementar la eficiencia en el chancado primario en una mina subterránea”, se desarrolla en la Unidad Minera Magistral, ubicada en el distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento de Áncash, a 4,750 m.s.n.m., en las cercanías del nevado Tuco. El problema identificado radica en que, durante el segundo trimestre del 2025, la mina presentó una fragmentación promedio de 12", con baja producción (175 tpd), alto consumo energético (10 kWh/t) y un elevado costo unitario de chancado (5.31 USD/t). Ante ello, se plantea como alternativa de solución la optimización de los parámetros de voladura como carga explosiva, espaciamiento y secuencia de detonación con el objetivo específico de analizar su efecto en la eficiencia del chancado primario. La variable independiente está conformada por los parámetros de voladura mencionados, mientras que la variable dependiente es la eficiencia del chancado primario, evaluada mediante la productividad (t/h), el consumo energético (kWh/t) y la calidad de fragmentación. La metodología empleada corresponde a una investigación de tipo aplicada, con apoyo de herramientas como el modelo de Holmberg, Split Desktop, JK Simblast. Como resultado, tras implementar los ajustes en el tercer trimestre, se logró una fragmentación promedio de 8", un incremento en la producción a 200 tpd, una reducción del consumo energético a 8.5 kWh/t y una disminución del costo de chancado a 4.48 USD/t, demostrando que la optimización de la voladura mejora significativamente la eficiencia operativa del chancado primario.

Palabras clave: Fragmentación de roca, Chancado primario, Eficiencia operativa, Optimización de parámetros.

ABSTRACT

This study, entitled “Optimization of blasting parameters to increase primary crushing efficiency in an underground mine,” was conducted at the Magistral Mining Unit, located in the district of Aquia, province of Bolognesi, department of Áncash, at 4,750 meters above sea level, near the Tuco snow-capped mountain. The problem identified is that, during the second quarter of 2024, the mine had an average fragmentation of 12", with low production (175 tpd), high energy consumption (10 kWh/t), and a high unit crushing cost (5.31 USD/t). In view of this, an alternative solution is proposed: optimizing the blasting parameters such as explosive charge, spacing, and detonation sequence with the specific objective of analyzing their effect on the efficiency of primary crushing. The independent variable is made up of the aforementioned blasting parameters, while the dependent variable is the efficiency of primary crushing, evaluated by productivity (t/h), energy consumption (kWh/t), and fragmentation quality. The methodology used corresponds to applied research, supported by tools such as the Holmberg model, Split Desktop, JK Simblast, Vulcan, and Surpac. As a result, after implementing the adjustments in the third quarter, an average fragmentation of 8" was achieved, an increase in production to 200 tpd, a reduction in energy consumption to 8.5 kWh/t, and a decrease in crushing cost to 4.48 USD/t, demonstrating that blast optimization significantly improves the operational efficiency of primary crushing.

Keywords: Blasting fragmentation, Crushing efficiency, Operational efficiency, Parameter optimization.

ÍNDICE

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE FIGURAS xi

INTRODUCCIÓN xiii

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN 15

1.1 Descripción y formulación del problema 15

1.1.1 Descripción del problema 15

1.1.2 Formulación del problema de investigación 16

1.2 Objetivos 17

1.2.1 Objetivo general 17

1.2.2 Objetivos específicos 17

1.3 Justificación e importancia 18

1.3.1 Propósito académico y utilidad social 18

1.3.2 Relevancia social 18

1.3.3 Técnica 19

1.3.4 Economica 19

1.3.5 Utilidad metodológica 20

1.4 Hipótesis 20

1.4.1 Hipótesis general 20

1.4.2 Hipótesis específicas 20

1.5 Variables 21

1.5.1 Variables independientes 21
1.5.2 Variable dependiente 21
1.5.3 Operacionalización de variable 22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 23
2.1 Antecedentes del problema 23
2.1.1 Antecedentes internacionales 23
2.1.2 Antecedentes nacionales 26
2.1.3 Antecedentes regionales 30
2.2 Generalidades de la mina 35
2.2.1 Ubicación 35
2.2.2 Topografía 36
2.2.3 Recursos naturales 36
2.2.4 Clima y vegetación 37
2.2.5 Entorno Geológico 38
2.2.6 Geología local 39
2.2.7 Geología estructural 40
2.2.8 Geología económica 42
2.2.9 Litología 44
2.3 Bases teóricas 46
2.3.1 Teoría de la Fragmentación de Roca por Explosivos 46
2.3.2 Teoría del Factor de Potencia 46
2.3.3 Modelo de Holmberg para Voladura Subterránea 47
2.3.4 Teoría del Chancado Eficiente 47
2.3.5 Teoría del Control de Voladura para Optimización Operativa 47
2.4 Definición de términos 48
2.4.1 Voladura 48
2.4.2 Fragmentación 48

2.4.3 Chancado primario 48
2.4.4 Parámetros de voladura 48
2.4.5 Burden 49
2.4.6 Factor de carga 49
2.4.7 Split Desktop 49
2.4.8 Modelo de Holmberg 49
2.4.9 Eficiencia energética 49
2.4.10 Malla de perforación 49
2.4.11 Explosivo industrial 50
2.4.12 Secuencia de disparo 50
2.4.13 Granulometría 50
2.4.14 Sobre excavación 50
2.4.15 Optimización de procesos 50
III. METODOLOGÍA 51
3.1 Tipo y nivel de investigación 51
3.1.1 Tipo de investigación 51
3.1.2 Nivel de investigación 51
3.1.3 Diseño de investigación 51
3.2 Población y muestra 52
3.2.1 Población 52
3.2.2 Muestra 52
3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 53
3.3.1 Técnicas para la recolección de datos 53
3.3.2 Instrumentos para la recolección de datos 54
3.4 Validación y confiabilidad de los instrumentos 54
3.5 Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 54
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES 55

4.1 Resultados del Diseño de carga en galería 2.10 m x 2.40 m antes de la mejora 55

4.1.1 Malla de perforación 55

4.1.2 Cantidad de emulsión que ingresa en un taladro en base a las dimensiones del cartucho 58

1.1.1 Carga promedio 58

4.1.3 Simulación JKSimblast antes de la mejora 59

4.2 Resultado Diseño de carga en galería 2.10 m x 2.40 m después de la mejora (Modelo de Holmberg) 63

4.2.1 Cantidad de emulsión que ingresa en un taladro en base a las dimensiones del cartucho 64

4.2.2 Carga promedio 64

4.2.3 Aplicación del JkSimpblas 65

4.2.4 Comparación antes y después de la mejora 69

4.3 Resultado del análisis con split desktop 70

4.4 Discusiones 73

4.4.1 Discusión general 97

4.5 Contrastación de Hipótesis 98

4.5.1 Hipótesis General 98

4.5.2 Hipótesis Específica 1 98

4.5.3 Hipótesis Específica 2 99

4.5.4 Hipótesis Específica 3 99

CONCLUSIONES 100

RECOMEDACIONES 102

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104

ANEXOS 111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variable 22

Tabla 2 Distancias aproximadas de la ruta a la mina Magistral. 36

Tabla 3 Reservas minerales 43

Tabla 4 Litología 44

Tabla 5 Resumen de Holmberg 57

Tabla 6 Emulsión 58

Tabla 7 Carga promedio 58

Tabla 8 Emulsión por taladro 64

Tabla 9 Carga por taladro 64

Tabla 10 Resultados antes y después de mejora 69

Tabla 11 Parámetros del segundo trimestre 74

Tabla 12 Parámetros del tercer trimestre 76

Tabla 13 Parámetros abril 2025 78

Tabla 14 Parámetros mayo 2025 79

Tabla 15 Parámetros junio 2025 80

Tabla 16 Parámetros julio 2025 81

Tabla 17 Parámetros agosto 2025 82

Tabla 18 Parámetros septiembre 2025 83

Tabla 19 Validación del modelo experimental 95

Tabla 20 Matriz de consistencia 111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la mina Magistral. 35

Figura 2 Malla antes de la mejora 55

Figura 3 Malla antes de la mejora 59

Figura 4 Primado de taladros antes de la mejora.....59

Figura 5 Carguío de taladros antes de la mejora 60

Figura 6 Taco antes de la mejora.....60

Figura 7 Amarre antes de la mejora.....61

Figura 8 Detonación antes de la mejora 61

Figura 9 Curvas de energía antes de la mejora.....62

Figura 10 Campo de energía antes de la mejora.....62

Figura 11 Malla despues de la mejora 63

Figura 12 Malla de perforación despues de la mejora.....65

Figura 13 Prima de taladros despues de la mejora 65

Figura 14 Carguío de taladros después de la mejora 66

Figura 15 Taco en taladros después de la mejora.....66

Figura 16 Amarre de taladros después de la mejora.....67

Figura 17 Detonación de taladros despues de la mejora 67

Figura 18 Curvas de energía después de la mejora 68

Figura 19 Campo de energía despues de la mejora 68

Figura 20 Carga post voladura.....71

Figura 21 Carga post voladura en la Galeria SORPRESA Nv 8 72

Figura 22 Análisis de los resultados de la voladura GL SORPRESA.....73

Figura 23 Producción por día 84

Figura 24 Consumo de energía.....85

Figura 25 Fragmentación.....86

Figura 26 Factor de carga 87
Figura 27 Costo de trituración 88
Figura 28 Producción por día por trimestre 90
Figura 29 Consumo de energía por trimestre 91
Figura 30 Fragmentación por trimestre 92
Figura 31 Factor de potencia de trimestre 93
Figura 32 Costo de trituración por día 94

INTRODUCCIÓN

La optimización de la fragmentación en la voladura es esencial en las operaciones mineras subterráneas, ya que influye directamente en la eficiencia del chancado primario. En este contexto, la fragmentación controlada de la roca permite que el material procesado tenga el tamaño adecuado para ser triturado de manera eficiente, lo que contribuye a mejorar la productividad general. Lograr una fragmentación uniforme y en el tamaño deseado desde el inicio ayuda a reducir los tiempos de procesamiento y a minimizar los costos operativos relacionados con el desgaste y mantenimiento de los equipos.

Este estudio se enfoca en la interacción entre los parámetros de voladura y su impacto en la fragmentación de la roca, incluyendo aspectos como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación. Ajustar estos parámetros permite alcanzar una fragmentación óptima, lo cual facilita el proceso de chancado y reduce el uso de recursos en la etapa de trituración. La investigación también considera los factores geomecánicos del macizo rocoso, ya que cada tipo de roca puede responder de manera distinta a las configuraciones de voladura.

La metodología empleada combina simulaciones de voladura y pruebas de campo, con el fin de evaluar y ajustar las configuraciones según las características del yacimiento. Estos procedimientos no solo ayudan a predecir el tamaño de los fragmentos, sino también a optimizar la eficiencia en cada fase del proceso, reduciendo la cantidad de partículas finas y grandes que afectan la capacidad y el rendimiento de la planta de chancado.

En conclusión, la optimización de la fragmentación mediante técnicas de voladura adecuadas representa una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento en las etapas posteriores de procesamiento. Los resultados de este estudio destacan cómo una adecuada configuración de los parámetros de voladura incrementa la eficiencia del chancado primario, reduce costos,

y promueve la sostenibilidad operativa. Esta investigación busca aportar soluciones prácticas para maximizar la capacidad productiva en las minas subterráneas, generando beneficios tanto en eficiencia como en rentabilidad.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

La minería subterránea constituye una de las actividades económicas más relevantes en el Perú, especialmente en regiones de alta cordillera donde se localizan importantes yacimientos metálicos. En este tipo de operación, la eficiencia en cada etapa del proceso extractivo es crucial para garantizar la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad. Uno de los factores determinantes para lograr estos objetivos es la calidad de la fragmentación del mineral producto de la voladura, ya que tiene un impacto directo en el chancado primario, etapa que representa el primer eslabón del procesamiento del mineral.

Cuando la fragmentación del material es deficiente, se generan bloques de gran tamaño que exceden la capacidad óptima del chancador primario, lo que provoca atascos, mayores tiempos de procesamiento, incremento en el consumo energético y desgaste acelerado de los equipos. Además, la irregularidad en el tamaño de los fragmentos interrumpe la continuidad del flujo de material hacia las siguientes etapas, disminuyendo la productividad general y aumentando los costos operativos, especialmente en mantenimiento y energía.

Esta situación se observa frecuentemente en operaciones donde los parámetros de voladura como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación no han sido debidamente optimizados. El desconocimiento o falta de control sobre estos factores

técnicos produce una fragmentación heterogénea, elevando los costos en la etapa de chancado y reduciendo el rendimiento general de la operación subterránea.

En la Unidad Minera Magistral, ubicada en el departamento de Áncash, se evidenció durante el segundo trimestre del 2025 una fragmentación promedio de 12 pulgadas, una producción diaria de 175 toneladas por día (tpd), un consumo energético de 10 kWh/t y un costo unitario de chancado de 5.31 USD/t. Ante estos resultados, se implementaron mejoras en los parámetros de voladura en el tercer trimestre, logrando una fragmentación promedio de 8 pulgadas, un aumento en la producción a 200 tpd, una reducción del consumo energético a 8.5 kWh/t y una disminución del costo de chancado a 4.48 USD/t. Asimismo, el factor de carga se incrementó de 2.955 a 3.384 kg/m³, evidenciando una mejora significativa en el diseño de la voladura.

Estos resultados destacan la necesidad de optimizar la fragmentación del mineral en la etapa de voladura como una medida eficaz para mejorar la eficiencia del chancado primario. A través del uso del modelo de Holmberg, adecuado para minería subterránea, y el software Split Desktop para el análisis de la fragmentación, se hace posible implementar un control técnico que permita tomar decisiones precisas y sostenibles en la gestión del proceso minero. Por lo tanto, se requiere desarrollar una investigación sistemática que valide la influencia positiva de estos ajustes sobre la eficiencia operativa en la mina subterránea.

1.1.2 Formulación del problema de investigación

1.1.2.1 Interrogante general

¿Cómo influiría la optimización de los parámetros en la voladura para incrementar la eficiencia en el chancado primario de una mina subterránea?

1.1.2.2 Interrogantes específicas

¿Cuál es el impacto de los parámetros de voladura (diseño de malla, carga explosiva y espaciamiento entre taladros) en el tamaño de los fragmentos resultantes y su efecto en el chancado primario?

¿Cómo afecta la variabilidad en la fragmentación de la roca volada a la productividad y consumo energético en el proceso de chancado?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Optimizar los parámetros en la voladura para incrementar la eficiencia en el chancado primario de una mina subterránea

1.2.2 Objetivos específicos

Analizar el efecto de los parámetros de voladura, como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, en el tamaño de fragmentación y su influencia en el rendimiento del chancado primario.

Evaluar el impacto de la calidad de la fragmentación, producto de la voladura influye directamente en la productividad y el consumo energético del chancado primario, una adecuada fragmentación facilita el procesamiento del mineral, reduce el desgaste de los equipos y mejora la eficiencia energética.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Propósito académico y utilidad social

La optimización de la fragmentación en la voladura es fundamental para mejorar la eficiencia del proceso de chancado primario en minas subterráneas, lo que repercute directamente en la reducción de costos operativos y el aumento de la productividad. Este estudio tiene un propósito académico al contribuir al conocimiento sobre la relación entre los parámetros de voladura y la eficiencia en el chancado, proporcionando bases científicas para el diseño de estrategias más eficientes en minería subterránea. Desde una perspectiva social, la optimización de procesos mineros tiene un impacto positivo en la sostenibilidad económica de las operaciones, promoviendo una utilización más eficiente de los recursos naturales, reduciendo el impacto ambiental asociado al consumo energético y mejorando las condiciones laborales al disminuir el desgaste de equipos y la necesidad de mantenimientos constantes.

1.3.2 Relevancia social

La optimización de la fragmentación en la voladura tiene una relevancia social significativa, ya que mejora la sostenibilidad de las operaciones mineras al reducir el consumo energético y los costos operativos, lo cual contribuye a una minería más eficiente y responsable. Este enfoque también ayuda a minimizar el impacto ambiental de las actividades mineras al disminuir las emisiones de gases contaminantes y el consumo de recursos. Además, al mejorar la productividad y reducir los tiempos de inactividad de los equipos, se generan condiciones laborales más seguras y estables, lo que beneficia tanto a los trabajadores como a las comunidades cercanas, al fomentar un desarrollo económico más equilibrado y sostenible.

1.3.3 Técnica

Desde el punto de vista técnico, la optimización de la fragmentación en la voladura mejora la eficiencia del proceso de chancado primario al generar fragmentos más homogéneos y adecuados para el tratamiento posterior. La adecuada selección de parámetros de voladura, como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, permite un control más preciso sobre el tamaño y la distribución de los fragmentos, lo que facilita el proceso de chancado y mejora el rendimiento de los equipos. Esto no solo optimiza el uso de la maquinaria, sino que también reduce el desgaste de los equipos, aumenta la vida útil de los mismos y permite un uso más eficiente de los recursos disponibles. Además, esta optimización contribuye a reducir el consumo energético en el chancado, un factor clave para la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones mineras.

1.3.4 Economica

La optimización de la fragmentación en la voladura tiene un impacto económico directo al mejorar la eficiencia del proceso de chancado primario, lo que reduce los costos operativos asociados al consumo energético y al mantenimiento de los equipos. Fragmentaciones más homogéneas permiten un procesamiento más rápido y eficiente del mineral, reduciendo el tiempo de operación y aumentando la capacidad de producción. Además, al optimizar el rendimiento de los equipos, se disminuyen los costos derivados del desgaste y la necesidad de reemplazo frecuente de piezas, lo que mejora la rentabilidad de las operaciones mineras. Esta eficiencia también puede traducirse en una mejor competitividad en el mercado, favoreciendo el crecimiento económico de la empresa y contribuyendo al desarrollo económico regional al generar empleo y actividades complementarias.

1.3.5 Utilidad metodológica

La utilidad metodológica de la optimización de la fragmentación en la voladura radica en la aplicación de una metodología sistemática y cuantificable para analizar los efectos de los parámetros de voladura en la eficiencia del chancado primario. Al establecer parámetros como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, se permite la implementación de modelos y herramientas analíticas que facilitan la toma de decisiones informadas sobre las técnicas de voladura. Esta metodología no solo mejora la precisión en la predicción de los resultados de la fragmentación, sino que también proporciona un marco para la evaluación continua de los procesos mineros, permitiendo ajustar y perfeccionar las estrategias de explotación minera de manera adaptativa. Esto genera una base de conocimiento aplicable a futuras investigaciones y optimizaciones, promoviendo la replicabilidad y escalabilidad de las soluciones implementadas.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Optimizando los parámetros de voladura se incrementará la eficiencia en el chancado primario de una mina subterránea.

1.4.2 Hipótesis específicas

Los parámetros de voladura, como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, afectan de manera significativa el tamaño de los fragmentos resultantes, lo cual influye directamente en la eficiencia del chancado primario.

Una fragmentación más uniforme mejora la eficiencia del chancado primario, lo que contribuye a la reducción de los costos operativos y optimiza el mantenimiento de los equipos involucrados en el proceso.

1.5 Variables

1.5.1 Variables independientes

Parámetros de la voladura.

1.5.2 Variable dependiente

Eficiencia en el chancado primario.

1.5.3 Operacionalización de variable

Tabla 1

Operacionalización de variable

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Herramientas
VI: Parámetros de Voladura	Son los factores que se controlan durante la voladura para influir en el tamaño y distribución de los fragmentos de roca. Estos incluyen la carga explosiva, el espaciamiento entre perforaciones y la secuencia de detonación.	- Carga explosiva - Espaciamiento entre perforaciones - Secuencia de detonación	- Tamaño de la carga explosiva (kg) - Distancia entre perforaciones (m) - Orden de la secuencia de detonación	- Software de modelado de voladuras (ej. Jk Simblas) - Registros de perforación y voladura
VD: Eficiencia en el Chancado Primario	Es el grado de efectividad del proceso de chancado primario en la minería, que se relaciona con la capacidad de los equipos para procesar el mineral, el tamaño de los fragmentos y el consumo energético.	- Productividad - Consumo energético - Calidad de la fragmentación	- Toneladas procesadas por hora (t/h) - Consumo energético por tonelada (kWh/t) - Distribución granulométrica de los fragmentos	- Análisis de producción y consumo energético - Análisis de granulometría - Equipos de medición energética

Nota: Elaboración propia

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

Fernandez (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.

Cortez (2019), 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.

Zuñiga (2023), en su tesis "Diseño de Tronaduras y su Impacto en el Costo Mina de Compañía Minera Cerro Negro" fue realizada por 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

Gonzales & Rivera (2018), en su tesis titulada Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en Mina Esmeralda, El Teniente Codelco Chile, desarrollada en la ciudad de Santiago en la Universidad de Las Américas, se propuso sustituir el explosivo ANFO por SUBTEK CHARGE para disminuir la sobre excavación en desarrollos horizontales. La metodología consistió en comparar ambos explosivos mediante simulaciones con el modelo MBM-ORICA y análisis de datos de campo. El diseño fue aplicado con enfoque cuantitativo, y la muestra incluyó seis frentes de trabajo en la mina Esmeralda. Los resultados demostraron que el uso de SUBTEK redujo la sobre excavación promedio del 30% al 12%, disminuyendo costos asociados al sostenimiento y

mejorando la eficiencia del ciclo de minado. Se concluyó que la elección adecuada del explosivo influye significativamente en la productividad y seguridad de las operaciones subterráneas.

Music (2005), en su tesis Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal – Mina El Teniente, presentada en la Universidad de Chile en Santiago, tuvo como objetivo evaluar y mejorar las prácticas de perforación y voladura en desarrollos horizontales. La metodología incluyó el análisis de fotografías de disparos antes y después de la tronadura, así como el monitoreo de vibraciones. El diseño fue de tipo aplicado con enfoque descriptivo, y la muestra abarcó varios frentes de desarrollo en la mina El Teniente. Los hallazgos indicaron que la optimización de los disparos permitió reducir el número de perforaciones por disparo en un 10%, disminuir la sobre excavación del 24% al 6% y mejorar la seguridad al reducir la exposición al riesgo por desprendimientos. Se concluyó que ajustes en los parámetros de voladura pueden generar mejoras significativas en la eficiencia operativa y la seguridad en minería subterránea.

Gyamfi & Afum (2021), en su estudio titulado Rock Fragmentation Evaluation Towards Blast-To-Mill Concept of Blast Optimization in Hard Rock Mines, realizado en la Journal of Mineral and Material Science, evaluaron el impacto de la fragmentación generada en la voladura sobre la eficiencia operativa del circuito de conminución en minería de roca dura. La investigación analizó la granulometría obtenida en la zona de voladura y posteriormente en el área ROM Pad, identificando una correlación significativa entre ambas etapas y evidenciando que aproximadamente un 30 % del material excedía el tamaño de apertura del chancador primario, lo que generaba interrupciones en la alimentación continua y reducciones de hasta un 25 % en la productividad. El estudio concluyó que el enfoque integrado “blast-to-mill” permite optimizar el proceso desde la

voladura hasta el chancado, mejorando la uniformidad de fragmentos, reduciendo la presencia de sobre-tamaño y favoreciendo la continuidad del proceso de conminución.

Gómez & Castedo (2018), en el artículo “Un nuevo enfoque predictivo para la estimación de la fragmentación en procesos de voladura de rocas”, publicado en Ingeniería e Investigación, desarrollaron un modelo matemático para predecir la fragmentación posterior a la voladura. Los resultados demostraron mayor precisión en la estimación del tamaño medio y reducción del error en finos y sobre-tamaño respecto a modelos tradicionales, logrando una fragmentación más uniforme y continua hacia el chancado. El estudio concluye que predecir y optimizar el diseño de voladura mejora el desempeño en etapas posteriores del proceso de conminución.

Zhang, Z.-X.; Sanchidrián, J. A.; Ouchterlony, F.; Luukkanen, S. (2023), en su artículo “Reduction of Frag-ment Size from Mining to Mineral Processing: A Review”, publicado en Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 56, Núm. 1, páginas 747-778. Este estudio revisa de forma exhaustiva cómo la fragmentación de roca generada por voladuras afecta toda la cadena de reducción de tamaño desde la extracción minera hasta el procesamiento mineral (chancado y molienda). El artículo analiza los principales factores que influyen en la fragmentación (tipo de explosivo, diseño de voladura, características del macizo, distribución energética, etc.), revisa los modelos predictivos de fragmentación, y evalúa la viabilidad de lograr una fragmentación óptima que minimice costos, mejore la recuperación mineral, aumente productividad y reduzca impactos negativos en seguridad y ambiente.

2.1.2 Antecedentes nacionales

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.

Pérez (2014), 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, Huancayo, 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.

Solis Quispe (2021), en su tesis titulada “Uso de los detonadores electrónicos Fametronic para evaluar la fragmentación de la roca en Compañía Minera Condestable

S.A.", Universidad Continental, Huancayo – Perú. Realizó una comparación entre voladuras con detonadores pirotécnicos y detonadores electrónicos en minería subterránea, evaluando la fragmentación post-voladura mediante análisis granulométrico. Los resultados mostraron que con detonadores electrónicos el tamaño P80 disminuyó de 10.26" a 6.80", logrando una fragmentación más fina y uniforme. El estudio concluyó que esta mejora contribuye a un flujo más continuo hacia el chancado primario, favoreciendo la eficiencia operativa y potencialmente reduciendo el consumo energético en el procesamiento del mineral.

