UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APLICANDO JK SIMBLAST EN LA REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA EN GALERIA 1900 EN LA EMPRESA MINERA CAMBIO S.A.

PRESENTADO POR:

Bach. Edwin Fidel Flores Checalla

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

01
-13-

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

INGENIERIA DE MINAS

Folio N° 082

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N° 321-2025-CF-FAIM-UNAM

Fecha: 23-12-2025

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

" OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APLICANDO JK SIMBLAST EN LA REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA EN GALERIA 1900 EN LA EMPRESA MINERA CAMBIO S.A "

Bachiller: EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA

Asesor Principal: DR. CHRIST JESUS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Dieciséis (16) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:10 horas, del 23 de DICIEMBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Msc AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
MGTR. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
DR. JORGE LUIS TOMÁS FLORES SOLIS
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Edwin Fidel Flores Checalla
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres por su esfuerzo constante y por darme su apoyo incondicional y la fortaleza necesaria en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis docentes por los conocimientos académicamente impartidos durante el proceso de formación como ingeniero de mimas.

A mi asesor al Dr. Christ Jesus Barriga Paria cuyas perspicaces observaciones y constructivos comentarios han sido cruciales para la consolidación de este trabajo.

A la empresa El Cambio S.A.C., quien me brindo la valiosa oportunidad de realizar mis prácticas profesionales la que contribuyó significativamente a mi formación tanto académica como profesional.

RESUMEN

La actual investigación que lleva como título: “Optimización del diseño de malla y voladura aplicando JK SIMBLAST en reducción de la sobrerotura en la Galería 1900 en la empresa minera Cambio S.A.”, tuvo como objetivo general Determinar la influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A., así mismo en el diseño metodológico se utilizó investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental; con una población conformada por todos los frentes de minados de avances en zonas de profundización en la Empresa Cambio S.A., también los resultados al optimizar la malla de perforación y voladura tuvieron impacto en la sobrerotura la cual se redujo 50% y la distancia excedida se redujo 52%, estos dos resultados evidencian un mejor control en la energía y geometría en el disparo, también el factor de carga disminuyo 8.2% esto indica un mejor uso del explosivo, también se redujo el burden 10% y espaciamiento 17% indicando una fragmentación más uniforma y precisa, concluyendo principalmente que la aplicación de JK Simblast permitió optimizar los parámetros de perforación y voladura en la galería 1900, logrando reducir significativamente la sobrerotura en el frente de minado de la empresa minera Cambio S.A.

Palabras clave: JK SIMNLAST, galería, voladura, perforación, sobrerotura.

ABSTRACT

The current research, entitled “Optimization of the drilling and blasting pattern design applying JK SIMBLAST to reduce overbreak in Gallery 1900 at the Cambio S.A. mining company,” had the general objective of determining the influence of optimizing the drilling and blasting pattern design by applying JK SIMBLAST on reducing overbreak in mining faces at the Cambio S.A. mining company. The methodological design employed applied research at an explanatory level and with an experimental design. The study population consisted of all mining faces advancing in deepening zones at the Cambio S.A. company. The results of optimizing the drilling and blasting pattern also impacted overbreak, reducing it by 50%, and the exceeded distance was reduced by 52%, these two results demonstrate improved control over energy and blast geometry. The charge factor also decreased by 8.2%, indicating better explosive utilization. Additionally, the burden was reduced by 10% and spacing by 17%, indicating more uniform and precise fragmentation. In conclusion, the application of JK Simblast optimized drilling and blasting parameters in gallery 1900, significantly reducing overbreak at the Cambio S.A. mining company's face.

Keywords: JK SIMNLAST, gallery, blasting, drilling, overbreak.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I. 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1 Descripción y formulación del problema general 2

1.2 Formulación del problema de investigación 3

1.2.1. Interrogante general 3

1.2.2. Interrogante específicas 3

1.3 Objetivos 3

1.3.1. Objetivo general 3

1.3.2. Objetivo específico 3

1.4 Justificación e importancia 4

1.4.1. Teórica 4

1.4.2. Práctica 4

1.4.3. Metodológica 4

1.5 Hipótesis 5

1.5.1. Hipótesis general 5

1.5.2. Hipótesis específica 5

1.6. Variables 5

1.6.1. Variable independiente 6

1.6.2. Variable dependiente 6

CAPÍTULO II. 8

MARCO TEÓRICO 8

3.1. Antecedentes del problema 8

3.1.1. Internacionales 8

3.1.2. Nacionales 11
3.1.3. Local 20
3.2. Bases teóricas 21
3.2.1. Ubicación y acceso 21
3.3. Aspectos geológicos 25
3.3.1. Geología regional 25
3.3.1.1. Estratigrafía 25
3.3.2. Geología local 26
3.3.2.1. Rocas ígneas 26
3.3.2.2. Rocas metamórficas 28
3.3.3. Geología económica 28
3.3.3.1. Depósitos de oro contenido en cuerpos vetiformes 29
3.3.4. Optimización del diseño de malla de perforación y voladura 30
3.3.4.1. Perforación 30
3.3.4.2. Voladura 30
3.3.4.3. Burden 31
3.3.4.4. Espaciamiento 31
3.3.4.5. Secuencia de disparo y tiempos de retardo 32
3.3.5. Frentes de minado 34
3.3.5.1. Impacto de la sobrerotura 35
3.3.5.2. Cumplimiento del diseño 35
3.3.6. Simulación con JK SimBlast 35
3.4. Definición de términos 37
CAPÍTULO III. 39
METODOLOGÍA 39

4.1. Tipo y nivel de investigación 39
4.1.1. Tipo de investigación 39
4.1.2. Nivel de investigación 39
4.2. Diseño de investigación 39
4.4. Población y muestra 40
4.4.1. Población 40
4.4.2. Muestra 40
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 41
4.5.1. Técnicas de recolección de información 41
4.5.1.1. Técnica de recolección del análisis documental 41
4.5.1.2. Técnica del Fichaje. 41
4.5.2. Instrumentos de recolección de datos 41
4.5.2.1. Reportes e informes 41
4.5.2.2. Fichas de Investigación 41
4.6. Validación y confiabilidad de los instrumentos 42
4.7. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 42
CAPÍTULO IV 45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
4.1.1 Evaluación geomecánica de la Galería 1900 46
CAPÍTULO V. 66
CONCLUSIONES 66
VI. RECOMENDACIONES 68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69
VIII. ANEXOS 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano de ubicación. 23
Figura 2 Secuencia de disparo. 33
Figura 3 Frente de avance. 34
Figura 4 Galería 1900 46
Figura 5 Comparativo en sobrerotura 49
Figura 6 Comparativo en distancia excedida 49
Figura 7 Diseño de malla Inicial Galería 1900 51
Figura 8 Malla de perforación inicial perforada en campo en la galería 1900 53
Figura 9 Rediseño de malla de perforación y voladura aplicando el software JK SIMBLAST 2D Face. 55
Figura 10 Malla ejecutada en campo después de aplicar Jk Simblast 57
Figura 11 Comparativo de parámetros ante y después de aplicar el software JK SIMBLAST 59

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Operacionalización de variables. 7
Tabla 2 Coordenadas UTM de la ubicación de la empresa minera cambio S.A. 22
Tabla 3 Accesibilidad desde lima a la Empresa Minera. 24
Tabla 4 Accesibilidad desde Moquegua a la Empresa Minera. 24
Tabla 5 Características generales Galería 1900 46
Tabla 6 RMR galería 1900 46
Tabla 7 Análisis comparativo 48
Tabla 8 Resultados antes de aplicar JK SIMBLAST (Galería 1900) 50
Tabla 9 Número de taladros antes de aplicar JK simblast 52
Tabla 10 Resultados obtenidos en la aplicación de JK SIMBLAST 54
Tabla 11 Recapitulación de los nuevos componentes del diseño de malla en la galería 1900 56
Tabla 12 Análisis comparativo de resultados iniciales y finales al aplicar el JK SIMBLAST (Galería 1900) 57

INTRODUCCIÓN

La minería es un sector muy importante en el Perú y un pilar fundamental del desarrollo económico, este representa aproximadamente el 10% del PIB nacional y más del 60% de las exportaciones en su totalidad, es así que contribuye directamente a la generación de empleo en la población del Perú (Peru21, 2024). Las mineras abarcan operaciones desde la pequeña escala hasta gran escala y están basadas en técnicas de perforación y voladura, y otras como arreo, transporte y posesos de minerales para luego ser refinados. Estas actividades presentan importantes desafíos para la industria minera, siendo la perforación y voladura uno de los problemas más frecuentes, lo que conlleva a tener altos costos.

La sobrerotura perjudica directamente la estabilidad de las labores, aumenta el consumo de explosivos y las necesidades de sostenimiento, prolonga los ciclos de extracción y genera un túnel irregular que reduce la eficiencia de la circulación de aire. Trayendo como consecuencia el aumento de los costos operativos y así disminuyendo la productividad y esto a su vez se afectan a los cronogramas de la mina (Langefors y Kihlström, 1963). Ante esta problemática es importante implementar soluciones de ingeniería o aplicar tecnologías que optimicen el diseño del patrón de perforación y voladura para minimizar los impactos negativos que conlleva realizarla, el presente estudio es muy importante porque se aplicara software JK SIMBLAST como herramienta de modelamiento para mejorar la precisión del diseño de voladura en frentes de avance permitiendo optimizar parámetros como burden, espaciamiento y factor de carga para mejorar el contorno de las labores en la empresa minera.

El problema general de la investigación se centra en determinar cómo optimizar el diseño de malla y voladura aplicando JK SIMBLAST para reducir la sobrerotura en los frentes de avance de la unidad minera Cambio S.A.

CAPÍTULO I.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general

La perforación y voladura es una de las actividades más importantes de la minería, es por ello por lo que una planificación inadecuada puede provocar resultados indeseables o desfavorables, como fragmentación insuficiente o inadecuada, protuberancias en el macizo rocoso, vibraciones del terreno y valores de voladura que superan los estándares de calidad (Muji et al., 2022).

La Empresa Minera Cambio S.A. de carácter subterráneo viene teniendo dificultades en los frentes de minado los cuales son muy importantes ya que a futuro son los medios por donde se reconocen las estructuras o llegan hacia ellas y también sirven de transporte minerales, personal, etc. en la mina, estos frentes presentan demasiada sobrerotura en las secciones programadas producto de un diseño de malla de perforación y voladura en condiciones no optimas, esto se ve reflejado en las paredes del macizo rocoso los cuales sufren daños y esto a su vez se genera consumo en exceso de explosivo, mayores tiempos en los ciclos de minado por exceso de material roto, así mismo la empresa no aplica herramientas de simulación como el JK Simblast que permiten reducir las sobrerotura en frentes de minado y optimizar la malla de perforación y voladura, aun manteniéndose con lo tradicional lo que genera deficiencias en las operaciones mineras que se ejecutan.

En razón a lo explicado anteriormente se hace necesario realizar el presente estudio que se titula optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK Simblast en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A., con el objetivo que reducir la sobrerotura en frentes de minados.

1.2 Formulación del problema de investigación

A continuación, se presenta lo problemas del estudio.

1.2.1. Interrogante general

¿Cómo influye la aplicación del JK SIMBLAST en optimización del diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.?

1.2.2. Interrogantes específicas

I.E.1.: ¿Cuál es el estado actual de la perforación y voladura en frentes de minados antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A.?

I.E.2.: ¿Cuál es el proceso de aplicación del JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.?

I.E.3.: ¿Cuál es el resultado final después de aplicar JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.?

1.3 Objetivos

A continuación, se presentarán los objetivos del estudio.

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

1.3.2. Objetivo específico

O.E.1.: Evaluar el estado actual de perforación y voladura en frentes de minados antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A

O.E.2.: Comprobar e**l** proceso de ejecución del JK SIMBLAST en la aplicación en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

O.E.3.: Cuantificar el resultado final después de aplicar JK SIMBLAST en

frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

1.4 Justificación e importancia

La justificación de esta investigación se sustenta en tres enfoques principales que son el teórico, práctico y metodológico, donde cada uno de ellos resalta la relevancia del estudio desde diferentes puntos de vista, así mismo contribuye a mejorar el conocimiento del presente estudio.

1.4.1. Teórica

La presente investigación se justifica teóricamente porque el software JK Simblast integra principios que se basan en la mecánica de rocas, teoría de la fragmentación de la energía explosiva, y modelo tridimensional, los cuales permiten analizar científicamente los diseños de mallas de perforación y voladura en diferentes tipo de rocas, además posibilita un diseño preciso evaluando parámetros, lo que permite predecir distribución de energía, fragmentación del macizo rocoso y sobrerotura, es por esto que el JK Simblast sirve para validar modelos teóricos de diseños en voladura proporcionando una base metodológica y científica aceptables.

1.4.2. Práctica

Se justifica de manera practica porque al aplicar el software JK Simblast se tendrá un efecto directo en las operaciones subterráneas donde se realizará el proceso de aplicación y esto reducirá la sobrerotura en frentes específicamente en la galería 1900 y esto tendrá un efecto directo en las operaciones mineras, lo que en consecuencia mejorará la productividad de la mina y mejorará también la seguridad minera y reducirá el sostenimiento.

1.4.3. Metodológica

Desde el punto de vista metodológico es justificable ya que en el estudio se usara el software de predicción y simulación JK Simblast como una herramienta tecnológica avanzada con enfoque innovador, con técnica y análisis que permitirá obtener resultados más precisos que permitirán comparar el diseño actual con el optimizado, así mismo el presente estudio tiene una mejora sustentado por el tipo, y diseño de investigación con lo que se lograra establecer el efecto sobre la variable

dependiente en razón a la independiente.

se realizara una recopilación de los datos detallada tomadas operativamente en la galería de 1900 considerando datos técnicos para la simulación tales como la geometría de la labor, tipo de roca, parámetros reales de la perforación como la longitud de perforación, burden, distancia de taco, espaciamiento y diámetro del taladro, también se tomaran datos de la secuencia de disparo, tiempo de detonación, registros obtenidos de sobrerotura, lo que permitirá tener una base sólida y confiables para validar los resultados de diseño experimental mediante la cuantificación comparativa.

Finalmente, el presente estudio de investigación es importante, porque la Empresa Minera Cambio tendrá salidas a sus dificultades como es la sobrerotura en frentes de minado y esto permitirá lograr los objetivos planificados por la empresa.

1.5 Hipótesis

A continuación, se presentarán los objetivos del estudio.

1.5.1. Hipótesis general

La influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST incide significativamente en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

1.5.2. Hipótesis específica

H.E.1.: El estado actual de perforación y voladura en frentes de minados tiene deficiencias antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A.

H.E.2.: El proceso de ejecución del JK SIMBLAST permite reducir la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

H.E.3.: El resultado final después de aplicar JK SIMBLAST mejora la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

X: Optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST.

Indicadores de la variable independiente

- Burden y espaciamiento
- Factor de carga
- Tiempo de retardos

1.6.2. Variable dependiente

Y: Reducción de la sobrerotura en frentes de minado.

Indicadores de la variable dependiente

- Sobrerotura
- Distancia excedida

Tabla 1

Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Variable Independiente: Optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST.	Son las mejoras y ajustes que se realizan en los parámetros de perforación y voladura para mejoras en la eficiencia y minimizar la sobre rotura en frentes de las operaciones mineras, teniendo un impacto directo en la seguridad y la productividad.	Geometría de la malla de perforación.	Burden y espaciamiento.	m
		Cantidad de carga explosiva.	Factor de carga.	Kg/m3
		Secuencia de disparo.	Tiempo de retardos.	ms
Variable Dependiente: Reducción de la sobrerotura en frentes de minado.	Es el exceso en la rotura excavada con respecto al diseño el cual se atribuye a la sobre excavación por voladura.	Impacto de sobrerotura.	Sobrerotura.	%
		Cumplimiento del diseño.	Distancia excedida.	cm

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes del problema

A continuación, se presentan los antecedentes del estudio.

3.1.1. Internacionales

Según Cabrera (2021) realizo su estudio en "Optimización de una malla de perforación y voladura usando las metodologías Holmberg y Konya en la mina Grumintor de la Concesión Pinglio", tuvo como objetivo general el comparar la eficiencia entre las metodologías y diseños de perforación y voladura mediante Holmberg y Konya en la mina Grumintor de la concesión Pinglio, la metodología fue de tipo aplica de nivel descriptivo usando las metodologías de Holmbreg y Konya, tuvo como resultados que al realizar 28 barrenos perforados, con 3 barrenos de alivio; se redujo el tiempo de perforación. Posterior a la aplicación de esta metodología, se evidenció la presencia de gran cantidad de material no condicionado, requiriendo voladuras secundarias y uso de martillo vibrador para reducir el tamaño de bloques; además, el perfil del túnel no tuvo una buena definición, concluyendo que el método Holmberg permite optimizar las actividades reduciendo taladros en la perforación y voladura.

Según Becar (2020) en su estudio titulado "Uso de software para la optimización de operaciones de explotación en Minera del Valle SpA", tuvo como objetivo general el de Optimizar la malla de perforación y voladura en longitudes radiales mediante simulaciones con JKSimBlast - 2D Ring, para mejorar la fragmentación y la reducción de la sobrerotura en frentes de minado, la metodología que planteo fue realizar 64 perforaciones la cual se distribuyó en diámetros de 2.5" con un jumbo radial, donde se aplicó el JK Simblast para el análisis de la distribución de energía en zonas donde habían daños, así mismo compara el diseño inicial con el final, tuvo como resultados que al disparar un total de 2878 toneladas y removieron 3165 toneladas, con lo obtenido se hizo una comparación, donde el burden fue una medida fundamental al momento de verificar los diámetros de la fragmentación, se dio un

burden de 1.5 m para la izquierda y 2 m para el lado derecho, donde se obtuvo una fragmentación con un P80 a 4624 mm, sin embargo, para generar una comparación con buenos resultados se disminuyó la distancia de burden a 1 m, con el objetivo de mejorar la fragmentación de la roca donde se obtiene un P80 de 1600 mm.

Según Lapčević et al. (2023) en su artículo *"Development and Validation of Universal 3D Blast Fragmentation Model*" tuvieron como objetivo el de desarrollar la validación de un modelo en tres dimensiones y universal en la predicción de la fragmentación que sea aplicable a condiciones geomecánicas distintas y para cualquier diseño de voladuras, la metodología que utilizaron fue plantear un modelo matemático para la fragmentación 3D, calibrado empíricamente con datos y su validación se hizo a través de estudios de caso reales mineros, tuvieron como resultados más destacados las predicciones del modelo y las mediciones de fragmentación en el área de estudio, llegando a demostrar capacidad de estimación de curvas granulométricas y con mejor precisión que los enfoques bidimensionales tradicionales que se usan, teniendo como conclusiones que el modelo tridimensional ofrece mejor simulación y optimización de voladuras, mejorando el diseño de mallas de perforación y la reduciendo la sobrerotura.

Según Gonzales y Rivera (2018) realizaron su estudio en "Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en Mina Esmeralda, El Teniente – Codelco Chile" tuvieron como objetivo general el de reducir la sobreexcavación en los desarrollos horizontales de la mina Esmeralda mediante la sustitución del explosivo ANFO por emulsión SUBTEK, la metodología que desarrollaron fue el de comparar ANFO y SUBTEK para la influencia de los explosivos en la excavación, establecer una línea base para comparar mediante análisis la situación de sobre excavación, asimismo analizar los resultados y determinar la reducción de costos, los resultados que obtuvieron fue el total de ahorro por el uso del explosivo SUBTEK en una sección de 3,6 m x 3,6 m con una sobre excavación del 20% estimada, con un total de avances de 1518 m/lineales, entregaba como resultado un total de US$79.589 ($52.448.908, valor dólar de $659), concluyendo que este explosivo SUBTEK tiene mayor rentabilidad que el Anfo en ahorro de costos.

Según Crnogorac et al. (2019) en su estudio de investigación Application *of*

JKSimBlast software in drifting operations, tuvo como objetivo general el de demostrar las ventajas aplicables del software JK SimBlast 2DFace para diseñar voladuras en laboreos subterráneas, la metodología que utilizo fue de desarrollar un modelo de frente llamado "TIP 5" en el módulo 2DFace así como la secuencia de iniciación, y simulación de detonación para obtener mapas de distribución de energía y contornos de PPV (Holmberg y Persson), resultados que obtuvo fue la detallada excavación del contorno, simulación en secuencias de la voladura y la visualización de la energía explosiva como se distribuía en la roca, finalmente concluyeron que el que JKSimblast es software eficaz para diseñar voladuras por su aplicabilidad práctica depende de validaciones mediante mediciones reales, como escáner láser 3D.

Según Warneke et al. (2007) en su artículo titulado "Use of a 3-D Scanning Laser to Quantify Drift Geometry and Overbreak Due to Blast Damage in Underground Manned Entries" tuvieron como objetivo principal el de evaluar la tecnología de escaneo láser en 3 dimensiones para poder medir la geometría de labores como galerías para medir con buena precisión de la sobreexcavación de laboreos mineros, la metodología que utilizaron fue usar el escáner láser tridimensional donde se obtuvieron nubes de puntos con resolución buena en el contorno excavaciones reales , las cuales se compararon con perfiles de diseño, los resultados que obtuvieron fue identificación certera de áreas de sobreexcavación para poder medir volúmenes de roca volada en exceso y así poder realizar la relación entre el patrón de perforación-disparo y los daños estructurales, concluyeron que al aplicar el escáneres láser 3D como herramienta para la sobrerotura es innovadora y excelente para validar diseños en voladura y mejorar y controlas la sobreexcavación.

Según Vilugrón (2020) realizo su estudio en "Diseño de tronaduras y su impacto en el costo de mina el dorado, ovalle", tuvo como objetivo general el de evaluar el impacto económico que presentan distintos tipos de diseños de tronaduras (Diagramas de disparo y barrenaduras) en el costo mina de la Mina El Dorado, la metodología que aplico fue la aplicación del software JK Simblast 2D Bench para diseños de mallas que propuso, Con los resultados obtenidos de los distintos diseños de tronadura propuestos se realizó un análisis de precios unitarios, obtuvo una

granulometría de 413 mm utilizando Emulsión/Anfo 60/ 40 como carga de fondo y Heavy Anfo 1.0 como carga de columna para perforaciones de 3 pulagadas, siendo esta la óptima desde un punto de vista técnico obteniendo un costo por tronadura de 2163,47 USD y un costo mina de 1,55 USD/ton de material. La combinación Emulsión/Anfo 100/0 como carga de fondo y Anfo diluido 50 como carga de columna para perforaciones de 5" es la más rentable económicamente con un costo por tronadura de 801,34 USD y un costo mina de 0,57 USD/ton de material, pero genera una granulometría de 1,856 metros haciendo necesaria una reducción secundaria., concluyendo los parámetros técnicos y en los diseños económicamente rentables son favorables.

Según Hong et al**.** (2023) en su artículo titulado "*Experimental and numerical studies of blast-induced overbreak and underbreak in underground roadways*" tuvieron como objetivo principal el medir experimentalmente simulando numéricamente la sobrerotura y sub-sobrerotura generadas por disparos en laboreos o túneles, teniendo en cuenta factores geológicos en los parámetros de voladura, la metodología que utilizaron fue mediciones de campo combinados con escaneo láser Focus 150 lo que permitió capturar la nube de puntos en el contorno real de una galería a profundidad de la mina Kaiyang en China, tuvieron como resultados más resaltantes en su estudio que el modelo numérico encontrado concordaba con las mediciones de campo, esto disminuía la sobrerotura como la sub-sobrerotura, llegaron a la conclusión que este enfoque combinado permitió mejorar los diseños de voladura reduciendo daños y sobreroturas.

3.1.2. Nacionales

Según Curo y Juño (2023) realizaron su estudio en "Aplicación del software JK Simblast para el diseño de malla de perforación en la Galería Jesus María de la U.E.A. Cambalache – Angaraes – Huancavelica" tuvieron como objetivo general el de determinar de qué manera la aplicación del software JK Simblast influye en el diseño de malla de perforación en la galería Jesús María de la U.E.A. Cambalache, el diseño metodológico que usaron fue de tipo aplicada de nivel explicativo, descriptivo y

correlacional de diseño cuasi experimental, tuvieron como resultados positivos donde el factor de carga por metro lineal redujo de 14.74kg/m a 11.04 kg/m, también se incrementó de 1.03m a1.35m el metro de avance, el consumo de explosivo rejudo en 15.51 kg a 14.87kg, así mismo la sobre rotura disminuyo en frentes de 13% a11.67% y finalmente el costo unitario redujo de S/. 659.37 a 589.36 S por disparo realizado, llegaron a la conclusión que la aplicación de software JK Simblast tiene influencia en el diseño la malla de perforación en el proyecto minero U.E.A. Cambalache, Palabras claves: JK Simblast, aplicación, perforación, malla, optimización.

