

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA EN LA MINA CASCADA PARA MEJORAR LA
EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987
LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Alejandro Lenin Cadenillas Cerrinos

Wilson Anibal Anticona Zuñiga

Asesor:

Dra. Elizabeth Catheline Mejía Narro

<https://orcid.org/0000-0003-3282-7582>

Trujillo - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

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

Jurado 2	OSCAR ARTURO VASQUEZ MENDOZA
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	ELIZABETH CATHELIN MEJIA NARRO
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD






10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios Por ser mi guía constante, fuente de fortaleza y sabiduría en cada paso de este camino. Gracias por darme la vida, la salud y las oportunidades que me han permitido llegar hasta aquí.

A mi padre, que desde el cielo me cuida y me inspira. Aunque no estás físicamente, tu recuerdo, tus enseñanzas y tu amor han sido mi impulso en los momentos más difíciles.

Esta meta también es tuya.

A mi madre, por su amor incondicional, su esfuerzo incansable y su apoyo constante. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Esta tesis es un reflejo de todo lo que me has enseñado.

WILSON ANIBAL ANTICONA ZUÑIGA

Dedicado a mis padres y hermanos, en especial a mis padres, por ellos logre seguir adelante en mis metas y estudios, la fuerza de voluntad es por ellos, que brindan día a día.

ALEJANDRO LENIN CADENILLAS CERRINOS

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por el don de la vida y por darme la fortaleza necesaria para afrontar con sabiduría cada uno de los obstáculos que se han presentado a lo largo de este camino.

A mi madre, Hilda Zúñiga Vigo, por su amor infinito e incondicional, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia, esfuerzo y entrega. Este logro no solo me pertenece a mí, sino también a ti, que siempre has estado a mi lado.

A mi padre, que hoy me acompaña desde el cielo, gracias por tus enseñanzas, tu amor eterno y por ser una luz que guía mis pasos.

A mi asesora, Elizabeth Catheline Mejía Narro, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por sus consejos, exigencia y por motivarme a dar lo mejor de mí.

A mi compañero de tesis, por su compromiso y colaboración, y a todos quienes, de una u otra manera, contribuyeron a hacer posible este logro

WILSON ANIBAL ANTICONA ZUÑIGA

Agradecer a Dios y mis padres por estar a mi lado, me brindaron consejos para mejor como persona, apoyándome en todo tipo situaciones; culminando dar gracias a los docentes que compartieron su experiencia y apoyo durante la carrera profesional.

Agradecer a mi asesora, Elizabeth Catheline Mejía Narro, por sus enseñanzas y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A mi compañero de tesis, por su compromiso y colaboración, y a todos quienes, de una u otra manera, con tribuyeron.

ALEJANDRO LENIN CADENILLAS CERRINOS

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
PROBLEMA GENERAL	17
OBJETIVOS	17
HIPÓTESIS	18
CAPITULO III: RESULTADOS	34
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	61
4.1 DISCUSIONES.	61
4.2 CONCLUSIONES.	63
REFERENCIAS.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterio para la clasificación de la masa rocosa	34
Tabla 2 Sistema RMR	35
Tabla 3 Sostenimiento (según Bieniawski – Clase III, RMR \approx 50)	36
Tabla 4 Parámetros geomecánicas 7de la labor	36
Tabla 5 Características de la malla	38
Tabla 6 Elementos implicados en la perforación	39
Tabla 7 Procedimiento Post-Perforación.....	40
Tabla 8 Horario de voladura.....	41
Tabla 9 Parámetros de transporte de explosivos, quemado e iniciación de accesorios de voladura.....	41
Tabla 10 Materiales para la voladura	43
Tabla 11 Parámetros del explosivo para la voladura	43
Tabla 12 Análisis de la malla actual	49
Tabla 13 Descripción de la malla actual “con” y “sin” sobre rotura.....	49
Tabla 14 Explosivos y accesorios	50
Tabla 15 Factor de carga	50
Tabla 16 Zonificación Sn- Nv. 3987	52
Tabla 17 Análisis de la malla optimizada	55
Tabla 18 Descripción de la malla optimizada	56
Tabla 19 Explosivos y accesorios de la malla optimizada.....	56
Tabla 20 Factor de potencia con la malla optimizada	57

Tabla 21 Ahorro producto de la optimización de la malla de perforación y voladura, por labor59

Tabla 22 Matriz de consistencia.....71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Identificar y marcar los puntos donde se realizarán las perforaciones.	26
Figura 2 Malla de perforación antigua de 30 taladros	29
Figura 3 Nueva malla de perforación para su voladura con 24 taladro.....	30
Figura 4 Tipo de reacción en función de la cinemática química	42
Figura 5 Taladro de producción	44
Figura 6 Taladro cargado para voladura controlada	44
Figura 7 Sistema actual de perforación y voladura.....	46
Figura 8 Malla utilizada actualmente para la perforación y voladura	48
Figura 9 Costos de perforación y voladura con la malla actual.....	50
Figura 10 Plano estructural geomecánica.....	52
Figura 11 Malla de perforación y voladura optimizada	53
Figura 12 Diagrama de perforación y voladura optimizado.....	54
Figura 13 Costo de perforación y voladura con malla optimizada	57
Figura 14 Costo de perforación y voladura con malla optimizada	58
Figura 15 Comparación de costos por metro de avance malla actual vs malla modificada	60

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el propósito principal de optimizar el proceso de perforación y voladura para mejorar la eficiencia operacional en el nivel 3987 del sector SN-02 de la Minera Cascada Llacuabamba, ubicada en La Libertad, 2025. Para ello, se desarrolló un estudio integral del macizo rocoso y los factores técnicos involucrados en la perforación y voladura, a fin de identificar una mejora en el diseño de mallas que permitan incrementar la eficiencia operativa. El enfoque metodológico de esta investigación es de tipo aplicada, con un diseño preexperimental, de carácter retrospectivo y transversal. La recolección de datos se realizó mediante el análisis documental, la evaluación geomecánica del macizo mediante los métodos RMR (Rock Más Rating) y GSI (Geological Strength Index), levantamiento de parámetros operativos y análisis de registros técnicos contenidos en el cuaderno de campo. Los resultados permitieron diagnosticar deficiencias en el diseño actual de las mallas de perforación, lo cual condujo al planteamiento y validación de un nuevo modelo de malla. La implementación de este rediseño generó mejoras significativas, con una reducción del 18.87% en el costo por disparo. El beneficio económico mensual estimado en S/. 45,052.69 para las operaciones del nivel 3987 del sector SN-02.

PALABRAS CLAVES: Optimización, malla de perforación, productividad, voladura.

ABSTRACT

This research was conducted with the primary objective of evaluating the impact of productivity optimization in drilling and blasting operations through the redesign of drilling patterns at level 3987 of sector SN-02 of the Cascada Llacuabamba Mining Company, located in La Libertad, during the year 2025. To achieve this, a comprehensive study of the rock mass was carried out, as well as an analysis of the current process and the technical factors involved in drilling and blasting, in order to identify opportunities for improvement in the pattern design that would enhance operational efficiency. The methodological approach of this research is applied in nature, with a pre-experimental design, retrospective and cross-sectional in scope. Data collection was conducted through document analysis, geomechanical evaluation of the rock mass using the RMR (Rock Mass Rating) and GSI (Geological Strength Index) methods, the surveying of operational parameters, and the analysis of technical records contained in the field logbook. The study's findings revealed deficiencies in the current drilling pattern design, which led to the proposal and validation of a new optimized pattern model. The implementation of this redesign resulted in significant process improvements, reflected in an 18.87% reduction in blasting cost. This saving translates into an estimated monthly economic benefit of S/. 45,052.69 for the operations at level 3987 of sector SN-02.

Keywords: Optimization, drilling pattern, productivity, blasting

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el contexto internacional podemos decir que todos los costos asociados a las operaciones de perforación y voladura representan principalmente en minería hasta un total del el 30 % del gasto total en proyectos mineros subterráneos. (International Society for Rock Mechanics. 2021). Este porcentaje destaca la importancia de la optimización en estas labores, dado que cualquier deficiencia que impacta significativamente la rentabilidad global del proyecto. Por ejemplo, en Ecuador en el rubro de la minería subterránea en la etapa de perforación y voladura sus procedimientos lo realizan de manera tradicional, es decir, que trabajan de manera empírica, ocasionando problemas como la ineficiencia del avance, sobre rotura en los frentes y las inseguridades de los trabajadores, ya que en diversas ocasiones permanecen al interior de la mina por más de 10 hrs. (Paredes y Calderón 2024).

Ruelas (2020), con el objetivo de optimizar la vida útil de los aceros de perforación a través del cumplimiento de estándares de los nuevos diseños de su malla de acuerdo con sus fórmulas simplificadas del manual EXSA. Su metodología fue aplicada y explicativa. Teniendo como resultado que logro reducir su cantidad de taladros, con una nueva malla de perforación, repercutiendo de manera directa a evitar su desgaste de barreno y brocas, de tal manera que al utilizar sus barras de perforación de 2 pies logra incrementar su vida útil de sus barras de perforación, optimizando precios de perforación, en cuanto al mantenimiento preventivo de sus máquinas perforadoras, cuidado de barrenos y brocas brindó una disponibilidad de materiales, evitando sus tiempos muertos, asimismo, optimiza el control que realizan a los barreno y brocas de los rendimientos, permitió predecir su cantidad de materiales a utilizar.

Acero (2021), encuentra que los tanteos obtenidos en el presente trabajo de estudio, concluyó que su propuesta de redes de perforación y voladura para labores de avance y su aplicación del nuevo diseño de red de perforación y voladura tuvo un impacto positivo en la mejora del avance lineal en labores con secciones de 4,0 m x 4,0 m,

permitiendo incrementar la longitud de avance por disparo de 3,0 m a 3,6 m. Este incremento representa una mejora en la eficiencia operativa, pasando del 79% al 95%, lo que equivale a una variación porcentual del 16%. Además, el diseño propuesto permitió reducir significativamente la sobre rotura en los hastiales y la corona, contribuyendo a una mayor estabilidad geomecánica y elevando los niveles.

El plan de perforación y explosión en minería subterránea es planificar, organizar o controlar, malla de perforación y voladura optimiza la producción, mejora del avance, controlar las sobre roturas, mejorar la granulometría esto con el fin de optimizar costos mejorar la calidad de producción.

Los taladros perforados, la adecuada conformación de las cañas, y el uso eficiente de los explosivos, medido mediante el factor de avance (consumo de explosivo por metro lineal). Vásquez y Quispe (2025), diversas investigaciones realizadas en operaciones mineras del Perú han demostrado que es posible optimizar el ciclo de minado y reducir costos operativos mediante el perfeccionamiento del diseño de perforación y voladura. Estos estudios coinciden en que una adecuada configuración de la malla —considerando parámetros como burden, espaciamiento, inclinación y longitud de los taladros—, así como el uso técnico de explosivos adaptados a las características del macizo rocoso, inciden directamente en la productividad. Condori (2017); Minaya (2022) y Sánchez (2024). En unidades como Casapalca, Parcoy, Yauricocha y Yanacocha se ha comprobado que, al ajustar la malla de perforación con base en modelos matemáticos y criterios geotécnicos, se logra una fragmentación más uniforme, se reduce el número de perforaciones necesarias y se disminuyen tanto los costos como los impactos negativos asociados, como las vibraciones y la sobrerotura. Gonzales (2021) y Flores (2023). Además, el empleo de tecnologías modernas, como sistemas de iniciación electrónica y análisis del macizo en tiempo real, ha fortalecido la eficiencia del proceso, permitiendo que el diseño de voladura no solo sea más preciso, sino también más adaptable a condiciones geológicas cambiantes, lo cual consolida un enfoque técnico integral en la gestión operativa minera (Revista Minería, 2023).

Santana (2020), en su proyecto presento: “Diseño de malla para perforación y voladura de frentes utilizando modelo matemático de Holmberg e índice de volatilidad de Lylli,” basándose en el investigador Holmberg (2014), y en los estudios presentados por los investigadores Langefors y Kihilstrom (2022) y Gustafsson (2014), presenta un modelo matemático para diseñar una malla de perforación y voladura, para frentes y galerías en obras subterráneas.

Mamani (2024), en su investigación implementó un diseño de malla en la Galería 206E de la Unidad Minera Yanaquihua S.A.C., logrando una reducción significativa en los costos unitarios de producción mediante un enfoque mixto, que combinó métodos cualitativos y cuantitativos, y la aplicación de un diseño experimental. Por su parte, Ayala Vásquez (2024) aplicó el modelo matemático de Holmberg en la RP 159N de la Unidad Minera El Porvenir, optimizando los parámetros de voladura y mejorando la fragmentación del mineral, lo que contribuyó a una mayor eficiencia en las operaciones. De manera complementaria, Pedraza Pampañaupa (2021) diseñó una malla triangular en la Unidad Productiva Fiorella 508 de la Compañía Minera Sayarumi S.A.C., logrando un incremento en la producción de mineral y una reducción en el consumo de explosivos, lo cual se tradujo en una disminución de los costos unitarios de extracción. Estos estudios confirman que la correcta selección y aplicación de los parámetros de perforación y voladura, basados en modelos matemáticos y análisis geomecánicos, constituyen un factor determinante para optimizar los procesos productivos en minería subterránea y a tajo abierto, incrementando la productividad y minimizando impactos negativos como la sobre rotura y las vibraciones.