Pérez Sangay (2025), en su tesis "Optimización del diseño de la perforación y voladura para mejorar la productividad en el Nivel 4 – Mina Guty, centro poblado San Miguel de Algamarca", presentada en la Universidad Nacional del Centro del Perú (2025). El estudio consistió en rediseñar la malla de perforación-voladura en labores subterráneas, usando un esquema de 34 taladros (1 taladro de alivio + 33 cargados) con carga de 16.13 kg por taladro; luego se comparó con el diseño anterior del yacimiento. Según los resultados del análisis de fragmentación, el material volado presentó tamaños de fragmentos entre 7 cm y 13 cm (≈ 2.7″ – 5.1″). La optimización permitió aumentar la eficiencia de avance desde 82 % hasta 93 %, y aumentar el volumen de roca desprendida por disparo, evidenciando mejoras en productividad y en la relación entre voladura y avance de frente.

García Loayza & Victorio (2024), en su tesis titulada "Optimización de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en Mina Papagayo", presentada en la Universidad Católica de Trujillo, Perú, desarrollaron un estudio orientado a mejorar la fragmentación de la roca mediante modificaciones en el diseño de perforación y voladura en labores subterráneas. La metodología consistió en incrementar la longitud de los

barrenos a 8 pies y evaluar la fragmentación resultante mediante fragmentómetro digital, obteniendo fragmentos con un tamaño promedio de 0.19 m (≈ 7.5"). Los resultados demostraron que los ajustes en la malla de perforación y la longitud de barrenos mejoraron el avance lineal y redujeron las interrupciones operativas, contribuyendo a una mayor continuidad en el ciclo de minado y eficiencia en el proceso productivo.

Mamani Challco (2019), en su tesis titulada "Optimización de la fragmentación y diseño de malla en UEA Valeria – Anabi S.A.C.", presentada en la Universidad Nacional del Altiplano (UNAP), Puno – Perú, desarrolló un rediseño del patrón de perforación y voladura basado en el análisis geomecánico del macizo rocoso y el diseño alternativo de malla evaluado mediante simulación con Split Desktop. Los resultados demostraron una mejora significativa en la fragmentación del material volado, reduciendo el tamaño P80 de 9.2″ a 5.24″, lo que representa una disminución sustancial del fragmento dominante y mayor uniformidad granulométrica. El estudio concluyó que la nueva malla incrementó la zona efectiva de trituración, mejoró el rendimiento de la voladura y favoreció la continuidad operativa en el ciclo de minado.

León Chávez (2022), en su tesis titulada "Optimización de la malla de perforación y voladura en Galería X de Glencore San Cristóbal", presentada en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Huaraz – Perú, desarrolló un proceso de optimización del diseño de malla mediante el cálculo del burden utilizando simulación en JKSimBlast, complementado con 10 pruebas de campo para validar el diseño propuesto. Los resultados mostraron una mejor fragmentación post-voladura, obteniéndose tamaños de fragmentos entre 3″ y 5″ (≈ 7.6–12.7 cm), lo que representó una distribución más controlada del tamaño del material volado. Se concluyó que la malla refinada permitió

mejorar el avance, aumentar el tonelaje por disparo y optimizar la granulometría, contribuyendo a la eficiencia del ciclo de minado.

Villegas Huarcaya & Mucho Mamani (2023), en su tesis titulada "Comparativo de explosivos Superfam Dos y Emulgran Qhana en voladura subterránea", presentada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima – Perú, desarrollaron un estudio comparativo mediante pruebas de campo para evaluar el desempeño de ambos tipos de explosivos en frentes subterráneos, utilizando Wipfrag como herramienta de medición granulométrica para determinar la eficiencia de la fragmentación post-voladura. Los resultados evidenciaron que el explosivo Emulgran Qhana logró un fragmento promedio de 5.43 cm (≈ 2.1"), lo que se tradujo en una menor presencia de sobre-tamaño respecto al uso de Superfam Dos. El estudio concluyó que la aplicación de Emulgran Qhana mejoró la fragmentación, incrementó el avance por disparo y redujo la sobre-ruptura, favoreciendo el desempeño operativo de la voladura en minería subterránea.

2.1.3 Antecedentes regionales

Quispe Roca (2019), en su tesis titulada "Optimización de perforación y voladura en la explotación por sublevel stoping (taladros largos) – Compañía Minera Shuntur S.A.C., Huaraz", presentada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, aplicó un diseño experimental en los tajos Tj918 y Tj917, evaluando el desempeño operativo y económico del uso de taladros largos en el método Sub-Level Stoping. Los resultados indicaron mejoras en la eficiencia operativa y en la calidad de fragmentación, reduciendo costos asociados al ciclo de perforación–voladura y disminuyendo pérdidas por sobre-rotura. Además, el diseño optimizado permitió incrementar la productividad y optimizar la malla de voladura, reflejándose en una explotación más continua, segura y con mayor competitividad para la operación.

Gonzales Nina (2020), en su tesis “Innovación de voladura en minería subterránea con el uso de detonadores duales – Compañía Minera Santa Luisa, Mina Huanzalá”, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, evaluó la aplicación de detonadores duales en pruebas de voladura subterránea, midiendo la fragmentación mediante análisis de imágenes y controlando vibraciones con sismógrafos. Los resultados mostraron que la fragmentación promedio mejoró de 10.34″ a 7.30″ y las vibraciones se mantuvieron controladas alrededor de 17.01 mm/s, lo que generó mayor eficiencia operativa y menores riesgos en la estabilidad de las labores. Se concluyó que los detonadores duales mejoran la fragmentación y reducen vibraciones, optimizando la voladura en minería subterránea.

Orbezo (2022), en su tesis titulada Modelo de malla en perforación y voladura en la optimización de la fragmentación del avance de By Pass 140 - Nivel 7 Unidad Minera SRML Magistral de Huaraz SAC, UEA Aquia, desarrollada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en Cerro de Pasco, tuvo como objetivo actualizar el modelo de malla en perforación y voladura para optimizar la fragmentación del material volado. La metodología incluyó trabajos de campo, laboratorio y gabinete, aplicando el método matemático de Holmberg. El diseño fue de tipo aplicado con enfoque cuantitativo, y la muestra se centró en el avance de By Pass 140 - Nivel 7. Los resultados mostraron que la implementación del nuevo modelo de malla permitió reducir las incidencias de deficiencias en la voladura y controlar óptimamente la granulometría del material volado. Se concluyó que el uso del método de Holmberg mejora significativamente la eficiencia operativa en las labores de perforación y voladura.

Chambi (2024), en su tesis Aplicación de la teoría de conminución para obtener una adecuada granulometría en la Unidad Minera Aquia de la compañía minera Magistral de Huaraz S.A.C., presentada en la Universidad Nacional de San Agustín en Arequipa,

tuvo como objetivo optimizar la granulometría del material fragmentado aplicando la teoría de conminución. La metodología consistió en ajustar el diseño de malla de perforación y voladura, reduciendo el burden a 0.6 m y aumentando la carga explosiva, utilizando el software Split Desktop para el análisis. El diseño fue de tipo aplicado con enfoque cuantitativo, y la muestra se centró en el Tajo Sorpresa del nivel 8. Los resultados indicaron una reducción de la granulometría promedio de 12 a 7.6 pulgadas, cumpliendo con los requerimientos de planta y disminuyendo los costos de perforación y voladura. Se concluyó que la aplicación de la teoría de conminución mejora la eficiencia operativa y contribuye a la sustentabilidad ambiental de la mina.

Porta & Arteaga (2025), en su tesis Aplicación de la mejora continua en la extracción minera de la U.E.A - S.M.R.L. Magistral de Huaraz S.A.C. - 2023, desarrollada en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga en Ica, buscaron determinar la influencia de la mejora continua en la extracción minera. La metodología fue de tipo aplicada, nivel descriptivo explicativo, con diseño experimental en su modalidad pre experimental transversal. La muestra incluyó las operaciones mineras en la Unidad Minera Aquia durante el año 2023. Los resultados mostraron un incremento en la producción de 32,585.99 a 37,743.42 toneladas, mejora en la disponibilidad mecánica de los equipos, reducción del factor de potencia en perforación y voladura, y optimización del transporte minero. Se concluyó que la aplicación de la mejora continua influye positivamente en la eficiencia operativa de la empresa.

Arbulú Vásquez & Carrasco Chanta (2021), en su tesis titulada “Diseño y simulación de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca en la Unidad de Producción Pallasca – Áncash”, Universidad César Vallejo, aplicaron un enfoque de observación de campo y simulación con JKSimBlast para rediseñar la malla de

perforación y voladura y predecir su impacto en la fragmentación. Los resultados indicaron una mejora del 56.82 % en la fragmentación, logrando fragmentos más finos y una distribución granulométrica más uniforme. Concluyen que la simulación computacional permite ajustar los parámetros de diseño de voladura, optimizando la fragmentación y favoreciendo las operaciones posteriores del ciclo minero.

Vega Vargas (2024), en su tesis "Voladura con detonadores electrónicos en la mejora de la fragmentación de rocas – Unidad Minera Pucamarca – Minsur S.A.", Universidad Nacional de Ingeniería – Extensión Huaraz, comparó detonadores convencionales y electrónicos en un diseño experimental. Los resultados mostraron mejora del P80 en 10.98 %, del P100 en 4.73 %, reducción de vibraciones en 47.54 % y aumento de producción en 17.85 %. Se concluyó que los detonadores electrónicos mejoran la fragmentación y productividad en voladura subterránea.

Quispe Roca (2019), en su tesis titulada "Optimización de perforación y voladura en la explotación por sub level stoping", presentada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga – Filial Huaraz, aplicó un diseño experimental en los tajos Tj918 y Tj917, utilizando taladros largos para evaluar productividad, costos operativos y calidad de fragmentación. Los resultados evidenciaron una mejora en la fragmentación, mayor avance lineal y una proyección de material más adecuada, aunque sin reportar valores granulométricos específicos. Se concluyó que la adaptación del diseño de taladro largo en el método stoping mejora la fragmentación y la rentabilidad operativa en minería subterránea.

Heredia (2024), en su tesis "Implementación del modelo matemático Roger Holmberg para optimizar la malla de perforación y voladura en el tajo 048, Nivel 8, mina Aquia – SMRI Magistral de Huaraz", Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo,

aplicó el modelo Holmberg para mejorar la malla de perforación y voladura. La muestra consistió en 24 taladros, evaluándose fragmentación y costos operativos. Los resultados mostraron reducciones de costos de perforación (USD 112 a 104.5), voladura (USD 99.8 a 87.3) y una mejora en fragmentación de 6.08 cm a 5.21 cm. Se concluyó que el modelo optimiza la fragmentación y reduce costos hasta en 12.6 %, consolidándose como una herramienta eficiente en voladura subterránea.

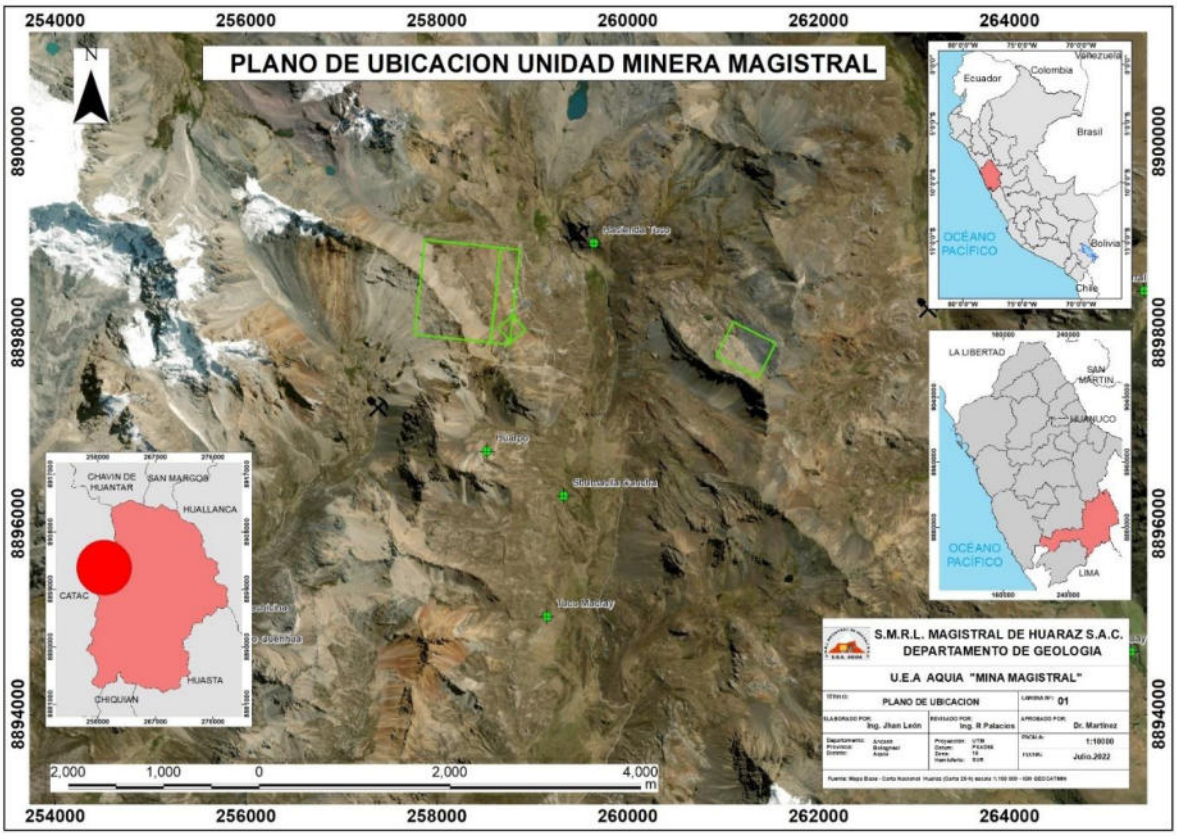
2.2 Generalidades de la mina

2.2.1 Ubicación

La mina Magistral se encuentra ubicado al NW de Chiquián y al SE de Cátac, políticamente la mina pertenece al Distrito de Aquia, Provincia de Bolognesi, Departamento de Ancash. Geográficamente, la mina Magistral está situada al NW de un valle en la región geográfica de janga o puna y próximo al nevado Tuco (naciente del rio Santa), región que se conoce también como el nudo de "Conococha", y que corresponde a las primeras estribaciones de la Cordillera Blanca, a una altitud promedio de 4,750 m.s.n.m. (Ver Plano de ubicación). (Mori, 2017, p. 10).

Figura 1

Ubicación de la mina Magistral.



Fuente: Renzo Mori Villanueva, 2017.

Acceso: Para llegar a la mina Magistral partiendo desde la ciudad capital del Perú, Lima, se toma la ruta Lima – Pativilca - Conococha, - Casablanca - Mina. (Mori, 2017, p. 11).

Tabla 2

Distancias aproximadas de la ruta a la mina Magistral.

Origen - Destino	Distancias
Abancay - Lima	905.0 Kilómetros
Lima – Pativilca	204.0 kilómetros
Pativilca – Conococha	123.0 kilómetros
Conococha – Desvío a mina (Casablanca)	9.0 kilómetros
Desvío a mina – mina	21.0 kilómetros
Total	1258.0 kilómetros

Nota: Planeamiento

2.2.2 Topografía

La superficie de la mina Magistral comprende terrenos agrestes en la parte más alta de la mina los cuales en algunas partes son inaccesibles, en la parte intermedia ya el terreno es más llano con pendientes que van desde 15° a 20° y cerca al rio Tuco el terreno es ampliamente llano ya que considera el valle del rio. (Mori, 2017, p. 11).

2.2.3 Recursos naturales

Flora: la flora de la zona de la mina Magistral corresponde; arbustos silvestres como el quenual, pastos naturales, plantas nativas de la zona alto andina o puna como el ichu.

Fauna: la fauna de la zona de la mina Magistral al ser ubicado en la zona alto andina corresponde; aves silvestres, chinchillas, y roedores, en la zona también se practica

el pastoreo de animales domesticados como el ganado ovino y el ganado vacuno. (Mori, 2017, p. 11).

2.2.4 Clima y vegetación

Según la división climática de W. Koppen (1984), el área de estudio presenta un clima frío, cuyas temperaturas mínimas se producen entre los meses de "Mayo – Agosto" oscilando entre los "10ºC a -15ºC". Los mayores registros de precipitaciones pluviales en la zona ocurren entre los meses de "Noviembre – Abril". La vegetación en el área circundante a la mina y zonas adyacentes es escasa; típicamente se constituye por "Stepha Obtusa", la presencia de esta vegetación en las zonas de mayor densidad (partes bajas adyacentes a la bocamina del nivel 01) reduce los efectos erosivos de las aguas de precipitación. La zona de estudio tiene altitudes que varía entre los 4.500 hasta 5.100 m.s.n.m., correspondiendo a un clima húmedo a húmedo frígido, característico de las zonas andinas. La temperatura varía estacionalmente en el rango de 10ºC hasta por debajo del punto de congelamiento. La humedad relativa promedio es de 60%, variando e incrementando en épocas de lluvia o verano y menores durante el invierno o época seca. La vegetación existente en el entorno está constituida por gramíneas conocido como "ichu", también existen plantas herbáceas especialmente de la familia de las compuestas. En el flanco se presentan hierbas de los géneros Asplenium Polystichum y Polypodium. En terrenos planos y húmedos y en laderas rocosas, existen plantas. Que forman alfombras cerradas y duras. En las zonas húmedas existe la jureacea y la yareta, así mismo existen plantas almohadillas. En las zonas bajas se encuentran vegetación más densa y variada como plantas semi- arbustivas. Según la Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales (ONERS), indican que la Flora del Parque Nacional Huascarán (PNH) está representada por especies arbóreas, arbustivas en número de 93 familias, 309 géneros y de

551 especies. La fauna nativa se observan vizcachas, zorro andino, el zorrino. Las aves están representadas por fringílidos, la lechuza de los arenales, los pamperos, perdices, el puco puco, ganso andino. La fauna en las laderas es más variada, se observan bandurrias, el yanavico, la tórtola cordillerana, las golondrinas y el jilguero negro. También existen especies en vías de extinción como el cóndor andino, comadrejas, puma, taruca, venado gris de los andes. (Flores, 2016 citado por Rodríguez, 2018, p5)

2.2.5 Entorno Geológico

2.2.5.1 Geología regional

El área de estudio presenta una geología compleja caracterizada por una secuencia de sedimentos del Jurásico-Cretácico, dominada por lutitas, cuarcitas y calizas del Grupo Gollarisquizga, fuertemente plegadas y sobrepuestas en discordancia angular por volcanitas terciarias de la Formación Calipuy. También se identifican intrusiones tipo stock de tonalita y pórfidos cuarcíferos monzoníticos (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 14).

Entre las principales unidades geológicas se encuentran la Formación Chimú, compuesta por areniscas y cuarcitas intensamente cizalladas; la Formación Santa, de calizas grises delgadas y dolomíticas; la Formación Carhuaz, constituida por lutitas y areniscas suaves y plásticas; y la Formación Pariahuanca, de calizas grises asociadas directamente con la mineralización del yacimiento Magistral (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, pp. 14–15).

La Formación Calipuy, de origen volcánico, incluye una unidad brechoide de piroclastos y otra porfírica de derrames andesíticos, y se superpone discordantemente a las formaciones sedimentarias plegadas (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 16).

Se identifican también depósitos morrénicos de origen glaciar en altitudes superiores a 4200 msnm y depósitos aluviales y conos de escombros recientes, que cubren las litologías anteriores. Las rocas intrusivas presentes corresponden a stocks y diques de granodiorita-tonalita del batolito de la costa y pórfidos de cuarzo monzonítico, estos últimos controlados estructuralmente por fallas y asociados a la mineralización (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 17).

2.2.6 Geología local

En el distrito minero aflora una secuencia sedimentaria del Cretáceo medio-superior, compuesta por lutitas negras de la Formación Carhuaz y calizas gris claro de la Formación Pariahuanca, dispuestas en un sinclinal volcado hacia el suroeste. Esta estructura principal, producto de la orogenia andina, presenta un eje con rumbo N46°W y plunge de 22°, y alberga mineralización en forma de mantos, vetas y cuerpos irregulares dentro del estrato calcáreo (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 18).

Las alteraciones, principalmente carbonatos recristalizados y óxidos, se observan en superficie solo en ciertas zonas, ya que otras están cubiertas por morrenas glaciales. La mineralización se ve controlada por fallas transversales, de corto alcance y orientación casi vertical, así como por sobreescurrimientos ligados a planos de estratificación. Algunos de estos planos, como el 240, presentan mineralización incipiente debido a la baja permeabilidad de capas arcillosas (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 18).

Los pliegues y sobreescurrimientos dominan el 90% del área, ubicándose hacia el sector este, donde predominan secuencias sedimentarias cretácicas plegadas. Se describen pliegues sinclinales en lutitas Carhuaz y decumbentes en calizas Santa, estas últimas caracterizadas por su plasticidad (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 18).

Las principales unidades geológicas incluyen:

Formación Carhuaz (Ki-c): Compuesta por areniscas, lutitas y limoarcillitas gris oscuro a verdosas, con niveles de yeso. Forma superficies onduladas y deleznables (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 19).

Formación Farrat (Ki-f): Areniscas blancas friables con intercalaciones limoarcillosas. Se considera la unidad menos potente del Grupo Goyllarisquizga, con edad Aptiano Superior (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 19).

Formación Pariahuanca (Ki-ph): Calizas grises macizas intercaladas con calizas margosas y ferruginosas, afectadas por intrusiones que originan aureolas de skarn con mineralización de Zn, Pb, Ag y Cu (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, pp. 19–20).

Formación Pariatambo (Ki-PT): Calizas grises oscuras con intercalaciones de homfels, lutitas calcáreas y margas bituminosas. Aflora en el cerro Ichichira con una potencia variable (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 20).

Las rocas intrusivas aparecen como stocks, diques y principalmente sills de composición granodiorítica, granítica y monzonítica. Se distribuyen en dirección NW-SE, siendo los sills los de mayor extensión. Destaca un sill de 800 m de longitud y 5 m de espesor promedio, con fenocristales de ortosa y cuarzo hialino (Morí, 2017, citado por Corcino, 2022, p. 20).

2.2.7 Geología estructural

Plegamiento: Los ejes de plegamiento tienen tendencia NW-SE resultado de los esfuerzos de comprensión en dirección NE-SW. Los pliegues y sobre-escurrimientos del distrito comprenden el 90% del área, el que se considera bajo esta denominación tectónica y se ubica íntegramente hacia el sector este, se caracteriza por presentar potentes

secuencias sedimentarias plegadas y asociadas a grandes sobre- escurrimientos, desarrolladas en rocas cretácicas. Los pliegues vistos en esta zona varían tanto en forma como en tamaño y dependen de las rocas en que se han desarrollado. Hacia la margen derecha de la quebrada Tuco se halla un pliegue sinclinal volcado desarrollado sobre las lutitas Carhuaz y en el núcleo estratos masivos de caliza de la Formación Pariahuanca. Hacia la otra margen se aprecia pliegues recumbentes en las calizas de la Formación Santa las cuales son bastantes plásticas.

Fallamiento: En el área Tuco se aprecian dos sistemas de fallamientos que son:

Sistema de fallamiento NW -SE: Coincidente con la orientación de la cordillera andina y que controla parcialmente la red de drenaje del área. De la misma manera los rumbos de los sobres escurrimientos siguen también esta dirección.

Sistema de fallamiento E-W: Estos sistemas de fallas son menores en su extensión y dislocan la secuencia estratigráfica observándose un desplazamiento del estrato grueso calcáreo, estas fallas son estériles pues no presentan mineralización al parecer son posteriores a esta. También se tiene productos de la flexura fallas de rumbo a sobre escurrimientos que se han producido aprovechando los planos de estratificación, algunas de estas fallas de rumbo, presenta una mineralización por ser un material impermeable y no presentar las características geológicas más favorables; los cuerpos mineralizados son lenticulares y concordantes con la estratificación y de carácter estratoligado – estratiforme.

Fracturamiento: Las rocas Cretáceas presentes en la zona, han sufrido fracturamientos resultado de los diferentes eventos tectónicos a lo largo de las eras Geológicas, es por ello que presentan una dirección NW-SE, que a la vez son paralelas a las direcciones del sistema de fallamiento existente. (Mori, 2017, pp. 19 - 20).