Según Toro y Reyes (2022), desarrollaron su estudio en "Rediseño de mallas aplicando el modelo Matemático Holmberg y el Software Jk Simblast Para Incrementar La Productividad De Perforación Y Voladura En La Mina Ormasan-Pataz, 2022", tuvieron como objetivo general el de Rediseñar las mallas aplicando el modelo Holmberg y el software JK Simblast 2D face para incrementar la productividad de perforación y voladura en la mina Ormasan-Pataz en el año 2022, aplicaron la metodología del tipo aplicada de diseño experimental, los resultados que obtuvieron fue que el nuevo diseño de mallas implementando con el modelo matemático Holmberg este tiene un impacto positivo en el aumento de la producción de 59,3% a 68.58% en referencia de 6 a 10 tm/día, concluyeron que al optimizar los diseños de las mallas de perforación y voladura aplicando el modelo matemático Holmberg este adapta a todas las simulaciones realizadas, así mismo mejora la producción y reduce los espaciamientos, logrando estabilidad en la roca.

Según Rojas (2023), en su estudio "Evaluación del diagrama de perforación con JK Simblast para mejorar el metraje de avance programado en la Empresa VRD Minería y Construcción S.A.C 2023", tuvo como objetivo general el de evaluar el diagrama de perforación con JK Simblast para mejorar el metraje de avance programado en la empresa VRD Minería y Construcción SAC, la metodología que aplico fue de tipo aplicada de nivel descriptivo de diseño experimental, tuvo como resultados en una malla inicial con de perforación el avance de 1.40 metros con un consumo de explosivo de 6.12 kg/disparo y en una malla propuesta de 8 pies un avance de 2.1 metros con un consumo de explosivo de 32.89 kg/disparo, observando que la

malla propuesta consume más explosivo pero logro un ahorro de 45 soles por metro lineal de avance en comparación a la primera malla, concluyendo que el nuevo diseño de malla logra tener mayor avance a diferencia de la malla inicial.

Según Muñoz y Maguiña (2023) realizaron su estudio de investigación "Modelo de control de la sobrerotura del macizo rocoso aplicando la técnica de voladura controlada con colchones de caucho en labores horizontales de una mina subterránea en el sur del Perú", tuvieron como objetivo general el de desarrollar un modelo de control de la sobre rotura en la roca, aplicaron la técnica de voladura controlada haciendo el uso de colchones de caucho en labores horizontales en una mina subterránea del Perú, el diseño metodológico que aplicaron fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada, tuvieron como resultados que esta técnica, minimizo la sobrerotura en un 11% , llegando a la conclusión que los colchones de caucho su trabajo como amortiguadores tienen la función de absorber energía en la voladura minimizando el daño a la roca.

Según Ibarra (2024), en su estudio de investigación "Aplicación del Software Jk Simblast y Detonadores no Eléctricos para la Mejora de Producción en la Veta San Juan de la mina Century Mining Perú SAC" tuvo como objetivo general la mejora en la ejecución unitaria de perforación y voladura con aplicación del software simulador de voladura y uso de detonadores no eléctricos, el cual tenía dominio directo en el rendimiento del ciclo de minado de limpieza, relleno y sostenimiento, el diseño metodológico que aplico fue de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental, tuvo como resultados la reducción en 21% del costo de perforación, alcanzando los 1,12 US$/toneladas, el costo de voladura tuvo una reducción de 26%, situándose en 1,7 US$/tonelada, concluyendo la capacidad del software y la adopción de tecnologías innovadoras para optimizar las operaciones de perforación y voladura, permitiendo un aumento de producción y reducción de costos en la empresa.

Según Castañeda (2019) desarrollo su estudio en "Reducción De La Sobrerotura Mediante La Mejora De Los Parámetros De Voladura En La Profundización De La Rampa 2705, En La Unidad Minera De Parcoy De Consorcio Minero Horizonte S.A. – La Libertad", tuvo como objetivo general la reducción en la

sobrerotura para incrementar la profundización de la RP 270 y así cumplir con la producción y avance requerida y disminuir los costos unitarios en la zona norte – Balcón en la Unidad Minera, la metodología que realizo en su estudio fue de enfoque cuantitativo, aplicado y descriptivo, tuvo como resultados en su estudio un mejor control en tiempos, los costos y el cumplimiento del cronograma con el nuevo diseño de la tronadura, calculado mediante el modelo matemático de Calvin J. Konya y cálculos de presión de fondo de pozo para los barrenos precortados, concluyendo que la clave fue que la voladura precortada controlada con cargas desacopladas y espaciamiento de barrenos contorneado logró controlar y reducirlos de 15,33 % a 6,79 % en un promedio de 30 disparos. La tronadura rediseñada logró una eficiencia de voladura del 94 %, lo que incrementó la profundidad de perforación de RP2705 y permitió el cumplimiento del cronograma, reduciendo así el tiempo y el costo unitario de las operaciones unitarias dentro del ciclo de minado de la mina Balcón.

Según Mamani (2023) desarrollo su estudio en "Simulación del algoritmo Holmberg en el Jk simblast 2d Face para optimizar los estándares de Perforación y voladura en Unidad Minera Shuntur 2022", tuvo como objetivo general el de optimizar los estándares de perforación y voladura mediante la simulación del algoritmo Holmberg en el software JK SimBlast 2D face en los frentes de avance de la minera Shuntur S.A.C. en el 2022, la metodología que aplico para su estudio fue de tipo aplicada de nivel descriptivo, teniendo como resultados la mejora en optimización de la rampa 783(-) en la que redujo de 50 taladros a 48 con un avance de 2.95 a 3.10 metros, el factor de carga de 2.61 a 2.40 Kg/m3, la carga operante de 10.2 a 6.6 Kg, la velocidad pico partícula de 13.9 a 9.9mm/s, el costo de explosivo por disparo de $299.47a $292.68 y el costo de aceros de perforación de $32.53a $29.91. Asimismo, en las ventanas mineralizadas la cantidad de taladros de 38 a 37, el avance de 3.05m a 3.15m por disparo, el factor de potencia de 0.84 a 0.79 Kg/Ton, la carga operante de 11 a 5.5 Kg, la velocidad pico partícula de 14.9 a 8.5mmm/s, el costo de explosivo por disparo de $214.33 a $213.48 y el costo de aceros de perforación de $26.24 a $22.56., concluyendo que en ambos casos se redujo la sobrerotura controlándose la distribución de energía del explosivo en corona y hastiales.

Según Arce y Barrientos (2023) desarrollaron su estudio en “mejora del avance lineal de la galería 2450 N, para reducir el costo de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S. A.”, tuvieron como objetivo general el de desarrollar la mejora del avance lineal de la galería 2450 N para reducir el costo de perforación y voladura en Cía. Minera Poderosa S. A., la metodología que realizaron en su estudio fue de tipo aplicado, de nivel explicativo de diseño experimental, en sus resultados en su estudio de implementaron un nuevo diseño de la malla de perforación y voladura, lo que ayudó a evitar tiros cortados de pozos debido a prácticas operativas deficientes y a un diseño deficiente de la malla. El escenario actual incluyó las siguientes mejoras: Inicialmente, se aumentó el diámetro del pozo de alivio a 64 mm y se redujeron la carga y el espaciamiento para garantizar un arranque exitoso. Este diseño de la plantilla de perforación y voladura contribuyó a un aumento del avance lineal efectivo de 2,08 metros, lo cual es muy beneficioso para el desarrollo del Pozo 2450, concluyendo que el escenario que se tenía, el costo total por unidad y metro lineal del esquema de perforación y voladura es de 1281,77 soles por sol. En el escenario óptimo, el costo total por unidad y metro lineal es de 1270,52 soles por sol. En comparación con el uso de la varilla cónica de 2,44 m de longitud, el costo total por metro lineal se reduce en 11,25 soles en barrenos de 8 pies.

Según Alvarez (2023) es su estudio de investigación titulado “Simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK Simblast 2D face para mejorar la carga explosiva, la Libertad-2023”, tuvo como objetivo general el realizar la simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK Simblast 2D Face, La Libertad – 2023, la metodología que realizo fue de tipo aplicada de nivel descriptivo, de enfoque cuantitativo, Los resultados obtenidos dieron que el tipo de roca es granodiorita y que la resistencia a la compresión simple varía de 142,68 a 171,63 MPA, con una densidad promedio de 2.6 g/cm3. El RQD fue de 91, pero se usó RQD recomendado de 90. La cantidad de taladros totales fue 43, La longitud de la columna explosiva fue de 1.35m. y longitud de taco de 0.45m. En total se usaron 60.02 kg de dinamita y el factor de carga explosiva de 2.34 kg/t. El costo total de perforación y voladura fue de S./ 2193.76, concluyo que la cantidad de la carga explosiva detonada

fue de 0.7 kg en 1020 m/s, y 0.6 kg de la carga explosiva es detonada a 18082.22 m/s en los contornos. Así miso la distribución de la energía de la carga explosiva final era de 0.767 a 1.433 kg/m^3 y en su arranque de 1.433 a 2.1 kg/m^3, la simulación demostró que la cantidad de la carga explosiva era adecuada para la voladura de la galería.

Según Medina (2023) en su estudio titulado "Reducción de sobrerotura en labores lineales mediante voladura controlada de Precorte en una Mina Subterránea, La Libertad", tuvo como objetivo general el de determinar cómo influye la voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, el diseño metodológico que uso fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño preexperimental, tuvo como resultados que la aplicación de voladura controlada de precorte redujo el porcentaje de sobre corte en la rampa 7595-4 del 21,08 % al 5,09 % y en la rampa 7595-5 del 20,83 % al 5,18 %. Además, la voladura controlada redujo el costo de la voladura por disparo de 919,99 S/S a 860,67 S/S. Así mismo la voladura controlada de precorte redujo la distribución de la carga de 500 unidades Emulnor a 412 unidades Emulnor y 35 unidades Famecorte E-20. Finalmente, se concluyó que la voladura controlada de precorte influye en la reducción del sobre corte, los costes de voladura y la distribución de la carga en trabajos lineales en una mina subterránea.

Según Boza y Perez (2023) realizó su estudio "Optimización de avance de la rampa (-) 565 aplicando estándares de perforación y voladura en la zona de cuerpos de la mina Alpayana S.A. Lima 2022", tuvo como objetivo Optimizar del avance en la Rp (-) 565 de la Zona cuerpos aplicando estándares de perforación y voladura en la mina Alpayana SA., tuvo como metodología de tipo aplicada, de nivel descriptivo, de diseño experimental, tuvo como resultados iniciales de carga lineal 49.02 kg/ml a uno de 27.44 kg/ml y un factor de factor inicial de 2.04 kg/m^3 a uno de 1.51 kg/m^3, llegando a la conclusión que una mejora en el avance de 3.06m por disparo a 3.80m, con una mejoría de 0.74 m en cada disparo.

Según Azurín (2023) en realizo su estudio de investigación en" Optimización

de perforación y voladura para reducir sobrerotura en el bypass 2843 del Consorcio Minero Horizonte S.A. - Retamas 2021", tuvo como objetivo general de estudio el de optimizar la perforación y voladura, para reducir la sobrerotura, en el bypass 2843 del Consorcio Minero Horizonte S.A. - Retamas 2021, la metodología que aplico fue de tipo aplica, de nivel explicativo, de diseño experimental, Los resultados de su estudio mostraron que la tasa promedio de sobrefractura para un total de 20 disparos osciló entre el 25,59 % y el 6,25 %. La presión de los gases explosivos en las paredes del pozo se minimizó a 57,86 MPa, lo que garantizó la fragmentación de la roca con una resistencia a la compresión de 48 MPa. El costo de limpieza y carga del material disparado con el cucharón R1300G se redujo de $126,82 por disparo a $111,47 por disparo, y el costo de remoción de la sobrecarga con un camión volquete EJC417 disminuyó de $118,89 por disparo a $103,60 por disparo. Esto sugiere que el desarrollo y la aplicación de la voladura con corte controlado pueden reducir la sobrerotura y los costos de minería.

Según Reyes (2022) en su estudio titulado "Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca - Cantera El Pedregal Reque" tuvo objetivo general el de diseñar una malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca en la Cantera El Pedregal – Reque, la metodología que aplico fue de tipo aplicada, de nivel explicativo, tuvo como resultados un piloto donde uso el software JK Simblast donde realizo algunas variaciones como burden, espaciamiento y carga explosiva, concluyendo finalmente que la malla de perforación mejoro la fragmentación en un 80 % en rocas de buen tamaño.

Según Rivera (2023) en su estudio "La aplicación del diseño de malla de perforación y voladura y su influencia en la calidad del fraccionamiento de mineral en la Unidad Minera Andaychagua - Yauli 2022", tuvo objetivo general conocer cuál es la influencia de la aplicación del diseño de malla de perforación y voladura en la calidad del fraccionamiento de mineral en la unidad minera Andaychagua – Yauli 2022, utilizó la metodología de aplicada, de diseño descriptivo, los resultados que obtuvo en su estudio fueron que al hacer 49 taladros, de las cuales 37 taladros están cargados, 4 taladros son de alivio de arranque para asegurar el avance y 8 taladros son de alivio en

el alza y cuadrados en el frente de 4.5 x 4.5 se obtiene una mejor fragmenta del mineral, concluyo principalmente, que el nuevo diseño de malla de perforación y voladura aplicando modelo matemático de Roger Holmberg es una herramienta con gran aplicabilidad, versatilidad y de empleo sencillo.

Según Alvarez y Pallo (2024) realizaron su estudio en "Evaluación de la estrategia de voladura controlada, para la reducción de daños en frentes de avance en una unidad minera subterránea polimetálica del sur del Perú", el objetivo general de planteo Evaluar la estrategia de voladura controlada en la reducción de daños en frentes de avances de una unidad minera subterránea polimetálica, la metodología que aplicaron fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo, sus resultados fueron que al aplicar el precorte las velocidades de onda que midieron al monitoreo las vibraciones en transversal como vertical y longitudinal tuvieron reducción de 10.54, 13.21, 11.94 a 6.01, 9442, 10.81 mm/s, concluyeron que el daño de nivel en sobreortura fue poco significativo.

Según Arias (2024) en su estudio "Reducción de la sobre excavación mediante la optimización de la perforación y voladura en el Rp 2800 de zona Rosa en Unidad Minera Parcoy -2023", tuvo como objetivo general Reducir la sobre excavación mediante la optimización de la perforación y voladura en la Rp 2800 de zona Rosa en Unidad Minera de Parcoy, aplico la metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, de diseño cuasi experimental obtuvo como resultados que el modelo matemático Holmberg logra elaborar una nueva malla de perforación para una roca tipo III regular B con 53 taladros perforados con diámetro de 45mm y 4 taladros de alivio rimados de 102mm, por lo que, 45 taladros son cargados y 8 taladros de amortiguación en la corona de la labor, que justifica una buena voladura y control de la sobre excavación, llegando a la conclusión que se redujo la sobre rotura de 21..89% a 6.06 en 24 disparos en promedio.

Según Onton (2023) en su estudio titulado "Evaluación de voladura para reducir sobre excavación de la rampa 2705 en la Unidad Minera parcoy Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2021", tuvo como objetivo general el de Evaluar la voladura para

reducir la sobreexcavación de la rampa 2705 en la Unidad Minera Parcoy de la Empresa Consorcio Minero Horizonte, la metodología que realizo fue de tipo aplicada de nivel descriptivo y diseño preexperimental, los resultados que obtuvo fueron que la voladura controlada en recorte, utilizando cargas desacopladas y espaciados en la corona la sobre rotura redujo de 15.96% a 8.79% con una eficiencia del 92% en el disparo, concluyo principalmente que la voladura controlada disminuye la sobreexcavación en 7.17% con una mejora en avance de 3.36 m/disp.

Según Pomasoncco (2021) realizo su estudio en "Aplicación de la voladura de pre-corte en las labores de desarrollo de la mina MARSA para la reducir la sobrerotura en el macizo rocoso" tuvo como objetivo general el implementar el método de pre-corte en la perforación y voladura en las labores de desarrollo de la mina MARSA con el fin de reducir la sobrerotura y mejorar la estabilidad física del macizo rocoso, la metodología que aplico para su estudio fue cuantitativa de diseño explicativo para medir los efectos y explicar porque de lo ocurrido, tuvo como resultados que el nuevo diseño que aplico con el modelo matemático holmberg con 46 taladros en total los cuales fueron 7 vacíos y 39 cargados con un diámetro de 38 mm con esto se pudo obtener un avance de 2.1 m/dispara con un barreno de ocho pies en comparación con un avance de 1.41 m/disparo con un barreno de 6 pies, finalmente concluyo que la empresa ahorro 221,760.0 anual, así mismo la labor tuvo un rendimiento de 0.47 m/hg a 0.75 m/hr generando beneficios de forma directa e indirecta en la labor.

Según Salazar (2024) en su estudio "Análisis de los parámetros de perforación y voladura y su optimización con aplicación del software Jk Simblast en los frentes de desarrollo de la U.E.A Yauliyacu 2020 – 2023", tuvo como objetivo general fue de minimizar el proceso de perforación y voladura y disminuir los costos de operación con la aplicación del método de Holmberg-Pearson y criterios termodinámicos con el programa JK SIMBLASK 2D FACE, la metodología que realizo fue la recolección de datos de campo, , la aplicación del software JK Simblast para obtener el cálculo teórico del área de influencia para la detonación de taladro, teniendo como resultados que el radio de influencia para la detonación de taladros era entre 26.67 y 54.74 cm, con un factor de amortiguamiento que iba desde ½ ka hasta ¼ ka, concluyendo que la

aplicación del JK Simblast reduce costos y mejora la productividad.

3.1.3. Local

Según Coaguila (2021), realizo su estudio en "Optimización del avance del túnel correa mediante la aplicación de voladura controlada para reducir la sobreexcavación en el proyecto minero Quellaveco-2020", tuvo como objetivo general el de determinar cómo el uso de la técnica voladura controlada reduce la sobreexcavación en el avance del Túnel Correa, la metodología que realizo fue de tipo aplicado de diseño experimental, teniendo como resultados inicialmente en voladura convencionales o tradicionales se obtuvo una sobre excavación de 14.3% , con un factor de carga de 1.7 kg/m³ y con un segundo escenario se aplicó voladura controlada a las condiciones iniciales donde se aplicó JK Simblast y el factor de carga fue de 1.42 kg/m³ con una sobre excavación de 2.5 % en promedio.

Según Colana (2020) en su estudio "Efectos del diseño de Malla de Perforación y Voladura en la reducción de costos de operación en el proyecto de explotación el Nuevo Sureño", tuvo como objetivo general el evaluar el efecto del diseño de malla de perforación y voladura en la reducción de costos de operación en el proyecto de explotación El Nuevo Sureño, la metodología que utilizo fue de tipo aplicada de nivel explicativo y de diseño cuasi experimental, obtuvo como resultados la reducción de 43 a 38 taladros perforados para una sección de 2.7 m x 2.7 m, cambiando los taladros de arranque de 76 mm a 38 mm; también se optimizo el factor de potencias de 0.88 kg/tn a 0.76 kg/tn, concluyo finalmente que el nuevo diseño de malla de perforación y voladura que se propuso fue positivo ya que con el diseño anterior se obtuvo un costo de S/. 818.01 por metro de avance y el diseño mejorado un ahorro de S/. 83.55 por metro de avance.

Según Izquierdo (2022) en su estudio "Diseño de malla de perforación para la optimización de la voladura en el tajeo 8680 Acceso uno sur de la Unidad Minera San Vicente de Morococha 2022" tuvo como objetivo general el de determinar el diseño de malla de perforación para la optimización de la voladura en el tajeo 8680 acceso uno

sur de la unidad minera san Vicente de Morococha 2022, la metodología que utilizo fue de tipo aplicado, de nivel explicativo y de enfoque cuantitativo, tuvo resultados que al reducir la malla de perforación se obtuvo mayor eficiencia en el avance donde se obtuvo un promedio de 3.1 m/disparo con una diferencia de 30 cm y 14 toneladas más de mineral, finalmente concluyo que se optimizo la voladura aplicando una malla alternativa, también se consiguió optimizar los costos por operación reduciéndolo $7.13 por labor.

Según Salas (2020) realizó su estudio en "Optimización de la fragmentación de roca en el nivel 1515 mediante el uso de emulsiones encartuchadas en la mina San Vicente – Cia. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A., Junín – 2019", teniendo como objetivo general el Evaluar la aplicación de emulsiones encartuchadas para la mejora de fragmentación de roca en el nivel 1515 en la mina San Vicente – Cía. San Ignacio de Morococha S.A.A., la metodología que uso fue de tipo aplicada de nivel y diseño descriptivo, teniendo como resultados donde se realizó las pruebas que la fragmentación de la roca arrojo un p80 promedio de 16.40 centímetros, estando muy cerca al estándar de 15 cm, concluyo que los costos se redujeron al estándar propuesto con un ahorro de $10.55 por laboreo.

3.2. Bases teóricas

A continuación, se presentan las bases teóricas del estudio.

3.2.1. Ubicación y acceso

a. Ubicación

La Empresa Minera Cambio S.A. se ubica en el departamento de Arequipa, provincia de Caravelí, distrito de Chaparra en las coordenadas UTM las que podemos observar en la Tabla 1 y en la Figura 1 uno podemos observar el plano de ubicación de la unidad minera.

Tabla 2

Coordenadas UTM de la ubicación de la empresa minera cambio S.A.

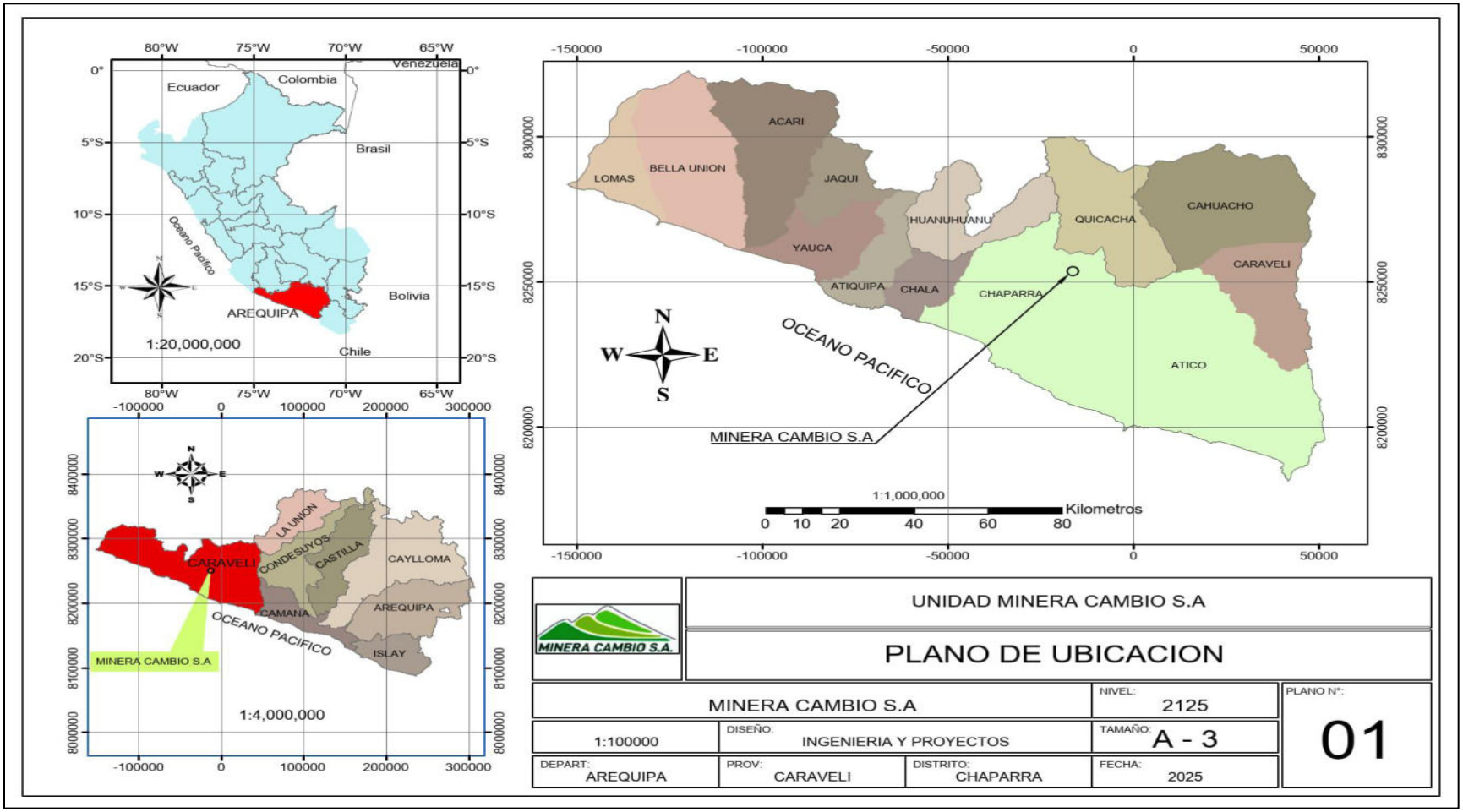
Punto	Este	Norte	Sistema de coordenas
1	625972.78	8260467.23	18S
2	626998.33	8258690.98	18S
3	626361.61	8258098.79	18S
4	625176.71	8259727.35	18S

Nota. Elaboración propia.