Chiqui (2023), en su tesis titulada Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería Progreso de la contrata Minera Calquis – Corporación Minera Ananea S.A., concluyó que la implementación de un diseño optimizado de malla de perforación y una carga explosiva correctamente dimensionada permitió una reducción significativa en los costos de ejecución de la galería Progreso. Específicamente, los costos totales disminuyeron de US\$ 294,30 a US\$ 235,74. En lo que respecta al rubro de perforación, el rediseño de la malla permitió reducir los costos de US\$ 98,80 a US\$ 86,50, lo cual se logró mediante la estandarización de parámetros

como el burden y los espaciamientos en el frente de avance. Asimismo, la optimización de la carga explosiva contribuyó a una disminución en los costos de voladura, pasando de US\$ 196,40 a US\$ 148,40. Estos resultados demuestran que un diseño técnico adecuado incide directamente en la eficiencia económica de los procesos de desarrollo en minería subterránea.

Se realizó la consulta con Consorcio Minero Horizontes. S.A (2024), Las intervenciones concentran en el conocido Bloque Estructural Parcoy, región La Libertad un valioso metalito aurífero nombrado Batolito de Pataz. cuya actividad económica principal es la minería subterránea. El diseño de malla perforada. Esto es para reducir el daño de una fractura de masa rocosa más grande y la discontinuidad en el entorno de trabajo, ya que la geometría afecta la perforación y la voladura controlada en el área de By Pass 2724 Milagros. El objetivo es mejorar la distribución de energía en cada taladro de producción y aumentar la eficiencia, evaluación de parámetros inmediatos de perforación y explosión que provocan sobrecarga, análisis del factor geométrico de perforación y voladura y Explosivos. Con base en el análisis factorial, esta investigación concluye que la evaluación de la perforación y voladura se ha realizado en el control del sobre minado a través de un análisis que asegura una mejor seguridad de los contornos de trabajo, minimiza los trabajos de sobre minado y previamente con mayor eficiencia. BP 2724.

Así mismo la empresa Marsa Minera Aurífera Retamas S.A aplicado a la explotación de oro en Perú. La mina está localizada en Llacuabamba Distrito de Parcoy provincia de Pataz departamento de La Libertad. Compañía Marsa es una empresa innovadora constantemente funciones para que cuando sea necesario realizar diseño de mallas de perforación y voladura sus obras subterráneas sector de 2,4m x 2,7m; luego, inicia el trabajo de análisis y aplica el ejemplo matemático de Roger Holmberg (2014), Así se planeó inicialmente la nueva red en perforaciones y explosión con el ejemplo utilizando 2 orificios de desahogo se obtiene un superior progreso, su número global de taladros fue de 38 cargados y 2 de alivio.

En la minería subterránea, los procesos de perforación y voladura representan una

de las etapas más críticas en la cadena de producción, ya que condicionan directamente la eficiencia operativa, el avance por ciclo, la fragmentación del macizo rocoso y el costo unitario de extracción. Según la International Society for Rock Mechanics (2021), los costos asociados a estas operaciones pueden llegar a representar hasta el 30 % del presupuesto total de explotación en proyectos mineros subterráneos, lo cual subraya su impacto económico en la rentabilidad global de una unidad minera.

La optimización técnica de estos procesos no solo permite mejorar la productividad minera, sino también reducir efectos no deseados como la sobreperforación, sobre-rotura, dilución, y exceso de finos, los cuales afectan negativamente la calidad del mineral y los costos de procesamiento (Jimeno, Jimeno & Carcedo, 2017). Un diseño adecuado de la malla de perforación, junto con una correcta selección de los explosivos y tiempos de retardo, puede mejorar significativamente la fragmentación y reducir la necesidad de operaciones complementarias como el carguío manual o el retrabajo del material volado.

En este contexto, el uso de modelos matemáticos como herramientas de simulación y optimización permite tomar decisiones más precisas, basadas en datos reales y criterios técnicos. Estos modelos pueden analizar múltiples variables operacionales (patrón de perforación, burden, espaciamiento, factor de carga, tipo de explosivo, entre otros) para predecir resultados y establecer parámetros óptimos de operación (Kecojevic & Komljenovic, 2020). Al aplicar estos modelos al caso específico del Sn 02 – Nivel 3987 de la Mina Cascada, se busca incrementar la productividad a través de una planificación técnica más eficiente y sustentada en criterios cuantitativos.

Por lo tanto, esta investigación es relevante tanto a nivel operativo como académico, ya que propone una solución innovadora y práctica para uno de los principales desafíos en la minería subterránea: aumentar la productividad reduciendo costos operativos y mejorando la calidad de los procesos técnicos, con un enfoque basado en ingeniería y modelación matemática.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera será la optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 NV. 3987 - Llacuabamba - la libertad, 2025?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cómo será la optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 nv. 3987 - Llacuabamba - la libertad 2025?

¿Cómo será la optimización de la perforación y voladura para reducir el costo por metro lineal de avance en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025?

¿Como será la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 NV. 3987, Llacuabamba, la libertad 2025.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diagnosticar la situación inicial de los procesos de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

Optimizar la perforación y voladura para reducir el costo por metro lineal de avance en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

Evaluar la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

El proceso de perforación y voladura optimizará la eficiencia operacional en el sn-02 NV. 3987, Llacuabamba - la libertad 2025.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

El diagnostico situacional de los procesos de perforación y voladura beneficiara para la mejora operacional en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

La optimización de la perforación y voladura será factible y viable para reducir el costo por metro lineal de avance en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

La evaluación de la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura será factible y viable para mejorar la eficiencia operacional en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

La investigación se enfoca en una perspectiva cuantitativa, descriptivo ya que se utilizaron datos numéricos y herramientas estadísticas para abordar las preguntas planteadas. En cuanto al tipo de investigación, se trata de un análisis aplicado, dado que sus resultados están orientados a ofrecer soluciones a un problema específico identificado en un grupo social determinado. Este estudio se concentra en la necesidad de optimizar los procesos de perforación y voladura, aplicando conocimientos sobre modelos matemáticos previamente establecidos para el diseño de mallas de perforación y voladura. Dichos modelos fueron evaluados y desarrollados durante la investigación como resultado de nuestro trabajo en campo; y los resultados proporcionan una solución al desafío de mejorar la productividad en perforación y voladura. En particular, se aborda la optimización de las mallas de perforación en el SN-02 NV. 3987 de la minera Cascada, ubicada en Llacuabamba La Libertad, del presente año 2025.

Según Pérez et al. (2023), De acuerdo con estudios recientes, la investigación descriptiva se orienta a examinar y detallar las características de un fenómeno o grupo social específico, partiendo de variables previamente establecidas. En el presente análisis, el objetivo principal es identificar los factores que provocan resultados deficientes en los disparos realizados en labores lineales, además de evaluar las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso mediante el sistema de clasificación RMR. Esta información permitirá elaborar nuevas configuraciones para las mallas de perforación y voladura (PV), sustentadas en un diagnóstico técnico detallado. Cabe destacar que, al recolectarse los datos en un momento determinado y no en diferentes periodos, la investigación adopta un enfoque transversal.

Según Pérez (2024), La población en una investigación se define como el conjunto total de elementos que comparten características comunes, mientras que la muestra es un subconjunto representativo de dicha población, seleccionado para obtener datos pertinentes al estudio. En este trabajo, la población estuvo constituida por la mina Cascada, y se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia para seleccionar la cortada SN. -3987 como el área específica para la recolección de datos, debido a su accesibilidad y adecuación para los objetivos planteados.

Según Colonia (2024), La recolección de datos en una investigación debe alinearse con los objetivos y las hipótesis del estudio, ya que la información obtenida debe ser pertinente y adecuada para el análisis del problema planteado. En este estudio, se emplearon diversas técnicas de recolección de datos, incluyendo observación directa en el campo, entrevistas a operarios y supervisores, y análisis tanto muestral como documental, obtenidos con el consentimiento de la empresa. Estos métodos permitieron medir variables como la cantidad de explosivo utilizado, el número de taladros, el avance lineal de la labor y la recolección de muestras para analizar la granulometría del material, la cantidad de explosivo aplicado y otros materiales involucrados en el proceso. Para el tratamiento y análisis de los datos, el estudio se centró, en primer lugar, en identificar las causas de los disparos fallidos y en caracterizar el macizo rocoso. Con base en estos resultados, se procedió a diseñar y calibrar nuevas mallas de perforación y voladura (PV) para abordar el problema identificado. El estudio se enfocó inicialmente en identificar las causas de los disparos fallidos y en caracterizar el macizo rocoso en la labor de explotación del nivel 3987 de la mina La Cascada, con una sección de 2 metros por 2 metros. A partir de estos resultados, se procedió al diseño y calibración de nuevas mallas de voladura (PV) con el objetivo de abordar los problemas identificados y mejorar la eficiencia del proceso. Para clasificar el macizo rocoso, se utilizó el criterio de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa). El análisis reveló que la roca en la labor corresponde al tipo II-B, con un RMR entre 61 y 70, lo que indica una roca de dureza muy alta a alta. En el diseño y optimización de las mallas de voladura en base en los resultados obtenidos de la clasificación geomecánica, se diseñaron nuevas mallas de voladura para mejorar el rendimiento y reducir la cantidad de taladros. En el diseño anterior, la malla constaba de 30 taladros (26 taladros cargados y 4 de alivio) con barra de perforación de 4 pies, con brocas de 38 mm. Tras la recalibración de las mallas de voladura, se logró reducir el número de taladros a 24 (21 taladros cargados y 3 de alivio), manteniendo la misma barra de perforación de 4 pies, dimensión de broca de 38 mm. Este ajuste permitió obtener una granulometría de roca más adecuada para el avance eficiente de la excavación.

En cuanto a los explosivos, se utiliza el Emulnor 3000 (1 pulgada x 7 pulgadas), junto con Carmex de 5 pies y mecha rápida Z-18, los cuales son estándar en la unidad

minera. Con el fin de garantizar la estabilidad de la excavación y evitar retrasos por problemas de sostenimiento, se recomendó un tipo de sostenimiento específico basado en el estudio geomecánica realizado. Esto es fundamental para asegurar un avance sin interrupciones, optimizando así la eficiencia del proceso de explotación.

Como instrumentos, se utilizaron el RMR de Bieniawski, los parámetros de perforación y voladura (malla de perforación), el índice de resistencia geológica (GSI), y el cuaderno de campo, el cual me facilitó la recopilación de la información necesaria para el estudio. Posteriormente, los datos recolectados fueron transcritos en tablas y cuadros en Excel (Anexo N° 1), así como en el programa WipFrag. Estos datos se procesaron y analizaron para tomar decisiones informadas que permitieran optimizar los procesos de perforación y voladura. Además, se emplearon fichas de entrevista, fichas de análisis muestral y fichas de análisis documental para complementar la recolección y análisis de la información.

Según Ruelas (2023), La recolección de datos en una investigación tiene como propósito obtener información fiable y precisa que sustente los objetivos del estudio. En esta investigación, el proceso inició con observaciones directas en el área de trabajo para asegurar que se cumplieran normas fundamentales, tales como el adecuado llenado del IPERC, la correcta marcación de la malla de perforación y el uso obligatorio de los equipos de protección personal (EPP). Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de los registros históricos de producción, conocido como taburete, utilizando las estadísticas internas de la empresa. Los resultados obtenidos fueron sometidos a pruebas de laboratorio y posteriormente ingresados en un software especializado, cuyo fin fue simular parámetros técnicos que permitan el rediseño eficiente de la malla de perforación y voladura. Este nuevo diseño pretende optimizar la productividad y disminuir los costos operativos, garantizando al mismo tiempo que se mantengan los estándares de seguridad y calidad establecidos por la organización.

La validez y confiabilidad según Guerra (2024), los instrumentos de recolección de datos son fundamentales para garantizar la precisión y pertinencia de la información obtenida en una investigación. En este estudio, dichos instrumentos fueron validados mediante la evaluación de expertos en perforación y voladura en minería subterránea,

quienes poseen una amplia experiencia en diversas unidades mineras del país. Este proceso de validación se complementó con la revisión crítica de docentes universitarios con reconocida trayectoria académica, asegurando así la pertinencia, claridad y coherencia técnica de los instrumentos aplicados.

Desde una perspectiva ética, la información obtenida en la recolección de datos es completamente veraz y fue recopilada con los permisos legales pertinentes de la unidad minera en la que se llevó a cabo el estudio. Este trabajo permitió identificar los parámetros necesarios para optimizar los procesos de perforación y voladura propuestos. Se llevó a cabo siguiendo estrictamente las normativas de seguridad de la empresa, sin poner en riesgo al equipo ni al personal involucrado. Las personas que brindaron su apoyo durante la investigación han preferido mantener su anonimato, pero se les expresa un profundo agradecimiento. Además, se compararon los resultados con los de otros autores, quienes fueron adecuadamente citados, lo que asegura que la investigación se realizó de manera justa y equitativa, siempre guiada por los principios y valores éticos que han orientado todo el proceso.