2.2.8 Geología económica

Origen y tipo de yacimiento: El yacimiento de Magistral es un yacimiento de remplazamiento, geométricamente un yacimiento estratoligado dentro de las calizas Pariahuanca y las lutitas de la Formación Carhuaz, del tipo Hidrotermal en forma de Mantos, que se encuentra ubicado en un sinclinal volcado hacia el SW, el eje de dicho plegamiento es N 45° W y tiene un plunge de 22°. Los mantos se emplazan en la caliza dolomítica de la Formación Pariahuanca, las cuales se hallan en forma concordante con la estratificación, dichos mantos están separados casi rítmicamente en tres estratos: Sorpresa, Manto, 240, la mineralización se ubica en el piso y/o techo de las capas, los mencionados mantos son en forma lenticular que se repite en forma discontinua en los mismos niveles estratigráficos, en una distancia de 600 mts, con potencia de 1 a 20 mts. El yacimiento se encuentra ubicado en un sinclinal volcado hacia el SW que es la principal manifestación de la orogenia andina, el eje de dicho plegamiento es de N 46° W y tiene un buzamiento de 22°. En la zona del limbo los lentes del mineral han sido desplazados por una falla sub vertical conjugada cuyo rumbo es N 30-40° W y un buzamiento 70-80° N el desplazamiento es de 2 a 10 mts. En la Formación Carhuaz se tiene un estrato fallado y mineralizado de Ag-Cu que son lenticulares y concordantes a la estratificación y de carácter estratoligado – estratiforme de 300 mts de longitud con potencia de 0.60 a 1.50 mts, con rumbo N 40-50° W, que sigue el alineamiento del estrato que en partes es cortado por intrusiones de diques granodioriticos que son posteriores a las fases principales de las deformaciones. La mineralización por las evidencias que presenta a lo largo de todo el estrato calcáreo es persistente horizontalmente asi como verticalmente. Verticalmente el cuerpo presenta un comportamiento homogéneo a lo largo de todo el flaco y esta mineralización es más o menos 250 mts., en que se llega al eje del pliegue donde por debajo del eje del pliegue continua la mineralización de los cuerpos donde ya se tienen

reconocidos 200 mts. La posibilidad del yacimiento radica en la continuidad horizontal de la mineralización hacia el lado norte el que está subordinado al aspecto estructural es decir a la capa calcárea y la estructura sinclinal.

Mineralogia: A nivel del yacimiento se observa que los mantos mineralizados ubicados en la parte basal del Pariahuanca son piritosos mientras que los mantos de los niveles estratigráficos superiores contienen esfalerita, galena y poca pirita. A nivel de manto mineral, la galena se presenta preferentemente en el piso estratigráfico y la esfalerita en el techo. Las alteraciones observadas en los lentes minerales y en las rocas encajonantes consisten en una argilización y una débil silificacion.

Minerales de mena:

Galena Argentífera-Sulfuro de plomo plata. (AgPbS).

Chalcopirita –Sulfuro de hierro cobre. (CuFeS2).

Esfalerita-Sulfuro de Zinc. (ZnS).

Bornita-Sulfuro de cobre fierro. (Cu5FeS4).

Minerales de ganga:

Calcita-Carbonato de calcio. (CaCO3) Pirita-Sulfuro de hierro. (FeS2).

Rodocrosita-Carbonato de Manganeso. (MnCO3).

Tabla 3

Reservas minerales

Recursos	TM	Leyes			
		Ag (oz/tc)	Pb (%)	Cu (%)	Zn (%)
Recursos medidos	45,000.00	3.15	3.25	2.60	7.80
Recursos indicados	1 460,000.00	4.60	3.70	2.50	6.50
Recursos inferidos	1 170,000.00				

Fuente: Cía. Minera Magistral de Huaraz S.A.C.

2.2.9 Litología

2.2.9.1 Formación y Depósitos litológicos

Tabla 4

Litología

Unidad Geológica	Código	Litología Principal	Edad	Observaciones / Correlaciones
Formación Chicama	Js-Ch	Lutitas negras, pizarras, areniscas, carbón antracítico	Titoniano (J. Superior)	Metamorfismo de contacto. Correlación: Oyón, Grupo Yura.
Formación Oyón	Ki-Oy	Lutitas, areniscas, carbón antracítico	Valanginiano - Titoniano	Base del Grupo Goyllarisquizga. Difícil explotación del carbón.
Formación Chimú	Ki-Ch	Areniscas cuarzosas blancas, niveles de lutita y carbón	Valanginiano Inf. - Medio	Infra. de la Formación Santa.
Formación Santa	Ki-S	Calizas azuladas, chert	Valanginiano Superior	Correlación: Morro Solar, Formación Pamplona.
Formación Carhuaz	Ki-C	Limoarcillitas grises/verdosas, yeso, areniscas	Hauteriviano – Barremiano	Núcleo de sinclinales.
Formación Farrat	Ki-F	Arenisca blanca de grano medio	Aptiano	Unidad guía, ~20 m de espesor.
Formación Pariahuanca	Ki-Ph	Calizas macizas azuladas	Aptiano – Albiano Inf.	Equivalente a Formación Inca y parte inf. del Grupo Casma.
Formación Pariatambo	Ki-Pt	Margas, calizas oscuras, limoarcillitas calcáreas	Albiano Medio	Equivalente a Formación Crisnejas y Grupo Casma.
Formación Jumasha	Ks-J	Calizas grises oscuras macizas	Albiano Sup. – Turoniano	Equivalente a Cajamarca, Ferrobamba, Arcurquina.
Grupo Calipuy	PN-Ca-S	Andesitas, dacitas, ignimbritas, brechas, tufos	Eoceno – Mioceno	Rocas volcánicas huésped de mineralización. Correlación: Tacaza.
Depósitos Morrénicos	Q-mo	Material glacial no consolidado	Cuaternario	Colinas y lomadas en flancos occidentales de cordilleras.

Depósitos Glacio-fluviales	Q-glf	Gravas y arenas glaciales	Cuaternario	Originados por fusión de glaciares y acción fluvial.

Fuente: Elaboración propia

2.2.9.2 Flora Terrestre.

El área de las actividades mineras el suelo está cubierto de pastos naturales de tallo corto como el ichu; es una zona eriaza para otras actividades agropecuarios.

2.2.9.3 Fauna Terrestre:

En la Unidad minera y alrededores, se observa las siguientes especies, zorro andino, ganado vacuno, ovejas, caballo.

2.2.9.4 Contextualización

La minería subterránea es una actividad crucial para la economía de muchas regiones, incluyendo el Perú, donde operaciones como la mina Magistral en Huaraz destacan por su producción de metales valiosos. Sin embargo, este tipo de minería enfrenta múltiples desafíos, entre ellos la necesidad de mejorar la eficiencia de sus procesos operativos, especialmente en el chancado primario. La fragmentación adecuada del material, que depende de las técnicas de voladura empleadas, es esencial para asegurar un procesamiento eficaz y un uso eficiente de los recursos energéticos.

En este marco, la estrategia Mine to Mill se presenta como una solución integral para optimizar la cadena de producción en la minería subterránea. Este enfoque busca alinear las etapas de perforación, voladura y chancado, de manera que se logre una fragmentación más controlada y eficiente. Al aplicar esta metodología, se espera no solo mejorar el rendimiento del chancado, sino también reducir el

consumo energético y, en última instancia, aumentar la competitividad y sostenibilidad de la operación minera en el contexto actual.

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Teoría de la Fragmentación de Roca por Explosivos

La fragmentación de roca por explosivos es una teoría fundamental que sostiene que el tamaño de los fragmentos obtenidos durante la voladura está directamente relacionado con la cantidad de energía generada por el explosivo y su interacción con las discontinuidades del macizo rocoso. Según esta teoría, una adecuada combinación entre el tipo de explosivo, la resistencia de la roca, la forma de la malla de perforación y la configuración del diseño permite controlar el resultado final del proceso. Un diseño ineficiente genera sobrefragmentación o fragmentos excesivamente grandes, los cuales afectan negativamente la eficiencia del chancado primario. Esta teoría constituye la base para entender cómo la energía explosiva debe ser administrada para alcanzar una fragmentación óptima (Jimeno, 1995).

2.3.2 Teoría del Factor de Potencia

El factor de potencia se define como la relación entre la cantidad de explosivo utilizado (en kg) y el volumen de roca a fragmentar (en m^3). Esta teoría sostiene que existe un rango óptimo de factor de potencia que maximiza la fragmentación sin incurrir en sobrecostos o daños colaterales. Cuando este valor es bajo, la fragmentación es insuficiente, mientras que si es excesivo, se desperdicia energía y se genera material fino innecesario. Por ello, ajustar este factor con base en la geología y el objetivo de fragmentación permite optimizar los procesos posteriores como el chancado. Esta teoría

es clave en el diseño técnico de voladuras para lograr una reducción de tamaño eficiente (Konya & Walter, 1990).

2.3.3 Modelo de Holmberg para Voladura Subterránea

El modelo de Holmberg se centra en condiciones subterráneas, donde el confinamiento natural de la roca modifica la distribución de energía explosiva. Este modelo propone un método de cálculo para estimar el daño radial, el contorno del disparo y la fragmentación esperada. Se basa en parámetros como el tipo de roca, el espaciamiento, la forma del frente y la energía explosiva aplicada. Es especialmente útil para voladuras en galerías y túneles, donde los márgenes de error son más reducidos. Aplicar esta teoría permite mejorar la precisión en la fragmentación, minimizando sobreexcavaciones o zonas mal fragmentadas (Holmberg, 1987).

2.3.4 Teoría del Chancado Eficiente

Esta teoría establece que el rendimiento del chancado primario está estrechamente vinculado al tamaño de los fragmentos resultantes de la voladura. Una roca fragmentada por encima del límite operacional del chancador genera atascos, mayor consumo de energía y pérdida de tiempo productivo. Por el contrario, una fragmentación cercana a los 8 pulgadas o menor mejora la tasa de procesamiento, reduce los tiempos de mantenimiento y aumenta la vida útil de los equipos. Esta teoría respalda la necesidad de controlar la granulometría desde la fuente, evitando que el chancado tenga que corregir deficiencias que pudieron haberse resuelto en la voladura (Moreno & Sáenz, 2010).

2.3.5 Teoría del Control de Voladura para Optimización Operativa

Esta teoría plantea que un control integral de los parámetros de voladura —incluyendo diseño de malla, tipo de explosivo, carga por columna y secuencia de disparo—

no solo mejora la fragmentación, sino que impacta directamente en indicadores operativos como costos unitarios, productividad y eficiencia energética. Establece que cualquier mejora en la etapa inicial (voladura) repercute en la eficiencia de las siguientes fases del proceso minero. Esta visión holística permite tomar decisiones estratégicas orientadas a mejorar el desempeño global de la operación (Lopez & Lopez, 2013).

2.4 Definición de términos

2.4.1 Voladura

La voladura es un proceso minero que utiliza explosivos para fragmentar rocas, facilitando su posterior manipulación y procesamiento. Su diseño adecuado incide directamente en la eficiencia de las operaciones posteriores como el chancado y molienda (Jimeno, Jimeno & Carcedo, 2013).

2.4.2 Fragmentación

La fragmentación se refiere al tamaño de los bloques resultantes tras la voladura. Una buena fragmentación mejora la eficiencia de carga, transporte y chancado, reduciendo costos energéticos (Konya & Walter, 1990).

2.4.3 Chancado primario

Proceso que reduce el tamaño del material fragmentado hasta una granulometría que permita continuar con la etapa de molienda o procesamiento. Suele implicar el uso de chancadoras de quijada o giratorias (Wills & Finch, 2016).

2.4.4 Parámetros de voladura

Son variables técnicas como el burden, espaciamiento, diámetro de taladro, longitud de columna de explosivo, tipo de explosivo y secuencia de disparo, que determinan el resultado de la fragmentación (Ocampo, 2019).

2.4.5 Burden

Es la distancia desde un taladro cargado hasta la cara libre más próxima. Influye directamente en la eficiencia de la ruptura de roca (McKenzie, 2020).

2.4.6 Factor de carga

Es la cantidad de explosivo por unidad de volumen de roca, expresado en kg/m³, y es un indicador clave para optimizar la energía aplicada en la voladura (Ouchterlony, 2016).

2.4.7 Split Desktop

Es un software especializado para el análisis de fragmentación mediante imágenes digitales, permitiendo calcular el tamaño promedio de partículas (P80, P50, etc.) con alta precisión (Carlson Software, 2023).

2.4.8 Modelo de Holmberg

Modelo matemático utilizado en voladuras subterráneas para predecir el efecto de los parámetros de carga sobre la fragmentación, considerando el acoplamiento de energía en un entorno cerrado (Holmberg, 1982).

2.4.9 Eficiencia energética

Es la relación entre la energía consumida y el resultado obtenido. En minería, implica lograr el menor consumo de kWh por tonelada chancada (Koleini et al., 2020).

2.4.10 Malla de perforación

Es el diseño geométrico que define la ubicación de los taladros en un frente de voladura. Su correcta configuración reduce costos y mejora la fragmentación (Siddiqui & Ali, 2017).

2.4.11 Explosivo industrial

Sustancia capaz de liberar energía en forma de gases y calor, utilizada para romper el macizo rocoso. Ejemplos incluyen ANFO, emulsiones, y dinamitas (ISEE, 2011).

2.4.12 Secuencia de disparo

Es el orden en que se detonan los taladros cargados, generalmente controlado por retardadores. Afecta la dirección de la fragmentación y la seguridad operativa (Pérez & Castaño, 2015).

2.4.13 Granulometría

Distribución del tamaño de las partículas de roca tras la voladura. Se mide con herramientas como el Split Desktop o análisis en tamices (Valenzuela, 2021).

2.4.14 Sobre excavación

Es el exceso de excavación generado durante la voladura en comparación al diseño proyectado. Representa pérdidas económicas y riesgos estructurales (Gonzales & Rivera, 2018).

2.4.15 Optimización de procesos

Es la mejora continua y sistemática de parámetros operativos para maximizar la productividad, reducir costos y aumentar la seguridad (Sánchez & Rojas, 2020).

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 demostrar a través de la fragmentación por efecto de la voladura la eficiencia en el chancado primario.

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 2025.

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño metodológico adoptado en esta investigación es de tipo cuasi-experimental de corte longitudinal y comparativo, ya que se busca analizar los efectos de una intervención técnica la optimización de los parámetros de voladura— sobre los indicadores operativos del chancado primario en un periodo determinado. Este diseño permite evaluar los cambios en la producción, consumo energético, calidad de la fragmentación y costos unitarios antes y después de la implementación de mejoras, utilizando como base de comparación el segundo trimestre (sin mejora) y el tercer trimestre (con mejora) del año 2025.

En este contexto, se manipulará intencionalmente la variable independiente los parámetros de voladura en las labores del Nivel 8 de la Unidad Minera Magistral, mientras

se observa el comportamiento de la variable dependiente, representada por la eficiencia del chancado primario. Esta eficiencia se medirá a través de indicadores técnicos como el tamaño promedio de fragmentación, toneladas procesadas por día (tpd), consumo energético específico (kWh/t) y costo unitario de chancado (USD/t).

La investigación se enmarca también dentro de un enfoque aplicado y relacional, debido a que busca resolver un problema práctico en un entorno real, estableciendo relaciones cuantificables entre variables técnicas. Asimismo, se sustenta en la recolección de datos operacionales mediante técnicas estadísticas y herramientas especializadas como Split Desktop (para análisis granulométrico), registros de planta, y reportes técnicos internos de la unidad minera.

Este diseño proporciona una base metodológica sólida para validar la hipótesis de que la mejora de la fragmentación mediante el ajuste del factor de carga, espaciamiento y secuencia de detonación tiene un efecto positivo directo en la eficiencia y rentabilidad del proceso de chancado primario.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población a estudiar la conformaran las voladuras realizadas en la mina Magistral durante el segundo y tercer trimestre del 2025.

3.2.2 Muestra

El estudio se centrará en la investigación, se enfocará en las voladuras realizadas en el Nv 8 ubicados en la mina Magistral, durante el segundo y tercer trimestre del 2025.

3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1 Técnicas para la recolección de datos

Para la variable independiente

La técnica de recolección de datos para la variable independiente denominada parámetros de voladuras se enfocan en lo siguiente: pruebas insitu de factor de potencia, diseño de espaciamiento de taladros, con el diseño de la malla de perforación y los parámetros de carga explosiva, el espaciamiento entre perforaciones, el factor de carga, ajustando la cantidad de carga en (kg), la distancia entre taladros (m) y el orden de iniciación que permite optimizar los resultados de la voladura. Para ello, se utilizan herramientas como JK Simblast y registros técnicos.

Para la variable dependiente:

Las técnicas para evaluar la variable dependiente, eficiencia en el chancado primario, se centran en medir el rendimiento del proceso en función de tres dimensiones clave: productividad, consumo energético y calidad de la fragmentación. La productividad se mide en toneladas por hora (t/h) mediante análisis de producción, mientras que el consumo energético se evalúa en kWh por tonelada procesada, utilizando equipos de medición especializados. Finalmente, la calidad de la fragmentación se determina a través de análisis granulométricos.

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 voladura del tercer trimestre del año 2025.

3.3.2 Instrumentos para la recolección de datos

Cuestionarios y entrevistas (para recoger información cualitativa)

- Split Desktop
- Cámara fotográfica
- Laptop

3.4 Validación y confiabilidad de los instrumentos

Para Para evaluar la relación entre la producción antes y después de la optimización de la fragmentación en las voladuras, se realizó un análisis comparativo directo de los indicadores operativos correspondientes al segundo y tercer trimestre del 2025.

El análisis se basó en la comparación de promedios y en la variación porcentual de indicadores clave como fragmentación, producción diaria, consumo energético y costo unitario de chancado, utilizando datos reales de operación.

Este enfoque permitió demostrar de manera técnica la mejora en la eficiencia del proceso como resultado de la optimización de los parámetros de voladura.

3.5 Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Para la presentación y análisis de datos se utilizó tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Empleando gráficos y tablas estadísticas para visualizar los resultados de las mediciones, como la fragmentación y producción. Se uso el software especializado como Excel para realizar análisis estadísticos, como el cálculo de promedios y correlaciones. Además, se aplicó técnicas de análisis comparativo para evaluar los resultados obtenidos antes y después de implementar la optimización de la fragmentación, lo que me permitirá verificar si se ha optimizado la producción.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

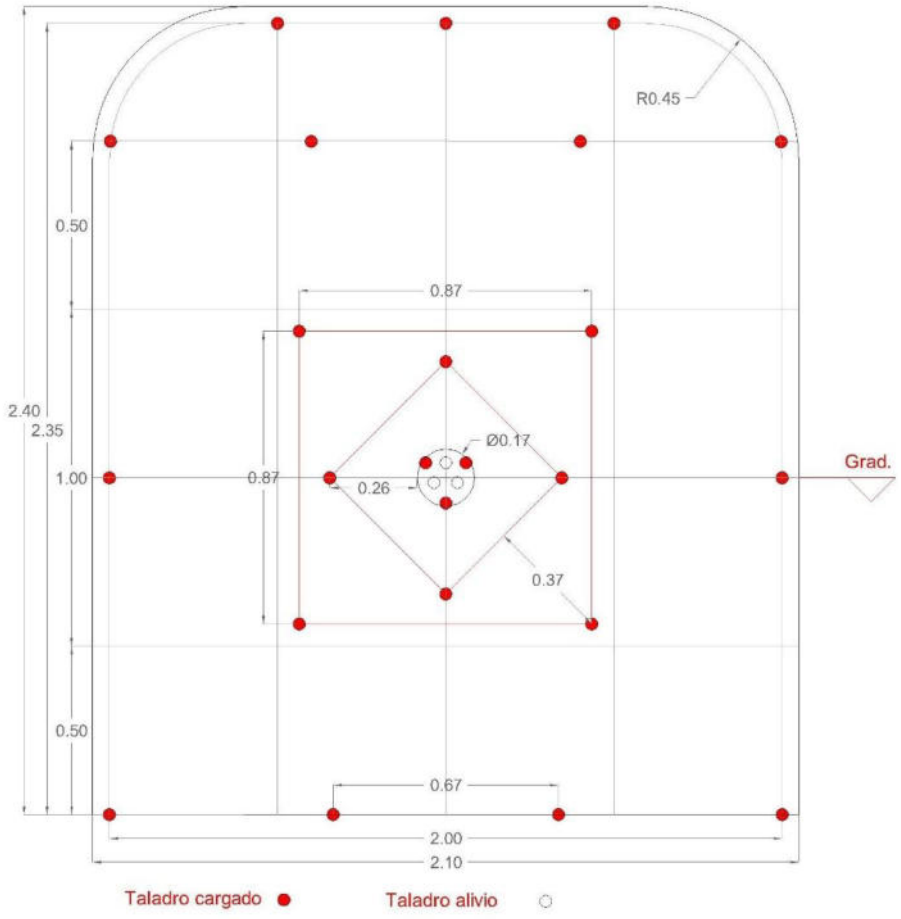
4.1 Resultados del Diseño de carga en galería 2.10 m x 2.40 m antes de la mejora

La calidad del macizo rocoso en el área de la mina varia de tipo IIB (buena) hasta IIIA (regular), donde el RMR varia de 55 a 65.

4.1.1 Malla de perforación

Figura 2

Malla antes de la mejora



Fuente: Elaboración propia (Aplicación del Método Holmberg para la mejora).

El método de Holmberg permite estimar la relación óptima de burden y espaciamiento en función del tipo de roca, el diámetro del taladro y las condiciones de contorno, con el objetivo de lograr una distribución de energía eficiente durante la voladura y, por ende, una mejor fragmentación.

4.1.1.1 Parámetros considerados:

Diámetro de taladro (D): 38 mm

Profundidad de taladro (H): 6 pies ≈ 1.83 m

Tipo de voladura: Contorno en labores de avance (subterránea)

Explosivo principal: ANFO y E-3000

Roca: Competente a semidura

Factor de carga promedio observado: 3.30 kg/m³

4.1.1.2 Burden (B):

$$\boldsymbol{B = k * D}$$

Donde:

B es el burden óptimo (m)

k es el coeficiente de carga, típico entre 25 y 30 para roca competente

D es el diámetro del taladro en metros (38 mm = 0.038 m)

4.1.1.3 Espaciamiento (E):

$$E = B * (1.1\ a\ 1.4)$$

El espaciamiento depende del nivel de confinamiento y distribución deseada de energía.