La Unidad Operativa de la Empresa Cambio S.A. está a una altitud de 2125 m.s.n.m., con un perímetro de 6021.28 metros, en la zona 18 S.

Figura 1

Plano de ubicación.



Nota. Tomado de la Empresa Minera Cambio S.A. en Setiembre del 2025. Sistema de coordenadas UTM.

En la Figura 1 se visualiza el plano de ubicación de la Empresa Minera Cambio S.A.

b. Accesibilidad

La Unidad Minera Cambio S.A. es accesible a través de vías afirmadas completas y parcialmente que se realizan mediante la Carretera Panamericana Sur, por esta red vial se tiene acceso desde la ciudad de Lima, como se puede observar en la Tabla 2 y también es accesible desde la ciudad de Moquegua como podemos observar en la Tabla 3, la zona cuenta con vías que se mantienen en buen estado durante todo el año y que solo sufren ciertos desperfectos por el uso y que son mitigados mediante manteniendo durante el año.

Tabla 3

Accesibilidad desde lima a la Empresa Minera.

Tramo	Distancia	Tiempo estimado	Tipo de vía
Lima – Ica.	310 km.	5 hr 00 min.	Asfaltada.
Ica – Nazca.	140 km.	2 hr 30 min.	Asfaltada.
Nazca – Chala/Atico.	180 km.	3hr 30 min.	Asfaltada.
Desvío Chala/Atico – Cháparra – Mina.	122 km	2 hr 20 min.	Asfaltada Parcialmente.
Total, aproximado	**752**	**13hr 20 min**	**Principalmente carretera asfaltada**

Nota. La Tabla N.º 3 muestra la accesibilidad hacia la Empresa Minera desde el departamento de Lima, donde se observa los tiempos y distancias de recorrido.

Tabla 4

Accesibilidad desde Moquegua a la Empresa Minera.

Tramo	Distancia (km.)	Tiempo estimado (min)	Tipo de vía
Moquegua – Atico (Panamericana Sur).	393 km.	7 hr 30 min.	Asfaltada.
Atico – Desvío a Cháparra	79 km.	1 hr 0 min.	Asfaltada.
Desvío – Cháparra (valle).	43 km.	1 hr 0 min.	Asfaltada parcialmente.
Total, aproximado.	**515 km.**	**9 hr 30 min.**	**Principalmente carretera asfaltada.**

Nota. La Tabla N.º 4 muestra la accesibilidad hacia la Empresa Minera desde el departamento de Moquegua, donde se observa los tiempos y distancia de recorrido.

3.3. Aspectos geológicos

3.3.1. Geología regional

a. Geomorfología

Regionalmente, el área de estudio puede identificar las siguientes unidades morfoestructurales: Cordillera Costera, Cordillera Occidental y Llanura Costera. Las unidades geomorfológicas fueron reconocidas localmente y delineadas con base en litología, erosión y tectónica. Estas unidades fueron denominadas: llanura costera, sierra costera, depresión Pampa-Redonda, borde occidental de la Cordillera Occidental 3 y valles (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

- **Borde oeste de la cordillera occidental**

Se encuentra en la zona central y norte del cuadrángulo de Cháparra. Es una zona cuyas alturas alcanzan los 3.500 metros sobre el nivel del mar y cuyas cimas pueden alcanzar los 4.000 metros sobre el nivel del mar. Las incisiones de los ríos y la acción geológica de las aguas superficiales confieren a esta unidad una topografía accidentada. A lo largo se exponen rocas vulcanclásticas mesozoicas de las Formaciones Chocolate y Río Grande, así como grandes cantidades de rocas intrusivas del Jurásico Superior y Cretácico. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

- **Valles**

En la zona se pueden observar valles fluviales con orientación NE-SW. Estas unidades están constituidas por depósitos fluvial-aluviales del Cuaternario. La vegetación de la zona se cultiva en gran medida en estas geoformas. Se reconocieron dos valles: el valle del río Atico y el valle del río Cháparra (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.1.1. Estratigrafía

Entre la costa y la cordillera occidental del sur del Perú se forman secuencias clásticas, volcánicas y carbonatadas, cuyas edades van desde el Paleozoico al Cenozoico. Los contactos de estas unidades están en algunos casos controlados por fallas orientadas este-oeste y en otros casos se pueden observar discordancias,

discordancias angulares y/o erosivas entre las diferentes unidades estratigráficas. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

Estas líneas describen brevemente las unidades litoestratigráficas 4 que surgen en los cuadriláteros Ático y Cháparra. Las rocas más antiguas son gneises, migmatitas y esquistos de mica, clorita y hornblenda del complejo basal costero neoproterozoico. Estos están intersecados por dioritas, sienogranitos y monzogranitos del Ordovícico. Ambas unidades están cubiertas de manera discordante por rocas sedimentarias paleozoicas asociadas con los grupos Ambo, Tarma y Mitu. Las rocas mesozoicas emergen al noroeste de Atico y al suroeste de Cháparra, donde se aprecia la Formación Chocolate, una secuencia del Jurásico Inferior compuesta por lavas andesíticas intercaladas con brechas volcánicas. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.2. Geología local

3.3.2.1. Rocas ígneas

Las rocas intrusivas están mayoritariamente expuestas en la zona de los cuadriláteros de Ático y Cháparra y cubren alrededor del 60% de la superficie. Surgen como cinturones alargados con orientación este-oeste, controlados por fallas de la misma orientación y pequeños rodales. La edad de las intrusiones disminuye desde la costa hasta la Cordillera Occidental. Batolito Costero (JK-BC) La abundante actividad magmática que ocurrió a finales del Jurásico y durante el Cretácico a lo largo de la Cordillera Costera y el borde occidental de la Cordillera Occidental resultó en el depósito de cantidades significativas de rocas intrusivas, las cuales fueron agrupadas y denominadas Batolito Costero. Este batolito se divide en cinco segmentos principales. Las rocas intrusivas asociadas a este batolito en el área de estudio corresponden al segmento Arequipa. Jurásico Superior La S.U. Las torrecillas del Jurásico superior se distribuyen en el norte del mapa de Cháparra así como en el borde sur del mapa de Cháparra. Las intrusiones tienen una tendencia de este a oeste y atraviesan las rocas volcánicas de la parte superior de la Formación Río Grande y están cubiertas por tobas del Mioceno. Estas intrusiones están asociadas a depósitos de Cu-Au. (Torres

González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

Litológicamente están hechas de diorita de cuarzo y granodiorita. Estas rocas son de color gris a rosado y tienen una textura de pórfido o no granulada. Se componen principalmente de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, anfíbol y biotita. La matriz está formada por cuarzo y feldespato potásico de textura hipidiomorfa o xenomorfa. Definición y relaciones de contacto de Stock San Juan (Js-bc/sj-gr). El stock San Juan del Jurásico Superior emerge como un cuerpo granítico en la parte central del cuadrilátero de Cháparra. Este cuerpo penetra las rocas volcánicas de la parte basal de la Formación Río Grande y está cubierto por tobas provenientes de la caldera de Parinacochas. Litología. El cuerpo de la población de San Juan está compuesto principalmente de granito. Estas piedras son de color gris a rosa y tienen una textura de pórfido. Se componen principalmente de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, anfíbol y biotita. Definición y relaciones de contacto de Stock Sausales (Js-bc/s-sgr). El stock Sausales del Jurásico Superior se presenta como un cuerpo de sienogranito a 1 km al sur del pueblo de Cháparra en la parte centro-occidental del cuadrilátero de Cháparra.

Este cuerpo está formado por las granodioritas tonalíticas del S.U. intersectado. Sacota del Cretácico Inferior. Litología. Los cuerpos de la cepa San Juan se componen principalmente de sienogranitos. Estas rocas tienen tonos de gris a blanquecino y rosa con textura de pórfido. Súper Unidad San Luis (Ki-bc/s-di) Definición y relaciones de contacto. Las rocas intrusivas del Cretácico Inferior se distribuyen al noreste del cuadrilátero de Cháparra y se registran como cuerpos tabulares aislados dentro de la U.S. encontró. Sacota. 6 litología. Consiste en la variación de diorita a diorita de cuarzo. Súper Unidad Sacota (Ki-bc/s-tn, gd; Ki-bc/s-cdi). Las rocas intrusivas de la Súper Unidad Sacota del Cretácico Inferior se distribuyen en intrusiones batolíticas y ocupan grandes áreas. La dirección general de la franja de batolitos es de este a oeste y son las más grandes de la zona. Sin embargo, estas rocas del este y sur del cuadrilátero de Cháparra se encuentran cubiertas por tobas. La agresiva S.U. La sacota consiste principalmente en tonalitas y varía localmente en granodioritas y dioritas de cuarzo. Se compone principalmente de plagioclasa, cuarzo, anfíboles y secundariamente

feldespato alcalino, Biotita y minerales acompañantes más pequeños. La proporción de plagioclasa es alta (57%), principalmente euhédrica y en menor medida hipidiomorfa con tamaño de grano variable desde 0,1-2,0 mm, incluso hasta 4,0 mm. Las plagioclasas muestran maclas polisintéticas. La composición del cuarzo alcanza hasta el 18%, es incoloro y transparente, con un color de interferencia blanco amarillento de clase I. El cuarzo tiene un tamaño de grano irregular; Generalmente tiene un diámetro entre 0,1 y 0,9 mm. La proporción de anfíboles alcanza hasta el 15%, presentándose en cristales columnares hipidiomorfos con un tamaño máximo de 2,5 mm. Presenta escote, es de color amarillo verdoso a verde oscuro con policromía. Algunos anfíboles contienen plagioclasa euhédrica formando una textura poiquilítica. El feldespato alcalino es una ortoclasa xenomorfa que constituye el 5% de la composición de la roca. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.2.2. Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas del Protoceroico afloran a lo largo de la costa entre Ilo y San Juan de Marcona, donde reciben el nombre de complejo basal costero. En los cuadrángulos de Atico y Cháparra se caracteriza por la presentación de rocas metamórficas que han sido cartografiadas y agrupadas en dos grupos, considerando principalmente las facies metamórficas. Complejo Basal Costero (NP-cbc) El basamento precámbrico de la costa sur del Perú fue denominado inicialmente gneis Charcani, correspondiente a los afloramientos gneísicos limitados a la ciudad de Arequipa, que luego fueron denominados complejo basal costero. Además, se describen secuencias de gneises y lutitas asociadas a rocas intrusivas de granitos rojos y gneis dioritas expuestas en el área del Ático, así como afloramientos gneísicos a lo largo de la costa y la Cordillera occidental del sur de Perú y norte de Chile. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.3. Geología económica

En los cuadrángulos de Atico y Cháparra han identificado la presencia de minerales económicos, tanto metálicos como no metálicos. La presencia de minerales de oro (Au), cobre (Cu), hierro (Fe) - manganeso (Mn), plomo (Pb) - zinc (Zn),

tungsteno (W), caliza y yeso caracteriza la geología económica de la zona. Entre estos minerales, el oro y el cobre son los principales yacimientos económicos, mientras que el hierro-manganeso es secundario a los dos anteriores. Mineralización en la zona asociada a la intrusión de grandes cantidades de material ígneo durante el Jurásico-Cretácico. La mayoría de las ocurrencias metálicas están asociadas con vetas de cuarzo, óxidos y panizo, pero también hay evidencia de mineralización asociada con depósitos tipo IOCG y pórfidos de cobre. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.3.1. Depósitos de oro contenido en cuerpos vetiformes

Este tipo de depósito de Au-Cu es el más extenso de la región. Se distribuye en la región de Calpa - Huamaní - Cháparra y forma un cinturón de mineralización de oro alojado en cuerpos tipo veta, de aproximadamente 30-50 km de ancho y más de 200 km de largo. Ambos extremos del corredor mineralizado se extienden hacia afuera del área de estudio.

La parte occidental del corredor mineralizado se caracteriza por la asociación de diorita-tonalita-diorita del Cretácico Inferior con rocas intrusivas de cuarzo-granito intruidas por diorita con pórfido de cuarzo y pórfido de granito. Mientras que la parte central del corredor mineralizado está formada por rocas volcánico-sedimentarias en la parte inferior y rocas volcánicas andesíticas del Cretácico con intercalación de rocas sedimentarias en la parte superior, la parte oriental del corredor está formada por intrusiones granodioríticas del Cretácico Superior (intrusión Azuka), las cuales se caracterizan por una estructura de diorita-granodiorita-cuarzodiorita-granito (monzogranito). Asociación.

Los yacimientos auríferos, alojados en cuerpos veteados, se pueden dividir en cuatro zonas de sur a norte denominadas vetas minerales La Estrella, Cháparra, Tiruque y Calpa. La Estrella es un cinturón mineralizado de aproximadamente 3 a 4 km de espesor y más de 200 km de largo. Los principales centros de mineralización se ubican en los acantilados a lo largo del río Cháparra y se extienden hacia las partes más altas a ambos lados del río. La mineralización está asociada principalmente a granitos

biotíticos fracturados y también se presenta en diorita con cuarzo y granodiorita en ambas caras.

Roca sedimentaria volcánica mineralizada localmente de los períodos Jurásico y Cretácico. También estuvieron Cháparra, el segundo cinturón mineralizado; Se encuentra entre las localidades de Cháparra y La Rastroja. Se trata del principal cinturón mineral, de 10 km de espesor y más de 50 km de largo. Los centros de enriquecimiento mineral se ubican junto a los acantilados a ambos lados del río Cháparra y se extienden hasta la zona de Huarango aguas arriba del río Ocoña. En las partes oriental y occidental del cinturón mineralizado, se asocia con una asociación diorita-monzonita-cuarzodiorita-granito del Cretácico, y en la parte central, rocas volcánicas andesíticas del Cretácico están localmente mineralizadas. (Torres González, Santos Polo, Ccallo Morocco, & Soberón Ortiz, 2017).

3.3.4. Optimización del diseño de malla de perforación y voladura

Para cualquier diseño de voladura y a su vez optimizarlo se requiere cumplir con el siguiente orden riguroso como son, ser seguro, garantizar resultados óptimos para las condiciones de operaciones existentes, proporcionar una flexibilidad adecuada, ser sencillo en la práctica. Así mismo se debe llegar al balance entre el diseño de la perforación, la selección adecuada del explosivo y la secuencia de cargas para producir la correcta fragmentación de la roca (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.).

3.3.4.1. Perforación

La perforación constituye la etapa inicial del proceso operativo, y tiene como objetivo realizar cavidades o huecos en la roca con geometría y distribución adecuados, estos huecos sirven para alojar los explosivos juntamente con un sistema par iniciación, en minería principalmente para realizar los taladros se usan energía mecánica (Perni, 1987, citado por Onton, 2023).

3.3.4.2. Voladura

La voladura se define como la rotura de roca, hormigón o suelo duro mediante explosivos. Puede ser controlada o no, al aire libre, en túneles o bajo el agua. En minería, sin embargo, la voladura se considera un método económico para romper roca. Sin embargo, causa daños permanentes en el borde de la abertura, Por lo tanto, es fundamental planificar la voladura de forma controlada y realizar una perforación precisa (Posada, 2022).

3.3.4.3. Burden

El burden se define como la distancia entre taladros y la cara libre más cercana, y es un parámetro critico ya que a mayor burden genera una incorrecta fragmentación, mientras uno pequeño genera sobrerotura (Mensah, 2012) y se calcula con la siguiente formula:

Konya y Ash (1972)

$$B = K.d.\sqrt{\frac{RWS}{\rho e}} \qquad (1)$$

Donde:

- B = burden y su unidad de medida es (m).
- d= diámetro de taladro y su unidad de medida es (m).
- RWS = potencia relativa del explosivo.
- ρe= densidad del explosivo.
- K= constante empírica.

3.3.4.4. Espaciamiento

El espaciamiento es la distancia entre los taladros cercanos de la misma fila, la relación del burden con el espaciamiento determina el diámetro de fragmentación en la roca, se determina con la siguiente formula (Persson et al., 1994).

$$S = (1.0\ a\ 1.5)\ .B \qquad (2)$$

Donde:

- S= espaciamiento = Distancia entre taladros cercanos en la misma fila (m).
- B= burden = Distancia entre el taladro y la cara libre más cercana (m).
- (1.0 a 1.5) = Coeficiente empírico que indica que el espaciamiento estará entre 1.0 y 1.5 veces el burden, va a depender del tipo de roca, el explosivo a usar y el diseño de la voladura.

3.2.1.4. Cantidad de carga explosiva y factor de carga

La cantidad de carga de explosivo es aquella carga que se llena en los taladros, y esta se mide de acuerdo con el factor de carga que se define la cantidad de explosivo usada por volumen de roca roto, un factor de carga controlado asegura buena fragmentación de roca (Konya y Ash, 1972).

$$Q = \frac{W}{V} \qquad (3)$$

Donde:

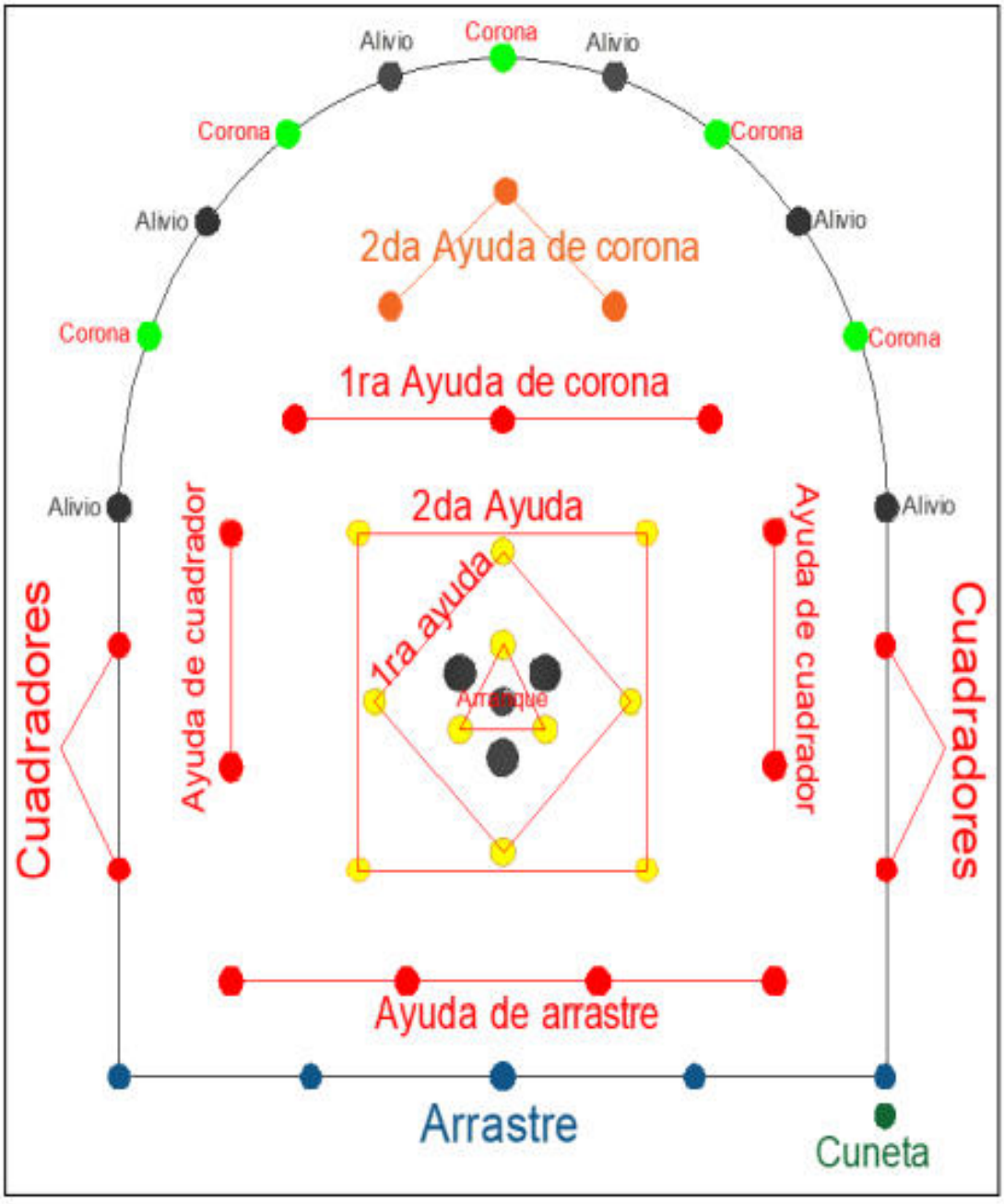
- q = factor de carga y su unidad de medida es (kg/m³).
- W = peso de explosivo cargado y su unidad de medida es (kg).
- V = volumen de roca a fracturar y su unidad de medida es (m³).

3.3.4.5. Secuencia de disparo y tiempos de retardo

La secuencia de disparo es el orden en que se le da de forma planificada a la iniciación de voladura de acuerdo con los barrenos perforados en una voladura de rocas, donde junto a los retardos se mantiene un orden para el cual busca que optimizar la fragmentación del macizo rocoso, de esta manera permite reducir o minimizar la sobrerotura (Ver Figura 2), se muestra la secuencia de disparo (Miteco, s. f.).

Figura 2

Secuencia de disparo.



Nota: Tomado de Vilca, K. (2021).

3.3.5. Frentes de minado

Los frentes de minado son zonas específicas dentro del plan de una mina donde se realiza la extracción directa del mineral. Estas áreas se definen estratégicamente para permitir un control más preciso sobre los objetivos de producción, las restricciones geotécnicas, y las estrategias operacionales. En minería subterránea, los frentes de minado suelen estar asociados a labores de desarrollo y preparación, mientras que en minería a cielo abierto se relacionan con bancos o niveles de explotación (Ver Figura 3) se muestra un frente de avance (Carrasco, 2016).

Figura 3

Frente de avance.



Nota. Elaboración propia.

3.3.5.1. Impacto de la sobrerotura

El impacto de la sobrerotura se da por el resultado de una voladura deficiente causada por una detonación mal controlada, donde los factores que contribuyen a esto son el, dimensionamiento incorrecto de las áreas a excavar, uso excesivo de explosivos en la voladura, mal diseño de malla, selección inadecuada del explosivo y errores en la perforación de taladros (Onton, 2023).

La sobrerotura es la roca la cual es fragmentada, pero esta es el exceso de la línea de contorno delimitado o diseñada originalmente para ser volada, que se ocasiona por desviación de los parámetros de perforación y voladura (Vilca, 2021).

3.3.5.2. Cumplimiento del diseño

El cumplimiento del diseño en voladura de rocas implica necesariamente la planificación adecuada, el cual debe de coincidir lo más exactamente lo realizado en campo con lo planificado en el área correspondiente de tal manera que los parámetros de voladura cumplan de marea eficiente los avances programados en las operaciones mineras donde se realizan actividades de voladura (Lázaro, 2024).

En labores mineras el cumplimiento del diseño es el grado o porcentaje correspondientes a los parámetros técnicos de voladura y operativos evaluados por un diseño planificado pro el área correspondiente, originalmente estos deben cumplir ciertos parámetros de acuerdo al diseño considerando, dimensiones, geometría, condiciones y ubicación tales como se establece en planos diseñados y así mismo también deben cumplir especificaciones técnicas avaluadas por el área correspondiente en caso de minería el área de planeamiento mina, la cual es la encargada de realiza los diseños mineros (Alfaro y Tirado, 223).

3.3.6. Simulación con JK SimBlast

JK SimBlast es un sistema de software universal para la simulación y la gestión de información de operaciones de voladura en minas y operaciones relacionadas, con

el objetivo de proporcionar el mejor sistema de gestión de voladuras posible. JK SimBlast fue desarrollado por JKTech con base en más de 20 años de investigación minera en el JKMRC (Jktech, 2020).

El JK SimBlast es utilizado en todo el mundo por más de 900 usuarios en los campos de voladuras de superficie, subterráneas y de túneles, operaciones mineras, suministro de explosivos, consultoría, contratación y capacitación. El sistema modular está dirigido a ingenieros que necesitan estandarizar el control de voladuras y cuantificar la experiencia de los operadores, almacenándola en un formato consistente y recuperable (Jktech, 2020).

JK SimBlast garantiza el almacenamiento preciso y a largo plazo de planes y resultados, especialmente cuando lo exige la ley o para cumplir con la normativa ambiental. Es aplicable no solo en operaciones de minería y canteras, sino también en investigación, capacitación, consultoría, contratación y construcción (Jktech, 2020).

JK SimBlast integra todas las tareas relacionadas con el diseño, la simulación, el análisis y la optimización, incluyendo el almacenamiento y procesamiento de modelos, datos y resultados, en un único sistema (Jktech, 2020).

El JK Simblast permite al usuario definir parámetros específicos del sitio, explosivos, unidades, condiciones operativas y objetivos, almacene datos de explosiones en un sistema estructurado, con herramientas especializadas para su edición y análisis, integrar datos relacionados de otras aplicaciones, predecir, medir y analizar el rendimiento de las explosiones, añadir módulos personalizados al sistema, atrapar la experiencia del personal de perforación y voladura (Jktech, 2020).