Es fundamental definir con claridad el enfoque metodológico, el nivel, el alcance y el diseño de la investigación, proporcionando una justificación rigurosa para cada uno de estos elementos. Asimismo, se debe describir detalladamente la población y la muestra del estudio, prestando especial atención a los términos utilizados y a los criterios de inclusión y exclusión empleados en la selección muestral. En determinados casos, especialmente cuando la naturaleza del estudio lo requiere, se puede optar por trabajar con la totalidad de la población.

En investigaciones del ámbito de la ingeniería, esta información metodológica suele estar integrada dentro del apartado correspondiente a materiales, instrumentos y métodos, donde se explicita no solo el procedimiento técnico, sino también las herramientas utilizadas para la recolección y análisis de datos, garantizando así la validez y replicabilidad del estudio.

De nuestra consideración se utiliza el procedimiento con el objetivo de evaluar costos, procesos del desarrollo Optimización de la Productividad en Perforación y

Voladura mejorando las mallas de perforación en el SN-02 NV. 3987 de la Minera Cascada.

2.1. PERFORACIÓN

Los procedimientos en la perforación en minería subterránea son esenciales para garantizar la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en las operaciones. En un área de perforación de 2 metros por 2 metros, Inexistencia de tiros cortados o soplados. Identificar sostenimiento deteriorado producto del disparo anterior, fractura miento en el techo, hastiales y el frente de la labor para desatar antes de iniciar la perforación y que el sostenimiento esté hasta el tope de la labor. Realizar orden y limpieza del área de trabajo. Sn 02 Nv.3987. Inspeccionar la máquina y el cable eléctrico. los procedimientos se incluyó los siguientes aspectos clave:

2.1.1. PREPARACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Inspección inicial: Realizar orden y limpieza del área de trabajo. Inspeccionar la máquina y el cable eléctrico Verificar la estabilidad del terreno y la ausencia de riesgos como desprendimientos o acumulación de gases. Se inspección del área verificar que el área esté libre de obstáculos y peligros, en buenas condiciones, Inexistencia de tiros cortados o soplados. Identificar sostenimiento deteriorado producto del disparo anterior, fragmentación en el techo, hastiales y el frente de la labor para desatar antes de iniciar la perforación y que el sostenimiento esté hasta el tope de la labor.

Señalización: Colocar señales visibles para delimitar el área de trabajo y advertir sobre riesgos. colocar señales de advertencia y barreras para restringir el acceso a personas no autorizadas. Además, verificar y registrar en la Inspección Diaria de Labores (check-list - IPERC).

Ventilación adecuada: Garantizar un flujo de aire suficiente para evitar acumulación de gases tóxicos, las condiciones de ventilación donde las concentraciones de gases deberán estar por debajo de los límites máximos permisibles. Instalar la manga de ventilación, herramientas completas y en buenas condiciones.

2.1.2. USO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

- Casco, guantes, gafas de seguridad y botas con punta de acero.
- Protección auditiva para mitigar el ruido generado por la maquinaria.
- Arnés de seguridad si se trabaja en alturas o áreas con riesgo de caída.

2.1.3. OPERACIÓN DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN

- Revisión de equipos: Inspeccionar el estado de las perforadoras y herramientas antes de iniciar
- Capacitación: Asegurarse de que los operadores estén entrenados en el uso de maquinaria y certificado por la empresa.
- Posicionarse siempre a un lado de la máquina, nunca al centro. Iniciar la perforación en la secuencia patero, 3 y 4 pies, colocando guidores para controlar el paralelismo de los taladros, sujetar bien la máquina con ambas manos y tener un buen posicionamiento al momento de perforar. Hacer uso de los guidores durante la perforación para mantener el paralelismo entre los taladros perforados. Durante la perforación realizar el desatado de rocas sueltas.
- Procedimientos de perforación: Marcar el área exacta de perforación. Operar la maquinaria siguiendo las especificaciones técnicas. Mantener una distancia segura entre trabajadores y equipos en funcionamiento.
- Perforación. Posicionarse siempre a un lado de la máquina, nunca al centro. Iniciar la perforación en la secuencia patero, 3 y 4 pies, colocando guidores para controlar el paralelismo de los taladros, sujetar bien la máquina con ambas manos y tener un buen posicionamiento al momento de perforar. Hacer uso de los guidores durante la perforación para mantener el paralelismo entre los taladros perforados. Durante la perforación realizar el desatado de rocas sueltas. Concluida la perforación retirar el equipo de perforación y accesorios a un lugar seguro y protegido, dejando ordenado los cables eléctricos, para evitar tropiezos y caída del personal.
- Equipos y Herramientas: Revisión de Equipos se asegure de que las perforadoras, explosivos y otros equipos estén en buen estado y funcionen

correctamente. Equipos de Protección Personal (EPP) es de uso obligatorio de casco, gafas de seguridad, guantes, botas con punta de acero y protección auditiva.

- Transporte de Explosivos: Transportar los explosivos al área de trabajo siguiendo las normas de seguridad. el personal debe contar con el carné de autorización de SUCAMEC, para su manipulación de explosivos. El maestro y/o el ayudante (bodegueros) verifican el buen estado de sus mochilas y se dirigen al polvorín a solicitar el explosivo antes de ingresar al polvorín, sujetar la varilla de cobre con la mano, para eliminar la energía estática del cuerpo, durante un periodo de 10 segundos. Transportar los explosivos y accesorios por separados en mochilas independientes (a una distancia no menor a 10 m.), el personal que transporta explosivos debe usar los refugios cuando haya equipos en movimiento, si solo hubiese un trabajador para el traslado de explosivos, este tiene que realizar 02 viajes. Dejar en la labor los explosivos y accesorios separados uno del otro a no menos de 3 m. de distancia para su preparación en un lugar seco y bajo un techo seguro lo más cerca posible del frente de disparo los sobrantes de explosivos serán devueltos a los polvorines auxiliares de perforación.

Marcado de Puntos de Perforación

Figura 1

Identificar y marcar los puntos donde se realizarán las perforaciones.



Nota: Elaboración propia (2025)

Durante la perforación siguiendo las especificaciones técnicas y de seguridad establecidas. El maestro y su ayudante inspeccionan el área de trabajo, labor ventilada y sostenida hasta el tope, identificando los peligros, evaluando los riesgos y aplicando los controles (contar con el carné de SUCAMEC vigente). Utilizar (carmex y mecha rápida Z 18), mecha de seguridad.

En cumplimiento con los estándares de seguridad para operaciones de voladura, se debe emplear chispero con una guía de tiempo de 0,40 metros y mecha de seguridad de 1,50 metros, según lo establecido por la normativa vigente. Asimismo, se debe restringir el acceso a la zona de carguío mediante la delimitación con cinta de señalización y conos de seguridad, ubicados a una distancia mínima de 20 metros detrás del frente de trabajo.

Los explosivos y sus respectivos accesorios deben ser almacenados bajo zonas debidamente sostenidas, garantizando una separación mínima de tres metros entre cada unidad, con el fin de reducir riesgos de detonación accidental. La preparación de los cebos —constituida por la inserción del accesorio de voladura en el explosivo— debe realizarse utilizando punzones no metálicos, tales como los de cobre, PVC o madera, a fin de evitar la generación de chispas o cargas estáticas.

El carguío de los taladros debe seguir estrictamente el diseño de malla establecido para la labor, utilizando un atacador de madera. Este procedimiento debe comenzar por los taladros ubicados en la corona y continuar en forma descendente hasta los arrastres. Una vez insertados los cartuchos y cebos, los taladros cargados deben ser sellados con tacos de detrito para asegurar su adecuada compactación.

Previo al disparo, se debe coordinar con las labores vecinas o adyacentes para garantizar el cumplimiento de las medidas de seguridad. Adicionalmente, se debe disponer de vigías en todos los accesos a la zona de trabajo, situados a una distancia mínima de 300 metros en línea recta del área de detonación, con el propósito de evitar el ingreso de personal no autorizado y salvaguardar la integridad física del equipo humano. Realizar el corte de la guía a 01 pulgada de del extremo que sobresale del taladro, en forma transversal. Una vez terminado el proceso anterior para todos los taladros, cortar en forma oblicua el chispero de 0.40 m de longitud y la guía de tiempo, también de la misma medida. Iniciar chispeo de la labor en compañía del ayudante, respetando el horario de disparo establecido; Si se apaga el chispero abandonar chispeo. Colocar señalización con el letrero de Disparo al ingreso de la labor y salir de la labor en forma ordenada hasta una zona alejada y segura. Dejar ventilando la labor para el turno tarde.

Restricciones: Prohibido perforar cuando hay tiros fallados. No perforar si no se ve el fondo del taco. Prohibido perforar sobre carga en caso de labores horizontales. No perforar el frente si el sostenimiento esta inconcluso. Queda terminantemente prohibido hacer trabajar un generador en interior mina. Prohibido estar trabajando con cables cubierto las conexiones con bolsas y otros que no sea cinta Vulcanizante y cinta aislante.

2.1.4. Malla de perforación:

La malla de perforación subterránea es un diseño técnico que define la disposición, separación y profundidad de los taladros en una operación minera subterránea. Su objetivo principal es optimizar la fragmentación de la roca, minimizar los costos operativos y garantizar la seguridad durante las actividades de perforación y voladura.

- Elementos clave de una malla de perforación
- Burden (carga): Distancia entre el taladro y la cara libre de la roca.
- Espaciamiento: Distancia entre taladros adyacentes.
- Profundidad del taladro: Longitud del taladro según el diseño del avance.
- Diámetro del taladro: Tamaño del taladro, que depende del tipo de explosivo y la roca.
- Ángulo de perforación: Puede ser vertical, horizontal o inclinado, dependiendo de la geometría del túnel o galería.

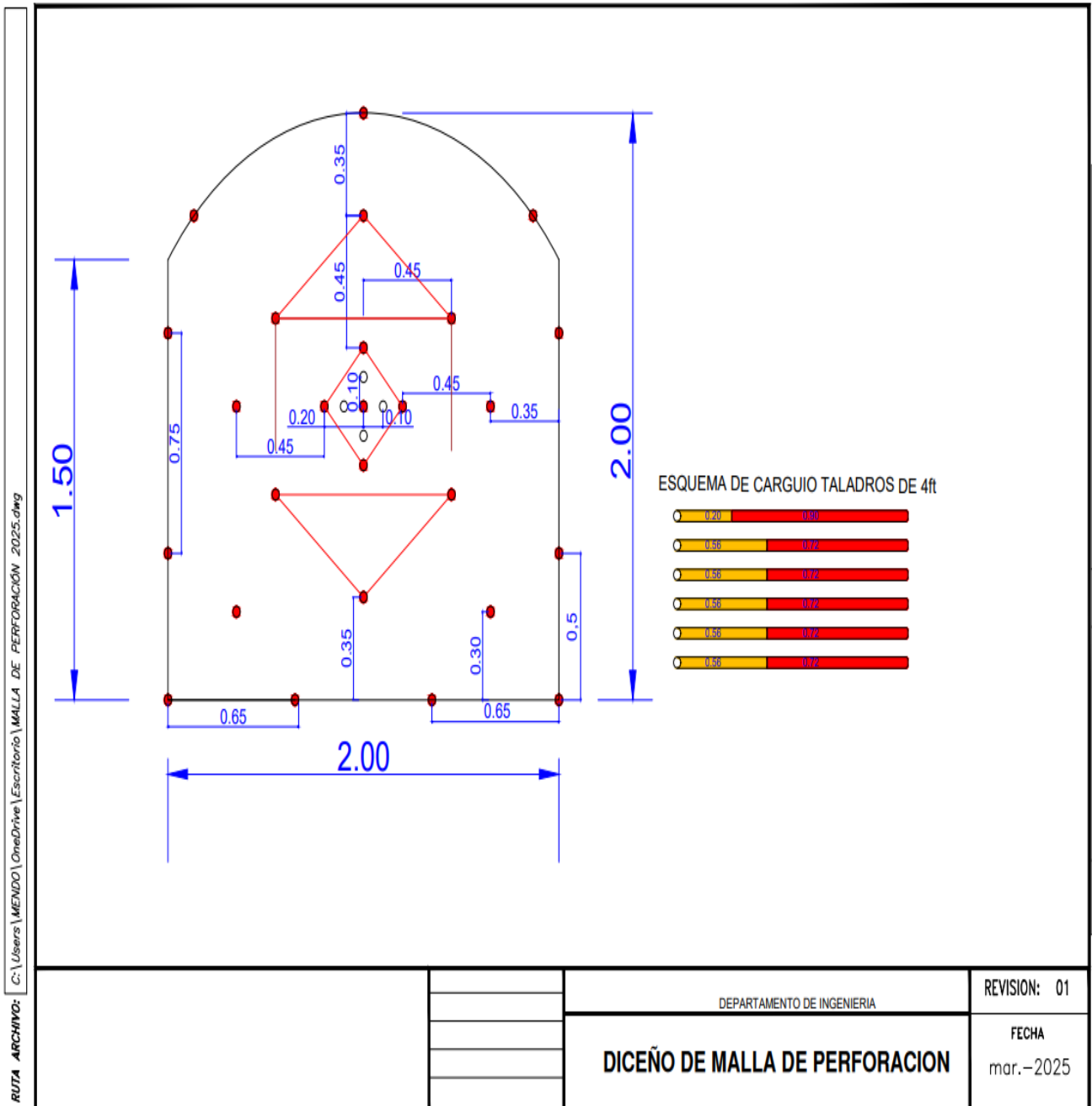
Tipos de mallas comunes

- Malla en abanico: Utilizada en zonas con geometrías irregulares.
- Malla paralela: Ideal para túneles rectos y uniformes.
- Malla radial: Aplicada en cámaras o zonas amplias.
- Factores que considerar en el diseño
- Tipo de roca: Dureza, fracturación y composición.
- Objetivo de la voladura: Avance, ensanche o extracción.
- Condiciones del entorno: Ventilación, vibraciones y proximidad a estructuras sensibles.
- El diseño adecuado de la malla es crucial para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos.
- Carga de Barrenos se cargar con explosivos emulnor 3000 1"x7" de acuerdo con el diseño de voladura y las medidas de seguridad.