4.1.1.4 Cálculo aplicado:

Usando k = 28 para roca competente:

Burden:

$$B = 28 * 0.038 = 1.064\ m$$

Espaciamiento (E):

$$E = 1.064 * 1.3 = 1.383$$

4.1.1.5 Resumen de aplicación:

Tabla 5

Resumen de Holmberg

Parámetro	Valor Calculado
Diámetro de taladro (D)	38 mm (0.038 m)
Profundidad (H)	1.83 m (6 pies)
Burden (B)	1.064 m
Espaciamiento (E)	1.38 m
Tipo de explosivo	ANFO + E-3000
Tipo de roca	Competente a semidura

Nota. Elaboración propia

4.1.1.6 Resultados esperados de la aplicación:

Fragmentación uniforme y menor P80

Mejora en TPD (+9.9 %)

Reducción de consumo energético (−8.2 %)

Reducción de costo por tonelada (−6.5 % promedio)

Aumento del factor de carga controlado (+4.2 %)

4.1.2 Cantidad de emulsión que ingresa en un taladro en base a las dimensiones del cartucho

Tabla 6

Emulsión

TIPO DE TAL.	N° TAL.	Distribución	CT	KG. EXPLO.	EMULNOR 3000 1'' X 8''		ANFO SUPERFAM DOS	
	(a)	(b)	(c)	(d = a x b x c)	Cart. x Tal (und)	Carga Total (Kg)	ANFO x Tal (Kg)	Carga Total (Kg)
ARRANQUE	3	1.3	0.957	3.73	1	0.33	1.13	3.40
1ER AYUDA	4	1.1	0.957	4.21	1	0.44	0.94	3.77
2DA AYUDA	4	1.1	0.957	4.21	1	0.44	0.94	3.77
3RA AYUDA	2	1.1	0.957	2.11	1	0.22	0.94	1.89
HASTIALES	4	1.0	0.957	3.83	1	0.44	0.85	3.39
TECHO	3	1.0	0.957	2.87	1	0.33	0.85	2.54
PISO	4	1.1	0.957	4.21	7	3.07	0.00	0.00
TOTAL	24			25.17				

Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Carga promedio

Tabla 7

Carga promedio

DENOMINACIÓN	CARGADOS	VACIO	E.3000 (Kg)	ANFO (Kg)	FULM. COMUN	M. SEGURIDAD	M. DE IGNICIÓN	C. IGNICIÓN
ARRANQUE	3	3	0.33	3.40	3	7.2		3
AYUDAS	10		1.10	9.43	10	24		10
HASTIALES	4		0.44	3.39	4	9.6		4
TECHO	3		0.33	2.54	3	7.2		3
PISO	4		3.07	0	4	9.6		4
							1.2	
TOTALES	**24**	**3**	**5.26**	**18.77**	**24**	**57.6**	**1.2**	**24**

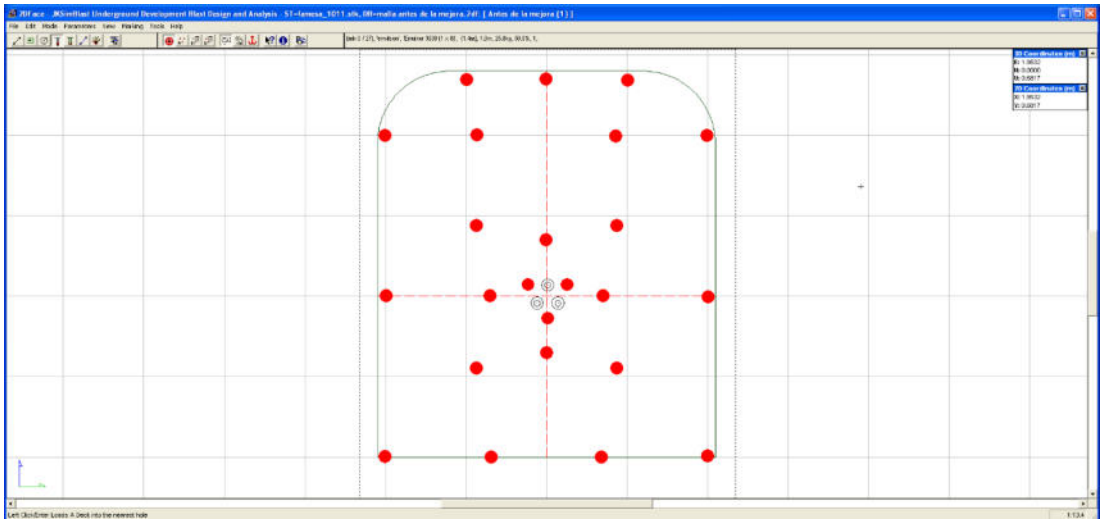
FC (kg/m3)	3.034

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Simulación JKSimblast antes de la mejora

Figura 3

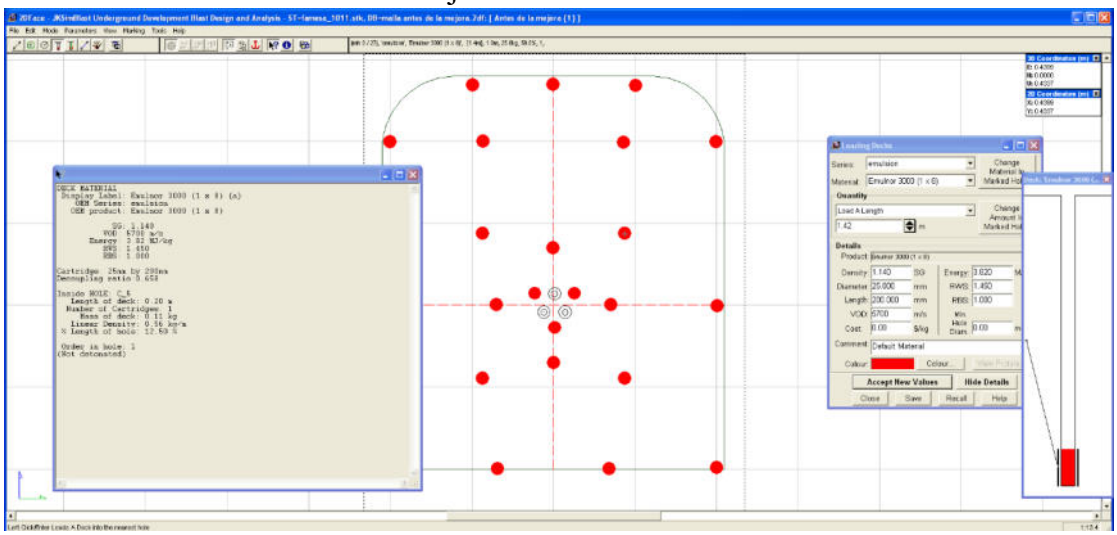
Malla antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 4

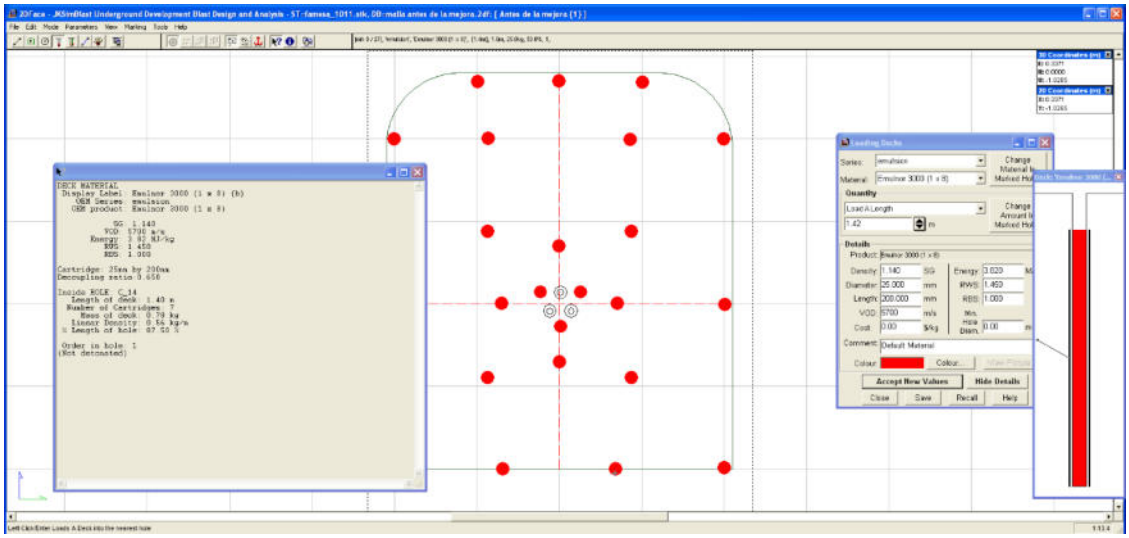
Primado de taladros antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 5

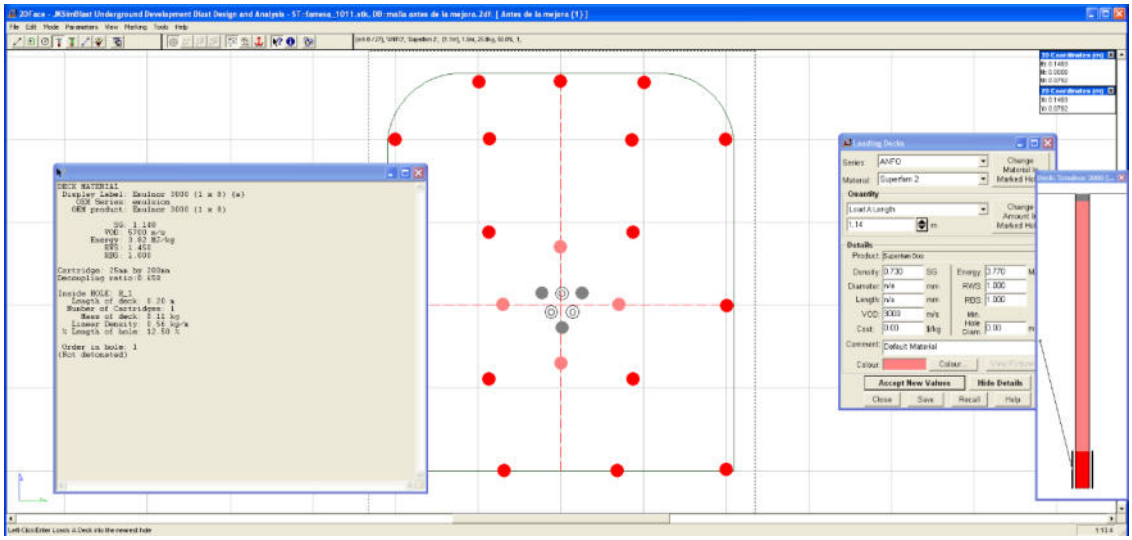
Carguío de taladros antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 6

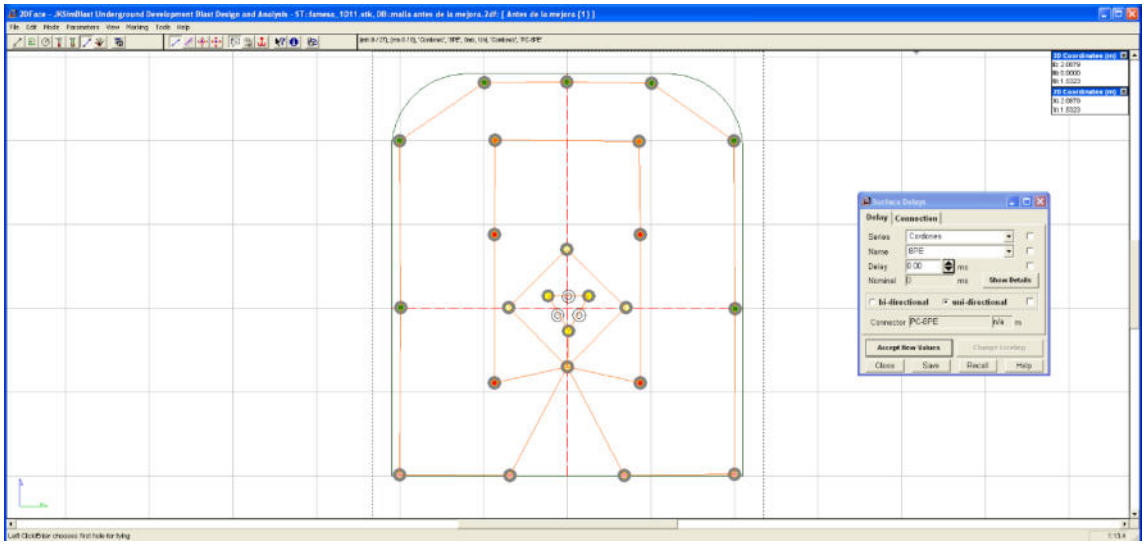
Taco antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 7

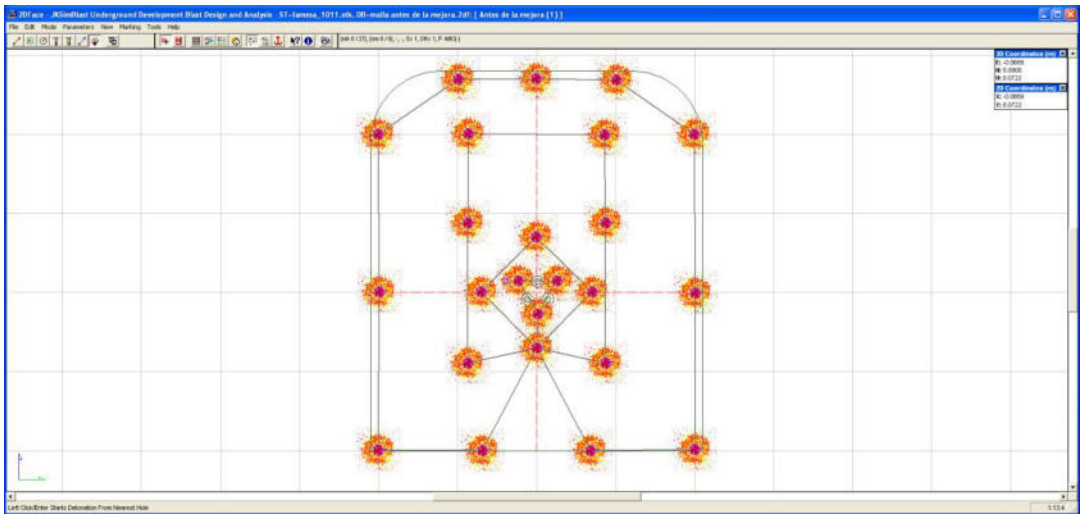
Amarre antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 8

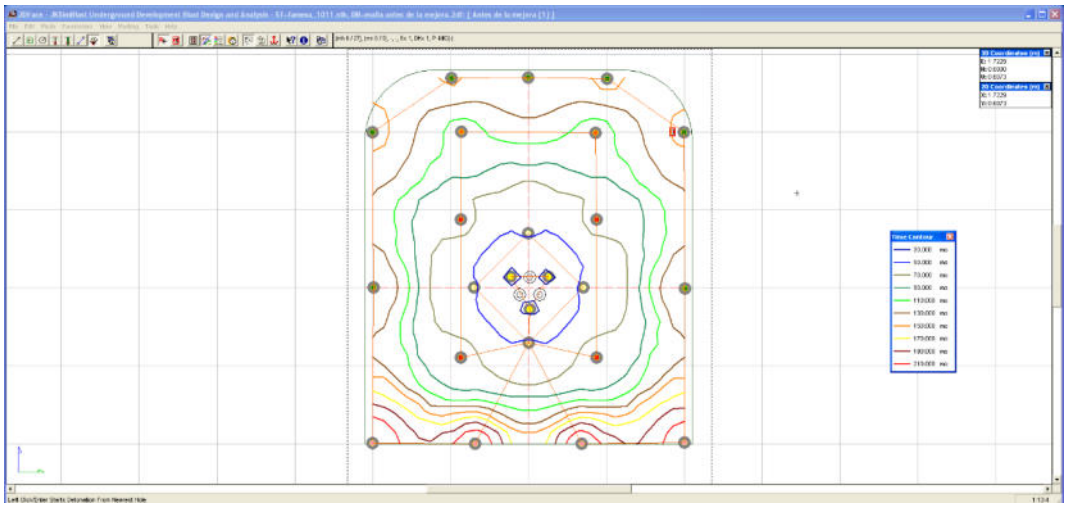
Detonación antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 9

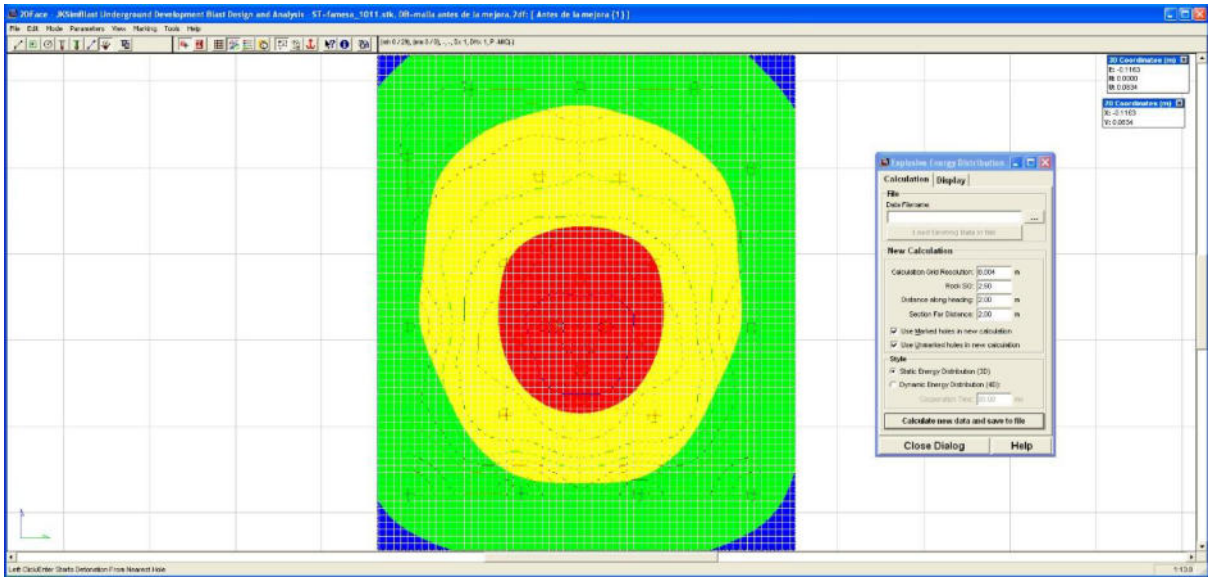
Curvas de energía antes de la mejora



Fuente: Propia

Figura 10

Campo de energía antes de la mejora

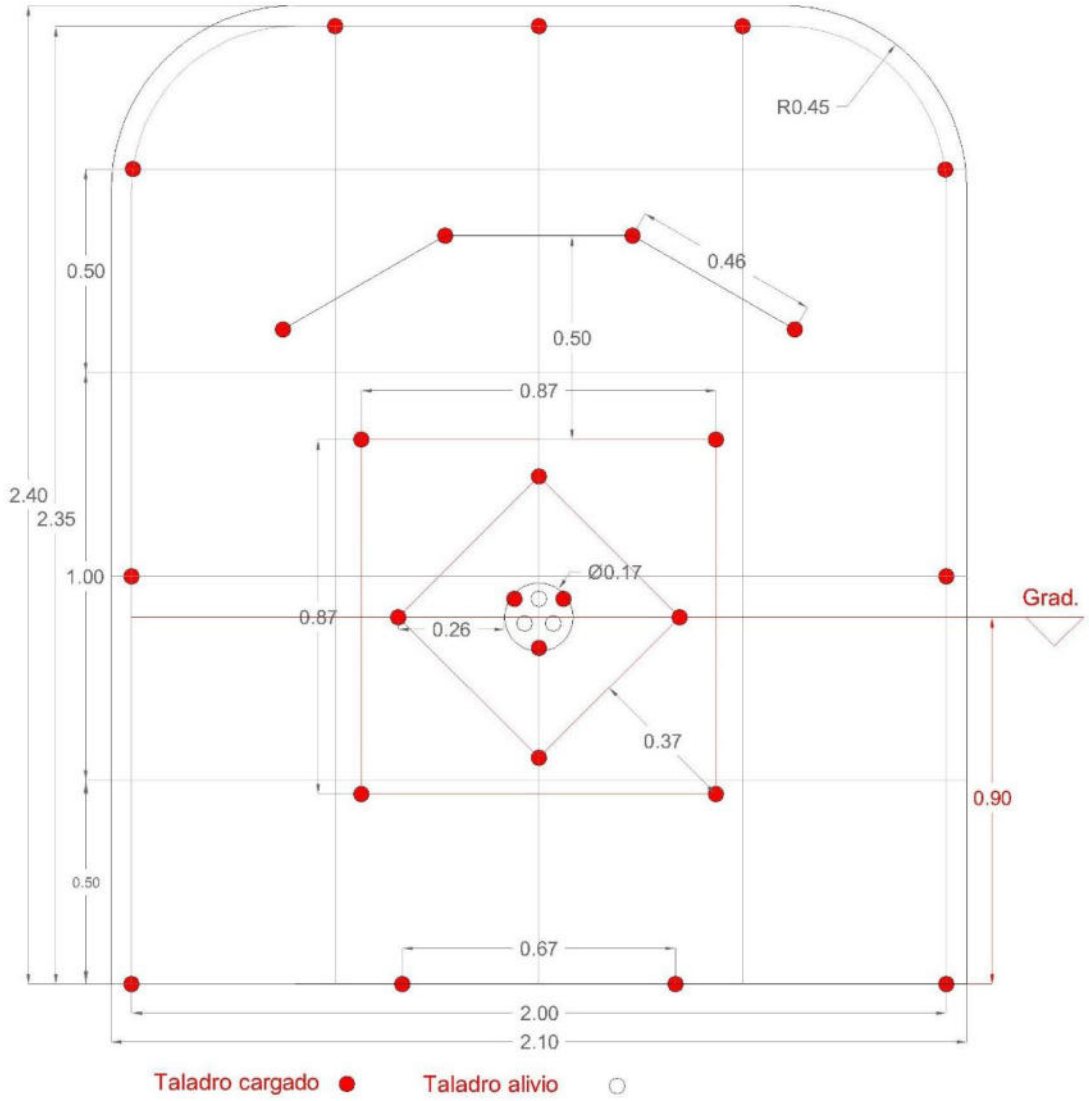


Fuente: Propia

4.2 Resultado Diseño de carga en galería 2.10 m x 2.40 m después de la mejora (Modelo de Holmberg)

Figura 11

Malla despues de la mejora



Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Cantidad de emulsión que ingresa en un taladro en base a las dimensiones del cartucho

Tabla 8

Emulsión por taladro

TIPO DE TAL.	N° TAL.	Distribución	CT	KG. EXPLO.	EMULNOR 3000 1" X 8"		ANFO SUPERFAM DOS		
	(a)	(b)	(c)	(d = a x b x c)	Cart. x Tal (und)	Carga Total (Kg)	ANFO x Tal (Kg)	Carga Total (Kg)	taco(m)
ARRANQUE	3	1.30	0.957	3.73	1	0.33	1.13	3.40	0.05
1ER AYUDA	4	1.10	0.957	4.21	1	0.44	0.94	3.77	0.13
2DA AYUDA	4	1.10	0.957	4.21	1	0.44	0.94	3.77	0.20
3RA AYUDA	4	1.1	0.957	4.21	1	0.44	0.94	3.77	0.20
CORONA	3	1.00	0.957	2.87	1	0.33	0.85	2.54	0.05
HASTIAL	4	1.00	0.957	3.83	1	0.44	0.85	3.39	0.05
ARRASTRE	4	1.10	0.957	4.21	7	3.07	0.00	0.00	0.05
TOTAL	26			27.29					

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Carga promedio

Tabla 9

Carga por taladro

DENOMINACIÓN	CARGADOS	VACIO	E.3000 (Kg)	ANFO (Kg)	FULM. COMUN	M. SEGURIDAD	M. DE IGNICION	C. IGNICIÓN
ARRANQUE	3	3	0.33	3.40	3	7.2		3
CUADRADOR, AY	12		1.32	11.32	12	28.8		12
HASTIALES	4		0.33	3.39	4	9.6		4
CORONA	3		0.44	2.54	3	7.2		3
ARRASTRE	4		3.07	0	4	9.6		4
							1.2	
TOTALES	26	3	5.48	20.66	26	62.40	1.2	26

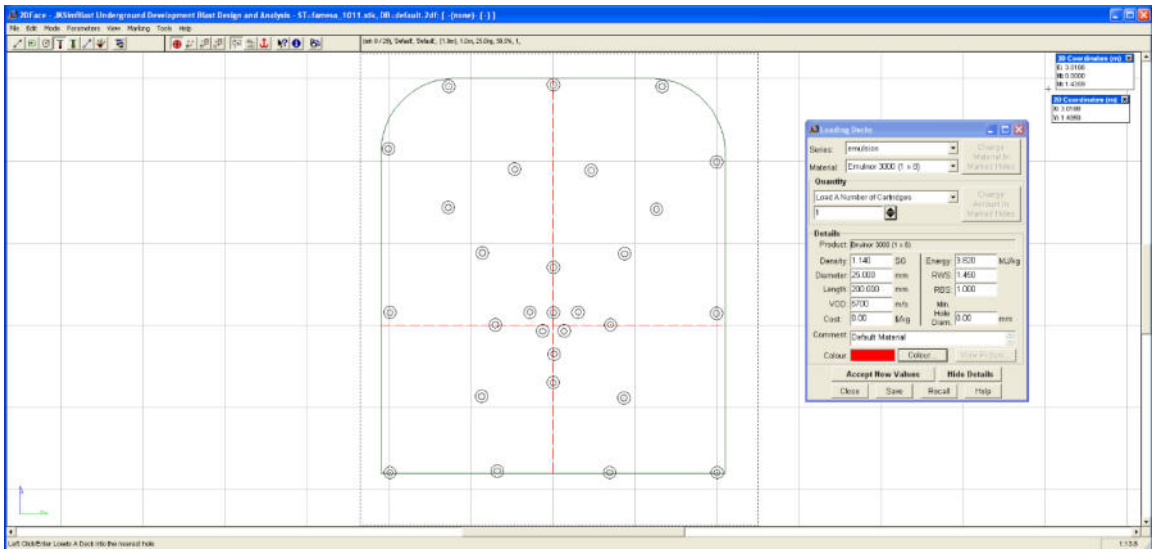
FC (kg/m3)	3.30

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Aplicación del JkSimpblas

Figura 12

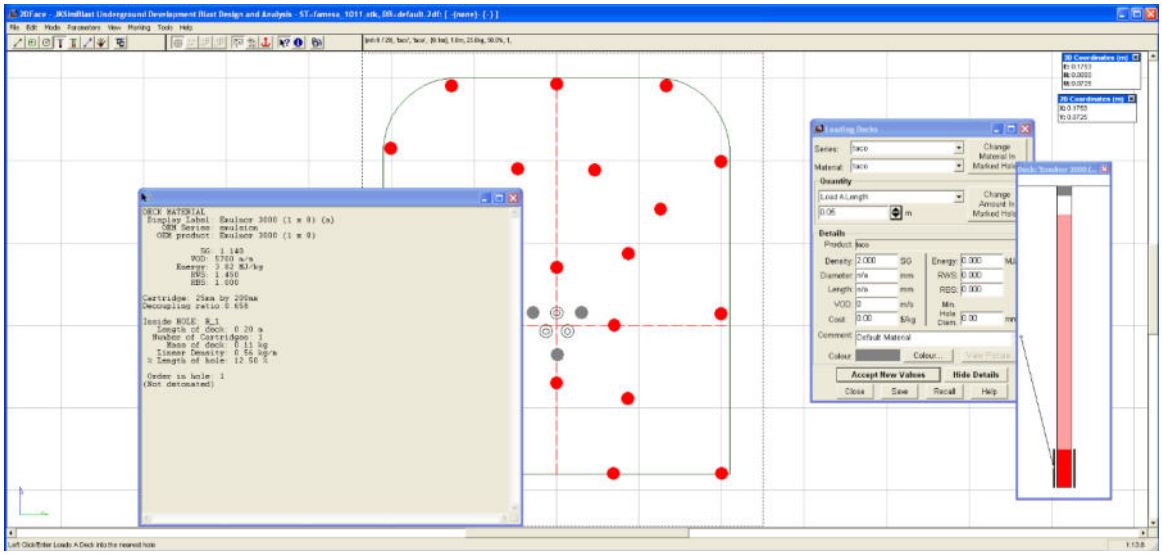
Malla de perforación despues de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