3.4. Definición de términos

- **JK Simblast**

  Para Jktech (2020) el JK Simblast es un software de simulación y gestión de la información diseñado para el control de voladura.

- **Actividad Minera**

  Para MEM. (2016) la actividad minera es aquella que se desarrollan en superficie o interior mina se inician con la exploración, explotación, procesos de beneficios y comercialización de minerales.

- **Sobre rotura**

  Para Mina (2025) este término es usado en minería para describir la sobre excavación en labores mineras cuando la labor de avance es mayor a la programada.

- **Factor de carga**

  Para Mina (2025) Indica los kilogramos de explosivos utilizados para fragmentar un metro cubico de roca, este parámetro de voladura de rocas se medie en la unidad de kg/m^3.

- **Broca**

  Para Evizda (2025) una broca en minería es una herramienta especializada que se utiliza para cortar y penetrar diversos tipos de roca y suelo. Están fabricadas con acero de alta calidad o carburo de tungsteno, para soportar las duras condiciones de la roca.

- **Burden**

  Para Ibarra (2024) el burden es el espacio desde el eje del taladro perpendicular más cercana en una voladura.

- **Espaciamiento**

Para Ibarra (2024) el espaciamiento es la distancia entre taladros de la misma fila donde has sido perforados.

- **Perforación**

  Para Energía en minería (s.f.) La perforación es el primer proceso de la fase de extracción en la minería subterránea y a cielo abierto. Tiene como objetivo es crear una cavidad cilíndrica en la roca que pueda utilizarse para la exploración, la preparación para voladuras o la excavación de túneles.

- **Voladura**

  Para Posada (2022) la voladura es la acción de fracturar la roca mediante el uso de explosivos, el cual permite realizar excavaciones ya sean subterráneas o superficiales, en el ámbito minero.

- **Longitud de taladros**

  Para Ibarra (2024) está longitud de taladro está marcada por la profundidad que se perfora en la roca.

- **Galería**

  Para Arroyave (1991) la galería en una labor subterránea horizontal o ligeramente inclinado es usada como preparaciones, accesos, comunicación entre labores, transporte y como ventilación.

CAPÍTULO III.
METODOLOGÍA

4.1. Tipo y nivel de investigación

En esta sección se presentarán el tipo y nivel de investigación que se usarán para realizar el estudio.

4.1.1. Tipo de investigación

En razón a Tamayo y Tamayo (2023), la investigación será de tipo aplicada porque que tiene como objetivo resolver un problema de manera práctica, se centrará en la aplicación del JK SIMBLAST para la optimización del diseño de malla de perforación y voladura en los frentes de la mina para reducir la sobrerotura, lo que tendrá impacto directo y aplicable en los procesos reales en el área de estudio para este la Empresa el Cambio S.A.

4.1.2. Nivel de investigación

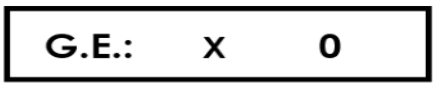
En razón a Arias (2006), el nivel de investigación será de nivel explicativo, porque tiene como propósito principal analizar y determinar la relación causa y efectos existentes entre las variables de estudio. Así mismo explica en qué medida el diseño de malla de perforación y voladura tendrá un impacto directo en disminuir la sobrerotura en frentes dentro de la operación minera.

4.2. Diseño de investigación

En razón con Arias (2006), la presente investigación será de diseño experimental, porque se manipulara de manera controlada el diseño de malla de peroración y voladura que se aplicara para poder evaluar la sobrerotura en los frentes de la mina, Así mismo se comparan los resultados obtenidos antes de aplicar el JK SIMBLAS y después de aplicarlo, lo que permitirá poder medir de manera precisa cada cambios en los parámetros de perforación y voladura que afectan los frentes de minado con sobrerotura en las operaciones mineras.

En sentido a lo explicado anteriormente manipularemos la variable independiente (Optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST) para medir los efectos que se ocasionen sobre la segunda variable la dependiente (Reducción de la sobrerotura en frentes de minado).

El esquema en el actual diseño de la investigación es lo siguiente:



En donde:

G.E. = Grupo experimental.
X = Estimulo experimental (Optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST).
O = Postest del grupo experimental (Reducción de la sobrerotura en frentes de minado).

4.4. Población y muestra

En esta sección se describe la población y la muestra utilizadas en el estudio, elementos esenciales para garantizar la representatividad y la validez de los resultados obtenidos.

4.4.1. Población

En razón con Balestrini (2006), la población es un completo de elementos que comparten particularidades en común. En razón a lo explicado la población de este estudio está conformada por todos los frentes de minados de avances en zonas de profundización en la Empresa Cambio S.A.

4.4.2. Muestra

De acuerdo con Balestrini (2006), la muestra es una parte o fracción de la población que pertenecen como elemento de un universo o parte de él. Así mismo El

tamaño y la selección de la muestra se basarán en la representatividad de las operaciones presentes en Zonas de profundización. En razón a lo explicado la muestra estará conformada por la Galería 1900 (Ver Anexo 2), donde se aplicará el JK SIMBLAST en la Empresa Cambio S.A.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

4.5.1. Técnicas de recolección de información

4.5.1.1. Técnica de recolección del análisis documental

En esta investigación, los datos de recolección se llevará a cabo la recolección de datos mediante índole imparcial y con relación a la variable dependiente (Reducción de la sobrerotura en frentes de minado), siendo la necesaria para medir los parámetros de voladura para demostrar el efecto causado.

4.5.1.2. Técnica del Fichaje.

Se empleará la técnica del fichaje, porque esta técnica permite recolectar toda información teórica que se relaciona a las variables en estudio, de acuerdo con Carrasco (2019) señala que esta técnica del fichaje tiene gran relevancia porque registra datos muy significativos e interesantes escritas manualmente en formatos llamados fichas.

4.5.2. Instrumentos de recolección de datos

4.5.2.1. Reportes e informes

Se acondicionarán los reportes e informes que se ejecuten sobre la reducción de la sobrerotura en frentes de minado.; ya que estos reportes e informes brindarán conocimiento específico para el análisis en particular de los parámetros de voladura en el diseño de malla.

4.5.2.2. Fichas de Investigación

Para la presente investigación las mencionadas fichas que serán partida son en base a: catalogación del proceso de construcción chimeneas (bibliográficas), informaciones relevantes (hemerográficas), fuentes de información y transcripciones

puntuales de autores (textuales), resumen y experiencia.

4.6. Validación y confiabilidad de los instrumentos

La validación y confiabilidad de los instrumentos de recolección de los datos se realizarán de la forma siguiente:

Validez de contenido: Los instrumentos serán validados por el ingeniero Edmundo Curo Basilio con el cargo de jede de mina experto en perforación y voladura, quienes verificarán la valides y coherencia de los formatos y reportes usados, además se respaldará con la aplicación del JK SIMBLAST como herramienta reconocida en la minería nacional e internacional.

Validez teórica: Se realizará mediante análisis para confirmar que las herramientas de recolección están midiendo las variables esperadas. Esto se logrará comparando los resultados obtenidos a través de los instrumentos con otros estudios similares que hayan evaluado las mismas variables de eficiencia operativas en minería.

Confiabilidad: La confiabilidad de los instrumentos se evaluará mediante la confiabilidad técnica la cual compara registros de voladuras repetidas bajo escenarios iguales, así mismo mediante un proceso practico como la observación directa en campo, reportes o informes sobre el control de voladura y la simulación del JK SIMBLAS, asegurando consistencia en los datos de la sobrerotura y perforación en los frentes de minados en la empresa.

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

En la presentación y análisis de datos en una investigación, se utilizan diversas técnicas y métodos que permiten interpretar los resultados de manera clara y efectiva. A continuación, se describen algunos de los más comunes:

Como método: Estos métodos se realizarán mediante tablas de distribución gráficos estadísticos.

Como técnica: estas técnicas se realizarán con estadística descriptiva, se comparar antes y después de aplicar JK SIMBLAST en frentes de minados.

Finalmente, todo esto se llevará a cabo mediante:

- La depuración necesaria para suprimir datos falsos e inequívocos.
- La clasificación necesaria para agrupar los datos a través de la distribución.
- La tabulación necesaria a través de categorías y dimensiones.
- Interpretación necesaria a través de tablas de frecuencias, tablas y gráficos estadísticos.
- En sentido a lo anterior, para corroborar la hipótesis de la presente investigación será llevada a cabo en base a una contrastación en campo.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados y discusión derivados del proceso de optimización del diseño de malla de perforación y voladura mediante la aplicación del software JK SimBlast en la Galería 1900 en la empresa El Cambio S.AC. El principal del estudio fue determinar en qué medida la simulación y ajuste de los parámetros operativos permite reducir la sobrerotura generada en la Galería 1900 labor de avance. Así mismo los datos analizados provienen de registros reales de perforación, patrones de disparo, factor de carga, consumos de explosivos y perfiles resultantes antes y después de aplicar el JK SimBlast como herramienta de mejora.

4.1 Caracterización operacional Galería 1900

La Galería 1900 representa una obra clave dentro del sistema de explotación subterránea, diseñada para operar en condiciones geológicas exigentes. Su ejecución combina técnicas tradicionales y modernas, priorizando la seguridad, eficiencia operativa y adaptabilidad al entorno geológico, además es una infraestructura subterránea diseñada como parte de un sistema de explotación minera en roca dura construida como acceso y desarrollo dentro de un yacimiento donde se aplica el método de explotación de corte y relleno ascendente en vetas angostas.

El entorno geológico de la galería está compuesto principalmente por rocas ígneas intrusivas, específicamente granito y granodiorita, materiales de alta resistencia pero que presentan desafíos técnicos debido a la presencia de fallas geológicas, requiriendo refuerzo adicional para garantizar la estabilidad de la obra.

La sección transversal de la Galería 1900 es de 2.40 metros de ancho por 2.80 metros de alto, dimensiones que permiten la semi mecanización de la mina, esto facilita la ventilación y el manejo de materiales durante las fases de perforación, carguío y acarreo. Así mismo la perforación del frente de avance se realiza de forma manual, utilizando máquinas neumáticas tipo jackleg (maquinas RNP). Este método, aunque más lento que la perforación mecanizada, permite una mayor precisión en zonas de

difícil acceso y en condiciones geológicas variables.

Para el carguío y acarreo del material fragmentado, se emplean equipos de bajo perfil, específicamente scoops (LHDs) y dumpers. Estos vehículos están diseñados para operar en espacios reducidos y permiten una eficiente movilización del material hacia botaderos y acopio o hacia el sistema de transporte principal.

Dada la presencia de fallas y la naturaleza de la roca, se implementan medidas de sostenimiento como el uso de pernos de anclaje, cuadros de madera, estas técnicas aseguran la estabilidad del techo y las paredes de la galería, protegiendo al personal y los equipos. Así mismo explosivo que se emplea para su avance son las dinamitas semigelatina 65%, emulnor o emulsión encartuchada de 5000 para el arranque, en accesorios tenemos carmex y mecha rápida Z-18.

La ventilación y servicios de la galería cuenta con un sistema de ventilación forzada, esencial para mantener condiciones seguras de trabajo, especialmente durante la operación de equipos neumáticos y de combustión interna. Además, se instalan líneas de aire, agua y energía para abastecer las labores diarias, (Ver Anexo 2).

Tabla 5

Características generales Galería 1900

Parámetro	Descripción	Unidad
Tipo de roca	Granito, granodiorita	RMR
Diámetro de taladro	38	mm
Longitud promedio de taladro	6	pies
Método de iniciación	Nonel	Unid.
Explosivo utilizado	Dinamita, Emulnor	Unid.
	Carmex	Unid.

Nota. Elaboración propia.

4.1.1 Evaluación geomecánica de la Galería 1900

En la galería 1900 se realizó la evaluación geomecánica con una inspección detallada en campo para evaluar el RMR y tipo de roca.

Tabla 6

RMR galería 1900

Tipo de roca	II-A	II-B	III-A	III-B	IV-A	IV-B	V
RMR	80-71	70-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla N.º 6 se muestra la evaluación geomecánica del tipo de roca presente en la galería 1900 la que se evaluó mediante la tabla geomecánica (Ver Anexo 9).

Figura 4

Galería 1900



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.º 4 se observa el frente de la Galería 1900 donde se realizan los avances principales de la mina.

Resultados del objetivo general

Determinar la influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Tabla 7

Análisis comparativo

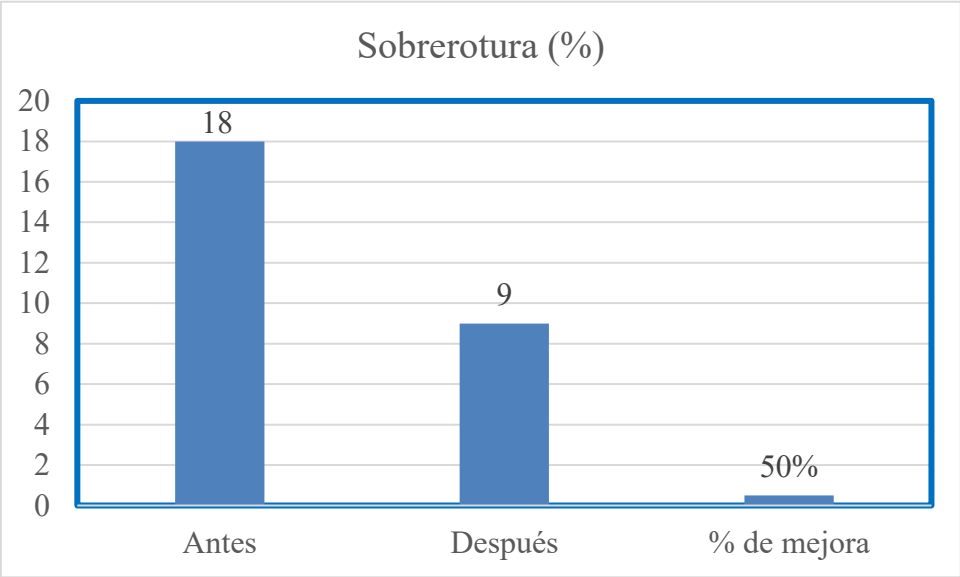
Indicador	Antes	Después	Variación	Mejora (%)
Sobrerotura (%)	18	9	-9	**50**
Distancia excedida (cm)	25	12	-13	**52**

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla N.º 7 muestra en el análisis comparativo inicialmente y después de haber aplicado el software JK SIMBLAST, indicando una mejora significativa en la sobrerotura de la labor de avance en los resultados se redujo de 18% a 9%, esto representa un impacto en la reducción de sobrerotura del 50%, esto evidencia un mejor control geométrico y un mejor uso del a energía en la voladura. Así mismo se muestra con referente a la distancia excedida esta disminuyo de 25 cm a 12 cm esto es equivalente a una reducción de 52% indicando que la sección de diseño tuvo mayor precisión, lo resultados obtenidos confirman que la optimización por medio del software JK SIMBLAST tuvo influencia positiva en la perforación y voladura de la Galería 1900 de la empresa minera Cambio S.A.

Figura 5

Comparativo en sobrerotura

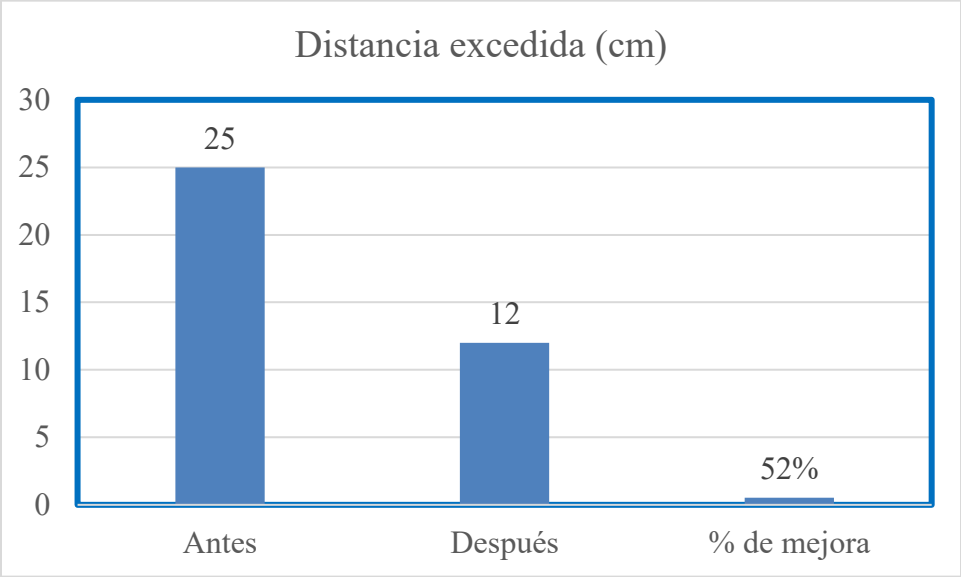


Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.°5 se observa la reducción de la sobrerotura de un 18% a 9% evidenciando un impacto positivo después de aplicar el JK SIMBLAST con un 50% de mejora en la sobre rotura del frente de la Galería 1900.

Figura 6

Comparativo en distancia excedida



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.°6 se observa como la distancia excedida después de aplicar el software JK SIMBLAST reduce de 25 centímetros a 12 centímetros, con una reducción de 52%, evidenciando un impacto positivo en la Galería 1900.

Resultado objetivo específico 1

Evaluar el estado actual de perforación y voladura en frentes de minados antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A.

Tabla 8

Resultados antes de aplicar JK SIMBLAST (Galería 1900)

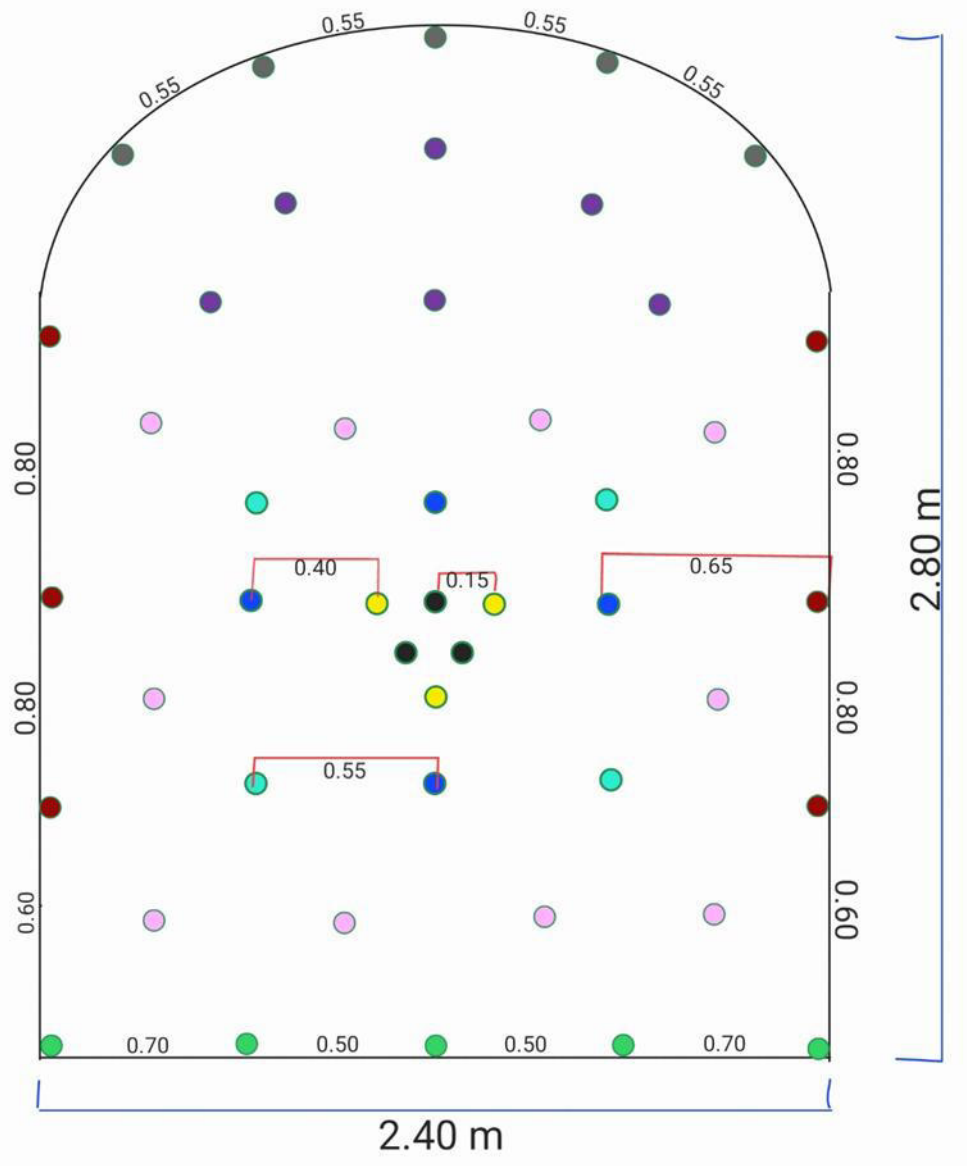
Parámetro	Valor observado	Unidad
Burden	1	m
Espaciamiento	1,2	m
Factor de carga	0,85	kg/m³
Tiempo de retardos	25	ms
Sobrerotura promedio	18	%
Distancia excedida	25	cm

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla N.º 8 se muestran los resultados iníciales antes del proceso de aplicar el JK SIMBLAST, se evidencia que los parámetros en el diseño de perforación y voladura tenía condiciones que permitían tener sobrerotura, el burden y espaciamiento estaban elevados por encima de los rangos óptimos de acuerdo al tipo de roca generando acumulación de energía en zonas no deseadas lo que provocaba el incremento en la rotura lateral y también creaba un frente no uniforme (Ver Anexo 3), el cual reducía el avance diario de los metros perforados.

Figura 7

Diseño de malla Inicial Galería 1900 .



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 7 se observa el diseño de la malla de la galeria1900 de 2,40 por 2,80. Diseño que se realizaba antes de aplicar JK SIMBLAST.

Tabla 9

Número de taladros antes de aplicar JK simblast

Taladros	N.º de taladros	Leyenda
Alivio	3	
Arranque	3	
Ayudas	4	
Cuadradores 1°	4	
Cuadradores 2°	10	
Hastiales	6	
Ayudas de corona	6	
Corona	5	
Arrastre	5	
TOTAL	**46**	

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se muestra la cantidad y números de taladros que se realizaba para los avances en la galería 1900.

Figura 8

Malla de perforación inicial perforada en campo en la galería 1900.