Adjunto la malla antigua VS. malla nueva de perforación

Figura 2

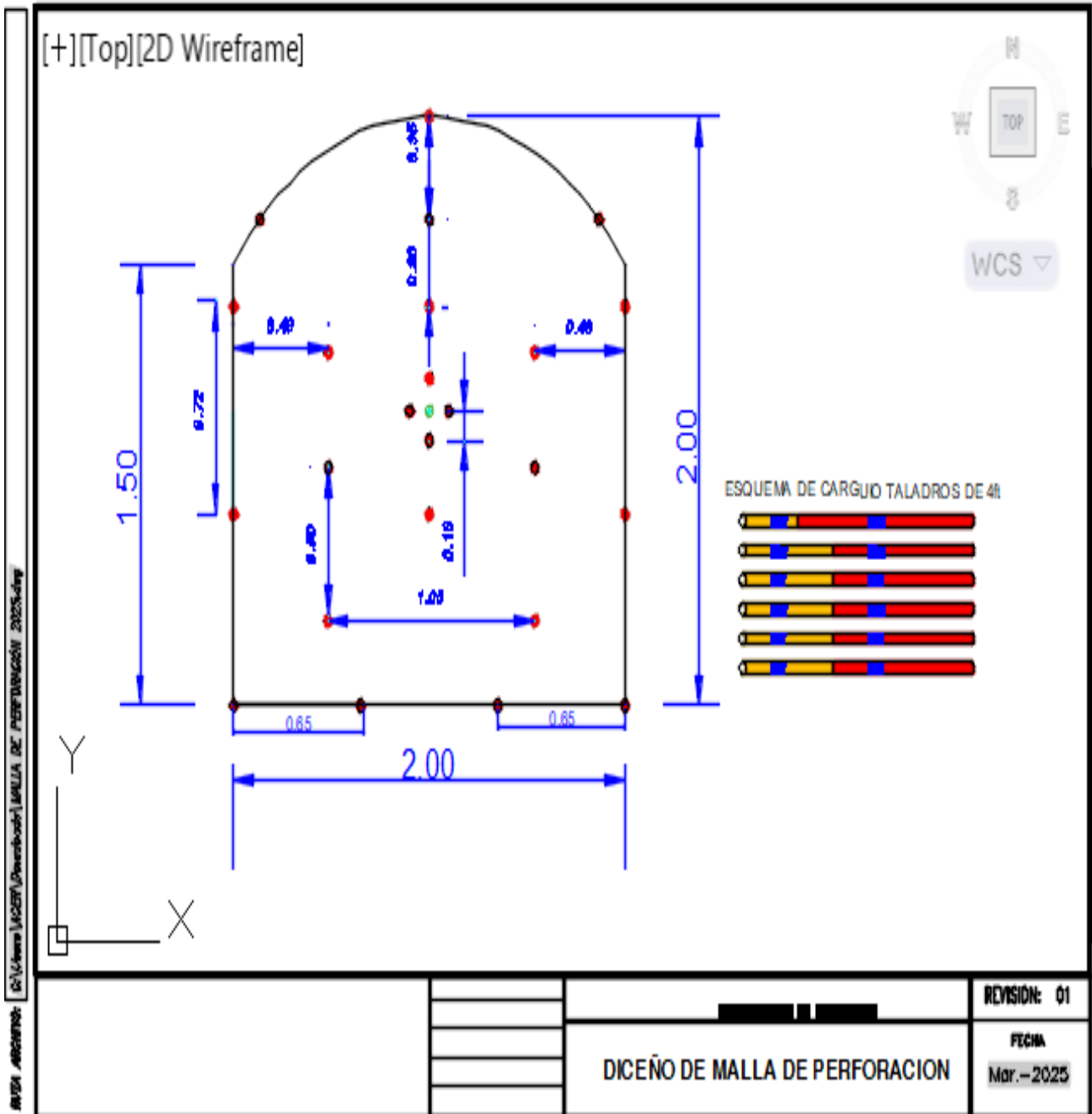
Malla de perforación antigua de 30 taladros



Nota: Elaboración propia (2025)

Figura 3

Nueva malla de peroración para su voladura con 24 taladro



Nota: Elaboración propia (2025)

Diagrama actual del proceso de perforación y voladura.

Se realizó el Diagrama Analítico de Procesos para detallar las actividades que se realizan actualmente en el proceso de perforación y voladura de inicio a fin de la mina la cascada y de esta manera buscar mejoras en el proceso global.

Como se puede apreciar en la tabla se pone en manifiesto que existen 26 actividades que están involucradas en los procesos de perforación y voladura el cual tiene un tiempo de ejecución de 424.58 minutos, donde se evidencian actividades que deben de ser mejoradas y otras eliminadas para poder optimizar este proceso.

2.2. Voladura.

Para la voladura en minería subterránea son documentos fundamentales que establecen las medidas necesarias para garantizar la seguridad del personal y minimizar riesgos durante esta actividad crítica. Debemos dar aviso de Voladura se le informar a todo el personal sobre la voladura inminente y evacuar el área del frente Nv. 3987. Detonación ser realizar siguiendo los procedimientos establecidos y asegurarse de que todos estén a una distancia segura

Equipos, Herramientas y materiales: Lámpara minera, mochila para explosivos y accesorios, punzón de cobre, pvc y/o madera, cucharilla, atacador de madera de 1" de diámetro, fósforo o encendedor, explosivos, accesorios, tacos de arcilla o detritus de perforación, reloj.

2.2.1 Procedimiento

El maestro y su ayudante inspeccionan el área de trabajo, labor ventilada y sostenida hasta el tope, identificando los peligros, evaluando los riesgos y aplicando los controles (contar con el carné de SUCAMEC vigente). Utilizar (carmex y mecha rápida Z 18), mecha de seguridad y chispero de acuerdo con el estándar (mecha: 1.50 m. y chispero y guía de tiempo de 0.40 m). Para garantizar la seguridad durante las operaciones de voladura, es fundamental restringir el acceso a la zona de carguío mediante el uso de cintas de señalización o conos de seguridad, colocados a una distancia mínima de 20 metros detrás del frente de trabajo. Los explosivos y accesorios de voladura deben ubicarse bajo áreas debidamente sostenidas,

manteniendo entre ellos una separación mínima de tres metros. La preparación de los cebos —consistentes en la inserción del accesorio de voladura dentro del explosivo— debe realizarse utilizando herramientas no metálicas, tales como punzones de cobre, PVC o madera, a fin de evitar riesgos de ignición accidental.

La carga de los taladros debe efectuarse conforme al diseño de malla previsto para la labor, empleando atacadores de madera para introducir los cebos y cartuchos explosivos. Este procedimiento debe iniciarse por los taladros superiores (corona), y continuar de forma descendente hasta los inferiores (arrastres). Posteriormente, se deben sellar los taladros cargados con tacos de detrito para garantizar la contención del explosivo.

Antes del disparo, es imprescindible coordinar con las labores adyacentes para asegurar la evacuación y control de la zona. Asimismo, se deben colocar vigías en todos los accesos a la labor, estableciéndose una distancia mínima de 300 metros en línea recta desde el punto de disparo, con el objetivo de evitar el ingreso no autorizado y proteger al personal. Realizar el corte de la guía a 01 pulgada de del extremo que sobresale del taladro, en forma transversal. Una vez terminado el proceso anterior para todos los taladros, cortar en forma oblicua el chispero de 0.40 m de longitud y la guía de tiempo, también de la misma medida. Iniciar chispeo de la labor en compañía del ayudante, respetando el horario de disparo establecido; Si se apaga el chispero abandonar chispeo. Colocar señalización con el letrero de Disparo al ingreso de la labor y salir de la labor en forma ordenada hasta una zona alejada y segura. Dejar ventilando la labor para el turno tarde.

Restricciones: No realizar manipulación de explosivos si no se cuenta con carné de autorización de SUCAMEC. No iniciar el chispeo si no hay vigías en todos los puntos de acceso a la labor y sin coordinar con las labores cercanas o vecinas. No utilizar varillas metálicas para introducir o atacar los cartuchos en los taladros. No utilizar explosivos y accesorios deteriorados o en mal estado. Realizado el disparo no ingresar a la labor antes de 30 minutos. Adjunto tabla xx de Diagrama de flujo del Proceso de Perforación y Voladura.

2.3. Evacuación y seguridad previa al disparo

- Comunicación: Informar al personal sobre el horario y área de la voladura. Verificar que todos hayan evacuado el área de riesgo.
- Delimitación del perímetro: Colocar señales y barreras para impedir el acceso al área de voladura. Supervisión continua por parte de personal capacitado.

2.3.1. Detonación

- Autorización final: Confirmar que las condiciones sean seguras antes de proceder.
- Usar sistemas de disparo remoto o temporizadores para garantizar distancia segura.
- Procedimiento controlado: Ejecutar la secuencia según lo planificado.

2.3.2 Revisión post-voladura

- Ventilación del área: Esperar a que los gases de la explosión sean evacuados mediante sistemas de ventilación.
- Inspección de seguridad: Revisar posibles desprendimientos o fallos en la detonación.
- Registro y reporte: Documentar los resultados de la voladura y cualquier anomalía detectada.
- Post-Voladura: Inspección del Área y verificar el área después de la voladura para asegurarse de que no haya explosivos sin detonar. Limpieza y retiro de escombros de manera segura.
- Documentación y Reportes: Registro de Actividades: Documentar todas las actividades realizadas, incluyendo cualquier incidente o anomalía.
- Informe de Seguridad: Ingeniero de seguridad elabora un informe detallado sobre la voladura y las medidas de seguridad implementadas.

CAPITULO III: RESULTADOS

Análisis geomecánica del macizo rocoso en Sn-02 Nivel 3987 de la mina Cascada. El análisis geomecánico del macizo rocoso en el Sn-02 Nivel 3987 de la mina Cascada tiene como objetivo evaluar la estabilidad de la excavación y prevenir riesgos de relajamiento. Para ello, se utilizó el sistema RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, que clasifica el macizo según factores como la resistencia de la roca, las discontinuidades y la presencia de agua. Los problemas en los procesos de perforación y voladura, como disparos deficientes, secuencias incorrectas, malas técnicas de carguío y la selección inadecuada de explosivos, afectan la estabilidad. Se recomienda mejorar estas prácticas mediante disparos más simétricos, una correcta secuenciación y la elección apropiada de explosivos, además de aplicar un sostenimiento adecuado según la clasificación del RMR, como pernos o mallas, y realizar un monitoreo constante para garantizar la estabilidad de la excavación, evitando retrasos y riesgos,

Tabla 1

Criterio para la clasificación de la masa rocosa

Tipo de Roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
II	>60	>5.92	Buena
III A	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
III B	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IV A	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IV B	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	<21	<0.08	Muy Mala

Nota. Bieniawski Rock Mass Rating (2020)

Esta tabla facilitará una clasificación más precisa del macizo rocoso, teniendo en cuenta los diversos parámetros geomecánicas que definen las condiciones de la labor a explotar.

Tabla 2

Sistema RMR

Parámetro	Condición Observada	Valor Asignado (RMR)	Unidad / Observación
Resistencia a la compresión uniaxial	50 – 100 MPa	7	Roca competente, resistencia moderada
RQD	66%	3	Calidad media del macizo
Espaciamiento de discontinuidades	0.2 – 0.6 m	10	Fracturación moderada a intensa
Persistencia	3 – 10 m	2	Discontinuidades largas
Abertura de discontinuidades	1.0 – 5.0 mm (abiertas)	1	Abertura visible, influye en estabilidad
Rugosidad	Lisa	1	Bajo rozamiento; potencial deslizamiento
Relleno	Blando (< 5 mm)	1	Discontinuidades con material débil
Grado de alteración	Masiva o levemente fracturada	3	Moderadamente alterada, algo estable
Condición del agua subterránea	Seca	15	Excelente para la estabilidad
Puntaje Total (RMR Básico)	-	60	
Descuento por orientación de juntas	Desfavorable (estimado)	-10	Ajuste estándar según orientación
RMR Ajustado	-	50	

Nota. Elaboración propia (2025)

El sistema RMR de Bieniawski facilita una evaluación precisa del macizo rocoso

Tabla 3

Sostenimiento (según Bieniawski – Clase III, RMR ≈ 50)

Elemento de sostenimiento	Recomendación
Barras de anclaje	Longitud: 4 – 5 m Separación: 1.5 – 2.0 m
Malla metálica	En techo y hastiales donde haya riesgo de caída
Shotcrete (hormigón proyectado)	Espesor: 50 – 100 mm en zonas inestables
Drenaje	No necesario en estado seco, monitoreo ocasional

Nota. Elaboración propia (2025)

El sistema RMR de Bieniawski facilita una evaluación precisa del macizo rocoso en campo, siendo especialmente útil en minería subterránea. Su aplicación no depende de la estructura geológica general y permite ajustar los resultados según condiciones locales, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para el diseño de sostenimiento y planificación geotécnica.