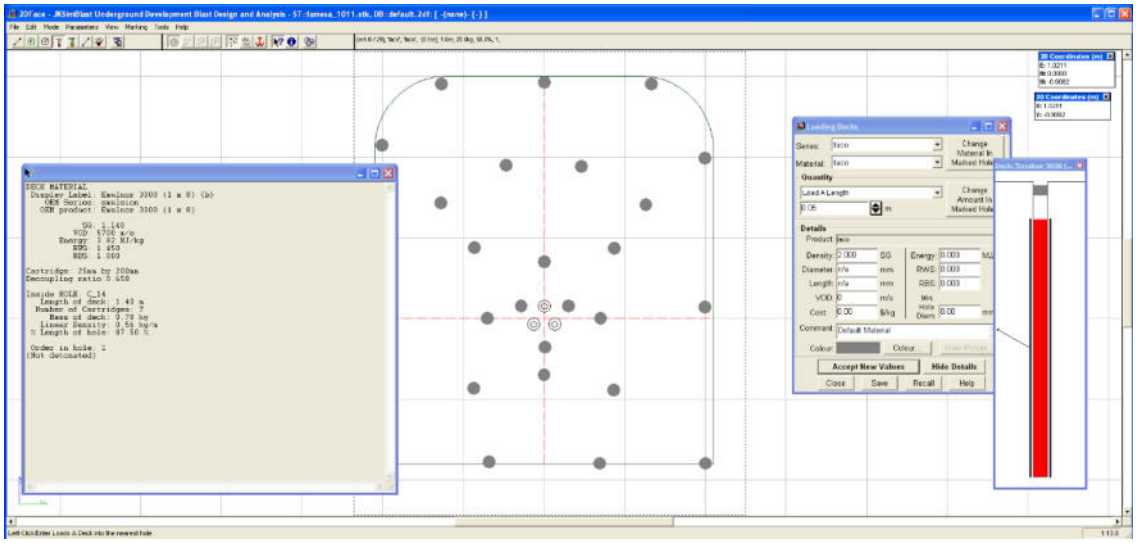
Prima de taladros despues de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

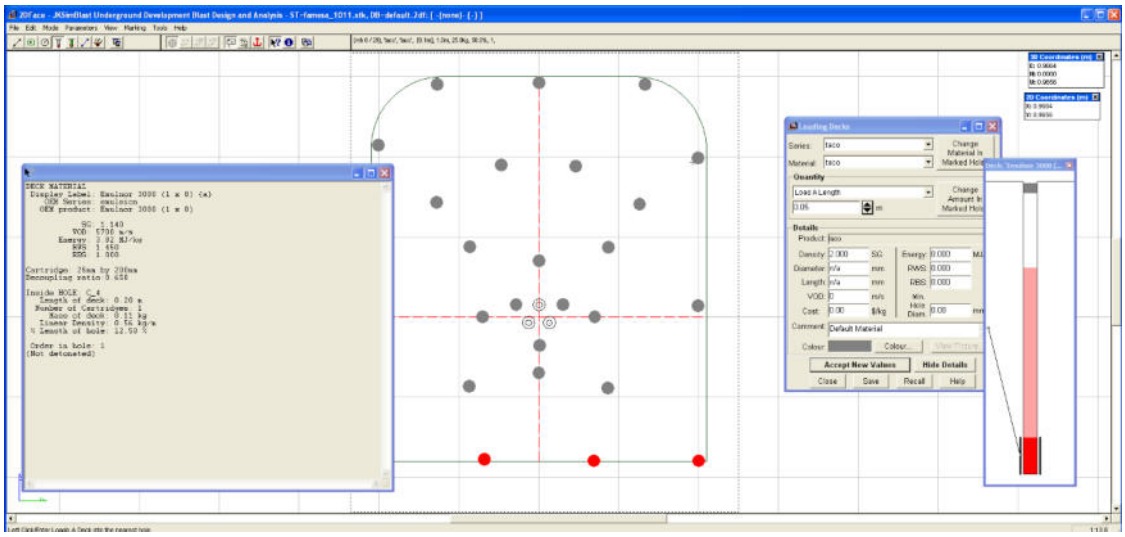
Carguío de taladros después de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

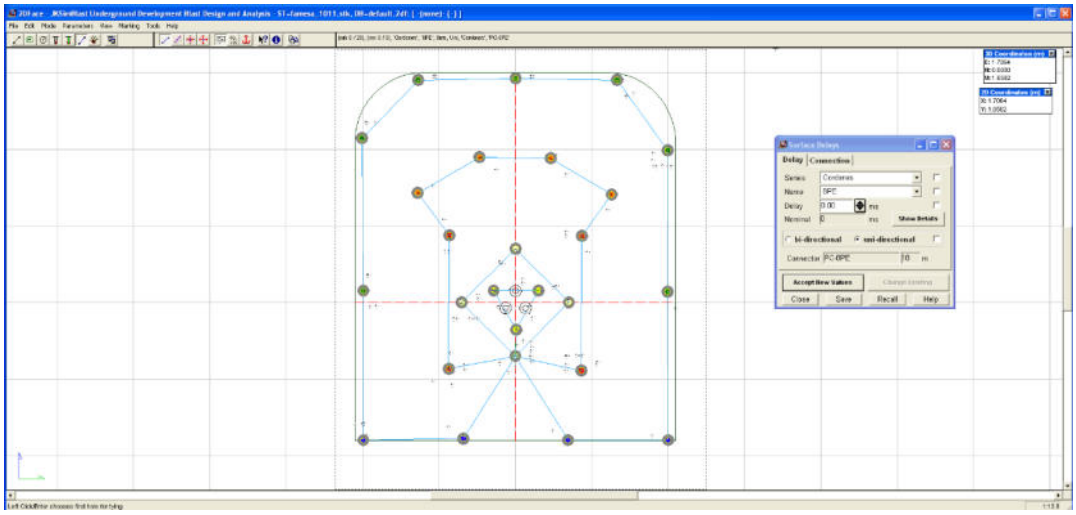
Taco en taladros después de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

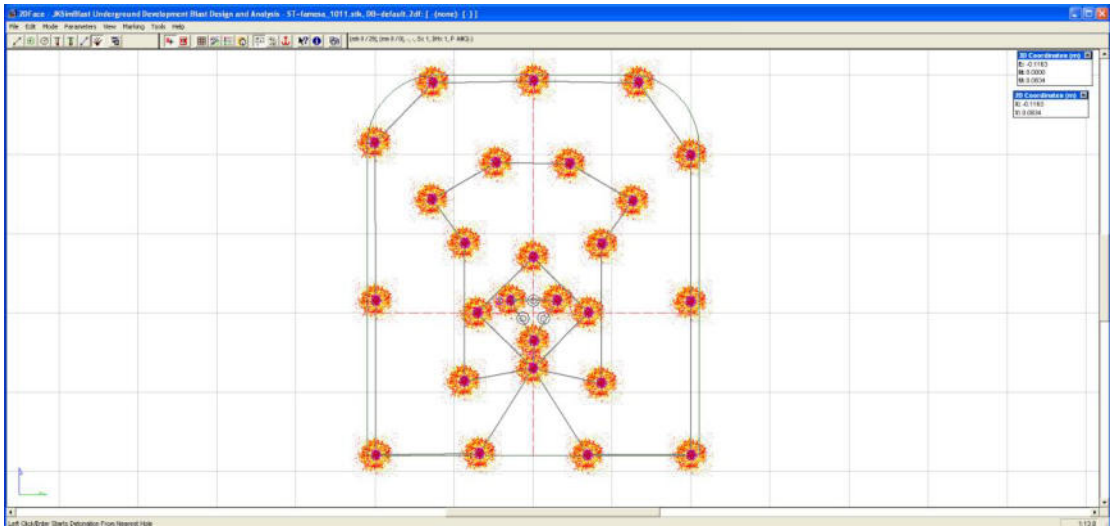
Amarre de taladros después de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

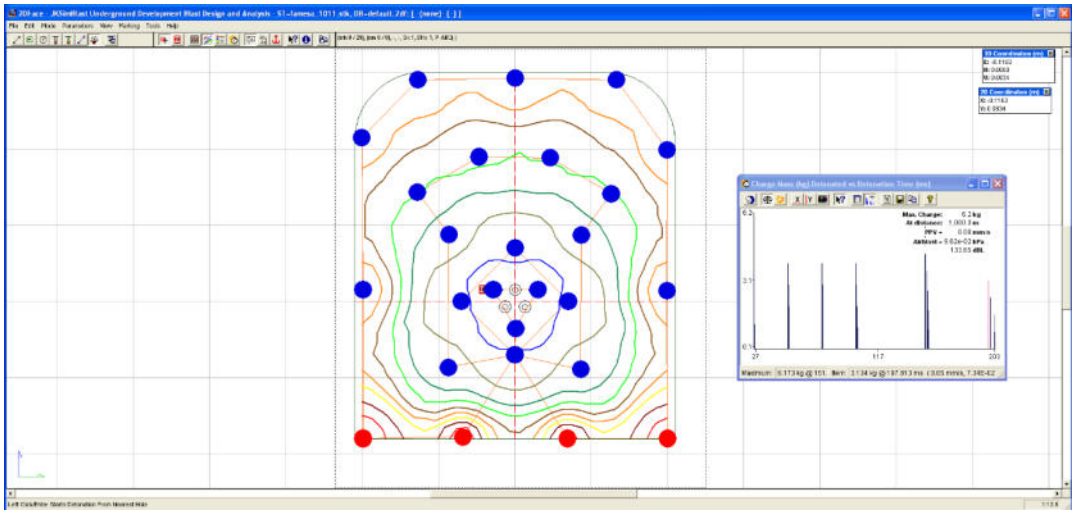
Detonación de taladros despues de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 18

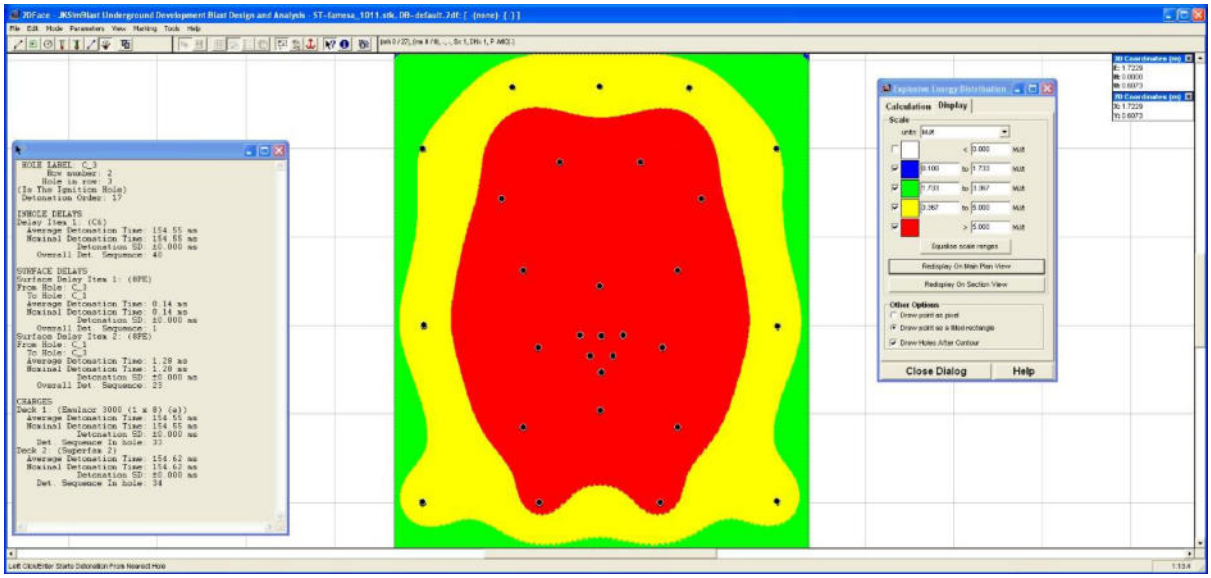
Curvas de energía después de la mejora



Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Campo de energía despues de la mejora



Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Comparación antes y después de la mejora

Se muestra una explicación comparativa técnica entre los dos cuadros de consumo de explosivos y accesorios de voladura, correspondientes a antes y después de la mejora en la Unidad Minera Magistral:

4.2.4.1 Cambios en disparos

Tabla 10

Resultados antes y después de mejora

Concepto	Antes de la mejora	Después de la mejora	Variación
Cargados (total taladros)	24	26	+2 taladros
E-3000 (kg)	5.26 kg	5.48 kg	+4.18 %
ANFO (kg)	18.77 kg	20.65 kg	+10.01 %
Fulminantes comunes	24	26	+8.3 %
Mecha de seguridad (m)	57.6 m	62.4 m	+8.3 %
C. de ignición	24	26	+8.3 %

Nota. Resultados de disparos antes y después de aplicar las mejoras

4.2.4.2 Taladros cargados

Se incrementaron de 24 a 26 taladros, particularmente en la sección de ayudas (de 10 a 12). Esto sugiere una expansión de la malla de voladura, aumentando su cobertura para mejorar la fragmentación en zonas que antes tenían carga subóptima.

4.2.4.3 Incremento en consumo de ANFO y E-3000

ANFO pasó de 18.77 a 20.65 kg (+10 %), lo cual está alineado con el mayor volumen de carga por taladro derivado del rediseño (mayor burden y espaciamiento aplicando Holmberg).

E-3000 aumentó ligeramente de 5.26 a 5.48 kg (+4.2 %), manteniéndose como la columna vertebral para la iniciación controlada de la voladura.

4.2.4.4 Mejor distribución energética

El cambio más notable es el incremento de accesorios de encendido (fulminantes comunes, cápsulas, mecha de seguridad). Este ajuste apunta a una sincronización más precisa del disparo, con retardos diseñados para controlar la energía de forma progresiva y reducir la sobreexcavación.

4.2.4.5 Interpretación técnica

El segundo cuadro refleja una optimización de la voladura conforme al método Holmberg, donde se aumentó el número de taladros y la cantidad de explosivo por sector. Este rediseño permitió:

Mejor distribución de energía

Fragmentación más eficiente

Reducción de sobrecarga en el chancador

Mayor rendimiento diario (como se refleja en el aumento de TPD y la reducción de KW-h/t y USD/t en cuadros anteriores)

4.2.4.6 Resumen

El cambio entre ambos trimestres representa una mejora en la estrategia de carga y diseño de la voladura, orientada a lograr una fragmentación más uniforme, menor tamaño de partícula (P80), y mayor productividad. La ligera inversión adicional en explosivos se compensa ampliamente por los beneficios técnicos y económicos observados tras la implementación.

4.3 Resultado del análisis con split desktop

Se adjunta resultados de la fragmentación en la GL SORPRESA Nv 8.

Figura 20

Carga pre voladura



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21

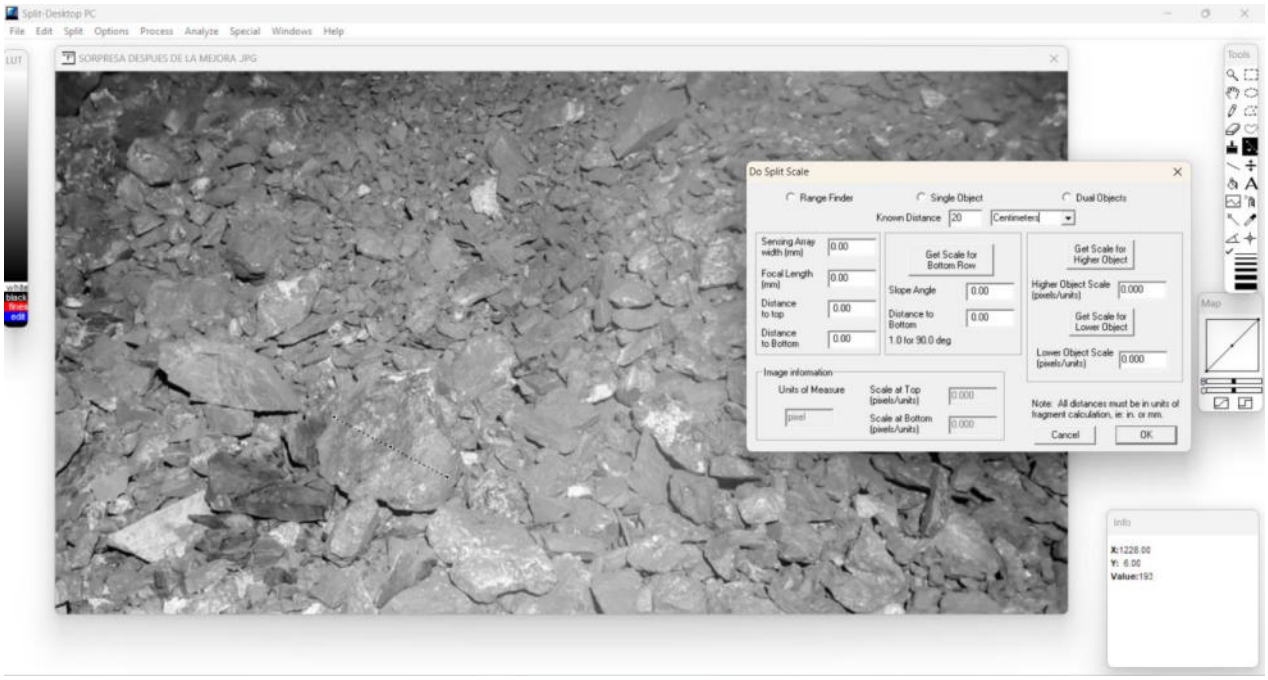
Carga post voladura



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22

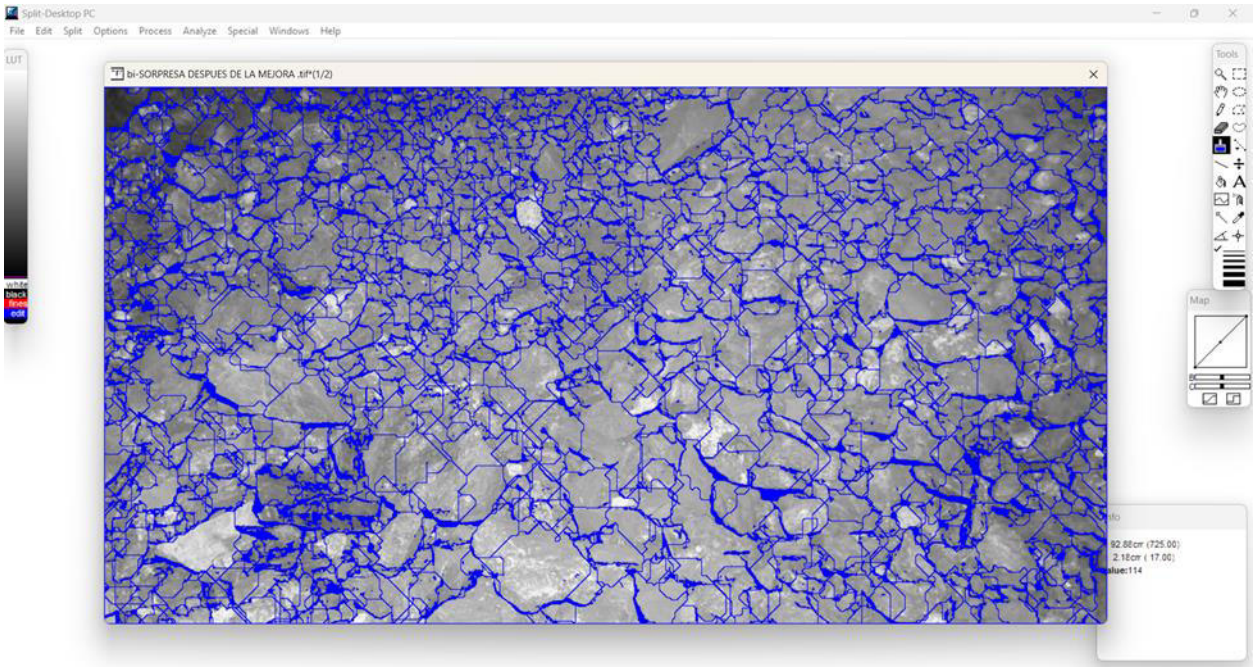
Carga post voladura en la Galeria SORPRESA Nv 8



Fuente: Elaboración propia

Figura 23

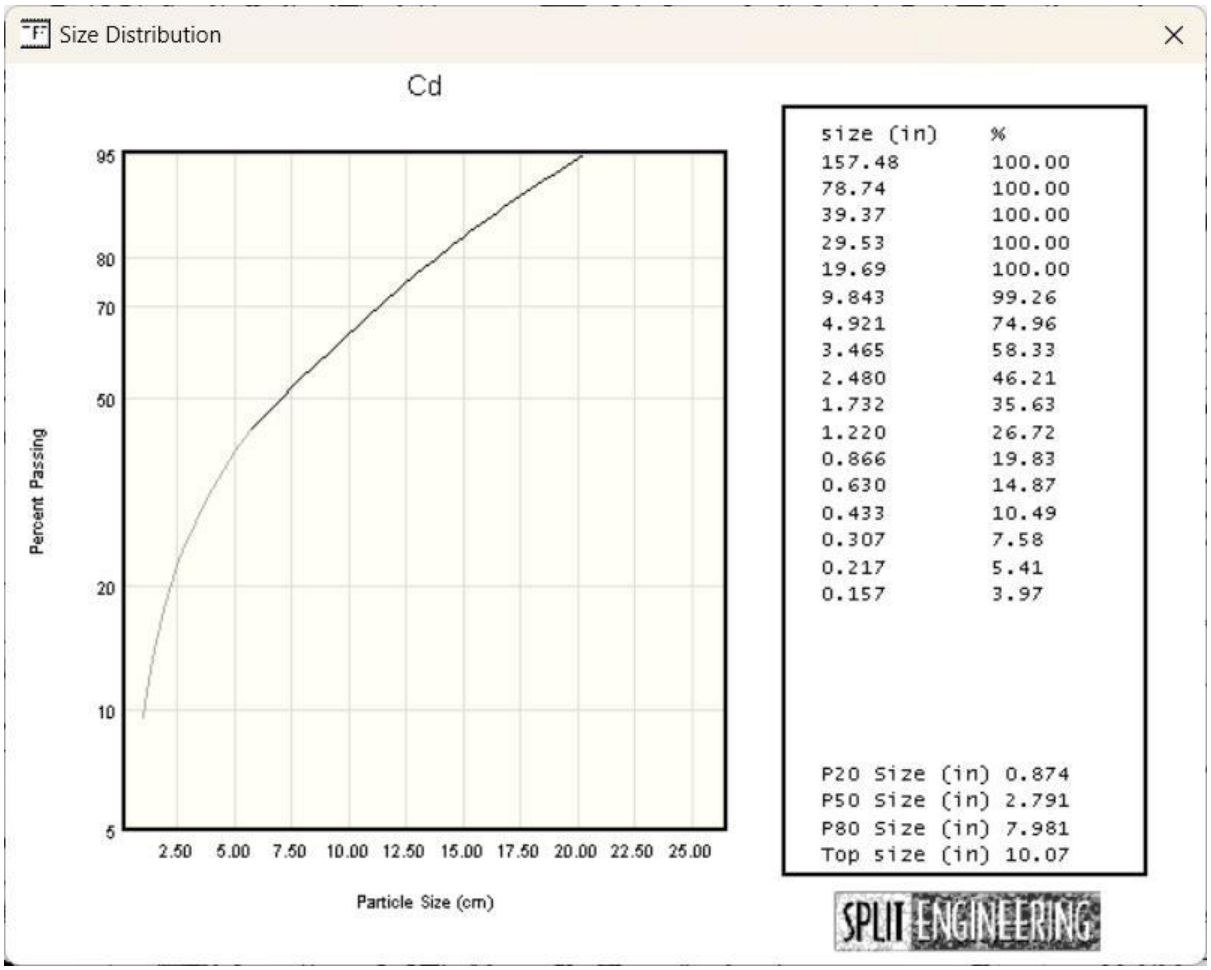
Carga post voladura en la Galeria SORPRESA Nv 8



Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Análisis de los resultados de la voladura GL SORPRESA



Fuente: Elaboración propia

4.4 Discusiones

La etapa de discusión en esta investigación se orientará a interpretar y analizar los resultados obtenidos sobre la optimización de la fragmentación en la voladura y su influencia en la eficiencia del chancado primario en la mina subterránea evaluada. Este apartado no solo contrastará los datos experimentales con la hipótesis planteada, sino que también establecerá comparaciones con estudios previos, tanto nacionales como internacionales, para identificar coincidencias, discrepancias y aportes originales del presente trabajo.