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.º 8, se observa la distribución de taladros en roca granítica de sección de 2,4 metros de ancho por 2,8 metro de alto con un arranque tipo “V” no adecuado para el tipo de roca, también presenta imperfecciones el frente no siendo uniforme y con sobre dimensionamiento en los laterales

Resultado objetivo específico 2

Comprobar el proceso de ejecución del JK SIMBLAST en la aplicación en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Tabla 10

Resultados obtenidos en la aplicación de JK SIMBLAST

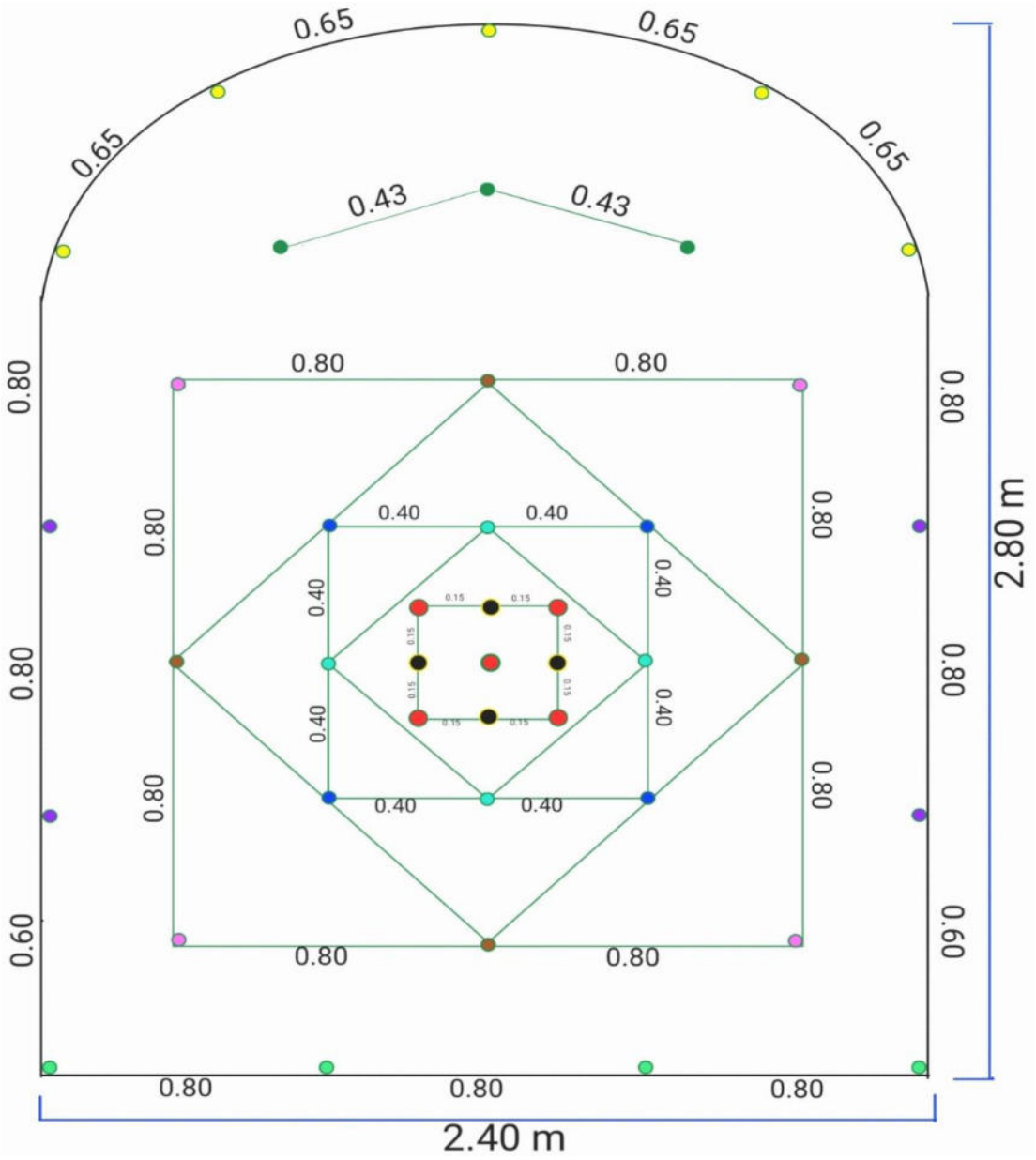
Parámetro	Valor obtenido	Unidad
Burden	0,9	m
Espaciamiento	1	m
Factor de carga	0,78	kg/m³
Sobrerotura promedio	9	%
Distancia excedida	12	cm

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla N.º 10 se muestran los valores obtenido al aplicar JK SIMBLAST el cual permitió el ajuste de los parámetros principales en la malla de perforación y voladura, donde el burden disminuyo a 0.9 m y el espaciamiento a 1.0 esto mejoro el confinamiento de la energía y la dirección de la rotura, también se ajustó el factor de carga a 0.78 kg/m3 minimizando el consumo de explosivo y de esta manera se logró una distribución más uniforme, la simulación predijo la minimización significativa en la sobrerotura, esto se validó en campo después de la voladura, en el Anexo 7 se muestra la secuencia del disparo y en el Anexo 8 el frente disparado; así mismo en el Anexo 10 se muestra los datos recolectados en campo.

Figura 9

Rediseño de malla de perforación y voladura aplicando el software JK SIMBLAST 2D Face.



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.º 9, se observa la distribución de taladros en roca granítica de sección

de 2.4 metros de ancho por 2,8 metro de alto con un arranque tipo corte quemado, siendo el adecuado para el tipo de roca de acuerdo con el software (Ver Anexo 6).

Tabla 11

Recapitulación de los nuevos componentes del diseño de malla en la galería 1900

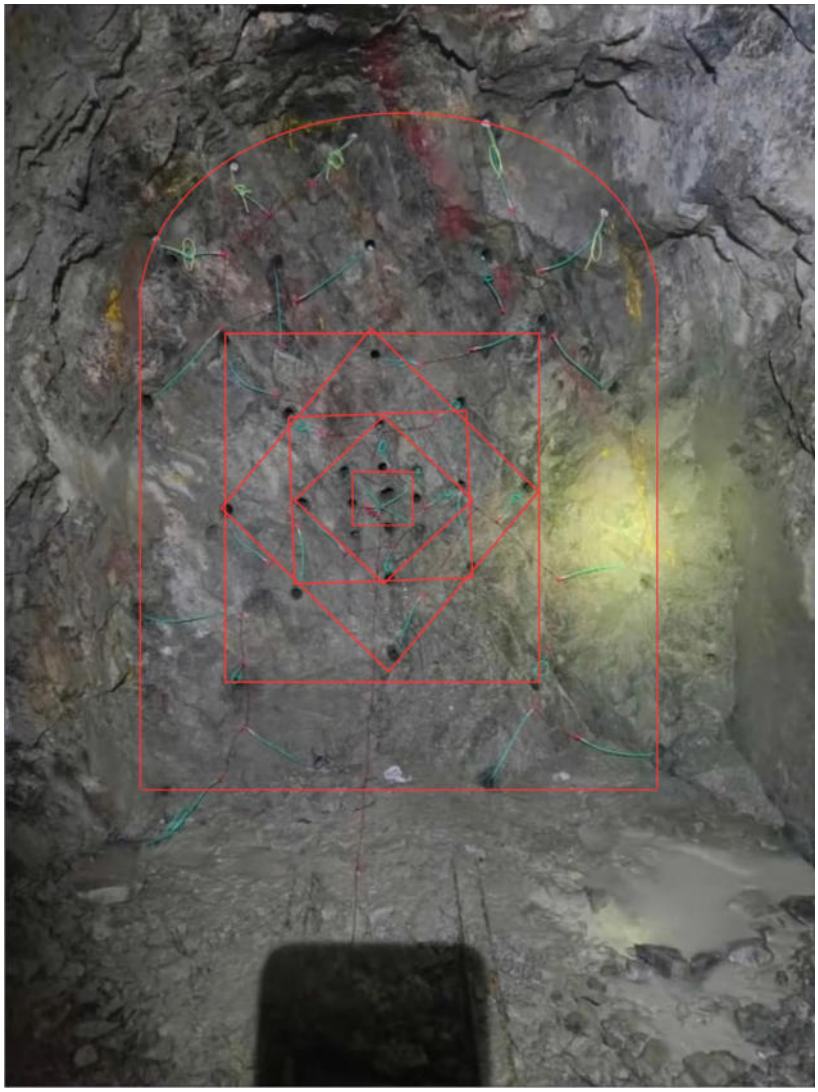
Taladros	N.º de taladros	Leyenda
Alivio	4	
Arranque	5	
Ayudas	4	
Cuadradores 1°	4	
Ayuda de Cuadradores 1°	4	
Cuadradores 2°	4	
Hastiales	4	
Ayudas de corona	3	
Corona	5	
Arrastre	4	
TOTAL	**41**	

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 11 se muestran la cantidad de taladros totales y la cantidad distribuida en el frente de la galería 1900, la distribución de carga de muestra en el Anexo 5.

Figura 10

Malla ejecutada en campo después de aplicar Jk Simblast



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.º 10 se observa la distribución de taladros en roca granítica de sección de 2,4 metros de ancho por 2,8 metro de alto con un arranque tipo corte quemado ya realizado en el campo siguiendo los patrones de la malla optimizada, siendo este el adecuado para el tipo de roca en el frente perforado.

Resultado objetivo específico 3

Cuantificar el resultado final después de aplicar JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Tabla 12

Análisis comparativo de resultados iniciales y finales al aplicar el JK SIMBLAST (Galería 1900)

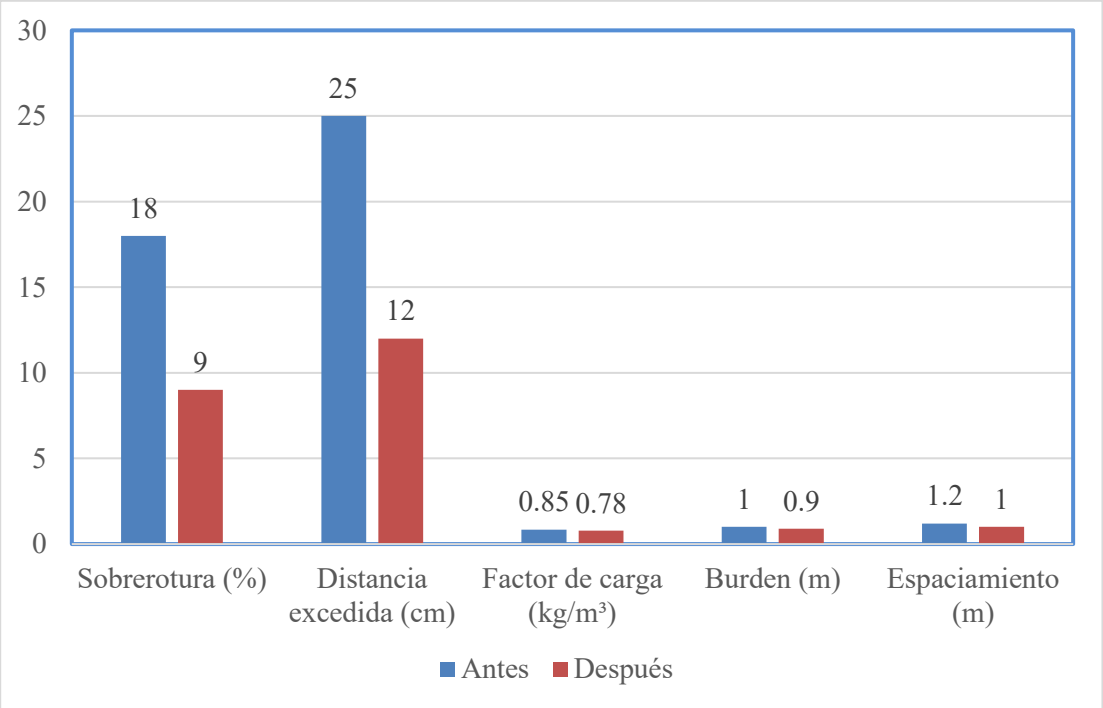
Indicador	Antes	Después	Variación	% de mejora
Sobrerotura (%)	18	9	-9	50
Distancia excedida (cm)	25	12	-13	52
Factor de carga (kg/m³)	0,85	0,78	-0,07	8,2
Burden (m)	1	0,9	-0,1	10
Espaciamiento (m)	1,2	1	-0,2	17

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla N.º 12 se muestran los resultados antes y después de optimizar la malla de perforación, la sobrerotura se redujo 50% y la distancia excedida se redujo 52%, estos dos resultados evidencian un mejor control en la energía y geometría en el disparo, también el factor de carga disminuyo 8,2% esto indica un mejor uso del explosivo, también se redujo el burden 10% y espaciamiento 17% indicando una fragmentación más uniforma y precisa. En el Anexo 4 se muestra las fotografías de campo antes de aplicar el JK SIMBLAS, así mismo en el Anexo 8 se muestra la fotografía del frente después de haber aplicado el JK SIMBLAST, donde se ven las diferencias del contorno del túnel.

Figura 11

Comparativo de parámetros ante y después de aplicar el software JK SIMBLAST



Nota: Elaboración propia.

En la Figura N.º 11 se observa la comparación antes y después donde la sobrerotura disminuye de 18% a 9% mostrando mejora significativa, en la distancia excedida también hubo una mejora significativa de 25 cm se redujo a 12 cm. Así mismo el factor de carga redujo de 0,85 kg/m³ a 0,78 kg/m³ con una reducción de – 0,07 indicando una reducción en el consumo de explosivos, también el burden y espaciamiento se redujeron indicando mejora en el diseño de malla.

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

La influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST incide significativamente en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Análisis:

Después de la implantación del software JK SIMBLAST se verificaron mejoras significativas en los indicadores de control y eficiencia en la voladura. Así mismo la sobrerotura se redujo de 18% a 9%, con una mejora del 50%, mientras que la distancia excedida se redujo de 25 cm a 12 cm mejorando un 52%, los resultados demuestran que la simulación y el diseño actual del patrón de perforación optimizaron la distribución de energía, incrementando la precisión del disparo y reduciendo desviaciones geométricas en el frente de minado.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 1, porque al aplicar el JK SIMBLAST incide de manera significativa en el control de la sobrerotura y de la distancia excedida, esto confirma un impacto positivo en la optimización del diseño de perforación y voladura en la Empresa Minera Cambio S.A.

Hipótesis especifica 1

El estado actual de perforación y voladura en frentes de minados tiene deficiencias antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A.

Análisis:

Al evaluar los parámetros antes de aplicar el JK SIMBLAST se evidencio un desempeño bajo em el proceso de perforación y voladura registrándose valores de burden de 1 m y espaciamiento de 1,2 m, patrones que generaban una distribución irregular de energía. Asimismo, el factor de carga de 0,85 kg/m³ reflejaba un consumo excesivo de explosivo; los retardos de 25 ms no aseguraban una secuencia óptima para la liberación progresiva de esfuerzos, todas estas condiciones se manifestaban operativamente en una sobrerotura promedio del 18% y una distancia excedida de 25 cm, indicadores que evidenciaban un control

geométrico deficiente del disparo y una ejecución con desviaciones significativas.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 1, confirmando que el estado inicial de la perforación y voladura presentaba deficiencias.

Hipótesis especifica 2

El proceso de ejecución del JK SIMBLAST permite reducir la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Análisis:

Al aplicar el JK SIMBLAST generó mejoras técnicas en los parámetros de perforación y voladura respecto al escenario inicial. Los valores obtenidos muestran un burden optimizado de 0,9 m y un espaciamiento de 1 m, estos parámetros favorecen una distribución más homogénea de energía durante el disparo. Asimismo, el factor de carga se redujo a 0,78 kg/m³, lo indicando mejor uso del explosivo sin comprometer la fragmentación necesaria.

El impacto más relevante se observa en los indicadores de control geométrico: la sobrerotura disminuyó de 18% a 9% y la distancia excedida se redujo de 25 cm a 12 cm, evidenciando una mejora del 50% y 52%, respectivamente. Estos resultados reflejan una ejecución más controlada y alineada al diseño teórico, lo que evidencia que el JK SIMBLAST contribuye de manera directa a la reducción de desviaciones operativas.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 2, porque al aplicar el JK SIMBLAST tiene una incidencia positiva y significativa en la reducción de la sobrerotura, optimizando el diseño y control del proceso de perforación y voladura en la Empresa Minera Cambio S.A.

Hipótesis especifica 3

El resultado final después de aplicar JK SIMBLAST mejora la sobrerotura en el frente de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.

Análisis:

Al cuantificar de la implementación del JK SIMBLAST se mostraron mejoras sustanciales en los parámetros operativos asociados al diseño y ejecución del disparo, donde la sobrerotura se redujo de 18% a 9%, logrando una mejora del 50%, mientras que la distancia excedida disminuyó de 25 cm a 12 cm, equivalente a una mejora del 52%.Asimismo, los parámetros de diseño presentan optimizaciones, en el burden se ajustó de 1 m a 0,9 m (10% de mejora), el espaciamiento de 1,2 m a 1 m (17% de mejora), y el factor de carga disminuyó de 0,85 a 0,78 kg/m³, representando un uso más eficiente del explosivo con una reducción de 8,2%, indicando que el JK SIMBLAST hizo mejoras en los parámetros de perforación y voladura, concluyendo que el JK SIMBLAST permite un diseño y simulación más precisa, reduciendo desviaciones operativas y logrando un resultado final significativamente superior respecto al estado inicial del proceso.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 3, porque los resultados finales obtenidos después de aplicar el JK SIMBLAST confirman la mejora de manera significativa en la sobrerotura y otros parámetros en perforación y voladura en el frente de minado de la Empresa Minera Cambio S.A.

4.3 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos después de haber aplicado el JK SIMBLAST indican mejoras sustanciales en el control geométrico y en los parámetros operativos del disparo, siendo la reducción de la sobrerotura de 18% a 9% con 50% de mejora y la disminución de la distancia excedida de 25 cm a 12 cm con 52% de mejora constituyen indicadores clave que demuestran un proceso de voladura más controlado y alineado al diseño teórico , también los ajustes del burden de 1 m a 0,9 m y espaciamiento de 1,2 m a 1 m, conjuntamente con la reducción del factor de carga de 0,85 a 0,78 kg/m³ reflejan una optimización de energía del explosivo eficiente. Estos resultados se fortalecen al contrastarse con otros estudios como el de Cabrera (2021**)** quien demostrando la optimización del diseño de perforación y voladura, evaluando las metodologías como las de Holmberg y Konya las cuales permitió mejorar el control de la excavación y

reducir tiempos en la operación, también los resultados coinciden con el estudio de Becar (2020), quien simulo las mallas de perforación con JK SIMBLAST – 2D Ring logró mejorar la fragmentación al disminuir el burden de 1,5–2,0 m a 1,0 m concordando con el presente estudio donde se redujo el burden a 0,9 m, en comparación con Gonzales y Rivera (2018) quienes demostraron que la elección del explosivo influye directamente en la sobreexcavación. El reemplazo de ANFO por emulsión SUBTEK permitió reducir costos y mejorar el perfil geométrico en la mina Esmeralda (Codelco). En el presente estudio, aunque no se cambió el tipo de explosivo, la mejora en el factor de carga y la eficiencia de distribución energética lograda con JK SIMBLAST genera un efecto similar con un disparo más controlado, menor sobrerotura, también los resultados del presente estudio coinciden con la investigación de Crnogorac et al. (2019), que al JK SIMBLAST 2DFace demostraron que permite visualizar las zonas de energía concentrada y los contornos de PPV, facilitando la corrección de la malla y la secuencia de iniciación. Asimismo, los resultados coinciden con el estudio de Warneke et al. (2007), ellos mediante escáner láser 3D evidenciaron la estrecha relación entre patrón de perforación, el daño estructural y la sobreexcavación, señalando que la sobrerotura puede ser medida y reducirse mediante un mejor diseño, en el presente estudio la reducción obtenida corrobora su afirmación, ya que el diseño optimizado con JK SIMBLAST evita excesos de energía y mejora el comportamiento de la masa rocosa en la voladura.

El estudio de Hong et al. (2023) respalda los resultados obtenidos. La combinación de investigaciones experimentales y escaneo láser en túneles demostró que las sobrerupturas y las subrupturas pueden reducirse mediante ajustes estructurales basados en modelado numérico. El presente estudio confirma esta tendencia, ya que la reducción de la sobrecarga, el espaciamiento y el factor de carga, junto con una simulación previa, disminuyó los daños en los contornos del túnel 1900. Además, los resultados de este estudio concuerdan con los de Curo y Juño (2023), quienes demostraron que el uso del software JK Simblast redujo el parámetro del factor de carga, aceleró el avance de la excavación del túnel y disminuyó los costos, de igual manera en el presente estudio también se tuvo una reducción en el factor de carga de 8,2%. El actual estudio también coincide con Rojas (2023), quien realizo una propuesta de malla nueva y que aumentaba el metraje de avance aun cuando implique mayor

consumo explosivo. Por lo tanto, en el estudio realizado en la Gl 1900 se observa que la optimización del diseño también tiene un incremento sustancial del avance por metro de disparo, lo que repercute positivamente en los costos unitarios y en la continuidad operativa del ciclo de minado.

Los resultados del presente estudio concuerdan con los del estudio de Muñoz y Maguiña (2023). Estos autores demostraron que el uso de técnicas de voladura controlada, como los amortiguadores de goma, redujo significativamente los daños en las paredes de la zona minera. De manera similar, en nuestro estudio, el rediseño de la rejilla explosiva, que permitió un mejor control de la energía explosiva y, por consiguiente, redujo la propagación lateral de grietas, dio como resultado un perfil de túnel más uniforme. De igual manera los resultados tienen concordancia con Ibarra (2024), quien menciona que las innovaciones tecnológicas como el JK Simblast minimizan costos de perforación y voladura y optimizan la producción en la mina. también en el estudio realizado en la galería 1900 la aplicación de tecnologías también reduce costos y mejoran la eficiencia en la labor. Así mismo al control en la sobrerotura mediante parámetros de perforación y voladura, en el presente estudio coinciden con Castañeda (2019), quien determinó que la voladura de precorte con cargas desacopladas reduce de manera significativa la sobrerotura y mejora la eficiencia en la perforación.

Los resultados concuerdan con los hallazgos de Arce y Barrientos (2023), quienes determinaron que un diseño adecuado del pozo de alivio y un control preciso de la carga explosiva incrementan el avance lineal y reducen el costo por unidad. Esto también se confirma en el presente estudio, donde el nuevo diseño permitió un mayor avance lineal.

Álvarez (2023) confirma en su estudio que una resistencia de la roca determinada con precisión, junto con una distribución adecuada de la energía de voladura y una óptima separación entre barrenos, resulta fundamental para una voladura correcta y eficiente con JK Simblast. El estudio realizado en Gl 1900 concuerda con los rangos recomendados por el autor.

Los resultados se relacionan con el estudio de Medina (2023), que halló que la voladura previa reduce significativamente la sobrecarga y los costos. En nuestro caso, la metodología empleada difiere; sin embargo, los ajustes al patrón de voladura también

permitieron un control significativo de la sobrecarga. De manera similar, el estudio de Azurín (2023) demostró que una planificación adecuada y el control de la cantidad de explosivos minimizan el daño a la roca. En nuestro estudio, la optimización de la planificación contribuyó igualmente a reducir el daño a la roca. Además, la mejora en la fragmentación descrita por Reyes (2022) mediante variaciones en el avance, el espaciamiento y la cantidad de explosivos se relaciona directamente con los resultados de nuestro estudio, en el cual la redefinición de los parámetros permitió optimizar tanto la voladura como el avance.

Los resultados tienen relación con el estudio de Rivera (2023), quien demostró que un diseño adecuado incrementa la fragmentación y la eficiencia en la explotación. Esta tendencia también es visible en los resultados del estudio presentado.

Los resultados tienen coincidencia con lo determinado por Coaguila (2021), demostró que al implementar la voladura controlada conjunta con el JK Simblast está redujo la sobrerotura de 14.3% a 2.5% y disminuyó el factor de carga de 1.7 a 1.42 kg/m³. también en el presente estudio la sobrerotura disminuyó de 18% a 9% con un 50% de mejora. Asimismo, los resultados también tienen relación con lo mocionado por Colana (2020), quien demostró que un diseño de malla optimizado reduce costos porque se reduce el número de taladros y potencia del explosivo, en el presente estudio se observa un comportamiento similar, ya que optimización del burden, espaciamiento y factor de carga no solo mejora el perfil del disparo, también reduce el factor de carga de 0,85 a 0,78 kg/m³.

Los resultados del estudio tienen coincidencia con lo demostrado por Izquierdo (2022), quien menciona que al modificar el diseño de malla esta mejora el avance por disparo incrementando la eficiencia en el avance para su caso los parámetros variados permitieron incrementar el avance hasta 3,1 m/disparo. De manera en el presente estudio la reducción del burden 1 a 0,9 m y del espaciamiento 1,2 a 1 m contribuyó a un control más eficiente del arranque y mejoras directas en la estabilidad del frente. De igual manera los resultados relacionados con el control de fragmentación y el uso adecuado del explosivo coinciden con lo señalado por Salas (2020), quien concluyó que la optimización del explosivo empleado y la uniformidad en la malla mejoran la fragmentación y reducen costos operativos.

CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES

La aplicación del JK Simblast impacto en una reducción significativa de la sobrerotura y de la distancia excedida en la galería 900, en 50% y 52%, respectivamente, los resultados demuestran un mayor control geométrico y una mejor alineación con el diseño teórico, validando la influencia positiva del software en la mejora del frente, cumpliendo con el Objetivo General del estudio.

Al evaluar el estado inicial en la perforación y voladura antes de usar el JK Simblast, se identificaron parámetros poco eficientes, como un burden de 1 m, un espaciamiento de 1,2 m, un factor de carga de 0,85 kg/m³, retardos de 25 ms y una sobrerotura promedio del 18% con 25 cm de excedencia— los cuales generaban inestabilidad en el frente, sobrerotura y mayor consumo de explosivos. Con ello se da cumplimiento al objetivo específico 1.

El objetivo específico 2 se cumplió porque la aplicación del software JK Simblast permitió optimizar el diseño de malla en la galería 1900, obteniéndose un burden óptimo de 0,9 m con una mejora del 10%, y un espaciamiento de 1 m con una mejora del 17%, logrando un diseño más eficiente respecto al diseño original.

El objetivo específico 3 se cumplió porque al cuantificar los resultados finales después de la aplicación del software. Se evidenció una reducción del factor de carga a 0,78 kg/m³, logrando una mejora del 8,2% sin afectar la fragmentación, confirmando un uso más eficiente del explosivo.

Cuadro de conclusiones de resultados antes y después de la aplicación del JK Simblast

Variable evaluada	Estado inicial	Después del JK Simblast	Mejora lograda	Interpretación técnica
Sobrerotura (%)	18%	9%	50%	Disminución significativa que refleja mayor control geométrico del frente.
Distancia excedida (cm)	25 cm	12 cm	52%	Mejor precisión en perforación y alineación respecto al diseño teórico.
Burden (m)	1,0 m	0,9 m	10%	Adecuación del burden para mejorar la liberación de energía y reducir sobrecarga.
Espaciamiento (m)	1,2 m	1,0 m	17%	Malla más compacta y eficiente según simulación del JK Simblast.
Factor de carga (kg/m³)	0,85 kg/m³	0,78 kg/m³	8,2 %	Uso más eficiente del explosivo sin afectar la fragmentación.
Retardo (ms)	25 ms	Optimizado según simulación	100%	Mejora en sincronización y control de la secuencia de disparo.