Tabla 4

Parámetros geomecánicos de la labor

Parámetro	Valor / Descripción	Observación
Sección	2 x 2 m	SN
Azimut	90°	Dirección perpendicular
Pendiente	0.50%	Ligera inclinación
Litología	Granodiorita	Roca ígnea, competente
RMR	60	Roca de calidad regular a buena
Densidad de fracturas	20 fracturas/m ²	Alta fracturación superficial
Tipo de roca (RMR)	Roca buena	Clase III – según Bieniawski

Condiciones de cuñas	Cuña estable	No se prevé falla por mecanismos de cuña
----------------------	--------------	------------------------------------------

Nota. Elaboración propia (20225).

Finalmente, El análisis geomecánica realizado en campo permitió identificar con exactitud las condiciones del macizo rocoso (Tabla 2). Esta evaluación fue clave para optimizar tanto el diseño de la malla de perforación y voladura, como el sistema de sostenimiento, asegurando así la estabilidad y seguridad de la labor minera.

3.1 Análisis del proceso actual de perforación y voladura para implementar mejoras en la Cortada Sn-02 Nv. 3987 en la Mina Cascada

Actualmente En las operaciones subterráneas realizadas en la Unidad Minera La Cascada, se ha establecido que las actividades relacionadas con la perforación y el carguío de explosivos se ejecutan conforme a los parámetros técnicos y requisitos mínimos de seguridad exigidos por la normativa nacional e internacional vigente. Estas tareas, consideradas críticas dentro del proceso de voladura, son desarrolladas bajo estrictos criterios de control con el propósito de mitigar riesgos asociados a la seguridad y salud ocupacional del personal, alineándose con lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 024-2016-EM, específicamente en su Artículo 234, el cual regula las condiciones de seguridad en actividades mineras. Asimismo, se considera lo estipulado en el D.S. N.º 023-2017-EM, norma que modifica y actualiza disposiciones clave del reglamento original.

Tabla 5

Características de la malla

Longitud de perforación: 4 fit = Lb * Ep	<i>Ltal</i>	Ltal = Longitud del taladro	Lb = Longitud del barreno	Ep = Eficiencia de perforación
Diámetro de taladro: 38 ml		Diámetro de la broca: 38ml		
		Método de los perímetros:		
Número de taladros anteriormente 30		$N^{\circ} T = (P/dt) + (c * s)$		
Número de taladros actuales 24		P = perímetro de la labor		
		dt = espaciamiento de taladros		
		c = constante de roca		
		s = sección de túnel		
Dureza		Tenaz	Intermedia	Friable
Distancia entre taladros		0.55 a 0.55	0.60 a 0.65	0.70 a 0.75
Coefficiente de roca (m)		2.00	1.50	1.00
Burden Nominal:				
$Bn = \phi [(PoDtaladro - (\gamma * H) / fs * \sigma r * RQD) + 1]$				
Burden Ideal:				
Bn= Burden nominal (m)		$Bi = Bn - Dp$		
Φ = Diámetro del taladro (m)		Bn = Burden nominal		
PoDtal = Presión de detonación del taladro (Kg/cm ²)		Dp = Desviación de perforación		
RQD = Índice de calidad de la roca				

σ_r = Resistencia a la compresión de la roca o mineral, (Kg/cm²)

Fs = Factor de seguridad

γ = Densidad de la roca (TM/m³)

H = Profundidad de la labor (m)

Espaciamiento entre taladros	Cuadradores: 30 a 45 centímetros. Arranque: 1 a 10 centímetros.
Desviación del Taladro	$y = 0.0008x^2 + 0.0152x + 0.0078$ $R^2 = 0.9867$
Paralelismo del taladro	Guiadores (barrenos desgastados)
Taco del taladro	Generalmente el taco es 1/3 de la longitud del taladro.

Nota. Elaboración propia (2025)

Tabla 6

Elementos implicados en la perforación

Sección	Descripción	Especificación
1. Equipo	Modelo de perforadora	Jackleg RNP 250
	Tipo de trabajo	Perforación manual
	Fuente de energía	Aire comprimido
	Combustible	Petróleo
	Tipo de avance	Manual con guiadores
2. Perforación	Guiadores	≥ 3 (de madera)
	Longitud de barrenos	4 pies (≈ 1.22 m)
	Diámetro de broca	38 mm
	Malla de perforación	2 m x 2 m
	Sección de labor	2 m x 2 m
3. Requerimientos	Presión de aire mínima	≥ 70 lb/pulg ²
	Presión de agua mínima	≥ 43 lb/pulg ²
	Caudal de agua mínimo	≥ 0.5 litros/seg

	Tipo de guiadores	Madera resistente
4. Condiciones de uso	Ventilación	Recomendable en túneles cerrados
	Iluminación	Suficiente para operación segura
	Seguridad	Uso de EPP obligatorio (casco, tapones, guantes, gafas, botas)
5. Observaciones	Mantenimiento	Diario antes y después de operar
	Recomendación técnica	Comprobar presión y caudal antes de iniciar

Nota. Elaboración propia (2025).

En la tabla se detalla los materiales, equipos y condiciones mínimas requeridas para ejecutar de forma segura y eficiente los trabajos de perforación en el Subnivel 3987 de la Mina Cascada.

Tabla 7

Procedimiento Post-Perforación

Procedimiento Post-Perforación		
Etapa	Actividad	Detalle / Objetivo
1. Retiro del equipo	Retirar el barreno de la máquina perforadora	Evita daño al equipo y facilita la limpieza posterior
	Cerrar válvulas de aire y agua	Garantiza seguridad y evita desperdicio de recursos
	Desempatar y enrollar las mangueras de aire y agua	Orden y prevención de accidentes
2. Mangueras	Colocar mangueras en un lugar seguro y alejado del área de disparo	Previene daños por voladuras y mejora el orden del frente
	Lavar la máquina perforadora	Elimina residuos que puedan dañar o corroer componentes
3. Limpieza y resguardo	Colocar la capucha protectora	Protege el equipo del polvo y la humedad
	Retirar la máquina a un lugar seguro, distante del área de disparo	Preserva la integridad del equipo y mejora condiciones de seguridad en el frente

Nota. Elaboración propia (2025)

El procedimiento post-perforación debe seguirse estrictamente para garantizar la seguridad del personal y el buen estado del equipo. Esto incluye retirar el barreno, cerrar las válvulas de aire y agua, organizar las mangueras de manera segura, limpiar la máquina perforadora y almacenarla en un lugar alejado del área de disparo.

Tabla 8

Horario de voladura

Turno día	12:30 pm a 5:30pm
Autorización	Disparo especial

Nota. Elaboración propia (2025)

Para disparos especiales, se debe elaborar un PETAR, evaluar el impacto en la ventilación para evitar gaseamiento, y contar con la autorización de las Superintendencias de Mina y SST, siendo responsable el jefe de Sección del turno.

Tabla 9

Parámetros de transporte de explosivos, quemado e iniciación de accesorios de voladura

Categoría	Parámetro	Valor/Descripción
Transporte de Explosivos	Peso máximo por operario	≤ 25 kilogramos
	Distancia mínima entre operarios	≥ 10 metros
Quemado de Mecha Lenta	Longitud de la mecha	1 metro
	Tiempo de quemado	150 a 200 segundos (50 a 60 segundos por pie)

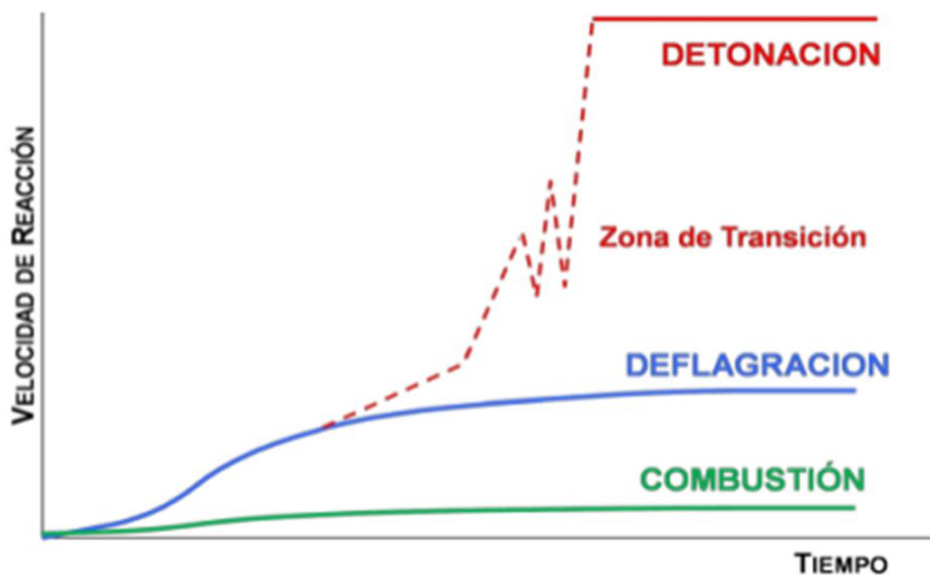
Sistemas de Iniciación	Tipo de iniciación Conexión de detonadores	No eléctrico Cordón detonante para conexión de detonadores
---------------------------	------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

Nota. Elaboración propia (2025)

Se establecen medidas de seguridad para el manejo de explosivos, limitando el peso por operario, asegurando distancias mínimas, controlando el tiempo de quemado de mechas y utilizando sistemas de iniciación no eléctricos con cordón detonante.

Figura 4

Tipo de reacción en función de la cinemática química



Nota: Bernaola et al. (2021)

En la figura se observa la reacción en cadena del proceso de voladura, donde la detonación genera gases, ruidos y cambios mecánicos bruscos que provocan la fragmentación del macizo rocoso.

Tabla 10

Materiales para la voladura

Mecha rápida Z-18
Carmex- 1.5 m (7')
Accesorios
Emulnor 3000: 1" x 7"

Nota. Elaboración propia (2025)

Elementos indispensables para el proceso de voladura.

Tabla 11

Parámetros del explosivo para la voladura

Parámetro	Fórmula	Variables y Unidades	Condición / Rango	Descripción Técnica
Presión de Detonación (PoD)	$PoD = 0.25 \times 10^{-5} \times \sigma \times VoD^2$	<ul style="list-style-type: none"> - PoD: kBar - σ: Densidad (g/cm³) - VoD: Velocidad de detonación (m/s) 	30 a 202 kBar	Estima la presión generada por la detonación, clave para la fragmentación del macizo.
Factor de Carguío (Fc)	$Fc = (\phi_e^2 \times L_e \times Nc) / (\phi_{tal}^2 \times L_{tal})$	<ul style="list-style-type: none"> - ϕ_e: Diámetro del explosivo - L_e: Longitud del cartucho - Nc: N° de cartuchos - ϕ_{tal}, L_{tal} 	$Fc \leq 1$	Evalúa el volumen de explosivo dentro del taladro en relación con su volumen total.
Razón de Acoplamiento (Ae)	$Ae = \phi_e / \phi_{tal}$	<ul style="list-style-type: none"> - ϕ_e: Diámetro del explosivo - ϕ_{tal}: Diámetro del taladro 	$Ae \leq 1$	Determina el grado de ajuste entre el explosivo y el taladro. Influye en la eficiencia.

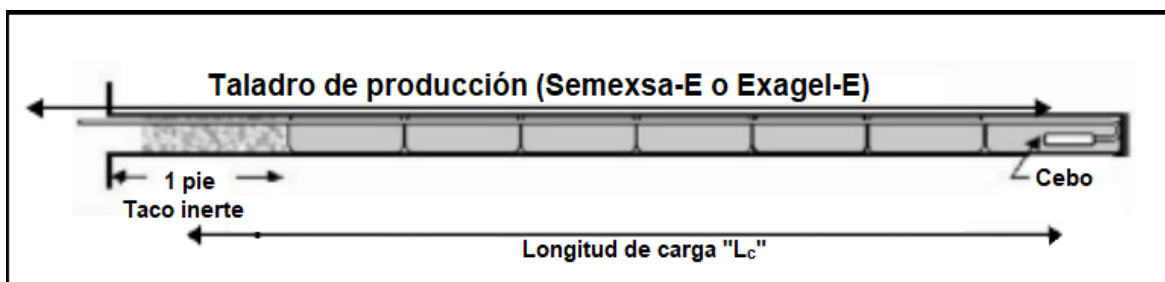
Longitud de Carga (Lc)	$L_c = \left[\frac{\phi_e}{A_e \times \phi_{tal}} \right]^2 \times L_e \times N_c / L_{tal}$	- ϕ_e , A_e , ϕ_{tal} , L_e , N_c , L_{tal}	$L_c \leq \frac{3}{4} L_{tal}$	Calcula la longitud total de carga por taladro para mantener seguridad y rendimiento.
------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

Nota. Elaboración propia (2025)

Estas fórmulas permiten dimensionar con precisión el uso del explosivo, su energía, y su relación con el taladro, maximizando la fragmentación del macizo rocoso y minimizando riesgos operativos.