Se examinará cómo los ajustes en parámetros clave de la voladura carga explosiva, espaciamiento y secuencia de detonación repercutieron en el tamaño de fragmentación, en el rendimiento del chancado y en los indicadores operativos como la productividad, el consumo energético y los costos unitarios. Asimismo, se evaluará la relación directa entre la homogeneidad granulométrica lograda y la reducción de intervenciones correctivas en el proceso de trituración.

El análisis se sustentará en la integración de criterios técnicos, económicos y operativos, considerando además las particularidades geomecánicas del macizo rocoso en la zona de estudio. Este enfoque permitirá contextualizar los resultados dentro de la realidad minera subterránea y proponer recomendaciones prácticas que puedan ser replicadas o adaptadas en otras operaciones con características similares. Finalmente, se resaltará la relevancia de la optimización de la voladura como estrategia Mine to Mill, subrayando su contribución a la mejora integral de la cadena productiva minera.

Tabla 11

Parámetros del segundo trimestre

Mes	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Mes 1	175.33	10.06	12.00	3.002	5.34
Mes 2	174.87	9.98	11.98	3.046	5.30
Mes 3	174.97	9.99	11.98	3.046	5.32
Promedio	**175.05**	**10.01**	**11.99**	**3.031**	**5.32**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de los meses de abril, mayo y junio del 2025.

Durante el periodo evaluado, la producción diaria (TPD) se mantuvo estable, con un promedio de 175.05 toneladas por día y una variación mínima entre meses. Esta estabilidad indica que no se produjeron cambios significativos en las condiciones operativas ni en la

estrategia de voladura, lo que permite considerar estos datos como una línea base confiable para futuras comparaciones. La baja dispersión de los valores facilita la identificación de posibles mejoras cuando se implementen cambios técnicos en el proceso.

En cuanto al consumo energético, se registró un promedio de 10.01 KW-h/t, con ligeras variaciones que oscilaron entre 9.98 y 10.06 KW-h/t. Estos valores reflejan que el chancado primario requería un nivel de energía prácticamente constante, lo que sugiere que la fragmentación del material alimentado se mantuvo sin variaciones relevantes. La ausencia de reducción en el consumo de energía confirma que no se aplicaron ajustes destinados a optimizar el proceso de conminución durante este periodo.

El tamaño de fragmentación, medido como P80, presentó un promedio de 11.99 pulgadas, manteniéndose constante en los tres meses analizados. Este valor indica que el material ingresaba al chancador con granulometría relativamente gruesa, lo que podría ocasionar mayor desgaste de los equipos y un consumo energético elevado en la trituración. La uniformidad del P80 demuestra que la configuración de la voladura permaneció sin modificaciones, lo que limitó la posibilidad de mejoras en la eficiencia del chancado.

Respecto al factor de carga, se obtuvo un promedio de 3.031 kg/m³, sin variaciones significativas. Este valor sugiere que la relación entre el explosivo empleado y el volumen de roca permaneció fija, probablemente ajustada para cumplir con criterios de seguridad y control de vibraciones, pero sin una optimización específica orientada a mejorar la fragmentación del material.

Finalmente, el costo unitario de trituración se situó en un promedio de 5.32 USD/t, con diferencias marginales entre meses. Este resultado confirma que el sistema operaba en un estado de equilibrio operativo, aunque con un margen de mejora importante si se

implementaran estrategias para optimizar la fragmentación y, en consecuencia, reducir el consumo energético y los costos asociados al chancado.

Tabla 12

Parámetros del tercer trimestre

Mes	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Mes 1	199.58	8.52	8.00	3.290	4.47
Mes 2	199.52	8.52	7.97	3.300	4.50
Mes 3	199.50	8.50	7.98	3.281	4.48
Promedio	**199.53**	**8.51**	**7.98**	**3.291**	**4.49**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de los meses de julio, agosto y septiembre del 2025.

En el periodo evaluado, la producción diaria promedio (TPD) alcanzó 199.53 toneladas por día, mostrando un incremento notable respecto al periodo anterior y manteniendo una estabilidad operacional casi perfecta, con diferencias menores a 0.1 toneladas entre meses. Este resultado refleja una mejora en la capacidad productiva y consistencia en el abastecimiento de mineral hacia el chancado primario.

El consumo energético promedio (KW-h/t) fue de 8.51, evidenciando una reducción significativa frente al valor anterior (10.01 KW-h/t). Esta disminución indica una optimización en la eficiencia energética del proceso, probablemente derivada de una mejor fragmentación del material alimentado, lo que reduce la resistencia al chancado y, por ende, la demanda de energía.

En cuanto a la granulometría, el P80 promedió 7.98 pulgadas, marcando una disminución sustancial frente al promedio anterior (11.99 pulgadas). Esta reducción confirma una fragmentación más fina y controlada, que facilita el trabajo del chancador y contribuye directamente a la reducción del consumo energético y al incremento de la productividad.

El factor de carga registró un promedio de 3.291 kg/m³, ligeramente superior al del periodo anterior (3.031 kg/m³). Este aumento sugiere un ajuste en la cantidad de explosivo por volumen de roca, probablemente orientado a mejorar la liberación de energía durante la voladura y optimizar la fragmentación obtenida.

Finalmente, el costo unitario de operación se redujo a un promedio de 4.49 USD/t, lo que representa una disminución considerable respecto a los 5.32 USD/t del periodo anterior. Este descenso en los costos refleja de forma directa el efecto positivo de una mejor fragmentación y un menor consumo de energía, consolidando así una operación más eficiente y económicamente rentable.

Tabla 13

Parámetros abril 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	1/04/2025	172	10.2	12.1	2.909	5.20
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	2/04/2025	172	10.2	12.3	2.899	5.43
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	3/04/2025	178	10.1	12.0	3.006	5.25
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	4/04/2025	179	10.1	11.9	2.952	5.37
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	5/04/2025	179	10.2	12.0	2.995	5.42
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	6/04/2025	172	10.2	11.8	3.132	5.21
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	7/04/2025	172	9.9	11.8	3.124	5.42
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	8/04/2025	174	9.8	11.8	2.923	5.25
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	9/04/2025	174	10.2	11.9	2.891	5.33
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	10/04/2025	179	10.0	12.0	2.885	5.41
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	11/04/2025	174	10.1	12.1	2.891	5.43
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	12/04/2025	173	10.0	12.2	2.962	5.41
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	13/04/2025	175	10.0	12.0	2.943	5.36
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	14/04/2025	176	10.1	12.3	2.905	5.39
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	15/04/2025	178	9.8	12.0	3.071	5.26
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	16/04/2025	178	10.1	12.2	2.997	5.17
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	17/04/2025	179	10.1	12.1	3.005	5.39
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	18/04/2025	171	9.8	11.8	2.946	5.31
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	19/04/2025	173	10.2	11.7	2.961	5.37
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	20/04/2025	175	10.0	12.1	3.147	5.34
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	21/04/2025	174	10.1	11.9	2.983	5.43
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	22/04/2025	178	10.2	11.8	3.005	5.37
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	23/04/2025	177	10.2	11.7	3.148	5.42
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	24/04/2025	172	9.9	12.1	3.073	5.32
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	25/04/2025	177	10.2	12.0	3.007	5.43
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	26/04/2025	171	10.0	11.9	3.070	5.18
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	27/04/2025	177	10.2	12.2	3.063	5.25
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	28/04/2025	175	9.9	12.1	3.005	5.42
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	29/04/2025	177	10.0	12.0	3.067	5.28
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	30/04/2025	179	10.2	12.3	3.080	5.34
			Promedio	**175**	**10.1**	**12.0**	**3.002**	**5.34**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de abril del 2025.

Tabla 14

Parámetros mayo 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	1/05/2025	171	9.8	12.0	3.164	5.31
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	2/05/2025	172	10.1	12.2	3.109	5.19
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	3/05/2025	179	9.9	11.7	2.963	5.41
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	4/05/2025	172	10.1	12.1	3.150	5.22
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	5/05/2025	179	10.1	11.8	3.140	5.18
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	6/05/2025	178	10.2	12.1	3.001	5.33
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	7/05/2025	178	10.0	12.3	3.184	5.22
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	8/05/2025	176	10.1	11.9	3.004	5.22
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	9/05/2025	175	9.9	12.2	3.029	5.21
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	10/05/2025	173	10.0	11.9	3.165	5.44
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	11/05/2025	178	10.2	12.2	3.038	5.28
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	12/05/2025	171	9.8	12.0	2.956	5.35
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	13/05/2025	173	10.0	11.7	3.172	5.20
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	14/05/2025	177	9.9	11.8	3.146	5.18
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	15/05/2025	174	10.2	12.2	3.167	5.34
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	16/05/2025	173	10.0	12.2	3.067	5.33
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	17/05/2025	176	9.9	11.9	3.131	5.17
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	18/05/2025	174	10.1	11.8	3.080	5.25
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	19/05/2025	171	9.8	11.7	3.062	5.41
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	20/05/2025	174	9.8	12.3	2.942	5.31
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	21/05/2025	172	9.9	12.0	2.963	5.28
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	22/05/2025	173	10.2	12.2	2.908	5.32
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	23/05/2025	178	9.9	12.1	2.963	5.28
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	24/05/2025	176	10.0	12.2	2.906	5.26
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	25/05/2025	177	9.9	12.1	2.962	5.42
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	26/05/2025	174	9.8	11.7	2.996	5.41
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	27/05/2025	178	9.8	12.2	3.026	5.32
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	28/05/2025	177	10.1	11.7	2.964	5.38
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	29/05/2025	179	9.7	11.7	3.090	5.29
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	30/05/2025	172	10.1	11.8	2.945	5.41
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	31/05/2025	171	10.1	11.9	3.026	5.33
			Promedio	**175**	**10.0**	**12.0**	**3.046**	**5.30**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de mayo del 2025.

Tabla 15

Parámetros junio 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	1/06/2025	175	9.7	12.1	2.914	5.41
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	2/06/2025	174	10.1	11.9	3.027	5.25
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	3/06/2025	177	10.2	12.0	3.151	5.32
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	4/06/2025	172	9.8	12.3	3.061	5.37
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	5/06/2025	176	9.8	11.9	3.077	5.33
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	6/06/2025	176	10.2	11.8	2.990	5.38
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	7/06/2025	171	10.2	11.9	3.078	5.39
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	8/06/2025	177	9.9	11.9	3.098	5.28
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	9/06/2025	174	9.9	11.8	2.940	5.38
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	10/06/2025	172	10.2	11.9	3.057	5.23
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	11/06/2025	178	10.2	12.1	2.896	5.44
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	12/06/2025	173	10.0	11.9	2.978	5.44
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	13/06/2025	172	9.9	12.3	3.165	5.17
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	14/06/2025	176	9.9	12.3	3.064	5.25
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	15/06/2025	171	10.0	12.1	3.094	5.31
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	16/06/2025	177	9.9	12.1	3.044	5.44
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	17/06/2025	178	10.0	12.3	3.157	5.41
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	18/06/2025	177	10.1	11.9	3.158	5.35
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	19/06/2025	177	9.7	11.7	2.995	5.28
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	20/06/2025	178	10.1	12.3	3.090	5.42
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	21/06/2025	179	10.2	12.0	3.014	5.35
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	22/06/2025	175	10.1	12.0	3.075	5.25
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	23/06/2025	172	9.7	12.0	2.946	5.30
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	24/06/2025	174	9.8	12.1	3.163	5.18
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	25/06/2025	173	9.9	12.0	3.069	5.28
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	26/06/2025	174	10.0	11.8	3.063	5.24
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	27/06/2025	179	10.0	11.7	3.085	5.22
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	28/06/2025	174	9.8	11.7	3.023	5.40
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	29/06/2025	175	10.0	11.7	2.932	5.33
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	30/06/2025	173	10.2	12.1	2.980	5.18
			Promedio	**175**	**10.0**	**12.0**	**3.046**	**5.32**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de junio del 2025.

Tabla 16

Parámetros julio 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	1/07/2025	203	8.5	8.1	3.215	4.40
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	2/07/2025	202	8.6	8.2	3.374	4.44
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	3/07/2025	195	8.4	7.9	3.358	4.57
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	4/07/2025	198	8.6	8.1	3.149	4.45
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	5/07/2025	197	8.5	8.2	3.399	4.42
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	6/07/2025	203	8.3	7.9	3.148	4.53
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	7/07/2025	195	8.5	7.9	3.427	4.47
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	8/07/2025	196	8.6	7.8	3.315	4.39
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	9/07/2025	195	8.6	7.9	3.241	4.58
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	10/07/2025	203	8.5	7.9	3.286	4.49
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	11/07/2025	196	8.7	8.0	3.185	4.39
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	12/07/2025	204	8.7	8.0	3.344	4.48
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	13/07/2025	198	8.6	8.1	3.197	4.38
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	14/07/2025	204	8.4	8.1	3.187	4.40
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	15/07/2025	203	8.3	7.9	3.378	4.51
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	16/07/2025	195	8.5	7.8	3.367	4.57
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	17/07/2025	199	8.6	8.0	3.454	4.58
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	18/07/2025	203	8.6	8.1	3.298	4.38
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	19/07/2025	202	8.6	8.0	3.334	4.53
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	20/07/2025	204	8.6	8.0	3.412	4.52
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	21/07/2025	196	8.5	8.1	3.343	4.42
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	22/07/2025	200	8.7	8.1	3.462	4.57
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	23/07/2025	202	8.6	7.8	3.312	4.39
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	24/07/2025	198	8.5	7.9	3.177	4.38
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	25/07/2025	203	8.6	7.9	3.245	4.56
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	26/07/2025	195	8.3	7.9	3.233	4.43
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	27/07/2025	200	8.7	7.9	3.250	4.59
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	28/07/2025	199	8.5	8.1	3.239	4.44
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	29/07/2025	202	8.3	8.2	3.140	4.53
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	30/07/2025	202	8.7	8.1	3.308	4.38
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	31/07/2025	195	8.5	8.0	3.205	4.44
			Promedio	**200**	**8.5**	**8.0**	**3.290**	**4.47**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de julio del 2025.

Tabla 17

Parámetros agosto 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	1/08/2025	202	8.5	7.9	3.270	4.56
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	2/08/2025	196	8.5	7.9	3.210	4.53
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	3/08/2025	202	8.6	7.9	3.400	4.52
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	4/08/2025	197	8.4	8.0	3.310	4.45
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	5/08/2025	201	8.5	7.8	3.174	4.52
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	6/08/2025	199	8.4	8.1	3.237	4.54
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	7/08/2025	199	8.6	7.8	3.396	4.52
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	8/08/2025	196	8.7	8.1	3.246	4.42
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	9/08/2025	200	8.4	8.0	3.386	4.54
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	10/08/2025	200	8.3	7.9	3.428	4.48
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	11/08/2025	203	8.4	7.8	3.245	4.44
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	12/08/2025	197	8.6	8.0	3.462	4.45
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	13/08/2025	199	8.4	8.0	3.173	4.58
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	14/08/2025	203	8.5	8.1	3.330	4.59
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	15/08/2025	195	8.6	8.0	3.216	4.39
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	16/08/2025	200	8.4	7.8	3.349	4.58
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	17/08/2025	199	8.7	8.0	3.211	4.44
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	18/08/2025	199	8.7	7.9	3.349	4.50
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	19/08/2025	200	8.7	8.2	3.145	4.55
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	20/08/2025	202	8.5	8.1	3.253	4.43
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	21/08/2025	202	8.7	7.9	3.361	4.57
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	22/08/2025	196	8.5	7.8	3.319	4.53
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	23/08/2025	199	8.5	8.0	3.375	4.56
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	24/08/2025	196	8.4	8.1	3.347	4.43
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	25/08/2025	201	8.7	8.1	3.443	4.45
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	26/08/2025	199	8.5	8.0	3.219	4.48
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	27/08/2025	204	8.4	7.9	3.225	4.57
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	28/08/2025	202	8.4	8.2	3.384	4.50
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	29/08/2025	203	8.6	8.1	3.332	4.49
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	30/08/2025	199	8.6	8.0	3.188	4.44
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	31/08/2025	195	8.4	7.9	3.329	4.54
			Promedio	**200**	**8.5**	**8.0**	**3.300**	**4.50**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de agosto del 2025.

Tabla 18

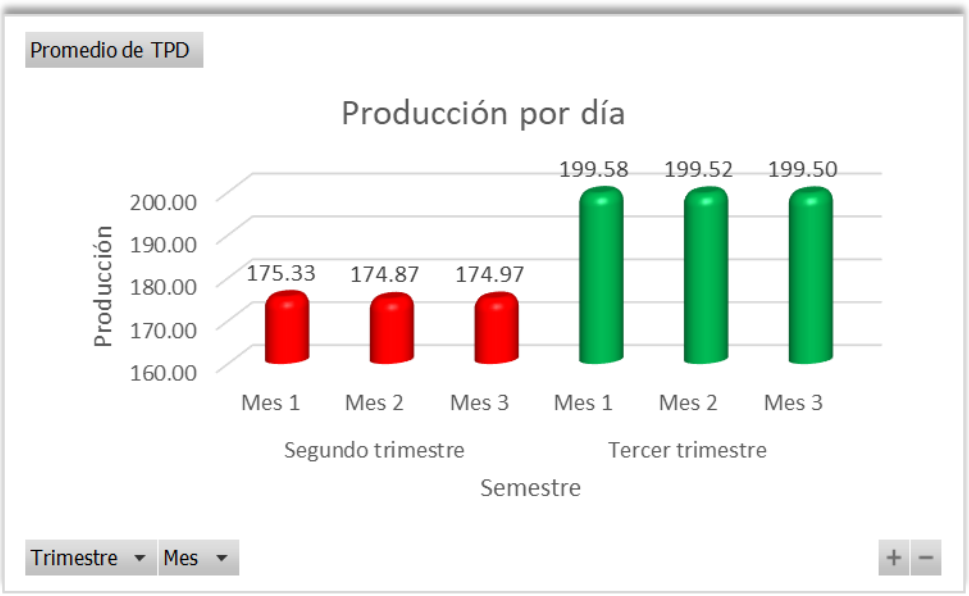
Parámetros septiembre 2025

Trimestre	Mes	Mes	Fecha	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	1/09/2025	202	8.4	8.0	3.449	4.43
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	2/09/2025	204	8.6	7.9	3.230	4.55
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	3/09/2025	203	8.6	8.0	3.293	4.47
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	4/09/2025	200	8.3	7.9	3.376	4.49
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	5/09/2025	204	8.3	7.9	3.264	4.49
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	6/09/2025	195	8.6	8.0	3.258	4.47
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	7/09/2025	199	8.7	8.0	3.316	4.47
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	8/09/2025	195	8.3	8.0	3.219	4.59
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	9/09/2025	196	8.3	8.0	3.138	4.59
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	10/09/2025	198	8.5	8.0	3.285	4.38
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	11/09/2025	203	8.4	8.1	3.154	4.51
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	12/09/2025	200	8.4	7.9	3.311	4.49
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	13/09/2025	199	8.4	8.2	3.263	4.48
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	14/09/2025	203	8.5	7.9	3.223	4.43
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	15/09/2025	198	8.4	7.8	3.376	4.58
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	16/09/2025	202	8.4	7.9	3.391	4.45
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	17/09/2025	197	8.4	7.9	3.263	4.54
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	18/09/2025	198	8.6	8.1	3.157	4.39
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	19/09/2025	196	8.6	7.8	3.344	4.38
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	20/09/2025	204	8.7	8.1	3.202	4.53
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	21/09/2025	195	8.5	8.1	3.238	4.45
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	22/09/2025	200	8.5	8.0	3.464	4.53
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	23/09/2025	202	8.7	7.9	3.462	4.45
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	24/09/2025	200	8.6	7.9	3.135	4.40
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	25/09/2025	197	8.7	8.0	3.130	4.46
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	26/09/2025	198	8.7	8.1	3.393	4.58
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	27/09/2025	195	8.5	8.1	3.215	4.57
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	28/09/2025	200	8.6	8.2	3.372	4.41
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	29/09/2025	200	8.4	8.0	3.234	4.38
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	30/09/2025	202	8.3	8.0	3.287	4.50
			Promedio	**200**	**8.5**	**8.0**	**3.281**	**4.48**

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de carga y costo de trituración de septiembre del 2025.

Figura 25

Producción por día



Nota. Producción por día de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2025.

El gráfico de producción por día (TPD) muestra una clara mejora en el rendimiento entre el segundo y el tercer trimestre.

En el segundo trimestre, representado en color rojo, la producción diaria promedio se mantuvo en valores cercanos a 175 TPD, con ligeras variaciones: 175.33 TPD en el primer mes, 174.87 TPD en el segundo y 174.97 TPD en el tercero. Estos resultados evidencian estabilidad operativa, aunque con un nivel de producción moderado.

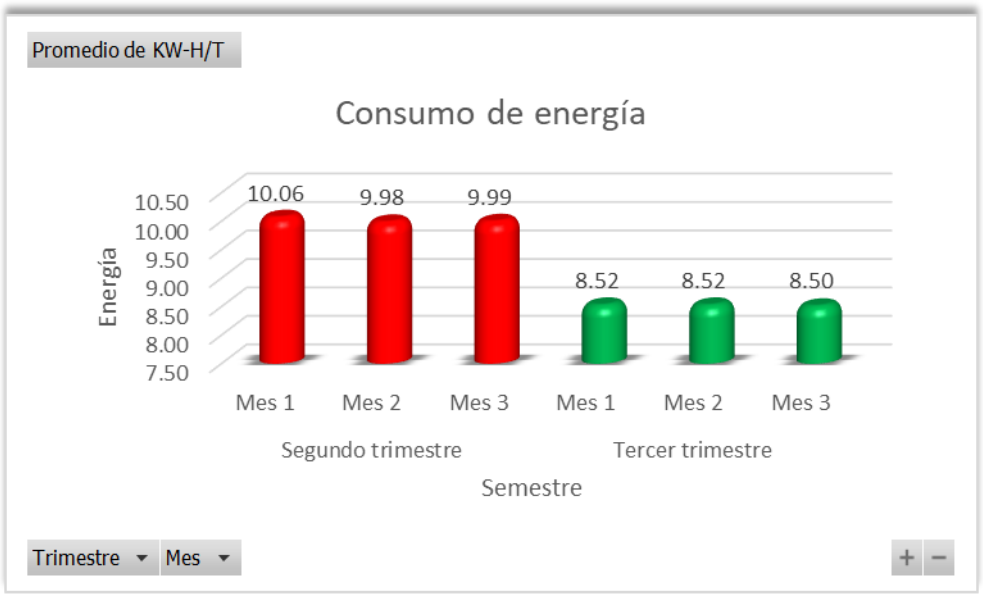
En contraste, el tercer trimestre, mostrado en color verde, refleja un incremento sustancial en la producción, alcanzando promedios cercanos a 200 TPD en los tres meses: 199.58, 199.52 y 199.50 TPD. Este aumento de aproximadamente 14% respecto al periodo anterior indica una mejora significativa en la eficiencia del proceso y en la continuidad de las operaciones.

La uniformidad de los valores en ambos trimestres sugiere que, si bien en el segundo trimestre ya existía control operativo, la optimización aplicada en el tercer trimestre permitió

elevar de forma sostenida la capacidad de procesamiento, manteniendo estabilidad y sin caídas abruptas en la producción diaria.

Figura 26

Consumo de energía



Nota. Consumo de energía de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2025.

El gráfico de consumo de energía (KW-h/T) evidencia una disminución notable en el tercer trimestre respecto al segundo.

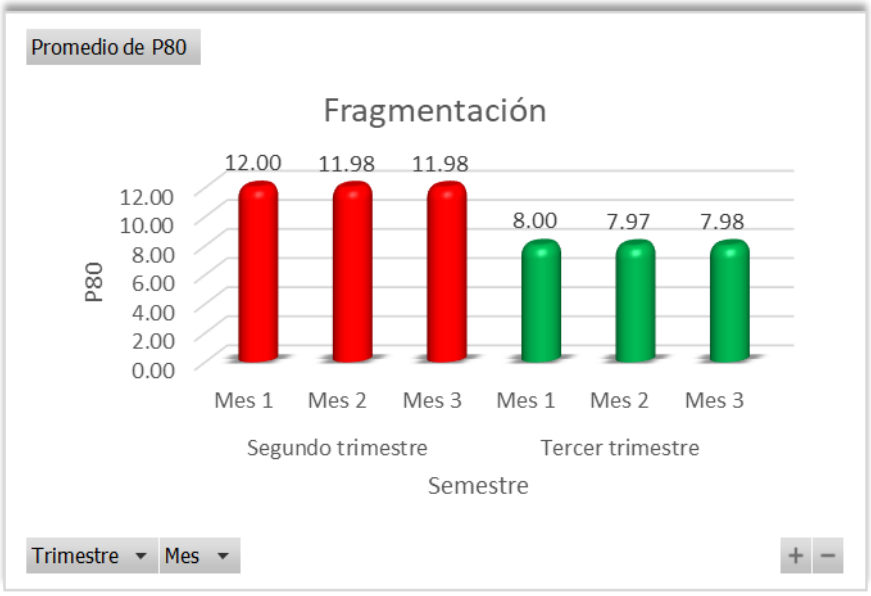
Durante el segundo trimestre (barras rojas), el consumo energético se mantuvo en valores cercanos a 10 KW-h/T, con un pico de 10.06 en el primer mes y ligeras reducciones en los meses siguientes (9.98 y 9.99). Estos niveles reflejan un consumo elevado asociado probablemente a una mayor resistencia del material o a procesos menos eficientes.