*Nota***.** El cuadro de resumen de conclusiones, antes y después e aplicar el JK Simblast en la Unidad Minera.

VI. RECOMENDACIONES

Implementar los parámetros que se hallaron en el estudio como son el burden 0,9 metros, el espaciamiento de 1 metro y factor de carga 0,78 kg/m³ para obtener en labores de avances mejores eficiencias y control en los disparos.

Realizar seguimiento constante de los indicadores de sobrerotura y distancia excedida para validar la consistencia del modelo y ajustar parámetros de acuerdo con el tipo de roca.

Capacitar al personal del área encargada de perforación y voladura en el uso y entendimiento del JK Simblast para asegurar una correcta interpretación de los resultados y su aplicación práctica en las labores de avances en la empresa el Cambio S.A.

El JK Simblast debe ser integrado como herramienta de mejora para los diseños de mallas de perforación y voladura para mejorar la productividad y mejorar la seguridad minera en labores de avances.

Recomendación	Descripción técnica
Implementación de parámetros optimizados	Aplicar en las labores de avance el burden de 0,9 m, espaciamiento de 1,0 m y factor de carga de 0,78 kg/m³, garantizando mayor eficiencia, mejor control de energía y reducción de sobrerotura.
Seguimiento de indicadores operativos	Monitorear de manera continua la sobrerotura y la distancia excedida para verificar la consistencia del modelo y ajustar los parámetros según el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.
Capacitación del personal técnico	Capacitar al personal de perforación y voladura en el uso e interpretación del JK Simblast, asegurando una correcta aplicación de sus resultados en las labores de avance de la Empresa Minera El Cambio S.A.
Integración del JK Simblast como herramienta de diseño	Incorporar el JK Simblast como herramienta institucional para el diseño y optimización de mallas de perforación y voladura, en mejor de la productividad y la seguridad en las operaciones.

Nota. cuadro de resumen de las recomendaciones propuestas a partir de los parámetros optimizados obtenidos al aplicar el JK Simblast.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez M.. (2023). *Simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JKSimBlast 2D Face para mejorar la carga explosiva, La Libertad-2023* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Privada del Norte]. ALICIA – CONCYTEC. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36118?

Álvarez, C., & Pallo, J. (2024). *Evaluación de la estrategia de voladura controlada para la reducción de daños en frentes de avance en una unidad minera subterránea polimetálica del sur del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Universidad Tecnológica del Perú. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/9963/C.Alvarez_J.Pallo_Tesis_Titulo_Profesional_2024.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Arce, D., & Barrientos, R. (2023). *Mejora del avance lineal de la galería 2450 N, para reducir el costo de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S. A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13118/2/IV_FIN_110_TE_Arce_Barrientos_2023.pdf

Arias, C. (2024). *Reducción de la sobre excavación mediante la optimización de la perforación y voladura en el Rp 2800 de zona Rosa en Unidad Minera Parcoy – 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. file:///C:/Users/User/Downloads/TESIS%20M891_Ari%20(2).pdf#page=108&zoom=100,129,445

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación* (5ta ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.

Arroyave, Á. (1991). *Galerías mineras: la modelización analítica como una ayuda geomecánica para el diseño minero*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (1), 49–64. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902847

Azurín, R. (2023). *Optimización de perforación y voladura para reducir sobrerotura en el bypass 2843 del Consorcio Minero Horizonte S.A. - Retamas 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1338

Alfaro, W. A. & Tirado, B. J. (2024). *Control de diseño en el cumplimiento del factor diseño y factor condición, mediante el software GConciliation, de una mina en Cajamarca, 2023*. Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/39123

Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación* (7ma ed.). Caracas, Venezuela: BL Consultores Asociados.

Becar, H. (2020). *"Uso de software para la optimización de operaciones de explotación en Minera del Valle SPA"* Tesis de pre- grado,. Universidad Andrés Bello: repositorio de la UNAB. Obtenido de http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/18575.

Cabrera, K. (2021). *Optimización de una malla de perforación y voladura usando las metodologías Holmberg y Konya en la mina Grumintor de la concesión Pinglio* (Proyecto técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Facultad de Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería en Geología y Minas). Macas, Ecuador. https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e246caf7-72d9-484f-af58-57682da42fe0/content

Castañeda Rojas, N. (2019). *Reducción de la sobrerotura mediante la mejora de los parámetros de voladura en la profundización de la rampa 2705, en la Unidad Minera de Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A. – La Libertad* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4441

Coaguila, J. (2021). *Optimización del avance del túnel correa mediante la aplicación de voladura controlada para reducir la sobreexcavación en el Proyecto Minero Quellaveco - 2020* (Tesis de grado, Universidad Nacional de Moquegua). Repositorio Institucional UNAM. https://repositorio.unam.edu.pe/items/8dc79db2-ee8b-48ec-a7af-17e5a06688f8?

Colana, J. (2020). *Efectos del diseño de malla de perforación y voladura en la reducción de costos de operación en el proyecto de explotación El Nuevo Sureño* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional UNAM. https://repositorio.unam.edu.pe/items/6d31a5ed-9bce-4b53-8ca5-bc39b4f8ebca

Contreras, C. (2016). *Simulación como herramienta para la planificación de la preparación minera en minería tipo Block/Panel Caving* [Memoria para optar al título de Ingeniera Civil de Minas, Universidad de Chile]. Repositorio Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138542/Simulacion-como-herramienta-para-la-planificacion-de-la-preparacion-minera-en-mineria-tipo-Block-Panel-Caving.pdf?sequence=1

Crnogorac, L., Tokalić, R., Lutovac, S., Gligorić, M., & Ganić, A. (2019). Application of JKSimBlast software in drifting operations. Podzemni Radovi / Underground Mining Engineering, 35, 37–48. https://www.researchgate.net/publication/338913443_Application_of_JKSimBlast_software_in_drifting_operations

Curo O., & Juño, E. (2023). *Aplicación del software JK Simblast para el diseño de malla de perforación en la galería Jesús María de la U.E.A. Cambalache – Angaraes – Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional UNH. https://repositorio.unh.edu.pe/items/2277da1d-434a-497c-a71f-7acaece2dcee

Dwyer, J., Orr, T., & Warneke, J. (2007, July 16). *Use of a 3-D scanning laser to quantify drift geometry and overbreak due to blast damage in underground manned entries*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI).

Energía en Minería. (s. f.). *Perforación*. Agencia de Sostenibilidad Energética. https://www.energiaenmineria.cl/procesos/perforacion/

España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Guía de buenas prácticas para el diseño y ejecución de voladuras en banco*. Recuperado el 30 de abril de 2021, de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/mineria/Explosivos/Guias/Guia_buenas_practicas_diseno_ejecucion_voladuras_banco.pdf

Evizda. (2025). *Perforación minera con broca: Técnicas y aplicaciones*. Evizda. https://evizda.com/2025/05/21/perforacion-minera-con-broca-tecnicas-y-aplicaciones/

Ministerio de Energía y Minas (2016). *Decreto Supremo N.º 024-2016-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Ministerio de Energía y Minas. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/901782/DS-024-2016-EM.pdf?v=1593568355

Hong, Z., Tao, M., Cui, X., Wu, C., & Zhao, M. (2023). Experimental and numerical studies of the blast-induced damage and overbreak in tunnel excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology, 139,* 105246. https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105246 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967422000770

Ibarra, W. (2024). *Aplicación del software JK Simblast y detonadores no eléctricos para la mejora de producción en la veta San Juan de la mina Century Mining Perú S.A.C.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. https://repositorio.unsa.edu.pe/items/9e6e1632-68a5-4eaf-a570-fb13fc56357a

Izquierdo, D. (2022). *Diseño de malla de perforación para la optimización de la voladura en el tajeo 8680 acceso uno sur de la unidad minera San Vicente de Morococha 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. https://repositorio.unam.edu.pe/items/602d78c8-6a3b-401e-bc84-725030de6e94

JKTech. (2020). *Software – JKTech*. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland. https://jktech.com.au/products/software

Konya, C., & Walter, E. (1990). *Surface Blast Design*. Prentice-Hall.

Lapčević, V., Torbica, S., Stojanović, M., & Vojinović, I. (2023). Development and validation of a universal 3D blasting fragmentation model. *Applied Sciences, 13*(14), 8316. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/14/8316?

Lázaro, J. (2024). *Análisis del diseño de la perforación y voladura para reducir la dilución de mineral en vetas angostas en minería aurífera subterránea* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería). Universidad Nacional de Ingenieria. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/27927

Langefors, U., & Kihlström, B. (1963). *The Modern Technique of Rock Blasting* (2.ª ed.). Wiley.https://books.google.com.pe/books/about/Swedish_blasting_technique.html?id=GQUjzQEACAAJ&redir_esc=y

Mamani, F. (2023). *Simulación del algoritmo Holmberg en el JKSimBlast 2D Face para optimizar los estándares de perforación y voladura en Unidad Minera Shuntur 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7214

Medina, H. (2023). *Reducción de sobrerotura en labores lineales mediante voladura controlada de precorte en una mina subterránea, La Libertad* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36437

Mensah, D. (2012). *Un software para el diseño de voladuras en minería a cielo abierto* (Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid). Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/14005/1/PFC_DARLINGTON_MENSAH.pdf

Mina, H. (2025). *Título de la tesis / Trabajo: Estrategias para reducir la sobrerotura en labores de avance con mala calidad de roca* (Trabajo de investigación de grado). Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17927/11/IV_FIN_110_TE_Mina_Espinoza_2025.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Guía de buenas prácticas para el diseño y ejecución de voladuras en banco*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/mineria/Explosivos/Guias/Guia_buenas_practicas_diseno_ejecucion_voladuras_banco.pdf

Muji et al. (2022). Selection of blasting design using AHP-TOPSIS. Paper presented at the *International Symposium on Earth Science and Technology*, Fukuoka, Japan. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/369658196_Selection_of_Blasting_Design_using_AHP-TOPSIS

Muñoz , D., & Maguiña, D. (2023). *Modelo de control de la sobrerotura del macizo rocoso aplicando la técnica de voladura controlada con colchones de caucho en labores horizontales de una mina subterránea en el sur del Perú* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671257

Onton E. (2023). *Evaluación de voladura para reducir sobre excavación de la rampa 2705 en la Unidad Minera Parcoy Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe6e23a5-a1b5-473e-831d-b7bf3950f2d6/content

Pérez, C. & Boza, J. (2023). *Optimización de avance de la rampa (–) 565 aplicando estándares de perforación y voladura en la zona de Huancavelica – Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cdd68e8a-e99a-48c7-bcb1-79c35676dee5/content#page=56&zoom=100,148,438

Persson, P., Holmberg, R., & Lee, J. (1994). *Rock blasting and explosives engineering*. CRC Press.

Perú21. (2024). *"En el 2024 la minería es de todos"*. Sitio web corporativo. https://peru21.pe/economia/en-el-2024-la-mineria-es-de-todos-pbi-bcr-economia-tia-maria-antamina-raura-cajamarca-arequipa-noticia/

Posada. (2022). *Voladura de rocas en la minería: Definición, tipos y recomendaciones*. http://posada.pe/voladura-de-rocas-en-lamineria-definicion-tipos-recomendaciones/

Reyes, I. (2022). *Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca – Cantera El Pedregal Reque* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/132946

Rojas, E. (2023). *Evaluación del diagrama de perforación con JK Simblast para mejorar el metraje de avance programado en la Empresa VRD Minería y Construcción S.A.C 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=aplicacion+jk+simblast&oq=

Rivera, K. (2023). *La aplicación del diseño de malla de perforación y voladura y su influencia en la calidad del fraccionamiento de mineral en la Unidad Minera Andaychagua - Yauli 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14059/2/IV_FIN_110_TE_Rivera_Alvarado_2023.pdf

Salas, J. (2020). *Optimización de la fragmentación de roca en el nivel 1515 mediante el uso de emulsiones encartuchadas en la mina San Vicente — Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A., Junín — 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. https://repositorio.unam.edu.pe/items/7f5a4275-fb0e-42e3-af2c-3f94609f1042

Salazar, J. (2024). *Análisis de los parámetros de perforación y voladura y su optimización con aplicación del software JKSimBlast en los frentes de desarrollo de la U.E.A. Yauliyacu 2020-2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica* (4ta Edición ed.). México D.F., México: Editorial Limusa.

Toro, R., & Reyes, A. (2022). *Rediseño de mallas aplicando el modelo matemático Holmberg y el software JK Simblast para incrementar la productividad de perforación y voladura en la mina Ormasan-Pataz, 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/37931

Torres, D., Santos, A., Ccallo, W., & Soberón, D. (2017). *INGEMETBoletín Serie A:* Carta Geológica Nacional. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12544/1009

Vilca, K. (2021). *Aplicación del modelo matemático Roger Holmberg para mejorar la perforación y voladura en el crucero 10828 - Este de la contrata minera Mincotrall S.R.L. – MARSA 2019* (Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas). Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6830/T010_47845303_T.pdf;jsessionid=89F274E06EA0E348306C2157D1D8F1B4?sequence=1

Vilugrón, E. (2020). *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de Mina El Dorado, Ovalle* (Memoria de pregrado, Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil de Minas). https://repositorio.unab.cl/server/api/core/bitstreams/a409a501-e23a-4437-b457-f8981762a99c/content.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

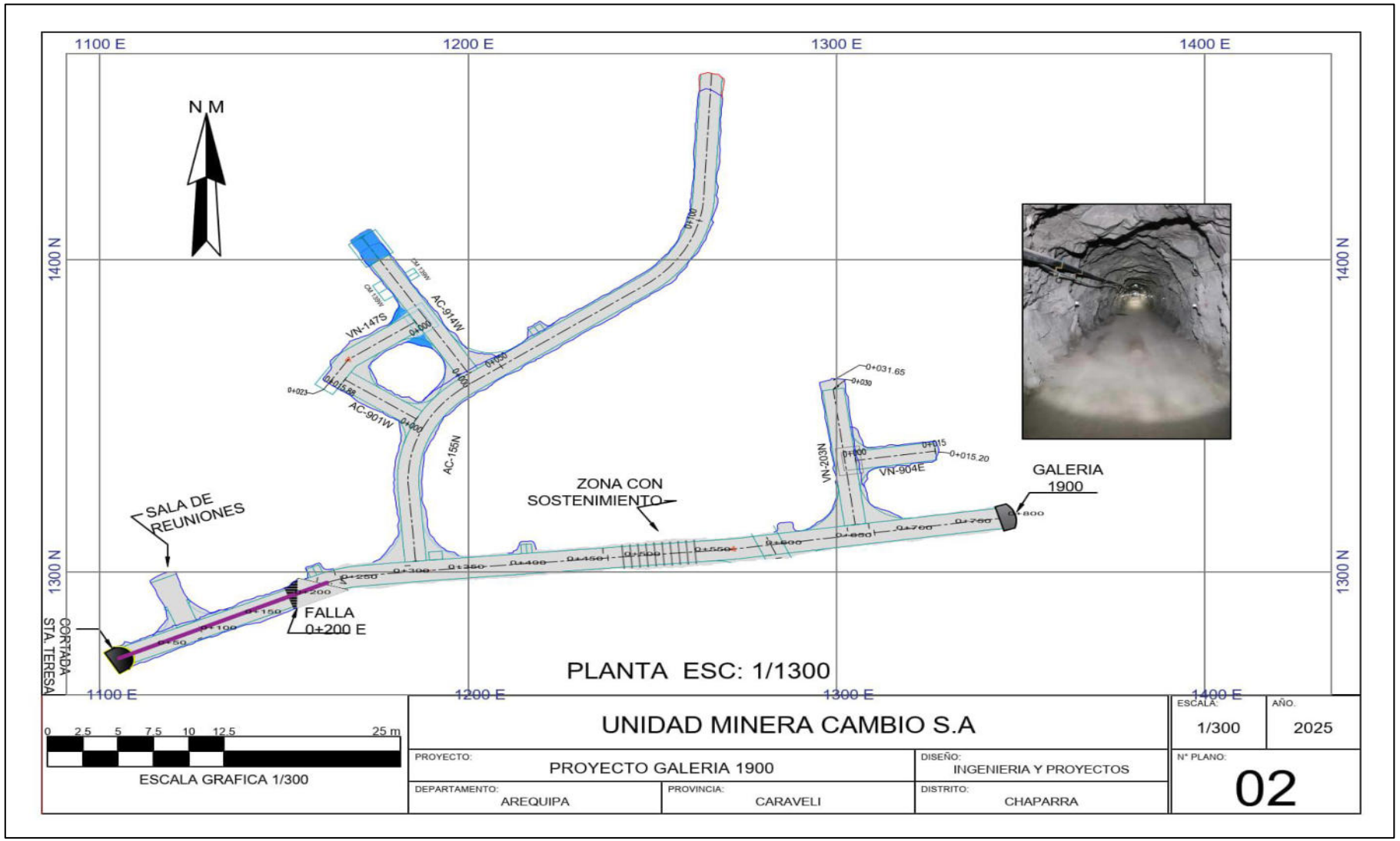
MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLÓGICA
Interrogante General ¿Cómo influye la aplicación del JK SIMBLAST en optimización del diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.? **Interrogantes Específicas** - ¿Cuál es el estado actual de perforación y voladura en frentes de minados antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A.? - ¿Cuál es el proceso de aplicación del JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.? - ¿Cuál es el resultado final después de aplicar JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.?	**Objetivo General** Determinar la influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.C **Objetivos Específicos** - Evaluar el estado actual de perforación y voladura en frentes de minados antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A - Comprobar el proceso de aplicación del JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A. - Cuantificar el resultado final después de aplicar JK SIMBLAST en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A.	**Hipótesis General** La influencia en la optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST incide significativamente en la reducción de la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A. **Hipótesis Específicos** - El estado actual de perforación y voladura en frentes de minados tiene deficiencias antes de aplicar el JK SIMBLAST en la Empresa Minera Cambio S.A - El proceso de ejecución del JK SIMBLAST permite reducir la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S.A. - El resultado final después de aplicar JK SIMBLAST mejora la sobrerotura en frentes de minado en la Empresa Minera Cambio S. A	**Variable Independiente:** Optimización del diseño de malla de perforación y voladura aplicando JK SIMBLAST **Indicadores:** Burden y espaciamiento, Factor de Carga, tiempo de retardos. **Variable Dependiente:** Reducción de la sobrerotura en frentes de minado. **Indicadores:** Sobrerotura, distancia excedida.	**Tipo de investigación** Tipo aplicada. **Nivel de investigación** Nivel explicativo. **Diseño de Investigación** Diseño experimental. **Población** constituida por todos los frentes de minados de avances en zonas de profundización en la Empresa Cambio S.A. **Muestra** Conformada por los frentes de minados donde se aplicará el JK SIMBLAST estos son galería 1900 en la Empresa Cambio S.A. **Técnicas e instrumentos para la recolección de datos** Técnicas de recolección de información, técnica de recolección del análisis documental y técnica del Fichaje**.** **Instrumentos de recolección de datos** Reportes e informes, fichas de investigación. **Validación y confiabilidad de los instrumentos** Validez de contenido, validez teórica y confiabilidad. **Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos** tablas de distribución gráficos estadísticos, estadística descriptiva.

Nota. Elaboración propia.

ANEXO 2

GALERIA 1900.



Nota. Elaboración propia.

ANEXO 3

GALERIA 1900 MALLA INICIAL.



ANEXO 4

GALERIA 1900 DISPARADA ANTES DE OPTMIZAR EL DISEÑO DE MALLA.



ANEXO 5

DISTRIBUCION DE CARGA EXPLOSIVA.

DISTRIBUCION DE TALADROS		CARTUCHOS POR TALADRO		
		Emulnor	Dinamita semigelatina	Total
	tal. / disp.	5000 7/8" x 7"	65 7/8" x 7"	*cart./tal*
Arranque	5	5	35	8
1° Ayudas	4	0	32	8
1° Cuadradores	4	0	32	8
Ayuda Cuadradores	4	0	32	8
2° Cuadradores	4	0	32	8
Hastiales	4	0	28	7
Ayuda corona	3	0	21	7
Corona	5	0	35	7
Arrastre	4	0	32	8
Total, cartuchos por disparo (und.)		5	279	**284**
Total, explosivos por disparo (kg.)		0.390	22.32	**22.710**

ACCESORIOS	
CARMEX Nº 8	**MECHA RAPIDA Z-18**
37 Unid.	25 m

Taladros Cargados	**37**
Taladros de Alivio	**4**
Taladros Perforados	**41**

Taladros Cargados	**37**
Taladros de Alivio	**4**
Taladros Perforados	**41**

ANEXO 6

DATOS Y SIMULACIÓN DE REDISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL SOFTWARE JK SIMBLAST 2D face.

Figura 1: Construcción labor galería 1900 minera cambio S.A.

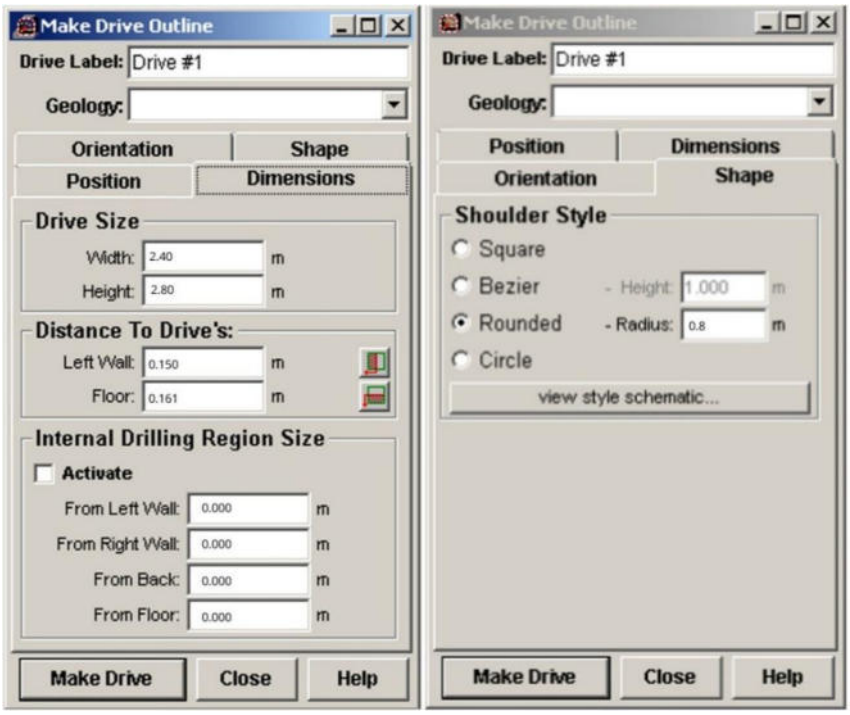


Figura 2: Imagen00 característica de los taladros

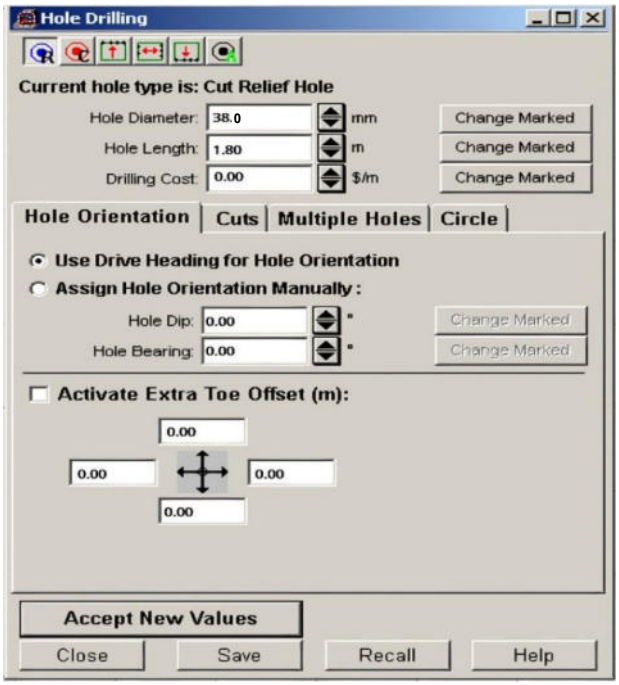


Figura 3: Diseño de arranque Galería 1900 minera cambio S.A.