Figura 5

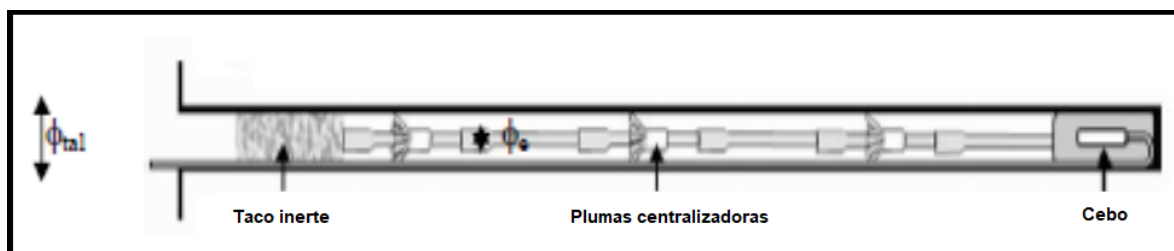
Taladro de producción



Nota: Exsa-Factor de carga (2020)

Figura 6

Taladro cargado para voladura controlada



Nota: Exsa (2020)

Indicar que, para iniciar los procesos de perforación y voladura, los operarios primeramente deben de tener su orden de trabajo, sus PETS de perforación y voladura, hacer el llenado del IPERC y cumplir con los parámetros y controles, establecidos en el estándar de Compañía Minera Poderosa S.A., e informar inmediatamente a su jefe de

cualquier condición sub estándar que se presente en sus tareas y al momento del disparo deben de ponerse a buen recaudo tanto del estruendo como de la emanación del gas propio de la voladura.

Figura 7

Sistema actual de perforación y voladura

DIAGRAMA DE FUJO DEL PROCESO									
Diagrama N°1	Hoja: N°.I	operario ■	material ■	equipo ■	RESUMEN				
Objetivo: resumen de actividades		ACTIVIDA			ACTUAL				
proceso analizado: perforacion y voladura		perforacion			3				
		sup. Op			1				
		sup. Seg			1				
Mttodo: actual ■ propuesto □		TOTAL			5				
Mina : Cascada Sn-Nv 4116		tiempo de ciclo de minado			406.2				
elaborado por		FECHA			Tiempo en minutos para cada actividad del proceso de perforacion y voladura "A.V agrega valor A:V:N no agrega valor"				
WILSON/ JEFFERSON		19/03/2025							
		COMENTARIOS							
descripcion	tipo de perdida	tipo de actividad	tiempo/min	sinvolos					observacion
				○	⇒	□	□	▽	
Charla de seguridad	sobre el proceso	A.V	15						Indispensable para el trabajo
orden de trabajo		N.A.V	10						Indispensable para el trabajo
Traslado a la labor	caminata	NAV.	10						
Retiro de herraminetas y material a usar		A.V	10						
inspeccion de herramientas	sobre el proceso	N.A.V	10						todo en buen estado
inspección de labor		A.V	10						Indispensable para el trabajo
llenado de IPRC		A.V	5						Indispensable para el trabajo
regado de labor	sobre el proceso	N.A.V	15						
desatado de rocas	sobre el proceso	A.V	25						
limpieza de labor	transporte	N.A.V	80						Indispensable para el trabajo
acondicionamiento de jackleg y accesorios	sobre el proceso	N.A.V	10						
pintado de malla		A.V	10						
proceso de perforacion por taladro		A.V	82.2						Indispensable para el trabajo
retiro y limpieza de jackleg	transporte	N.A.V	10						
resguardo de herramientas	transporte	N.A.V	10						colocar a buen resguardo
corroboracion de taladros	sobre proceso	N.A.V	8						
limpieza de taladros	sobre proceso	N.A.V	10						
tiempo de espera/descanso	sobre proceso	N.A.V	20						descanso del personal
pedido y espera de explosivo	transporte	N.A.V	10						
corroboracion de explosivo	sobre proceso	N.A.V	5						
acondicionamiento de cebos		A.V	8						indispensable para la voladura
distribucion de explosivos		N.A.V	5						
carga de taladros	sobre proceso	N.A.V	13						
uso de atacadores	sobre proceso	N.A.V	5						
instalacion de mecha y amarre		A.V	8						de acuerdo ala secuencia
encendido de mecha rapida		A.V	2						
TOTAL			406.2	13	2	1	3	2	

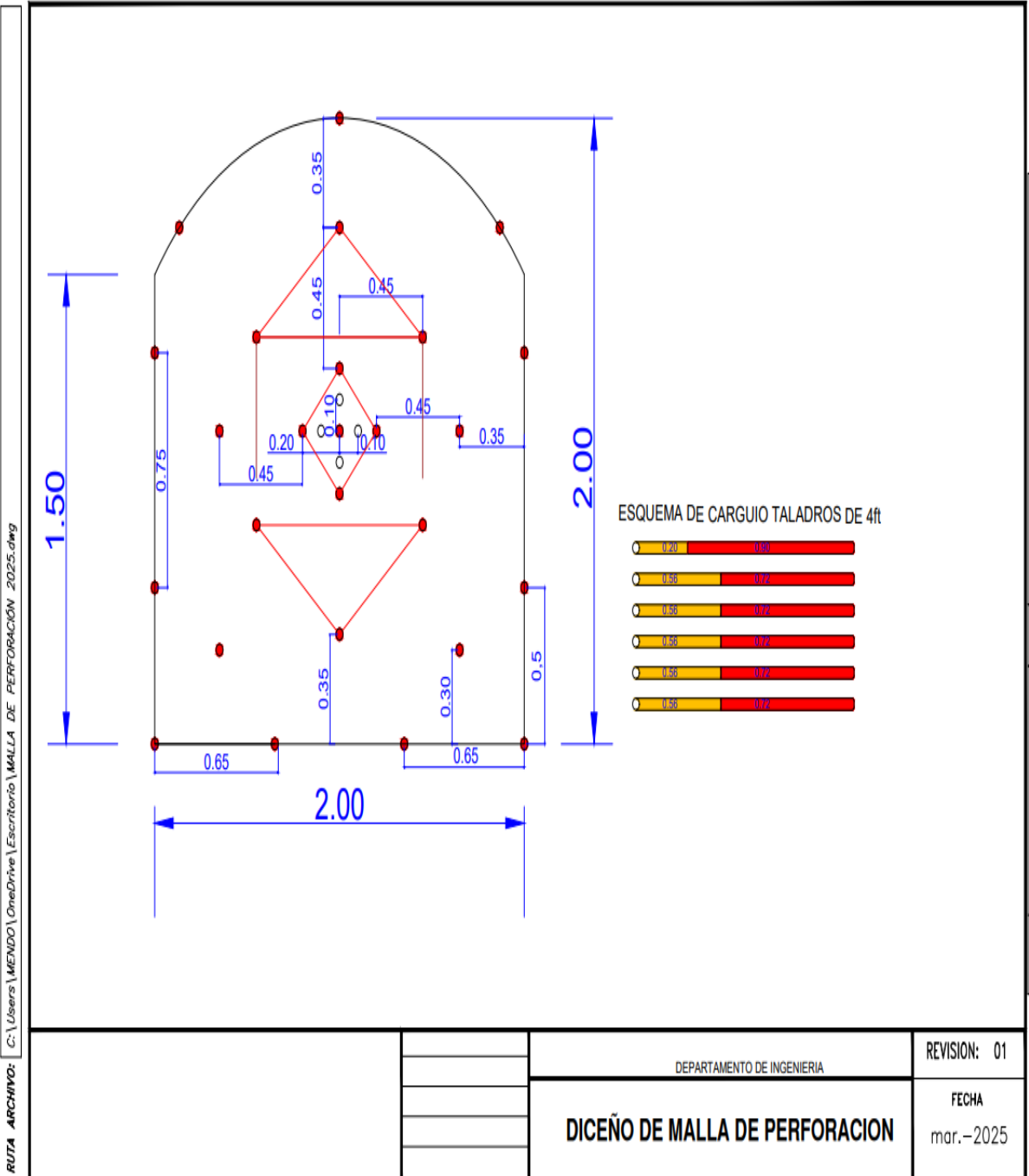
Nota: Elaboración propia (2025)

3.2. Análisis de la malla de perforación y voladura actual y propuestas de mejora para optimizar la productividad en la Cortada Sn Nv. 3987 en la Mina Cascada

Actualmente, se emplea una malla de perforación y voladura con una separación de 2x2 metros en la sección correspondiente de la Cortada Sn Nv. 3987 en la Mina Cascada. Este sistema tiene un impacto directo en la eficiencia de los procesos de perforación, voladura y posterior remoción del material. Para mejorar la productividad, se propone realizar un análisis detallado de la malla vigente y, en base a ello, diseñar una malla de perforación y voladura optimizada mediante el uso de modelos matemáticos.

Figura 8

Malla utilizada actualmente para la perforación y voladura



Nota: Elaboración propia (2025)

Tabla 12

Análisis de la malla actual

Taladros	30
Longitud de perforación	4 fit
Longitud efectiva	1.1
Avance x disparo	0.90 cm
Peso específico	2.8 TM/m ³
Esponjamiento	60%
Sobre rotura	10%
Diámetro máximo de fragmentación	0.2 m

Nota: Elaboración propia (2025).

Tabla 13

Descripción de la malla actual “con” y “sin” sobre rotura

	Sobre rotura	
	Sin	Con
Perímetro (m)	7.21	
Área (m ²)	3.63	4
Volumen in situ (m ³)	13.44	14.3

Nota: Elaboración propia (2025).

Tabla 14

Explosivos y accesorios

Explosivos y accesorios	Dimensiones	Cantidad	Explosivo (kg)
Emulnor 3000	1" x 7"	105	10.1
Mecha rápida z 18	5 metros		
Carmex- 1.5 m (7')	26 un		

Fuente: Propia

Tabla 15

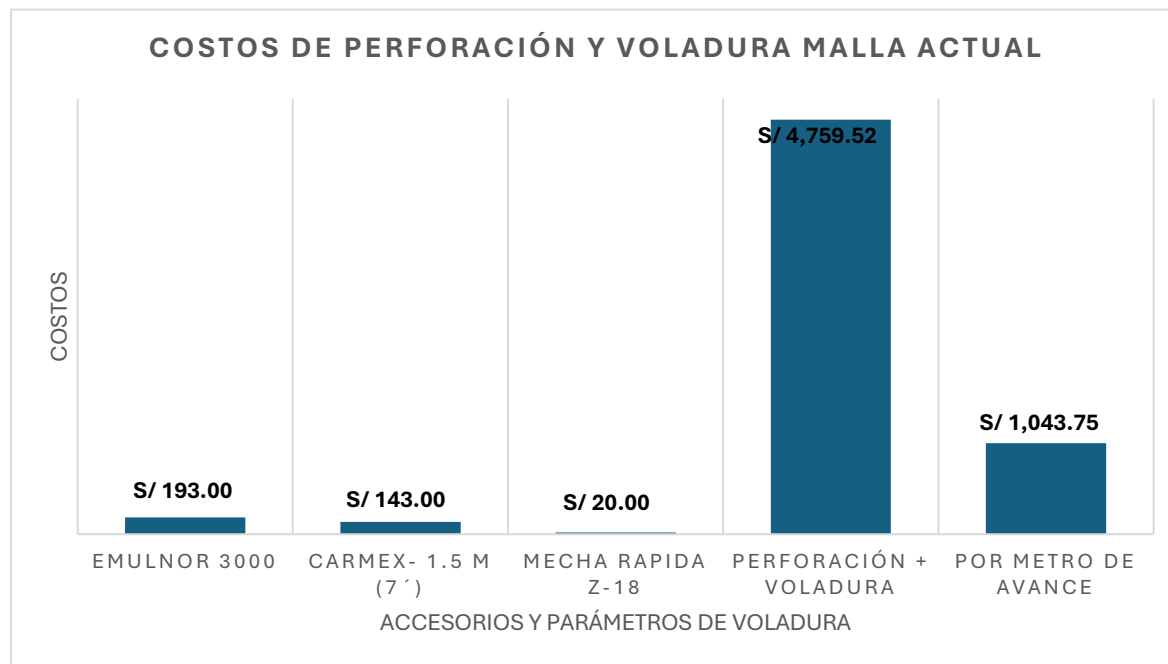
Factor de carga

Factor de carga	Kg/m3	2.2
-----------------	-------	-----

Nota: Elaboración propia (2025)

Figura 9

Costos de perforación y voladura con la malla actual



Nota: Elaboración propia (2025)

Los costos relacionados con el avance, volumen y tonelaje generado por las voladuras, así como el consumo de material explosivo, accesorios y el costo general del proceso de perforación y voladura, son elevados. Por lo tanto, es necesario reducir los costos operativos unitarios en todo el proceso. Para lograrlo, se debe rediseñar la malla de perforación, con el fin de optimizar los procesos y mejorar la eficiencia.