En el tercer trimestre (barras verdes), se observa una reducción significativa, estabilizándose el consumo en torno a 8.51 KW-h/T en promedio (8.52, 8.52 y 8.50 por mes). Esto representa una mejora de aproximadamente 15% en eficiencia energética, lo que sugiere optimización en la fragmentación del material y en la operación del sistema de chancado.

La consistencia de los valores en el tercer trimestre indica que los ajustes implementados no solo redujeron el consumo de energía, sino que lo mantuvieron controlado de forma sostenida, contribuyendo a menores costos operativos y a una operación más eficiente y sostenible.

Figura 27

Fragmentación



Nota. Fragmentación de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2025.

El gráfico de fragmentación (P80) refleja una mejora sustancial en el tamaño del material resultante de la voladura entre el segundo y el tercer trimestre.

En el segundo trimestre (barras rojas), los valores de P80 se mantuvieron en un rango de 11.98 a 12.00 pulgadas, lo que indica una fragmentación relativamente gruesa. Este tamaño de partícula mayor requiere más energía para su reducción en el chancado primario, impactando directamente en el consumo energético y los costos operativos.

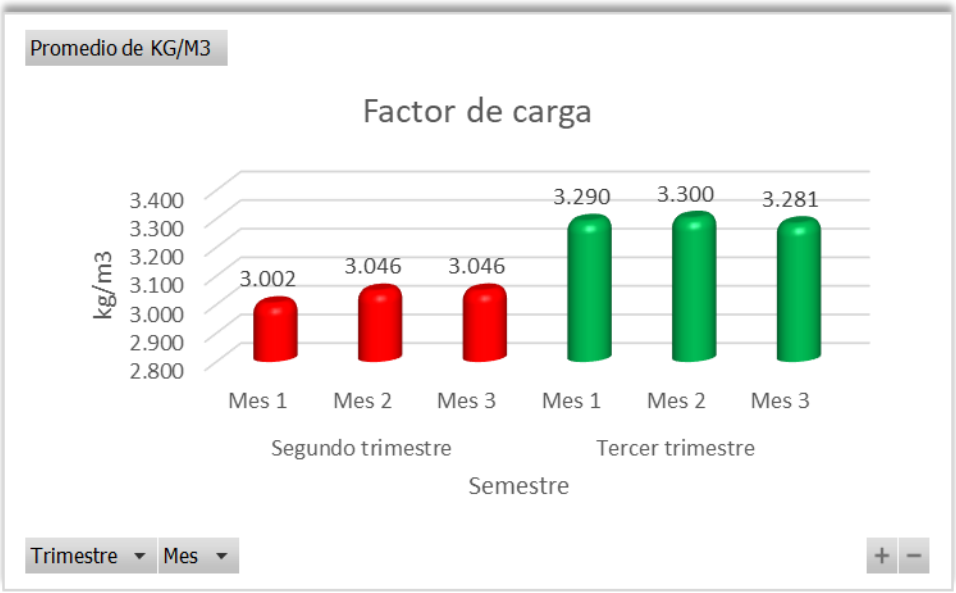
En el tercer trimestre (barras verdes), se evidencia una reducción significativa del P80, alcanzando un promedio de 7.98 pulgadas (8.00, 7.97 y 7.98 por mes). Esta disminución representa una mejora del orden del 33% en la fragmentación, facilitando el proceso de

chancado y contribuyendo a la reducción del consumo energético observado en el mismo periodo.

La consistencia de los valores durante el tercer trimestre demuestra que la optimización en los parámetros de perforación y voladura fue efectiva y sostenible, generando un material más uniforme y acorde a las especificaciones de planta, lo que repercute positivamente en la eficiencia global del proceso.

Figura 28

Factor de carga



Nota. Factor de carga de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2025.

El gráfico de factor de carga (kg/m³) muestra un incremento significativo en el tercer trimestre respecto al segundo, lo que indica una mayor cantidad de explosivo empleada por unidad de volumen de roca.

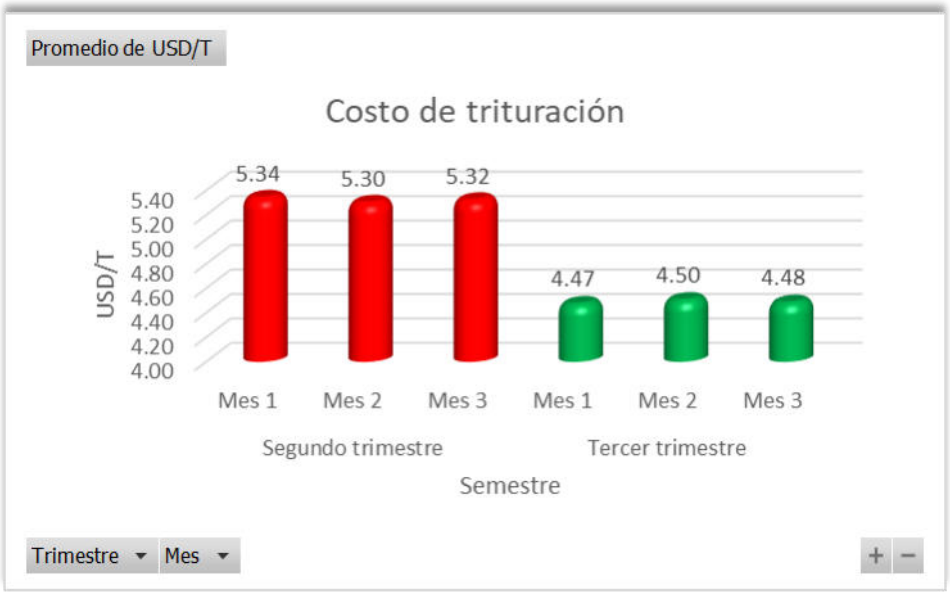
En el segundo trimestre (barras rojas), el factor de carga se mantuvo entre 3.002 y 3.046 kg/m³, evidenciando un diseño de voladura más conservador que probablemente limitaba la fragmentación del material, como se observó en los valores altos de P80.

Durante el tercer trimestre (barras verdes), el factor de carga aumentó a un rango de 3.281 a 3.300 kg/m³, con un promedio de 3.291 kg/m³. Este incremento representa aproximadamente un 8% más de carga explosiva respecto al periodo anterior. La mayor energía liberada por unidad de volumen favoreció la reducción del tamaño de fragmento, lo que se correlaciona directamente con la mejora en la fragmentación y la disminución del consumo energético registrada en el mismo periodo.

La consistencia en los valores durante el tercer trimestre sugiere que el nuevo diseño de voladura no solo fue más potente, sino también controlado, evitando sobre roturas y optimizando el rendimiento del chancado primario.

Figura 29

Costo de trituración



Nota. Costo de trituración de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2025.

El gráfico de costo de trituración (USD/T) evidencia una reducción notable en el tercer trimestre en comparación con el segundo, reflejando el impacto positivo de la optimización de los parámetros de voladura y fragmentación.

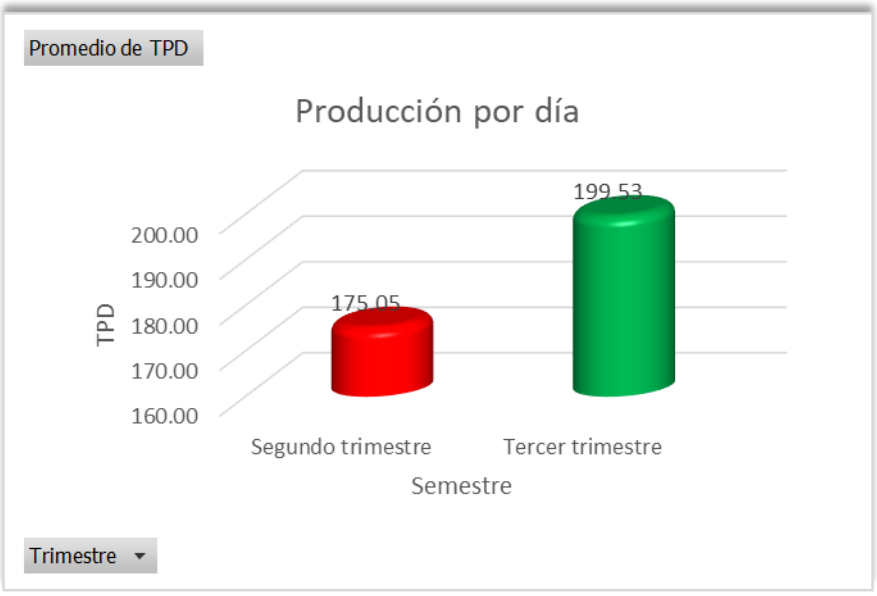
En el segundo trimestre (barras rojas), los costos se mantuvieron en un rango estrecho entre 5.30 y 5.34 USD/t, con un promedio de 5.32 USD/t. Estos valores más elevados están asociados a una fragmentación deficiente (P80 cercano a 12"), que incrementa el tiempo y energía requeridos para el chancado primario.

En el tercer trimestre (barras verdes), los costos se redujeron significativamente a un rango de 4.47 a 4.50 USD/t, con un promedio de 4.49 USD/t, lo que representa una disminución aproximada del 15.6% respecto al periodo anterior. Esta baja en el costo unitario está directamente vinculada con la mejora en la granulometría del material (P80 ≈ 8"), lo que permite un procesamiento más rápido y eficiente, reduciendo tanto el consumo energético como el desgaste de equipos.

La estabilidad de los valores durante los tres meses del tercer trimestre indica que la mejora implementada no solo fue efectiva, sino también sostenida, contribuyendo a una mayor rentabilidad en la operación.

Figura 30

Producción por día por trimestre



Nota. Producción del segundo y tercer trimestre del 2025.

El gráfico de producción por día (TPD) muestra un incremento sustancial en el tercer trimestre respecto al segundo, evidenciando el impacto positivo de las mejoras implementadas en los parámetros de voladura y fragmentación.

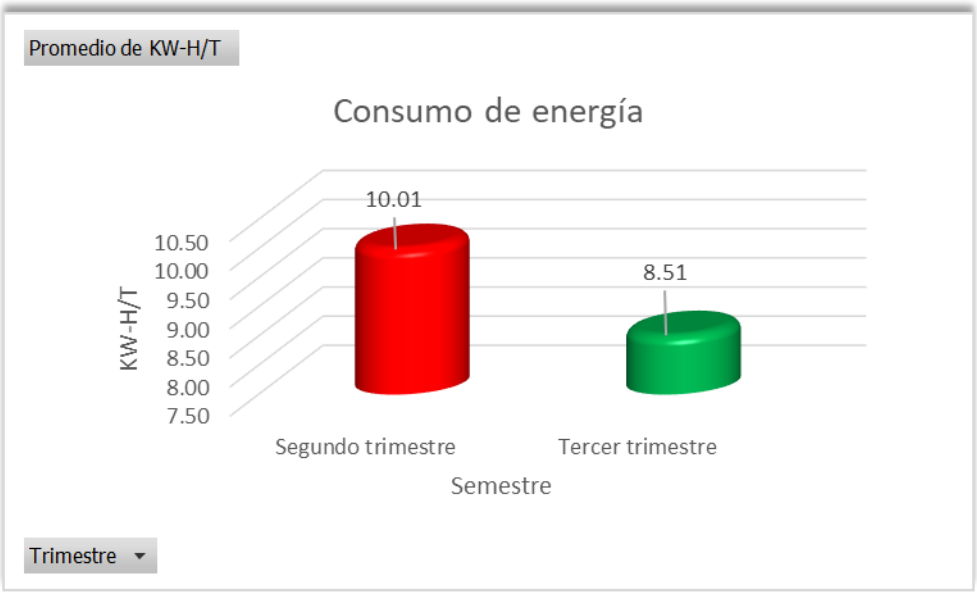
En el segundo trimestre (barra roja), la producción promedio diaria se situó en 175.05 TPD, valor que refleja limitaciones operativas vinculadas a una fragmentación deficiente y mayores tiempos de chancado primario.

En el tercer trimestre (barra verde), la producción promedio diaria aumentó a 199.53 TPD, lo que representa un crecimiento del 13.96%. Este incremento se asocia directamente a una reducción del P80, un menor consumo energético y una optimización del factor de carga, lo que permitió que el mineral ingresara al proceso de trituración con mayor uniformidad y menor resistencia al chancado.

Este cambio no solo demuestra la efectividad de la optimización realizada, sino que también evidencia una mejora sostenida en la eficiencia global de la operación, contribuyendo al incremento de la productividad y a una mayor capacidad de procesamiento sin la necesidad de ampliar la infraestructura existente.

Figura 31

Consumo de energía por trimestre



Nota. Consumo de energía del segundo y tercer trimestre del 2025.

El gráfico de consumo de energía (KW-H/T) refleja una mejora notable en la eficiencia energética del chancado primario tras la optimización de los parámetros de voladura.

En el segundo trimestre (barra roja), el consumo promedio fue de 10.01 KW-H/T, lo que indica una mayor demanda energética debido a la presencia de fragmentos de mayor tamaño y dureza, que exigían más esfuerzo de los equipos de trituración.

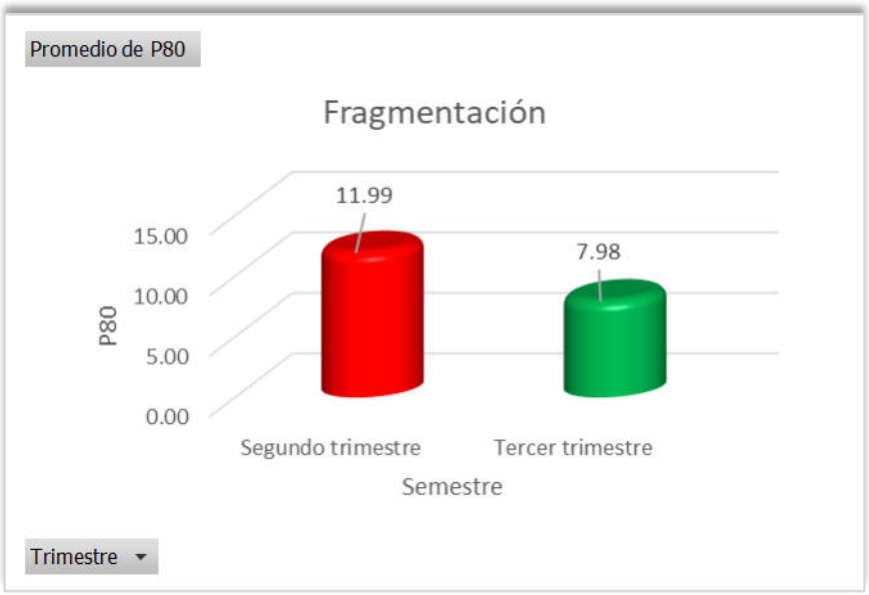
En el tercer trimestre (barra verde), el consumo promedio disminuyó a 8.51 KW-H/T, lo que representa una reducción del 14.98%. Esta mejora está asociada a una fragmentación

más adecuada del mineral (reducción del P80), que permitió un ingreso de material más fino y homogéneo al chancador, disminuyendo la resistencia al procesamiento y, por ende, el uso de energía.

Este resultado confirma que una adecuada optimización en la etapa de voladura no solo mejora la productividad, sino que también reduce costos operativos al disminuir significativamente el consumo energético por tonelada procesada.

Figura 32

Fragmentación por trimestre



Nota. Fragmentación del segundo y tercer trimestre del 2025.

El gráfico de fragmentación (P80) muestra una mejora sustancial en el tamaño del material producto de la voladura tras la implementación de las mejoras en el tercer trimestre.

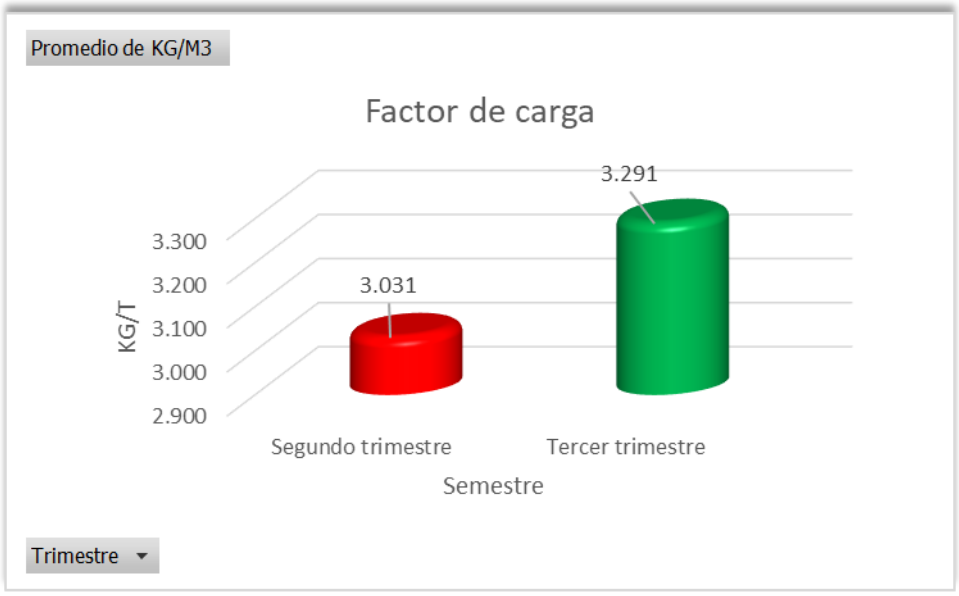
En el segundo trimestre (barra roja), el valor promedio del P80 fue de 11.99 pulgadas, indicando una fragmentación más gruesa que demandaba mayor esfuerzo y energía en el chancado primario, prolongando los tiempos de procesamiento y elevando los costos operativos.

En el tercer trimestre (barra verde), el P80 se redujo a 7.98 pulgadas, lo que representa una disminución del 33.45% respecto al periodo anterior. Esta reducción evidencia una fragmentación más fina y homogénea, que favorece el rendimiento del chancador primario al reducir la resistencia del material y mejorar el flujo de alimentación.

Esta mejora en la granulometría es uno de los factores clave que explican el aumento en la producción, la reducción del consumo energético y la disminución de costos de trituración observados en el mismo periodo.

Figura 33

Factor de potencia de trimestre



Nota. Factor de potencia del segundo y tercer trimestre del 2025.

El gráfico del factor de carga (kg/m³) refleja un incremento significativo tras la implementación de las mejoras en el tercer trimestre.

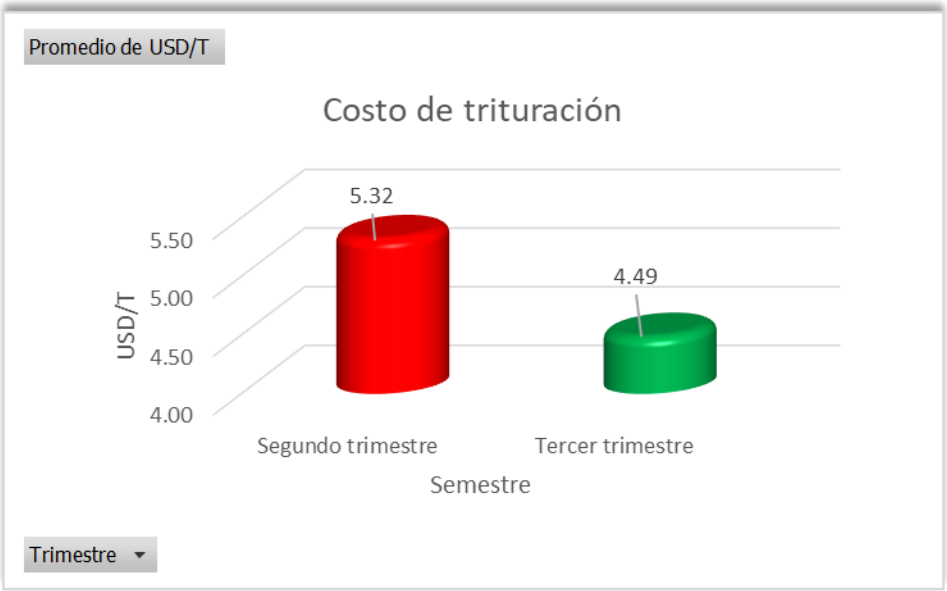
En el segundo trimestre (barra roja), el promedio del factor de carga fue de 3.031 kg/m³, lo que indica una cantidad moderada de explosivo por volumen de roca. Este valor, si bien suficiente para la fragmentación estándar, podía limitar el grado de rotura en ciertos sectores del macizo rocoso.

En el tercer trimestre (barra verde), el factor de carga aumentó a 3.291 kg/m³, lo que representa un incremento del 8.6% respecto al periodo anterior. Este aumento significa una mayor energía liberada en la voladura, permitiendo una fragmentación más eficiente y homogénea.

Este ajuste en la carga explosiva está directamente relacionado con la reducción del P80 observada en el mismo periodo, así como con el aumento en la productividad y la disminución del consumo energético en el chancado primario.

Figura 34

Costo de trituración por día



Nota. Costo de voladura del segundo y tercer trimestre del 2025.

El gráfico de costo de trituración (USD/T) evidencia una reducción sustancial tras la optimización del proceso de voladura.

En el segundo trimestre (barra roja), el costo promedio se ubicó en 5.32 USD/t, reflejando un gasto elevado asociado a una fragmentación menos eficiente, lo que incrementa el tiempo y la energía requerida en el chancado primario.

En el tercer trimestre (barra verde), el costo descendió a 4.49 USD/t, lo que representa una disminución del 15.6% respecto al periodo anterior. Esta reducción está directamente relacionada con la mejora en la granulometría (menor P80) y el aumento del factor de carga, que permitieron procesar el mineral con menor consumo energético y menos desgaste en los equipos.

Este cambio demuestra que la optimización de los parámetros de voladura no solo mejora la productividad, sino que también tiene un impacto económico directo al reducir los costos unitarios de trituración.

Tabla 19

Validación del modelo experimental

	TPD	KW-H/T	P80	KG/M3	USD/T
Mes 1	187.66	9.28	9.96	3.148	4.90
Segundo trimestre	175.33	10.06	12.00	3.002	5.34
Tercer trimestre	199.58	8.52	8.00	3.290	4.47
Mes 2	187.19	9.25	9.98	3.173	4.90
Segundo trimestre	174.87	9.98	11.98	3.046	5.30
Tercer trimestre	199.52	8.52	7.97	3.300	4.50
Mes 3	187.23	9.24	9.98	3.164	4.90
Segundo trimestre	174.97	9.99	11.98	3.046	5.32
Tercer trimestre	199.50	8.50	7.98	3.281	4.48
Total general	187.36	9.26	9.97	3.162	4.90
Variación Mes 1	13.83%	-15.30%	-33.35%	9.60%	-16.25%
Variación Mes 2	14.09%	-14.60%	-33.44%	8.36%	-15.01%
Variación Mes 3	14.02%	-14.85%	-33.38%	7.72%	-15.75%
Segundo Trimestre	175.06	10.01	11.99	3.031	5.32
Tercer Trimestre	199.53	8.51	7.98	3.291	4.49
Variación 2 vs 3 trimestre	**13.98%**	**-14.92%**	**-33.39%**	**8.56%**	**-15.67%**

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

El análisis comparativo entre el segundo y el tercer trimestre muestra mejoras significativas en todos los indicadores clave, reflejando el impacto positivo de la optimización de los parámetros de voladura.

En producción diaria (TPD), se observa un incremento del 13.98%, pasando de un promedio de 175.06 TPD en el segundo trimestre a 199.53 TPD en el tercero. Este aumento está vinculado directamente con una fragmentación más eficiente y un mayor factor de carga, lo que facilita el flujo de mineral hacia el chancado primario.

El consumo energético específico (KW-h/t) disminuyó en 14.92%, de 10.01 a 8.51, gracias a la reducción del tamaño de fragmento (P80) que exige menos esfuerzo mecánico en el chancado, optimizando así el uso de energía.

En cuanto a la fragmentación (P80), hubo una notable mejora del -33.39%, reduciéndose de 11.99 a 7.98 pulgadas, lo que evidencia un tamaño de partícula más uniforme y óptimo para el procesamiento en planta.

El factor de carga (kg/m³) aumentó un 8.56%, de 3.031 a 3.291, reflejando un ajuste en la cantidad de explosivo por volumen de roca, lo que contribuyó a obtener una granulometría más fina y consistente.

Finalmente, el costo unitario de trituración (USD/t) disminuyó en 15.67%, de 5.32 a 4.49 USD/t, resultado de la combinación de menor consumo energético, mejor fragmentación y mayor eficiencia operativa en el chancado primario.

Estos datos en conjunto confirman que la implementación de las mejoras en el tercer trimestre generó un efecto positivo integral en la productividad, la eficiencia energética y los costos operativos.