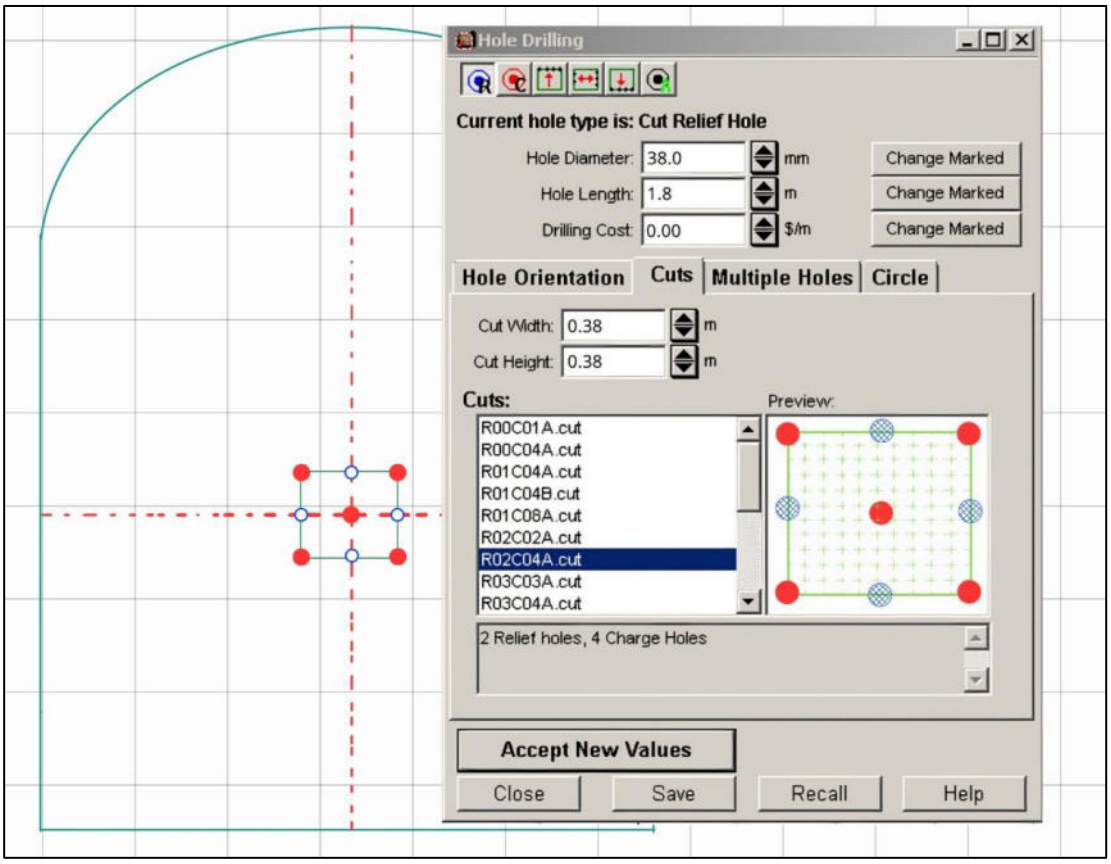
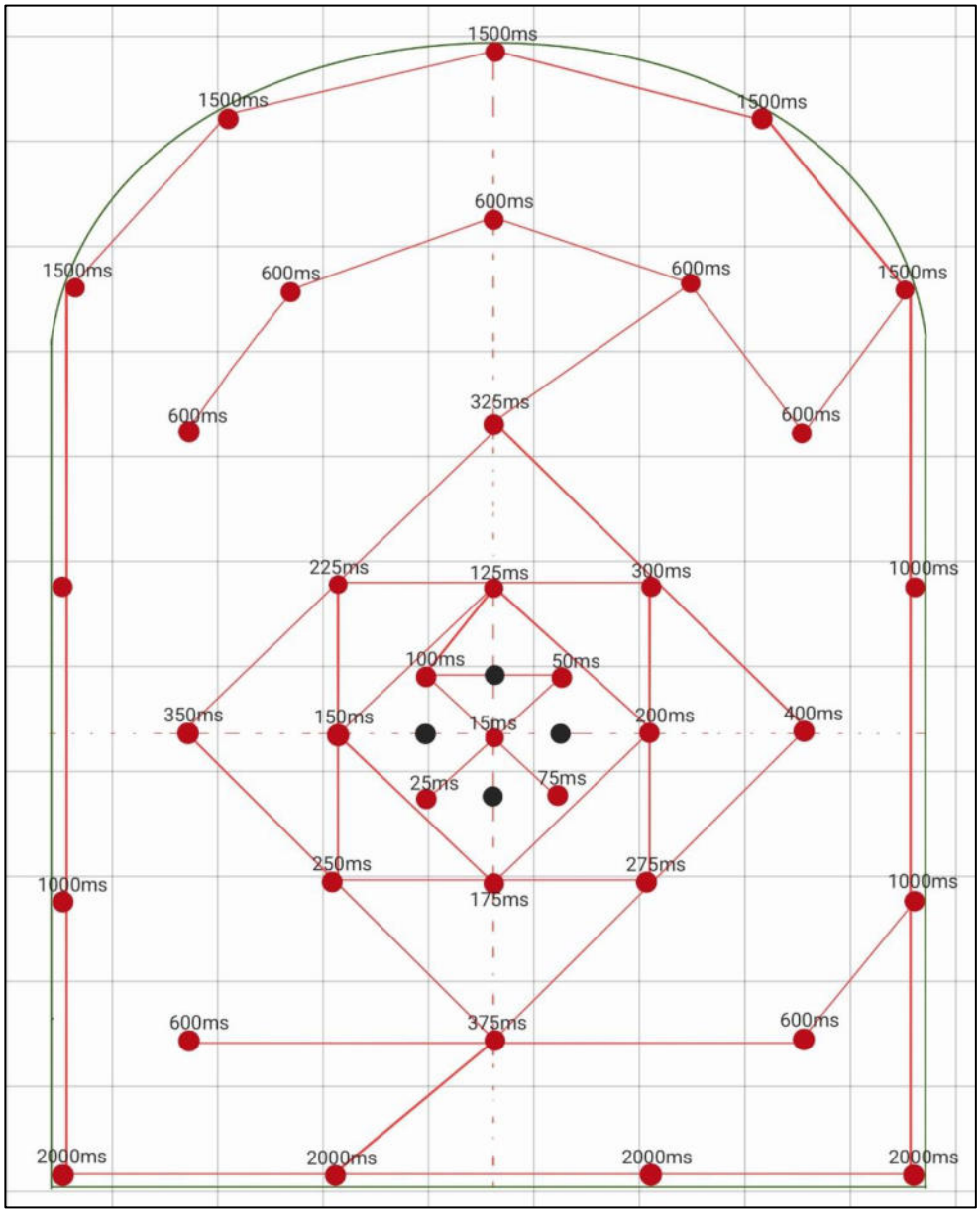
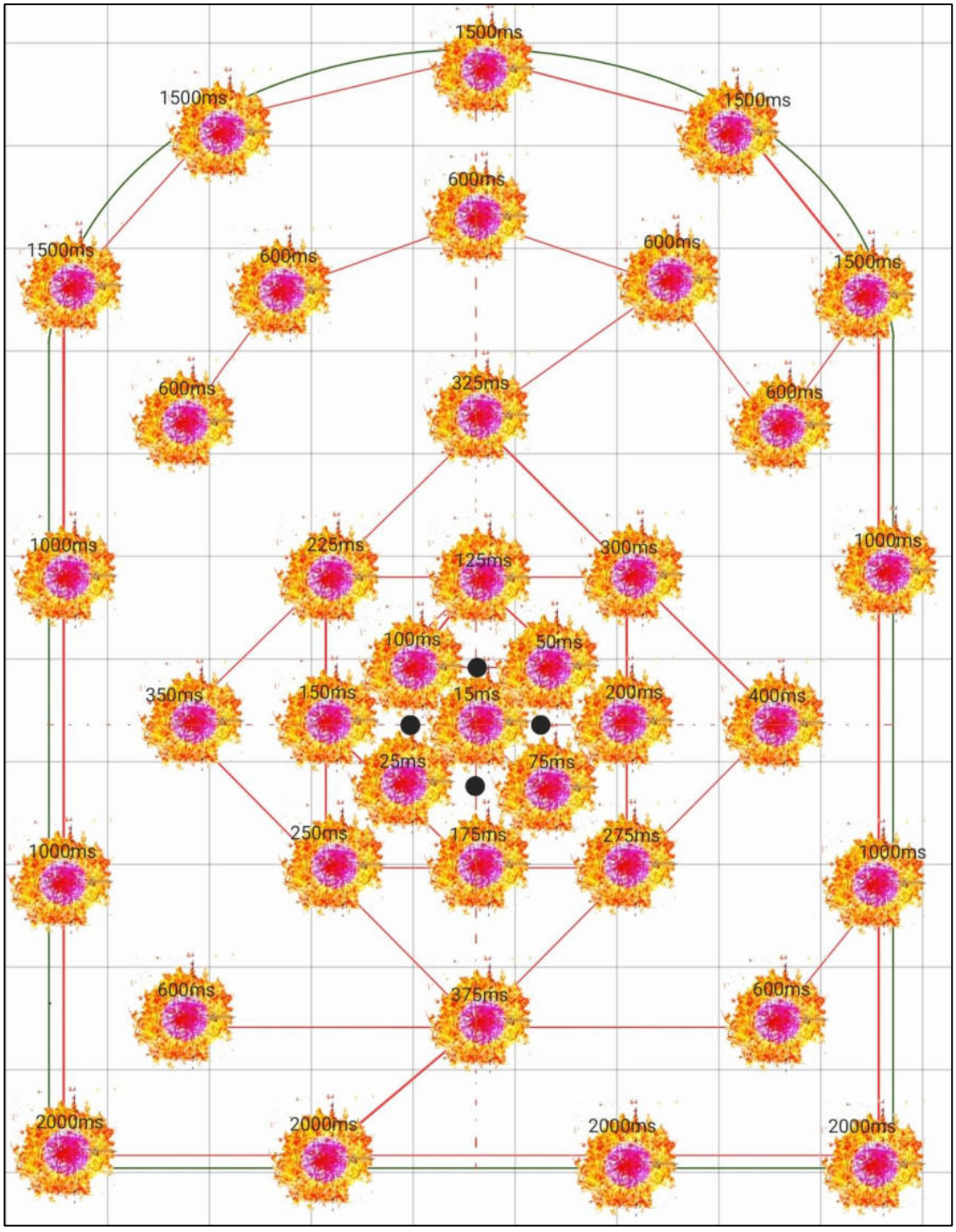


Figura 4: Distribución de taladros y carguío de taladros *y con su respectivo amarre en JK Simblast 2D fase.*



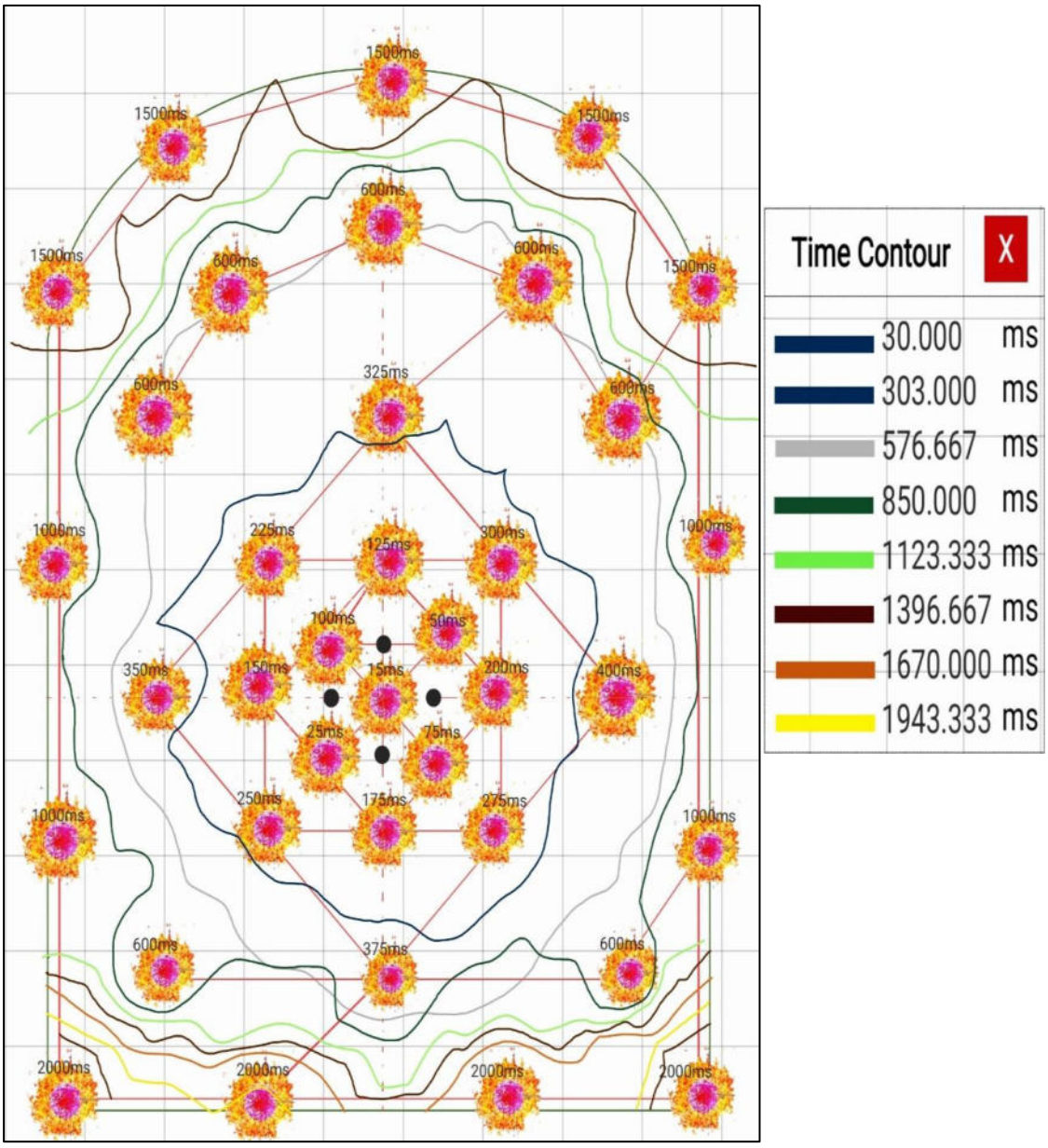
Nota. Se muestra la malla elaborada en el Jk Simblast, en este caso ya se ha realizado el cargado con el explosivo Semexsa 65% 7/8" 7".

Figura 5: *detonación de malla.*



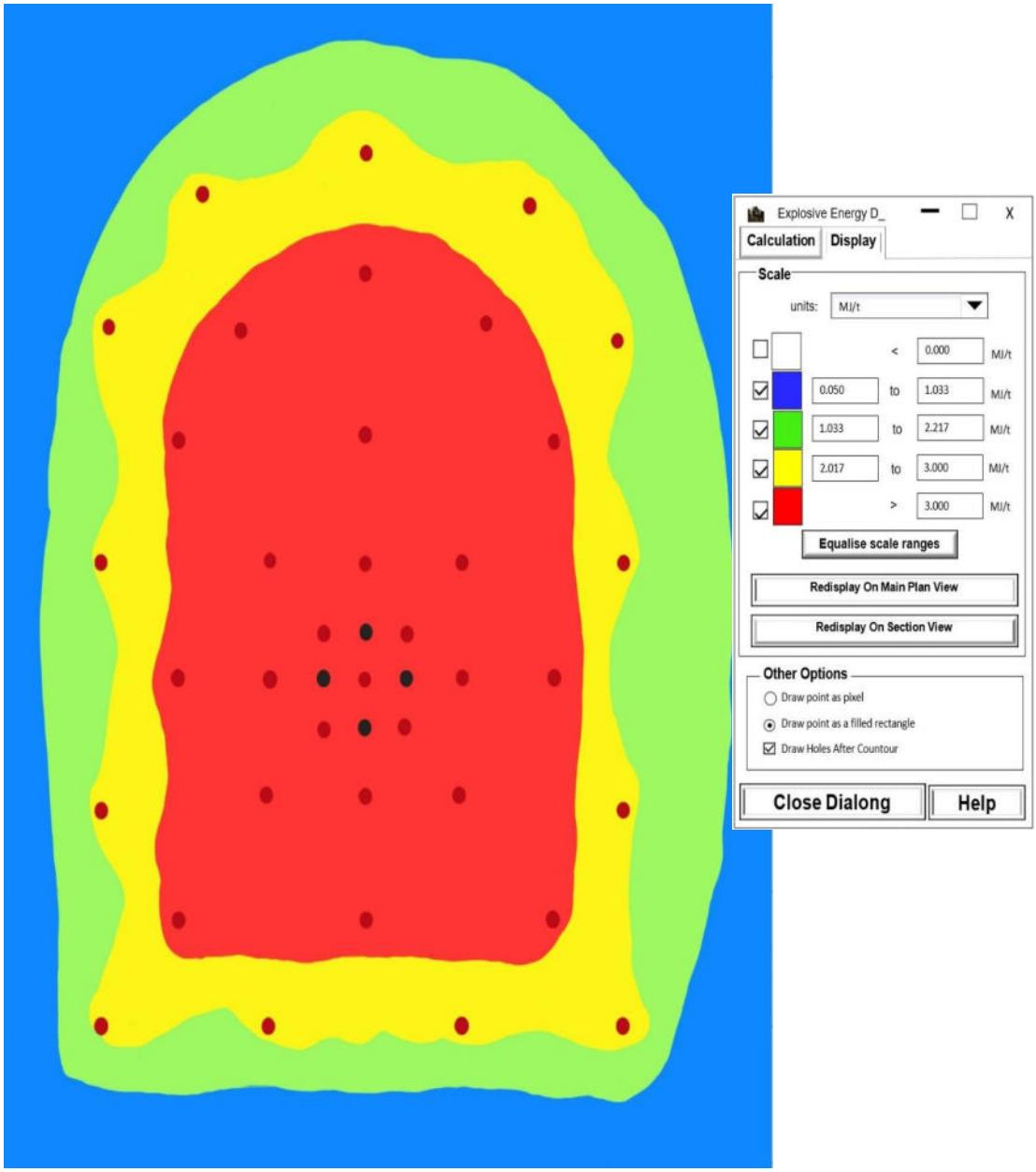
Nota. Se muestra la simulación de voladura en el software, se puede apreciar como todos los taladros llegaron a detonar.

Figura 6 *Isovalores de simulación de voladura.*



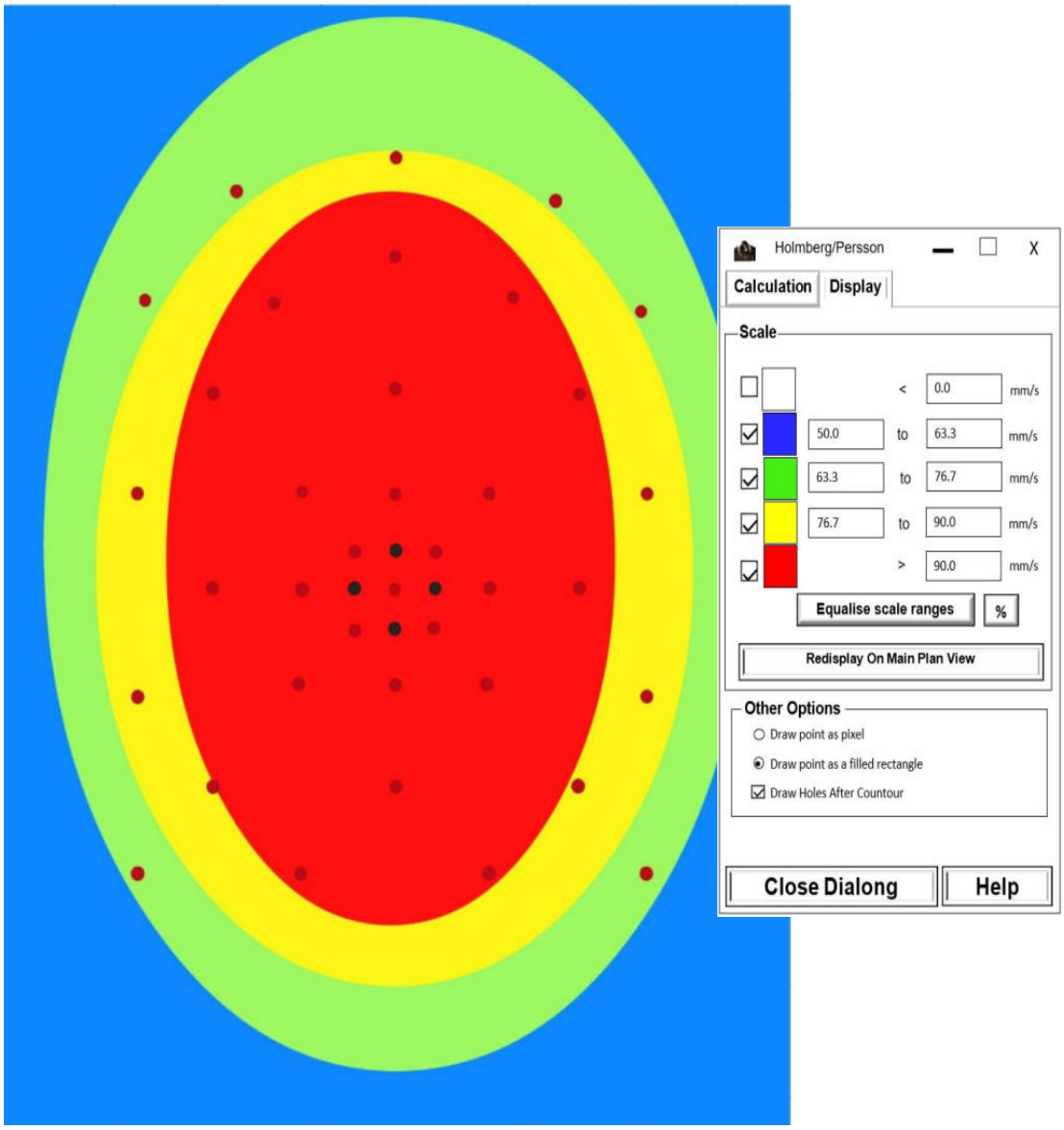
Nota. Se observan isovalores según el tiempo de salida de los taladros, evidentemente a medida que se aleja del centro (arranque), este tiempo se va alargando (contornos).

Figura 7 *Análisis de la distribución de energía.*



Nota. En el análisis de la energía (MJ/t) se puede observar una distribución correcta (es importante mencionar que este análisis se hizo teniendo en cuenta que la densidad del material es de 2.7 tm /m^3) puesto que esta se concentra en el centro y a medida que se avanza a los contornos, esta va disminuyendo, con lo cual se puede evitar la sobrerotura.

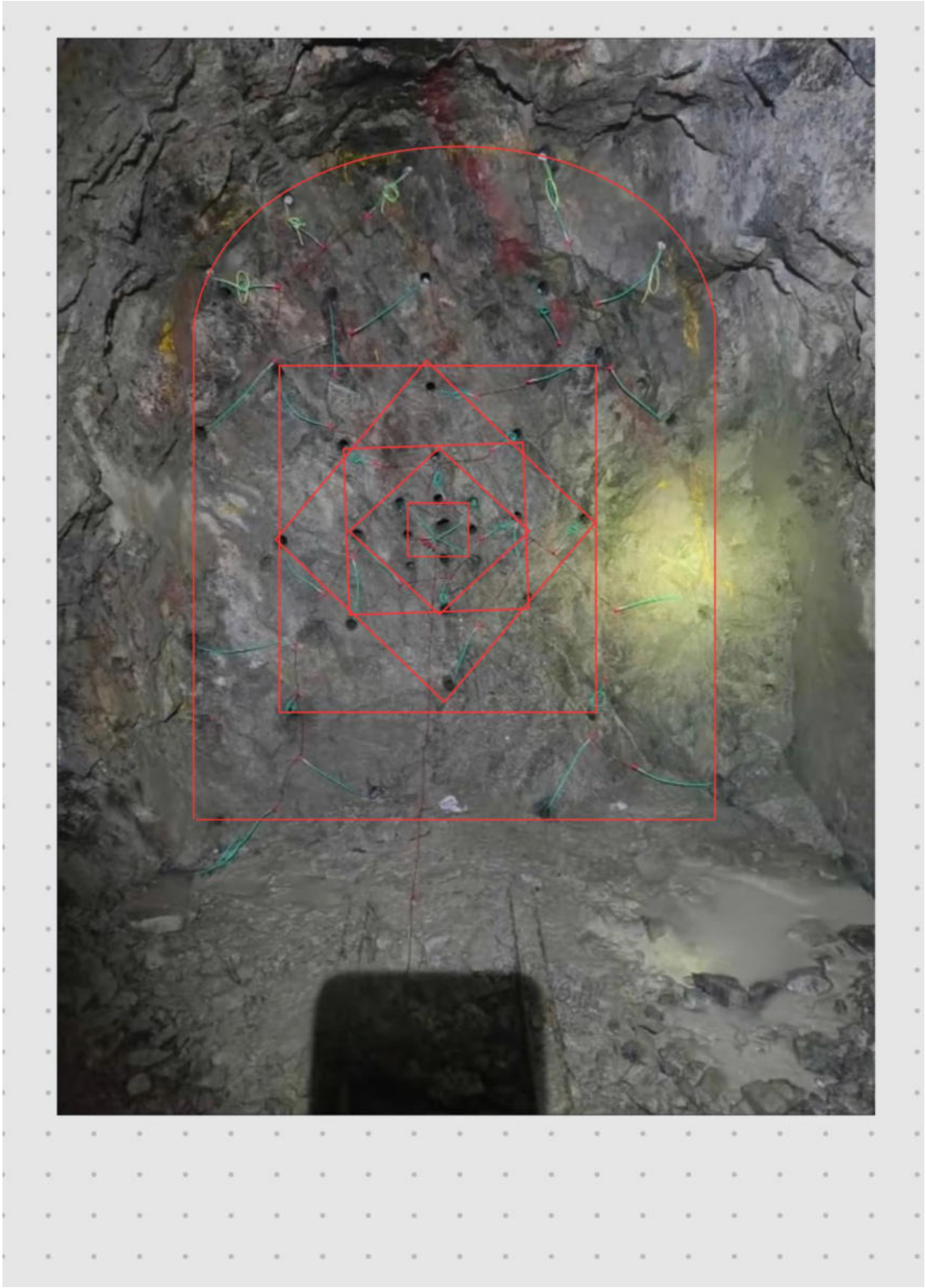
Figura 8 *Análisis de vibraciones*



Nota. Se muestra que las vibraciones producto de la voladura en la sección superan los 90.0 mm/s, sin embargo, en los taladros de la corona, no superan los 76.7 mm/s. La parte externa de la sección está entre 50 mm/s y 63.3 mm/s (color azul), es así que a medida que nos alejamos del centro de la labor (arranque), el nivel de vibraciones va disminuyendo, es decir, es indirectamente proporcional.