3.2. Diseño de la nueva malla de perforación y voladura, y optimización del proceso

Para diseñar una malla de perforación y voladura optimizada, es necesario realizar análisis estructurales detallados que permitan una correcta zonificación de la labor. Esto incluye simulaciones con el software DIPS para evaluar la estabilidad de las cuñas existentes, así como la aplicación del modelo matemático de "Hoek & Brown" para determinar los parámetros óptimos. Estos pasos buscan mejorar la eficiencia de la perforación y voladura, reduciendo costos y eliminando criterios que causan retrasos en los procesos. De esta forma, se optimiza el proceso global de perforación y voladura

3.2.1. Plano geomecánico estructural

Del mismo modo se realizó el plano geomecánico estructural del macizo rocoso donde se consideraron criterios litológicos, geoestructurales y así mismo la calidad del macizo rocoso según su RMR, como se logra visualizar en la tabla 18 y figura 8.

Tabla 16

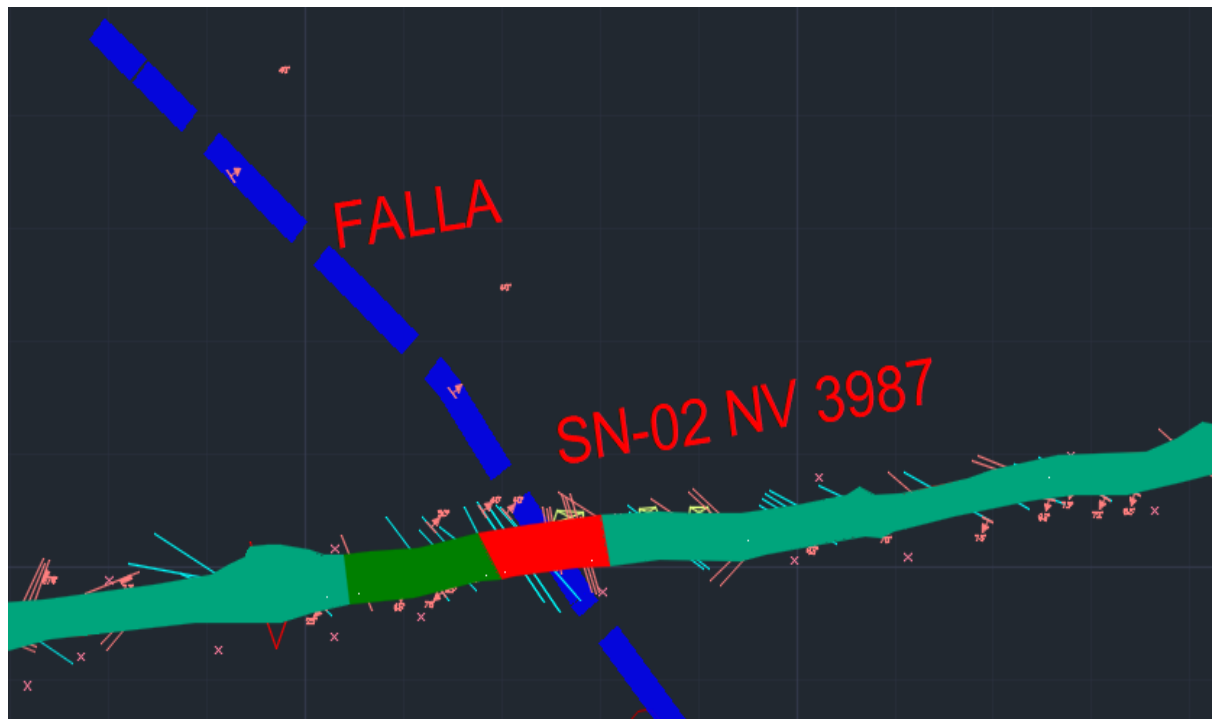
Zonificación Sn- Nv. 3987

Sector	Litología	RMR – Promedio	Calidad según RMR
Corona	Diorita Alterada	31 – 40	Mala A
Hastiales	Diorita Alterada	41 – 50	Regular B
Frente	Granodiorita	31 – 40	Mala A

Nota: Elaboración propia (2025)

Figura 10

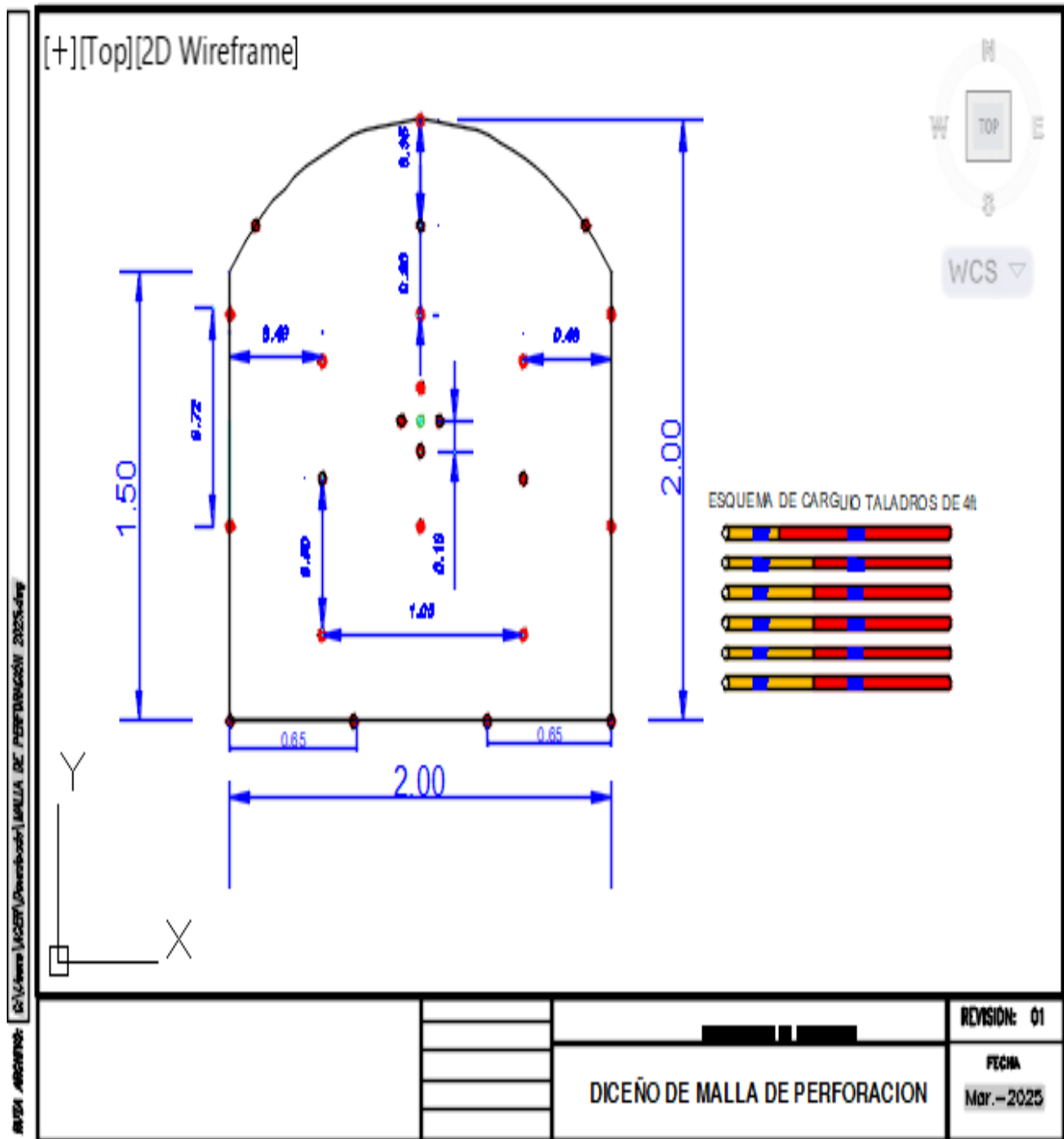
Plano estructural geomecánica



Nota. Elaboración propia (2025)

Figura 11

Malla de perforación y voladura optimizada



Nota. Elaboración propia (2025)

Figura 12

Diagrama de perforación y voladura optimizado

DIAGRAMA DE FUJO DEL PROCESO										
Diagrama N°1	Hoja: N°.1	operario ■		material ■			equipo ■			
RESUMEN										
Objetivo: resumen de actividades		ACTIVIDA			ACTUAL					
proceso analizado: perforacion y voladura		perforacion			3					
		sup. Op			1					
		sup. Seg			1					
Mttodo: actual ■ propuesto □		TOTAL			5					
Mina : Cascada Sn-Nv 4116		tiempo de ciclo de minado			263.8					
elaborado por	FECHA 19/03/2025	COMENTARIOS			Tiempo en minutos para cada actividad del proceso de perforacion y voladura "A.V agrega valor A:V:N no agrega valor"					
WILSON/ JEFFERSON					sinbolo					
descripcion	tipo de perdida	tipo de actividad	tiempo/min	○	➔	□	□	▽	observacion	
Charla de seguridad	sobre el proceso	A.V	10						Indispensable para el trabajo	
orden de trabajo		A.V	2						Indispensable para el trabajo	
Traslado a la labor	caminata	NAV.	5							
Retiro de herraminetas y material a usar e inspeccion de herramientas		A.V	10						todo en buen estado	
inspección de labor y llenado de IPRC		A.V	8						Indispensable para el trabajo	
regado de labor	sobre el proceso	N.A.V	10							
limpieza de labor		A.V	70							
desatado de rocas	sobre el proceso	A.V	15							
acondicionamiento de jackleg y accesorios	sobre el proceso	N.A.V	10							
pintado de malla		A.V	5							
proceso de perforacion por taladro		A.V	67.8						Indispensable para el trabajo	
retiro, limpieza de jackleg y resguardo de herramientas	transporte	N.A.V	10						poner a buen resguardo	
corroboracion de taladros	sobre proceso	N.A.V	5							
limpieza de taladros	sobre proceso	N.A.V	5							
pedido y espera de explosivo	transporte	N.A.V	4							
acondicionamiento de cebos		A.V	8						indispensable para la voladura	
carga de taladros y uso de atacadores	sobre proceso	N.A.V	10							
instalacion de mecha y amarre		A.V	7						de acuerdo ala secuencia	
encendido de mecha rapida		A.V	2							
TOTAL			263.8	11	3	1	2	1		

Nota. Elaboración propia (2025).

Como se muestra en la figura 7, y en comparación con la figura 12, las actividades

se redujeron de 27 a 18, mientras que el tiempo total del proceso disminuyó de 406,2 a 263,8 minutos. Esta optimización se logró al eliminar tareas sin valor agregado y tiempos improductivos en los procesos de perforación y voladura.

Entre las mejoras implementadas destacan: capacitaciones al personal, limpieza previa de la zona de trabajo, coordinación anticipada de explosivos y la reducción de pausas, gracias a la mayor eficiencia operativa. Estos cambios se reflejan claramente en la optimización del diagrama del proceso.

Tabla 17

Análisis de la malla optimizada

Parámetro	Valor	Unidad
número de taladros	24	—
longitud de perforación total	4	pies
longitud efectiva de perforación	0.98	metros
avance por disparo	1.10	metros
peso específico del material	2.8	TM/m ³
factor de esponjamiento	60	%
sobre rotura	10	%
diámetro máximo de fragmentación	0.20	metros

Nota: Elaboración propia (2025)

La disminución en el número de taladros, de 30 a 24, representa una optimización del proceso, ya que permite reducir tanto el tiempo de ejecución como el uso de explosivos, sin comprometer la eficiencia del avance.

Tabla 18

Descripción de la malla optimizada

Concepto	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Roto	Peso (ton)	N° de (Dámper)	Viajes
Barra de perforación 4'	1.20	4.80		13.44		9.52
Longitud efectiva	1.10	4.40		12.32		8.73
Avance efectivo	0.90	3.60		10.08	7.14	

Nota: Elaboración propia (2025)

Tabla 19

Explosivos y accesorios de la malla optimizada

Elemento	Dimensiones	Cantidad	Aplicación	Explosivo (kg)
Emulnor 3000	1 ¼" x 12"	93	23 taladros + 1 de alivio	10.09
Mecha rápida Z18	3.50 metros	—	Conexión de iniciación	—
Cármex 1.5	—	23	Iniciador por taladro	—

Nota: Elaboración propia (2025)

Se utilizaron 93 cartuchos de Emulnor 3000 (10.09 kg), 23 unidades de Cármex 1.5 y mecha rápida Z18 de 3.5 m, asegurando una voladura eficiente y controlada.