4.4.1 Discusión general

La discusión general de los resultados obtenidos evidencia que la optimización de los parámetros de voladura aplicada en el tercer trimestre generó mejoras sustanciales en la operación de chancado primario en la Unidad Minera Magistral. El incremento del 13.98% en la producción diaria (TPD) demuestra que una fragmentación controlada facilita un flujo constante y de mayor volumen de mineral hacia la planta, reduciendo cuellos de botella y aumentando la eficiencia global del proceso.

Asimismo, la reducción del 33.39% en el tamaño de fragmento (P80) confirma que el rediseño de la malla de perforación, junto con el ajuste del factor de carga, permitió obtener una granulometría más uniforme y cercana al rango óptimo requerido por el chancado primario. Esto repercutió directamente en la disminución del consumo energético específico en 14.92%, ya que un material más fragmentado requiere menor esfuerzo mecánico para su procesamiento, optimizando la demanda de energía eléctrica.

El incremento del 8.56% en el factor de carga evidencia una dosificación más precisa del explosivo, generando una energía de voladura mejor distribuida en el macizo rocoso, lo que contribuyó a alcanzar la fragmentación deseada sin provocar sobre-roturas ni desperdicio de energía. Esta optimización del uso de explosivos también se relaciona con la reducción de costos operativos y con un menor impacto ambiental asociado a la vibración y proyección de roca.

Finalmente, la disminución del 15.67% en el costo unitario de trituración es una consecuencia directa de la mejora simultánea en producción, consumo energético y fragmentación. Este resultado es consistente con lo reportado por investigaciones previas que señalan que la correcta optimización de la voladura tiene un efecto multiplicador en la

eficiencia de las etapas posteriores del proceso minero, especialmente en el chancado y molienda.

En conjunto, los resultados reafirman que la aplicación de parámetros de voladura optimizados no solo incrementa la productividad y reduce costos, sino que también mejora la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa del yacimiento. Estos beneficios integrales demuestran que la inversión en el rediseño técnico de la voladura genera un retorno tangible en corto plazo y consolida una estrategia de mejora continua en minería subterránea.

4.5 Contrastación de Hipótesis

4.5.1 Hipótesis General

HG: La optimización de los parámetros en la voladura incrementa la eficiencia en el chancado primario en la mina subterránea, mejorando la producción, reduciendo el consumo energético, disminuyendo el tamaño de fragmento, optimizando el factor de carga y reduciendo los costos de trituración.

Contraste: Los resultados confirman la hipótesis general. El rediseño de la malla de perforación y el ajuste del factor de carga incrementaron la producción diaria en 13.98% (de 175.06 a 199.53 TPD), redujeron el consumo energético en 14.92% (de 10.01 a 8.51 kW-h/t) y disminuyeron el tamaño de fragmento en 33.39% (de 11.99" a 7.98"). Asimismo, el factor de carga aumentó en 8.56% y el costo de trituración se redujo en 15.67%, evidenciando mejoras simultáneas en productividad, eficiencia energética y costos.

4.5.2 Hipótesis Específica 1

HE1: La optimización de los parámetros de voladura incrementa la producción diaria de mineral enviado al chancado primario.

Contraste: Se valida la hipótesis, ya que la producción promedio diaria aumentó de 175.06 TPD en el segundo trimestre a 199.53 TPD en el tercer trimestre, representando un incremento del 13.98%, directamente relacionado con la mejora de la fragmentación y la reducción de paradas por sobre tamaño.

4.5.3 Hipótesis Específica 2

HE2: La optimización de la voladura reduce el consumo energético específico en el chancado primario.

Contraste: La hipótesis se confirma, dado que el consumo energético promedio disminuyó de 10.01 kW-h/t en el segundo trimestre a 8.51 kW-h/t en el tercer trimestre, lo que representa una reducción del 14.92%. Esto se atribuye a la menor resistencia del material fragmentado en el proceso de trituración primaria.

4.5.4 Hipótesis Específica 3

HE3: La optimización de los parámetros de voladura disminuye el costo unitario de trituración.

Contraste: La hipótesis se valida, ya que el costo unitario de trituración bajó de 5.32 USD/t a 4.49 USD/t, equivalente a una reducción del 15.67%. Esta mejora se debe a la disminución en el consumo de energía, el aumento de la producción y la reducción de tiempo operativo requerido para procesar el mineral.

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que la optimización de los parámetros de voladura constituye una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia del chancado primario en una mina subterránea. Las modificaciones implementadas en la malla de perforación, el ajuste del factor de carga y el control del tamaño de fragmentación generaron mejoras simultáneas en la productividad, el consumo energético y los costos unitarios de operación. El análisis comparativo entre el segundo y el tercer trimestre evidenció un incremento significativo en los indicadores clave, confirmando el impacto positivo de las medidas adoptadas.

En relación con la producción diaria de mineral enviado a planta, se obtuvo un incremento del 13.98%, pasando de 175.06 TPD en el segundo trimestre a 199.53 TPD en el tercero. Este aumento se relaciona directamente con una fragmentación más controlada, que permitió un flujo constante y sin interrupciones hacia el chancado primario, reduciendo tiempos muertos y cuellos de botella en la alimentación.

Respecto al consumo energético específico, se logró una reducción del 14.92%, pasando de 10.01 kW-h/t a 8.51 kW-h/t. Este descenso se explica por la disminución del tamaño P80 en un 33.39%, lo que redujo la resistencia del mineral durante el proceso de trituración, requiriendo así menor energía para alcanzar la granulometría deseada. Esta mejora no solo repercute en la eficiencia técnica del equipo, sino que también contribuye a la sostenibilidad operativa mediante un uso más racional de los recursos energéticos.

En cuanto al costo unitario de trituración, se registró una disminución del 15.67%, pasando de 5.32 USD/t a 4.49 USD/t. La reducción en costos está directamente vinculada al incremento de la productividad y a la optimización del consumo energético, lo que permitió procesar un mayor volumen de mineral con menor gasto operativo. Este resultado confirma

que la intervención en los parámetros de voladura repercute favorablemente en la rentabilidad del proceso productivo.

En síntesis, la aplicación de técnicas de optimización en voladura no solo mejoró la fragmentación del mineral, sino que también impulsó la eficiencia global del sistema mina-planta, validando la hipótesis de que un control preciso de los parámetros de perforación y voladura puede generar beneficios económicos, técnicos y ambientales significativos.

RECOMEDACIONES

En función de los resultados alcanzados y las mejoras verificadas en la eficiencia del chancado primario, se recomienda mantener y estandarizar el diseño optimizado de la malla de perforación y voladura implementado durante el tercer trimestre. Esta estandarización debe ser parte de los procedimientos operativos de la mina, garantizando que los parámetros de burden, espaciamiento y factor de carga se mantengan dentro de los rangos que demostraron mayor efectividad en la fragmentación y el rendimiento productivo.

Asimismo, se aconseja establecer un programa de monitoreo continuo de la fragmentación, utilizando herramientas especializadas como Split Desktop para medir el P80 y la distribución granulométrica posterior a cada voladura. Este seguimiento permitirá identificar desviaciones y realizar ajustes oportunos en los diseños, asegurando la consistencia de los resultados a lo largo del tiempo.

Es recomendable también capacitar al personal de perforación y voladura en la correcta aplicación de los parámetros optimizados, enfatizando la importancia de la alineación y profundidad de los taladros, el control de la carga explosiva y la secuencia de detonación. La formación técnica constante contribuirá a minimizar errores operativos y a mantener la eficiencia lograda.

Desde el punto de vista energético, se sugiere reforzar las prácticas de control y reducción del consumo eléctrico en el chancado primario, aprovechando la mejora en la fragmentación para optimizar la operación de las chancadoras y reducir el tiempo de procesamiento por tonelada. Estas acciones no solo mantendrán el ahorro de energía alcanzado, sino que también ayudarán a cumplir con estándares de sostenibilidad ambiental.

Finalmente, se recomienda evaluar periódicamente el impacto económico de la optimización de voladuras sobre toda la cadena productiva mina-planta, incluyendo los procesos de transporte, chancado secundario y molienda. De esta forma, se podrá identificar nuevas oportunidades de mejora que potencien aún más la productividad y la rentabilidad de la operación minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, 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, Arequipa.

Ash, G. &. (2002). Blast design and analysis for underground mining. SME Transactions, 312, 189–196.

Barreto, M. (2021). Implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional para minimizar incidentes - accidentes en la mina Magistral de Huaraz de S.M.R.L. Magistral de Huaraz S.A.C. Huaraz.

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, Pasco.

Bocanegra, A. &. (2024). Diseño de un sostenimiento integral empleando shotcrete proyectado con nanosílice para la recuperación de labores subterráneas de la mina Magistral de Huaraz S.A.C. Lima.

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, Arequipa.

Chambi, A. (2024). Aplicación de la teoría de conminución para obtener una adecuada granulometría en la Unidad Minera Aquia de la Compañía Minera Magistral de Huaraz S.A.C. Huaraz: [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Condori Ccama, E. (2023). Diseño de pique inclinado con un sistema de izaje para el incremento de producción de mineral en la veta Santa en la Corporación Minera Santa Teresa Ituata E.I.R.L. Puno: Carabaya [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Universidad Nacional del Altiplano.

CORDOVA, 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, Moquegua.

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

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

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, Moquegua.

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

Gonzales, M. &. (2018). Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en Mina Esmeralda, El Teniente Codelco Chile [Tesis de licenciatura, Universidad de Las Américas]. Universidad de Las Américas, Santiago.

GUADALUPE, E. (2024). 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.

Holmberg, R. (1987). Charge calculation and design of blasting rounds. ISEE.

Huauya Huamani, C. C. (2023). Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento de labores mineras en la mina Jakama Concepción - Compañía Minera Virgen de Pauranga S.A. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Universidad Nacional de San Crist. Ayacucho.

JIMENO, C. L. (1995). Drilling and Blasting of Rocks. EEUU: A.A. Balkema.

Konya, C. J. (1990). Rock blasting and overbreak control. U.S. Department of Transportation.

LEON MORALES, F., & VIGIL CENTURION, 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, Cajamarca.

LOPEZ JIMENO, C. (1995). Drilling and Blasting of Rocks. EEUU: A.A. Balkema.

Lopez, J. &. (2013). Optimización de procesos mineros aplicando diseño de voladuras. Ingeniería de Minas, 26(2), 35–47.

Moreno, J. &. (2010). Efecto de la fragmentación del mineral sobre el rendimiento del chancado primario en minería subterránea. Revista Minería y Energía, 12(3), 45–53.

Nina, J. (2021). Evaluación técnica de parámetros de voladura para mejorar la eficiencia operativa en labores subterráneas de la U.M. Tambomayo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

Orbezo, J. (2022). Modelo de malla en perforación y voladura en la optimización de la fragmentación del avance de By Pass 140 - Nivel 7, Unidad Minera SRML Magistral de Huaraz SAC, UEA Aquia [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Universidad N. Cerro de Pasco.

PEREZ, B. (2024). 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, Huancayo.

Porta, M. &. (2025). Aplicación de la mejora continua en la extracción minera de la U.E.A - S.M.R.L. Magistral de Huaraz S.A.C. - 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Ica.

ZUÑIGA, P. (2023). Diseño de Tronaduras y su Impacto en el Costo Mina de Compañía Minera Cerro Negro. Universidad de Chile, Santiago.

Morales García, A. (2020). Diseño de malla de perforación y voladura para optimizar el avance en la rampa negativa 940 de Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Universidad Continental, Huancayo.

Romero Paucar, R. (2021). Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A. [Tesis de

licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

Ávila Gutarra, K. J. (2020). Diseño de perforación y voladura para mejorar fragmentación del mineral en mina Virgen del Rosario – U.P. Hualanyog [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Hualañayog]. Universidad Privada de Hualañayog, Ayacucho.

Ticona Roque, S. J. (2024). Aplicación del método de Holmberg para la optimización de la malla de perforación y voladura en minería en rocas del Grupo Pucará [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.

Roca Salcedo, J. G., & Salcedo Morán, F. J. (2024). Diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación del macizo rocoso, galería 9180-NV 2420, compañía minera Marsa [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Universidad Continental, Huancayo.

Flores Ramos, J. R. (2020). Optimización de costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla y el factor de carga explosiva en la Galería Santa Mónica de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura]. Universidad Nacional de Piura, Piura.

Singh, R., & Patel, A. (2021). Assessment of blast fragmentation impact on comminution efficiency in underground hard-rock mines [Tesis de maestría, University of Nottingham]. University of Nottingham, Nottingham, UK.

Chen, L., & Zhao, T. (2023). Effect of electronic delay detonators on fragmentation in high-stress underground coal mining [Tesis de maestría, University of Queensland]. University of Queensland, Brisbane, Australia.

López, P., & García, C. (2024). Integrated blast-to-crush approach in underground platinum mining: a case study using image-based fragment analysis [Tesis de maestría, University of Johannesburg]. University of Johannesburg, Sudáfrica.

Orbezo, J. (2022). Modelo de malla en perforación y voladura en la optimización de la fragmentación del avance de By Pass 140 – Nivel 7, Unidad Minera SRML Magistral de Huaraz SAC [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.

Heredia Saavedra, Y. J. (2024). Implementación del modelo matemático Roger Holmberg para optimizar la malla de perforación y voladura en el tajo 048, Nivel 8, mina Aquia – SMRI Magistral de Huaraz [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.

Carlson Software. (2023). Split Desktop user manual.

Gonzales, M., & Rivera, J. (2018). Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en Mina Esmeralda. Universidad de Las Américas.

Holmberg, R. (1982). Charge calculation and hole coupling in confined blasting. International Society of Explosives Engineers.

ISEE. (2011). Blasters' Handbook (18th ed.). International Society of Explosives Engineers.

Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., & Carcedo, F. J. A. (2013). Drilling and blasting of rocks (3rd ed.). Taylor & Francis.

Koleini, M. H., Monjezi, M., & Farsangi, M. A. (2020). Energy consumption analysis in crushing and grinding processes. Journal of Mining Science, 56(4), 785-793.

Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). Rock blasting and overbreak control. U.S. Department of Transportation.

McKenzie, C. (2020). Open pit blast design and burden optimization. Mining Engineering Review, 75(3), 38–45.

Ocampo, J. L. (2019). Diseño de mallas de perforación y voladura en minería subterránea. Universidad Nacional de Ingeniería.

Ouchterlony, F. (2016). A review of fragmentation models in blasting. Fragblast, 20(1), 1–27.

Pérez, A., & Castaño, L. (2015). Técnicas de iniciación en voladuras modernas. Revista Minera Andina, 42(2), 21–30.

Sánchez, H., & Rojas, F. (2020). Optimización de procesos mineros. Revista de Ingeniería de Minas del Perú, 101(2), 112–123.

Siddiqui, M. A., & Ali, M. (2017). Blasting pattern design and evaluation of results of bench blasting in open-pit mines. International Journal of Mining Science and Technology, 27(3), 577–583.

Valenzuela, C. (2021). Análisis granulométrico post-voladura utilizando Split Desktop en minería subterránea. Tesis de licenciatura, Universidad de Chile.

Wills, B. A., & Finch, J. (2016). Wills' Mineral Processing Technology (8th ed.). Elsevier.

ANEXOS

Tabla 20 *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 influye la optimización de la fragmentación en la voladura sobre la eficiencia y los costos operativos en el chancado primario de una mina subterránea?	Optimizar la fragmentación en la voladura para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos en el proceso de chancado primario en una mina subterránea.	La optimización de los parámetros de voladura y la mejora en la calidad de la fragmentación resultante influirán positivamente en la eficiencia del proceso de chancado primario, reduciendo los costos operativos y mejorando la productividad y el rendimiento energético en una mina subterránea.	• Parámetros de Voladura.	• Carga explosiva • Espaciamiento entre perforaciones • Secuencia de detonación.	• Tamaño de la carga explosiva (kg) • Distancia entre perforaciones (m) • Orden de la secuencia de detonación
2. Interrogantes específicas	2. Objetivos específicos	2. Hipótesis específica	2. Variable dependiente	2. Variable dependiente	2.Variable dependiente

• ¿Cuál es el impacto de los parámetros de voladura (carga explosiva, espaciamiento y secuencia de detonación) en el tamaño de los fragmentos resultantes y su efecto en el chancado primario? • ¿Cómo afecta la variabilidad en la fragmentación de la roca volada a la productividad y consumo energético en el proceso de chancado? • ¿De qué manera puede una fragmentación más uniforme contribuir a la reducción de costos operativos y al mantenimiento en la etapa de chancado primario?	• Analizar el efecto de los parámetros de voladura, como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, en el tamaño de fragmentación y su influencia en el rendimiento del chancado primario. • Evaluar el impacto de la calidad de la fragmentación en la productividad y el consumo energético en la etapa de chancado primario. • Identificar mejoras en la fragmentación que permitan reducir costos operativos y optimizar el mantenimiento del equipo en el chancado primario.	• Los parámetros de voladura, como la carga explosiva, el espaciamiento y la secuencia de detonación, afectan de manera significativa el tamaño de los fragmentos resultantes, lo cual influye directamente en la eficiencia del chancado primario. • La variabilidad en el tamaño de los fragmentos de roca resultantes de la voladura tiene un impacto negativo en la productividad y aumenta el consumo energético durante el proceso de chancado primario. • Una fragmentación más uniforme mejora la eficiencia del chancado primario, lo que contribuye a la reducción de los costos operativos y optimiza el mantenimiento de los equipos involucrados en el proceso.	Eficiencia en el Chancado Primario.	• Productividad • Consumo energético. • Calidad de la fragmentación.	• Toneladas procesadas por hora (t/h) • Consumo energético por tonelada (kWh/t) • Distribución granulométrica de los fragmentos

Nota: Elaboración Propia

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 : JHEYSON SMITH RIVERA SILVA.
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 74313784
Correo electrónico : jheysonrivero2000@gmail.com
Teléfono/Celular : 983125068

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 EN LA VOLADURA, PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL CHANCADO PRIMARIO EN UNA MINA SUBTERRÁNEA"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html): 2.07.05 - Minas y Procesamiento de Minerales
c) Fecha de publicación: 15/12/2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : MARCOS LUIS QUISPE PEREZ.
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00481742
c) ORCID : 0000-0002-8661-3806

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74313784
NOMBRES Y APELLIDOS : JHEYSON SMITH RIVERA SILVA

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 : 74313784
NOMBRES Y APELLIDOS : JHEYSON SMITH RIVERA SILVA
FECHA : 09/06/2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

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

Yo, **Jheyson Smith Rivera Silva**, bachiller de la Escuela Profesional de: **Ingeniería de Minas**, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº **74313784**, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado **"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LA VOLADURA, PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL CHANCADO PRIMARIO EN UNA MINA SUBTERRÁNEA".**

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,09 de Junio del 2026



Huella digital

Nombres y Apellidos: **Jheyson Smith Rivera Silva.**
DNI: **74313784**

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

Jheyson Smith Rivera Silva

"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LA VOLADURA, PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL CHANCADO PRI...

revisar
revision
Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3546769194

Fecha de entrega
22 abr 2026, 10:40 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
22 abr 2026, 10:56 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
_OPTIMIZACIÓN_DE_LOS_PARÁMETROS_EN_LA_VOLADURA_PARA_INCREMENTAR_LA_EFICIENCIA_....pdf

Tamaño del archivo
4.1 MB

112 páginas

22.842 palabras

127.733 caracteres

Dr. Marcos Luis Quispe Perez
ASESOR:

19% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

16% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
12% 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

16% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
12% 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	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María 4%
2	Internet	repositorio.unc.edu.pe 4%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Moquegua 1%
4	Internet	repositorio.continental.edu.pe 1%
5	Internet	alicia.concytec.gob.pe <1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca <1%
7	Internet	documents.mx <1%
8	Internet	www.coursehero.com <1%
9	Trabajos del estudiante	uncedu <1%
10	Internet	hdl.handle.net <1%
11	Internet	repositorio.unp.edu.pe <1%

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

13 Trabajos del estudiante
Universidad Continental <1%

14 Internet
repositorio.unamba.edu.pe <1%

15 Internet
repositorio.unsch.edu.pe <1%

16 Internet
repositorio.unica.edu.pe <1%

17 Internet
fdocuments.ec <1%

18 Internet
dspace.unitru.edu.pe <1%

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

20 Trabajos del estudiante
Universidad Cesar Vallejo <1%

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

22 Trabajos del estudiante
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC <1%

23 Internet
renati.sunedu.gob.pe <1%

24 Internet
repositorio.undac.edu.pe <1%

25 Trabajos del estudiante
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas <1%

26 Internet
repositorio.uancv.edu.pe <1%

27 Internet
repositorio.unasam.edu.pe <1%

28 Internet
repositorio.uss.edu.pe <1%

29 Publicación
Madanda, Samuel Alpheus. "Effects of Stemming and Timing on Rock Fragmentat... <1%

30 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo <1%

31 Internet
repositorio.unfv.edu.pe <1%

32 Internet
repositorio.unap.edu.pe <1%

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

34 Publicación
JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACI... <1%

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

36 Internet
repositorio.unsaac.edu.pe <1%

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

38 Internet
repositorio.autonoma.edu.pe <1%

39 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac <1%

40 Publicación
"Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control", Spri... <1%

41 Trabajos del estudiante
Universidad Alas Peruanas <1%

42 Trabajos del estudiante
Universidad Internacional de la Rioja <1%

43 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion <1%

44 Internet
idoc.tips <1%

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

46 Internet
repositorio.upla.edu.pe <1%

47 Trabajos del estudiante
uninavarra <1%

48 Trabajos del estudiante
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez <1%

49 Internet
exactitudeconsultancy.com <1%

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

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

52 Internet
www.slideshare.net <1%

53 Publicación
Barba Vera, Ruth Genoveva. "Metodología basada en políticas de QoS en SDN par... <1%

54 Trabajos del estudiante
Universidad Privada del Norte <1%

55 Internet
core.ac.uk <1%

56 Internet
diariodeguanajuato.blogspot.com <1%

57 Internet
repositorio.unu.edu.pe <1%

58 Internet
unfccc.int <1%

59 Internet
wiki2.org <1%

60 Internet
www.proz.com <1%

61 Internet
www.web.facpya.uanl.mx <1%

62 Internet
(11-3-02) http://148.244.220.100/latam/business/casestudies/moet.asp <1%

63 Publicación
Osbaldo Washington Turpo Gebera, Osbaldo Turpo-Gebera. "Concepciones y prác... <1%

64 Internet
colombia.acambiode.com <1%

65 Internet
economia.gob.mx <1%

66 Internet
repositorioacademico.upc.edu.pe <1%

67 Internet
turcon.blogia.com <1%

68 Trabajos del estudiante
uni <1%

69 Internet
curioseandito.blogspot.com <1%

70 Internet
cybertesis.unmsm.edu.pe <1%

71 Internet
iicanet.org <1%

72 Internet
issuu.com <1%

73 Internet
repositorio.ulc.edu.pe <1%

74 Internet
www.altadis.com <1%

75 Internet
www.eurosur.org <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 444-2026-CU

Moquegua, 30 de junio de 2026

VISTOS:

La Resolución de Consejo de Facultad N° 282-2026-CF-FAIN-UNAM, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías; el Informe N° D0349-2026-UNAM-R-FAIN, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías, el Informe Técnico N° D0083-2026-SG-GT, emitido por la Especialista Administrativo II de Grados y Títulos; el Informe N° D0309-2026-UNAM-R-SG, emitido por el Secretario General de la UNAM; el Proveído N° 3082-2026-R, emitido por el señor Rector; el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 28-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 24 de junio de 2026; 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, mediante Resolución de Asamblea Universitaria N° 006-2026-AU, de fecha 20 de abril de 2026, se aprobó la incorporación de la Disposición Transitoria N° 22 al Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, referido a la excepción para la emisión de los grados académicos de bachiller y títulos profesionales consignando la denominación de "Facultad de Ingeniería y Arquitectura";

Que, mediante la Resolución de Consejo de Facultad N° 282-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 12 de junio de 2026, el Consejo de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la modalidad de Tesis, a un (01) Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle: JHEYSON SMITH RIVERA SILVA;

Que, mediante Informe N° D0349-2026-UNAM-R-FAIN, de fecha 16 de junio de 2026, la Decana de la Facultad de Ingenierías, remite a Secretaría General la Resolución de Consejo de Facultad N° 282-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 12 de junio de 2026;

Que, mediante Informe Técnico N° D0083-2026-SG-GT de fecha 17 de junio de 2026, e Informe N° D0309-2026-UNAM-R-SG de fecha 18 de junio de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas a favor del Bachiller: JHEYSON SMITH RIVERA SILVA de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apto 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, 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 24 de junio de 2026;

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 N° 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;

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

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO

N° 444-2026-CU

Moquegua, 30 de junio de 2026

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° 28-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 24 de junio de 2026, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de Tesis al Bachiller: JHEYSON SMITH RIVERA SILVA, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

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 al Bachiller

- **JHEYSON SMITH RIVERA SILVA**

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS.**

Por la modalidad de TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General de la UNAM, 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 SECRETARIA GENERAL

MTRO. JOSE LUIS PACHECO CACERES
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA,
VRI,
FAIN,
EPIM,
OyT
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