ANEXO 7

CARGUIO Y SECUENCIA DE VOLDURA GALERIA 1900 OPTIMIZADA



ANEXO 8

VOLADURA FRENTE OPTIMIZADO GALERIA 1900.



ANEXO 9

TABLA GEOMECANICA.

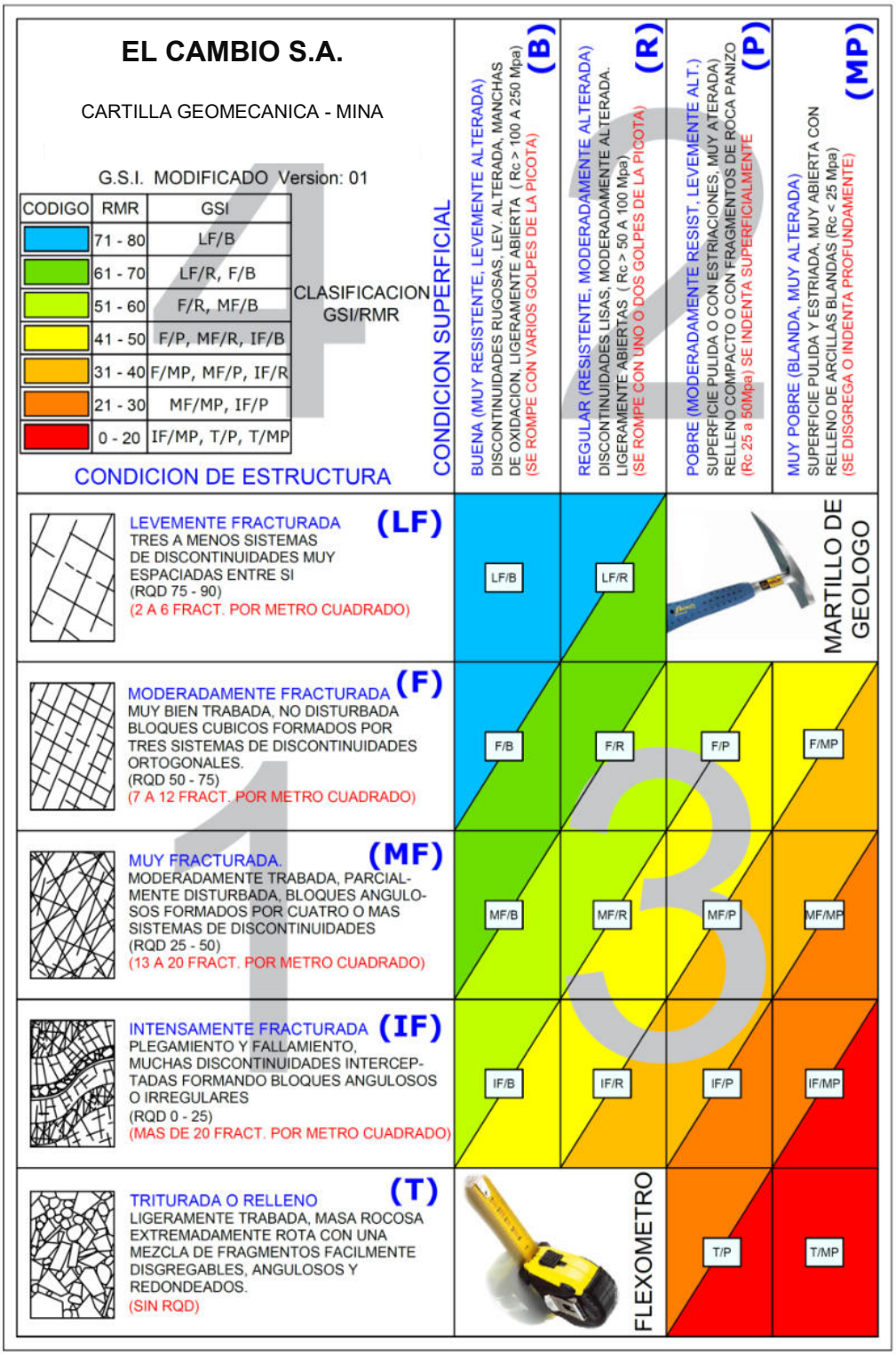


TABLA GEOMECANICA RMR

TIPO DE SOSTENIMIENTO

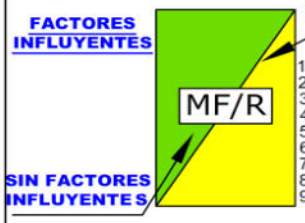
RIESGO DE ESTABILIDAD	CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA	VALUACIÓN SEGÚN RMR	GSI	GRADO DE ESTABILIDAD	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO) TEMPORALES	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO) PERMANENTES	EXPLOTACION (TAJEOS)
RIESGO BAJO		II A	BUENA A	71 - 80	LF/B	ESTABLE	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno de fricción ocasional o puntual
		II B	BUENA B	61 - 70	LF/R, F/B		Perno de fricción espaciados a 1.80mx1.80m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.80mx1.50m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.80mx1.80m en forma de rombo
RIESGO MEDIO		III A	REGULAR A	51 - 60	F/R, MF/B	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE	Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.20m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
		III B	REGULAR B	41 - 50	F/P, MF/R, IF/B		Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.10m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno de fricción espaciados a 1.20mx1.00m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.10m en forma de rombo mas malla electrosoldada
RIESGO ALTO		IV A	POBRE A	31 - 40	F/MP, MF/P, IF/R	INESTABLE	Cuadros de madera espaciados a 1.20m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.20m con todos sus elementos de seguridad.
		IV B	POBRE B	21 - 30	MF/MP, IF/P		Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 1.00m con todos sus elementos de seguridad.
		V	MUY POBRE	< 20	IF/MP, T/P, T/MP	MUY INESTABLE	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.50m con todos sus elementos de seguridad	Cuadros de madera espaciados a 0.80m con todos sus elementos de seguridad.

METODOLOGIA DE APLICACIÓN - TABLA GSI

APLICACIÓN SIN CONSIDERAR FACTORES INFLUYENTES :Para aplicar la Tabla se deben lavar los hastiales, el techo y el frente de la labor y determinar los 2 parámetros del **INDICE GSI**:

1. Condición de Estructura, se determina contando el número de fracturas por metro lineal.
2. Condición Superficial, se determina mediante golpes de picota o barretilla.

CORRECCIÓN CONSIDERANDO FACTORES INFLUYENTES :Los factores influyentes condicionan un mayor reforzamiento del área evaluada, por lo tanto deberá **"castigarse"** con un menor INDICE GSI e instalarse el siguiente tipo de sostenimiento; considerando una sola corrección según el gráfico:



1. Esfuerzos In Situ, por profundizaciones mayores a 500 m.
2. Esfuerzos Inducidos, por labores cercanas entre sí.
3. Esfuerzos Inducidos, por Labor Antigua, Pilares-Puentes.
4. Presencia de agua de filtración como goteras ó flujos.
5. Presencia de Falla, zonas de corte ó áreas perturbadas.
6. Falta de sostenimiento ó sostenimiento no oportuno.
7. Orientación de las fracturas.
8. Voladura deficiente.
9. Zona de intersecciones.

NOTA: En zonas de intersecciones aplicar estándar de sostenimiento en intersecciones.

IMPORTANTE: Cualquier modificación o combinación del sostenimiento se realizara bajo evaluación y recomendación del Área de Geomecánica.

ANEXO 10

FORMATOS DE CAMPO OBSERVACIÓN DIRECTA.

Formatos de Campo - Perforación y Voladura (Empresa Cambio S.A.)

FORMATO 1: Registro de Perforación en Frente de Minado

Código del formato: F-PF-01

Lugar: Galería 1900

Fecha: 08 / 11 / 2025

Turno: Día / Noche

Guardia: A

Supervisor: JOSE MATEO SOLIS

Jefe de Guardia: Alejandro Cardozo SOTO.

1. Datos generales del frente

Labor / Código de labor: GL - 1900

Tipo de frente: ☒ Avance ☐ Producción

Longitud del avance programado (m): 6 pies

Roca predominante: GRANITO

Método de perforación: ☒ Manual ☐ Jumbo ☐ Simba

2. Parámetros de la malla de perforación

Ítem	Dato programado	Dato real	Observaciones
Burden (m)	0.90	0.90	Efectivo
Espaciamiento (m)	1.0	1.05	Bueno
Profundidad de taladros (m)	1.80	1.70	ninguna
Número total de taladros	41	41	Realizado
Tipo de taladro	Horizontal	Horizontal	—
Inclinación	0°	0°	—

3. Control de precisión de perforación

Taladro N.º	Prof. programada (m)	Prof. real (m)	Desviación (cm)	Estado
1	1.80	1.70	0	OK
2	1.80	1.70	0	OK
3	1.80	1.70	0	OK
4	1.80	1.70	0	OK
5	1.80	1.70	0	OK

4. Condiciones del equipo y operador

Equipo usado: Jack 6g

Horómetro inicio: 9am fin: 19. pm.

Operador: Valeriano Huachuy

Observaciones: Ninguna.

Alejandro C.

Formatos de Campo - Perforación y Voladura (Empresa Cambio S.A.)
FORMATO 1: Registro de Perforación en Frente de Minado
Código del formato: F-PF-01
Lugar: Galería 1900
Fecha: 10 / 11 / 2025
Turno: Día / Noche
Guardia: A
Supervisor: José MATEO SOLIS
Jefe de Guardia: Alejandro Cancharí SOTO.

1. Datos generales del frente
Labor / Código de labor: GL – 1900
Tipo de frente: ☒ Avance ☐ Producción
Longitud del avance programado (m): 6 pies
Roca predominante: GRANITO
Método de perforación: ☒ Manual ☐ Jumbo ☐ Simba

2. Parámetros de la malla de perforación

Ítem	Dato programado	Dato real	Observaciones
Burden (m)	0.90	0.90	—
Espaciamiento (m)	1.0	1.0	—
Profundidad de taladros (m)	1.80	1.70	—
Número total de taladros	41	41	—
Tipo de taladro	Horizontal	Horizontal	—
Inclinación	0°	0°	—

3. Control de precisión de perforación

Taladro N.°	Prof. programada (m)	Prof. real (m)	Desviación (cm)	Estado
1	1.80	1.70	0	OK
2	1.80	1.70	0	OK
3	1.80	1.70	0	OK
4	1.80	1.70	0	OK
5	1.80	1.70	0	OK

4. Condiciones del equipo y operador
Equipo usado: Jack leg
Horómetro inicio: 9 am fin: 19. pm.
Operador: Valeriano Huachua
Observaciones: Ninguna.



"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

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

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: **Edwin Fidel Flores Checalla**
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: **74279743**
Correo electrónico	: **edwin26flores98@gmail.com**
Teléfono/Celular	: **957106562**

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 DEL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APLICANDO JK SIMBLAST EN LA REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA EN GALERIA 1900 EN LA EMPRESA MINERA CAMBIO S.A.**
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 -- Minería, Procesamiento de minerales**
c) Fecha de publicación : 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : **Christ Jesus Barriga Paria**
b) DNI/Pasaporte/Cédula : **44331713**
c) ORCID : **Christ Jesus Barriga Paria (0000- 0002-7130-9297)**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74279743
NOMBRES Y APELLIDOS : Edwin Fidel Flores Checalla

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

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 : 74279743
NOMBRES Y APELLIDOS : EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA
FECHA : 24 de diciembre del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

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

Yo, **EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA**, bachiller de la Escuela Profesional de: **Ingeniería de minas**, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº. **74279743**, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado **OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APLICANDO JK SIMBLAST EN LA REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA EN GALERIA 1900 EN LA EMPRESA MINERA CAMBIO S.A.**

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, 24 de diciembre del 2025



Huella digital

Edwin Fidel Flores Checalla
74279743

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

Edwin Fidel Flores Checalla

TESIS

TESIS

CONFORMIDAD DE TESIS FINAL

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3432457059

Fecha de entrega

3 dic 2025, 4:36 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 dic 2025, 5:16 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_Edwin..1.pdf

Tamaño del archivo

4.4 MB

102 páginas

21.060 palabras

117.843 caracteres

UNAM

Firmado digitalmente por BARRIGA PARIA Christ Jesus FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.12.2025 17:18:16 -05:00

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
3 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

0% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
0% 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 Publicación
Campos Gonzales, Marco Antonio. "Uso del aula virtual Moodle como espaciodidá... <1%

2 Publicación
Morales Morales, Luis Gerardo. "Implementar un sistema de gestión en segurida... <1%

3 Publicación
Guido Francisco Loayza Susanibar. "Planeamiento estratégico para el incremento... <1%

4 Publicación
YAKU CONSULTORES S.A.C.. "DIA del Proyecto de Exploración Minera Paraíso-IGA... <1%

5 Publicación
Angie Pamela, Dagner Salvador, Juan Cesar Farias Rodríguez. "Relationship Betw... <1%

6 Publicación
Fatima Roxana, Castillo Castañeda | Guicela Inocencia, Gerónimo Cuba. "Motivaci... <1%

7 Publicación
Orlando Bazan Santa Cruz. "Innovaciones estadísticas y redes neuronales artificia... <1%

8 Publicación
Zilong Zhou, Peiyu Wang, Ruishan Cheng, Xin Cai, Cuigang Chen. "Blast-induced d... <1%

9 Publicación
Calla Fernandez, Juan Fredy. "Efectos de la disolución del mineral calcita en el co... <1%

10 Publicación
Alanoca Cama, Efrain. "Factores asociados y deserción escolar en el Centro de Ed... <1%

11 Publicación
Callapani Quispe, Mirian Milagros. "Liderazgo transformacional de los directivos ... <1%

12 Publicación
Zhixian Hong, Ming Tao, Xuejiao Cui, Chengqing Wu, Mingsheng Zhao. "Experime... <1%

13 Publicación
Bravo Chávarry, Erick Manuel | Calderón Quezada, José Augusto | Ledesma Carb... <1%

14 Publicación
Canaza Mamani, Alipio. "Exposición ocupacional de ruido y capacidad auditiva en ... <1%

15 Publicación
Huatta Pancca, Roxana. "Control interno y su influencia en los procesos de adquis... <1%

16 Publicación
Marco Antonio Cotrina-Teatino, Jairo Jhonatan Marquina-Araujo, Solio Marino Ara... <1%

17 Publicación
Stefan Milanović, Nikola Simić, Lazar Kričak, Milanka Negovanović, Nikola Đokić. ... <1%

18 Publicación
Vicente Lopez, Jesus Pol. "Uso de la google drive como recurso didáctico y el apre... <1%

19 Publicación
Badillo, Alex Elvis. "Ancient Settlement Patterns and Land-Use Dynamics in Rural ... <1%

20 Publicación
Zambrano Poma, Carlos Alberto. "Efecto de cuatro biofertilizantes en el suelo y re... <1%

21 Publicación
Palma Savino, Jovito Dasio. "Las regletas de cuisenaire, como recursos de aprendi... <1%

22 Publicación
Salinas Ayala, Jenny Mariela. "Participación comunitaria de mujeres rurales en de... <1%

23 Publicación
Espinoza Ahumada, Lucelly Vanessa. "Efectividad del Programa “Una Aventura Na... <1%

24 Publicación
Carlos Beltrán-Velamazán, Marta Monzón-Chavarrías, Belinda López-Mesa. "A ne... <1%

25 Publicación
INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - INSIDEO S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Lí... <1%

26 Publicación
Ponce Abarca, Emperatriz Raquel. "Factores determinantes de la tasa de morosid... <1%

27 Publicación
Calderon Huiche, Luis Alberto. "Los juegos tradicionales como medio para el desa... <1%

28 Publicación
Maksym Kononenko, Oleh Khomenko, Andrii Kosenko, Inna Myronova, Vitaliy Ba... <1%

29 Publicación
Morales Olivares, Augusto Jesús | Risco Cruz, Diana Carolina. "Mejora de proyect... <1%

30 Publicación
Paulo Ramos Ribas, Anderson Fabiano Monsores Barbosa, Carlos Juliano Coutinh... <1%

31 Publicación
Osbaldo Washington Turpo Gebera. "Interacción didáctica y construcción social d... <1%

32 Publicación
V Zamora-Paredes, L Arauzo-Gallardo, C Raymundo-Ibañez, Moises Perez. "Optim... <1%

33 Publicación
Hernández, María Bernardos. "Ecological Analysis and Control of Rumex Lunaria ... <1%

34 Publicación
Ericka Julissa ,Suysuy Chambergo *, Carlos Antonio, Angulo Corcuera. "Blended L... <1%

35 Publicación
Escobar Candia, Yesenia. "Caracterización de la cadena de servicios de la montañ... <1%

36 Publicación
Condori Turpo, Loayda Abigail. "Evaluación de la calidad de aire y el sistema de ve... <1%

37 Publicación
Vizcarra, Fausto Holguino Vizcarra|Ojeda, Darwin Flores|Mora, Pavel Martin Oro... <1%

38 Publicación
Carmen Liz Sandra Solis Malaga, Miguel Chávez Pinchi, Larry Oscar Chañi Paucar, ... <1%

39 Publicación
E. Berrezueta, R. Castroviejo. "Reconocimiento automatizado de menas metálicas... <1%

40 Publicación
Espinoza, Miguel Ignacio Córdova. "Structure Analysis of the Corporate Network ... <1%

41 Publicación
Favio Leiva Cárdenas. "Guinea Pig Breeding, Consumption, Prices, and Exports in ... <1%

42 Publicación
Gómez Vargas, Juan David. "Métodos de enseñanza y el logro de aprendizaje en e... <1%

43 Publicación
M Formoso Franqueira, G A Paneiro. "Contribution to the geomechanical stability... <1%

44 Publicación
PROYECTOS, ASESORIA, SERVICIOS A LA MINERIA Y ASUNTOS AMBIENTALES SAC - ... <1%

45 Publicación
Eugenia Alvarez, María Eugenia. "Implicancias en el Acceso a la Justicia de Los Gr... <1%

46 Publicación
Mejía Quispe, Percy Wilfredo. "El delito de abigeato en el código penal peruano d... <1%

47 Publicación
Sergio Llanos Díaz, Sujei Ñaupa Mamani, Samuel Marca Arocutipa. "Análisis de re... <1%

48 Publicación
Rahadian Zainul, Ali Basem, Dheyaa J. Jasim, Subhash Chandra et al. "Synergistic ... <1%

49 Publicación
Viviana Alexandra Abad Abad, Lourdes Marisol Chicaiza Ortega, Gloria María Bust... <1%

50 Publicación
Amelia U. Santos-Paulino. "Trade Liberalization and the Balance of Payments in S... <1%

51 Publicación
López Meza, Yanina Victoria. "Nivel de Conocimiento de los Enfermeros y Enferm... <1%

52 Publicación
Cristian Machaca. "Kinematic restoration of the Marañón Fold and Thrust Belt in ... <1%

53 Publicación
Edwin Fecker. "Baugeologie", Springer Science and Business Media LLC, 2019 <1%

54 Publicación
"Technology, Sustainability and Educational Innovation (TSIE)", Springer Science ... <1%

55 Publicación
Consorti, Gioia. "Integração da Cultura lusófona na Aula de Ple: Estudo de Caso n... <1%

56 Publicación
Francisco Javier Gómez González. "Diseño y optimización de un sistema híbrido re... <1%

57 Publicación
Leidy Indira Hinestroza Còrdoba. "Aplicación de tecnologías sostenibles para el d... <1%

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

59 Publicación
Apaza Chino, Julian. "Implementación de Structure From Motion en minería subt... <1%

60 Publicación
Leonardo Enrique Martínez-Arredondo. "LEARNING SCIENTIFIC REPRESENTATION... <1%

61 Publicación
"Proceedings of the 4th Brazilian Technology Symposium (BTSym'18)", Springer S... <1%

62 Publicación
Campos Suyon, Ivon Jasmin. "Aplicación de talleres educativos de responsabilida... <1%

63 Publicación
Joan Pere Pascual-Diaz, Jordi Lopez-Pujol, Neus Nualart, Sonia Garcia, Daniel Vital... <1%

64 Publicación
Órdenes Alegria, Javier Alejandro. "Discrete Rate Simulation Framework for Narr... <1%

65 Publicación
Bustamante, Milagros Yvonne Fernandez | Izquierdo, Fernando Lossio | Bustama... <1%

66 Publicación
Chata Mamani, Katia Cleseria. "Influencia de imágenes andinas en la producción ... <1%

67 Publicación
Echeverría, Javier, and Hermann M. Niemeyer. "Nicotine in the hair of mummies f... <1%

68 Publicación
Hermes Jilmer Cano Arratea. "Estudio de caso: inoperatividad de un equipo de Pe... <1%

69 Publicación
Lagos Challco, Magaly Yovana. "Nivel de incorporación de tecnologías de informa... <1%

70 Publicación
Oktay Erten. "Analysis of quarry-blast-induced ground vibrations to mitigate thei... <1%

71 Publicación
P. Almeida-Guerra, J. Pindo, M. Hernandez, J. Coronel. "Application of Sustainable ... <1%

72 Publicación
Ruiz, Beatriz Rumeu. "Ecologia y evolucion de los cedros macaronesicos", Univers... <1%

73 Publicación
dos Santos Santiago Pires, Inês Silva. "A Dimensão Polissémica na Tradução Audi... <1%

74 Publicación
"Simulación como herramienta para identificar y comprender las operaciones crít... <1%

75 Publicación
Nelson Anibal Santos Aviles. "El caminar y la creación artística. Una aportación de... <1%

76 Publicación
宇田川, 義夫. "フラクタル画像解析による岩盤の安定性評価手法に関する研究", [出版者... <1%

77 Publicación
"Intelligent Human Systems Integration 2021", Springer Science and Business Me... <1%

78 Publicación
Charcape Benites, Susana Valentina. "El método de proyectos mejora los aprendi... <1%

91893

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 301-2026-CU

Moquegua, 29 de abril de 2026

VISTOS:

La Resolución de Consejo de Facultad N° 065-2026-CF-FAIN-UNAM, emitido por la Decana de la Facultad de Ingenierías; el Informe N° D0196-2026-UNAM-R-FAIN, emitido por la Decana de la Facultad de Ingenierías, el Informe Técnico N° D0052-2026-SG-GT, emitido por la Especialista Administrativo II de Grados y Títulos; el Informe N° D0217-2026-UNAM-R-SG, emitido por el Secretario General de la UNAM; el Proveído N° 1945-2026-R, emitido por el señor Rector; el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 19-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de abril 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 8º de la Ley Nº 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 Nº 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° 065-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 27 de marzo de 2026, el Consejo de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la modalidad de Tesis, a cinco (05) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI;

Que, mediante Informe N° D0196-2026-UNAM-R-FAIN, de fecha 06 de abril de 2026, la Decana de la Facultad de Ingenierías, remite a Secretaría General la Resolución de Consejo de Facultad Nº 065-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 27 de marzo de 2026;

Que, mediante Informe Técnico N° D0052-2026-SG-GT de fecha 23 de abril de 2026, e Informe N° D0217-2026-UNAM-R-SG de fecha 24 de abril de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado los expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas a los Bachilleres: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptos 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 dichos expedientes como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 29 de abril 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

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° 301-2026-CU

Moquegua, 29 de abril de 2026

(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;

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° 19-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de abril 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 a los Bachilleres: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI, 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 a los Bachilleres

- **CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI**
- **ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE**
- **EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA**
- **ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES**
- **ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI**

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

DISTRIBUCIÓN: VRAC, 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