Tabla 20

Factor de potencia con la malla optimizada

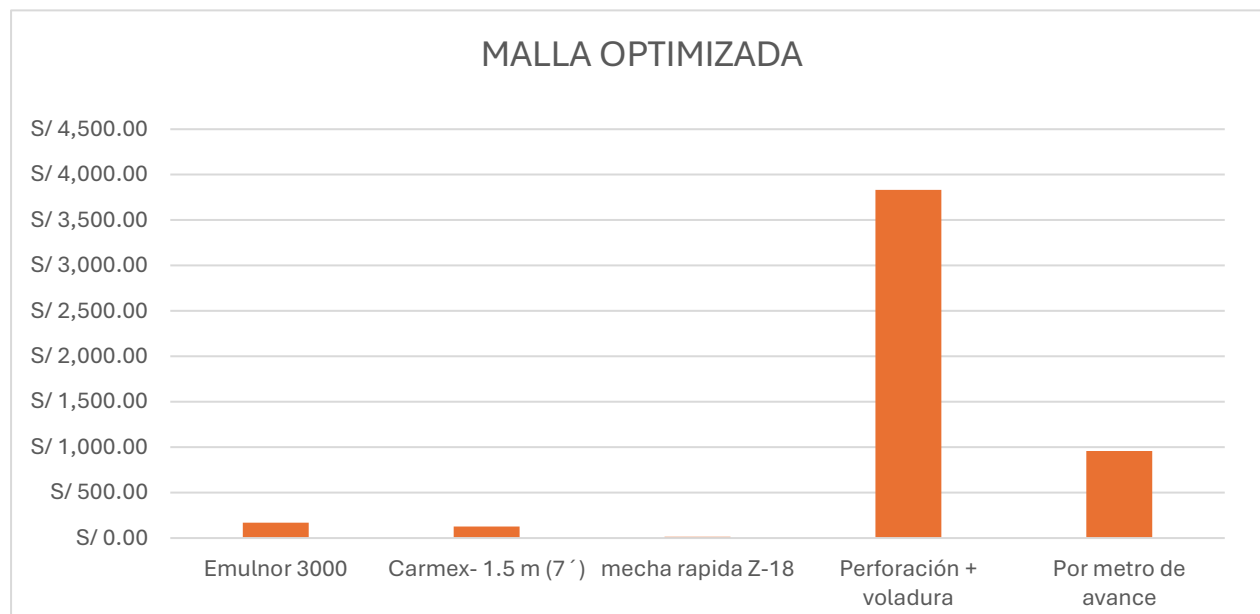
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Factor de carga 2	2.00	kg/m ³
Factor de carga 1	2.20	kg/ m ³

Nota: Elaboración propia (2025)

Los factores de carga varían entre 2.2 y 2 kg/TM, y de 10.1 a 10.09 kg/m³, reflejando la densidad y características del material utilizado.

Figura 13

Costo de perforación y voladura con malla optimizada

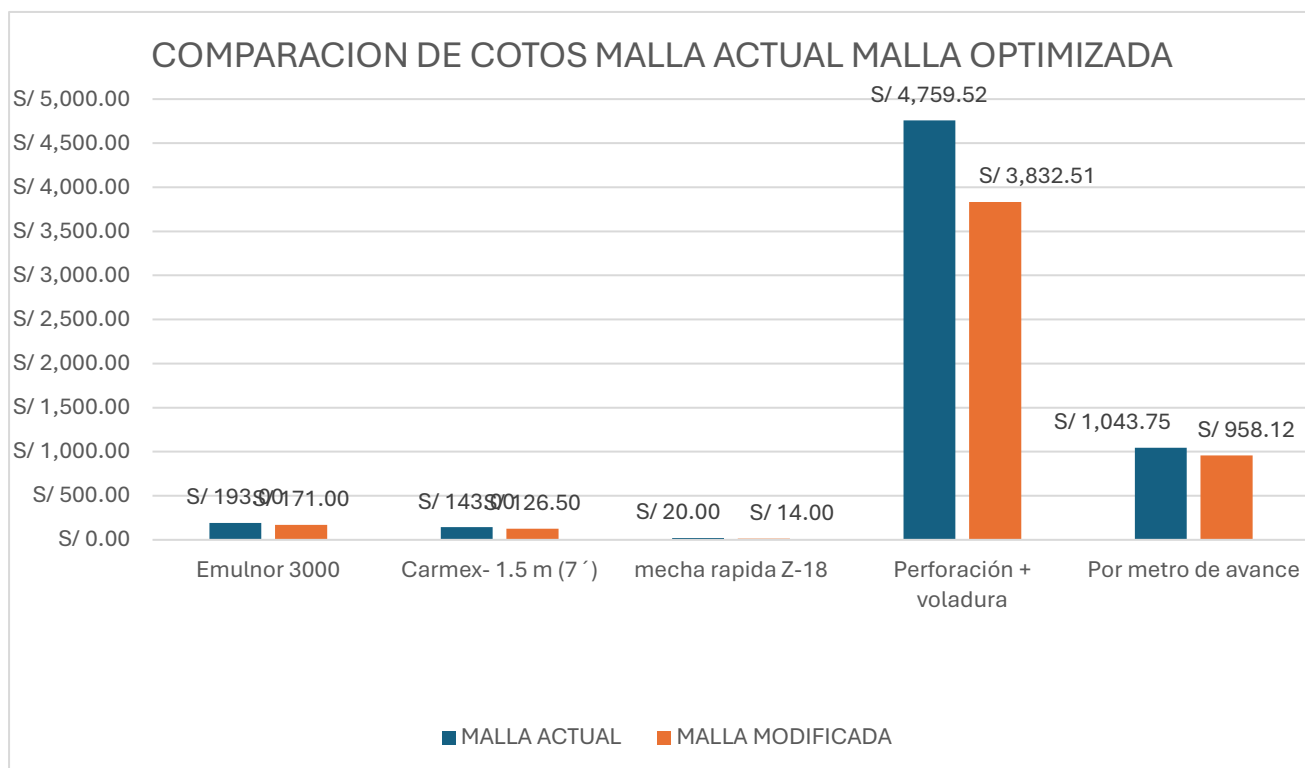


Nota. Elaboración propia (2025)

Se puede ver como los costos en el proceso general de perforación y voladura han disminuido en comparación con la figura 9.

Figura 14

Costo de perforación y voladura con malla optimizada



Nota. Elaboración propia (2025)

Al comparar los costos del proceso de perforación y voladura entre la malla actual y la malla optimizada, se evidencia una notable reducción en los mismos. Esta disminución de costos se detalla en la tabla 24, tomando en cuenta que se realiza una voladura dos veces al día durante cada jornada de avance.

Tabla 21

Ahorro producto de la optimización de la malla de perforación y voladura, por labor

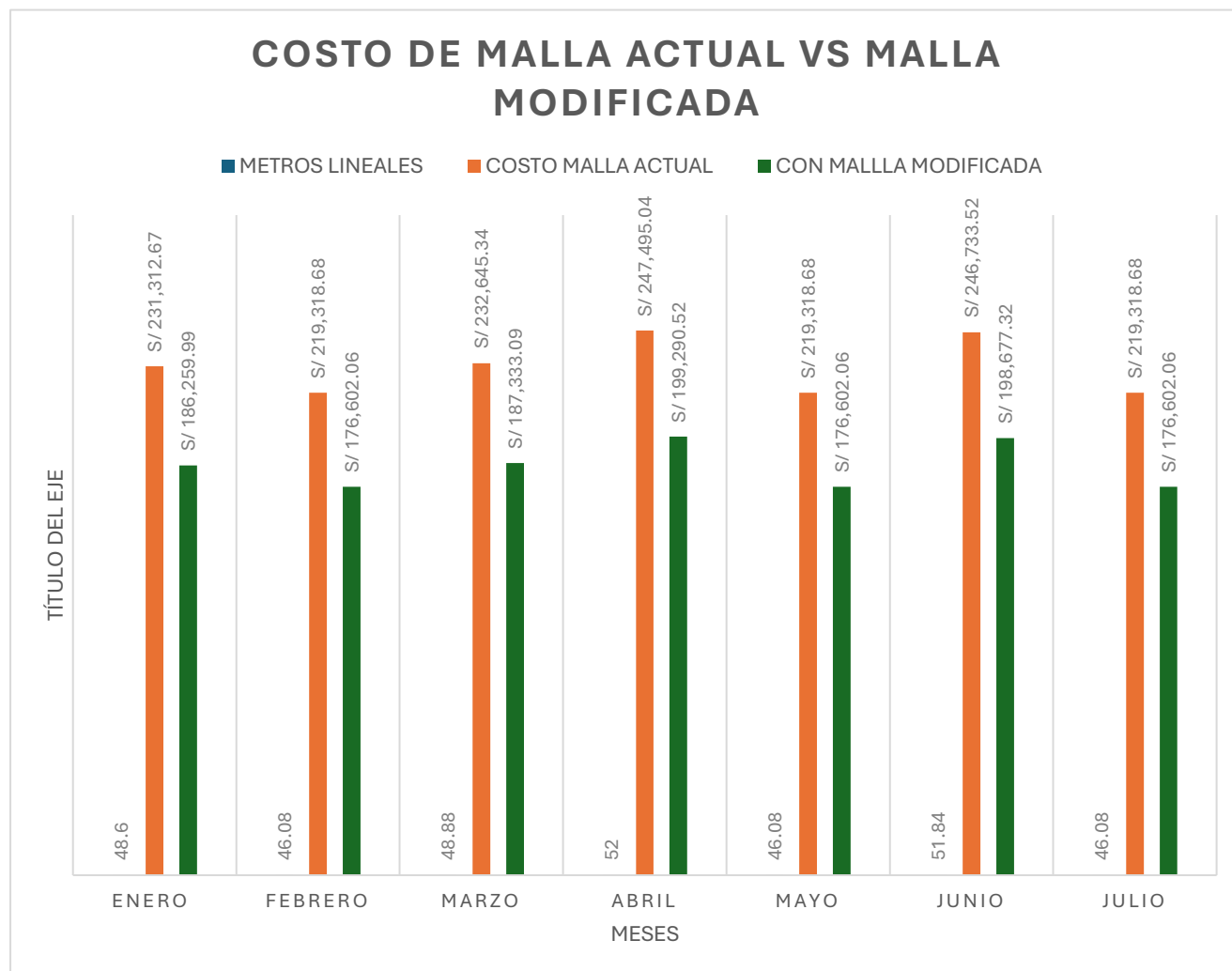
Concepto	Valor Anterior (S/.)	Valor Actual (S/.)	Ahorro (S/.)
Ahorro por tonelada métrica	77.5	62.9	14.6
Ahorro por metro de avance	1043.75	958.12	85.63
Ahorro por m² de fracturación	0.65	0.53	0.12
Ahorro en perforación y voladura	4759.52	3832.51	927.01
Voladuras diarias	—	—	2
Ahorro diario	—	—	927.01
Ahorro mensual	—	—	45,052.69

Nota: Elaboración propia (2025)

El ahorro es significativo y demuestra que la nueva malla es más rentable. Este cálculo se hizo solo para una labor de avance, por lo que el beneficio sería mayor si se aplica en toda la unidad minera La Cascada.

Figura 15

Comparación de cotos por metro de avance malla actual vs malla modificada



Nota. Elaboracion propia (2025)

El gasto realizado con la malla actual fue de S/. 1,616,142.61, mientras que con la malla optimizada habría sido de S/. 1,301,367.10, lo que representa un ahorro de **S/. 314,775.52** durante el periodo comprendido entre los meses de enero y julio.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 DISCUSIONES.

Partiendo de nuestro objetivo general optimizar el proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 NV. 3987, Llacuabamba, la libertad 2025. El diagnóstico inicial mediante el sistema RMR (Bieniawski, 1989) permitió identificar una roca de calidad media (Clase III, RMR \approx 50), con litología predominante de granodiorita y una densidad de fracturas de 20/m². Esta caracterización geomecánica fue fundamental para justificar técnicamente el rediseño de la malla de perforación y voladura, superando el enfoque empírico tradicional. La correcta interpretación del macizo rocoso permitió reducir tiros fallidos, controlar la sobrerotura y optimizar el sostenimiento (shotcrete y pernos helicoidales), validando lo señalado por Mamani (2013), quien destaca el análisis geotécnico como el punto de partida para una voladura eficiente. Esta etapa no solo aportó información técnica clave, sino que orientó decisiones estratégicas en la optimización del ciclo de minado.

Diagnosticar la situación inicial de los procesos de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025. permite identificar condiciones técnicas y operativas que afectan directamente la eficiencia, seguridad y costos de la operación minera. Este diagnóstico se enfoca en evaluar el diseño de mallas, el tipo de equipos y explosivos utilizados, la calidad de fragmentación y las condiciones del macizo rocoso. Según Huatarongo y Sulla (2022), una correcta identificación y control de los problemas operacionales en perforación y voladura puede aumentar la producción de mineral y reducir costos. Además, Vargas (2024) destaca que la mejora en el proceso de perforación y voladura en las labores mineras puede disminuir los costos por metro lineal de avance, obteniendo beneficios económicos. Establecer una línea base clara facilita proponer mejoras que reduzcan el consumo de insumos, minimicen impactos estructurales y ambientales, y contribuyan a una operación más segura y rentable.

Pasando a nuestro segundo objetivo específico Optimizar la perforación y voladura para reducir el costo por metro lineal de avance en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025. La comparación entre la malla original y la rediseñada

evidenció mejoras técnicas y económicas claras. Se redujeron los costos por disparo de S/. 4759.52 a S/. 3832.51, con un ahorro por ciclo de S/. 927.01 y un ahorro mensual estimado en S/. 45,052.69. Aunque el avance por disparo se mantuvo (0.95–1.0 m), la optimización del proceso y el uso eficiente del explosivo (factor de carga reducido a 2 kg/m³) reflejan un incremento en la productividad y una gestión más racional de los recursos. Estos resultados se alinean con estudios como el de Choque (2019) y Barrientos & Durand (2020), quienes lograron mejorar la granulometría, reducir voladuras secundarias y minimizar el consumo específico de explosivos. En síntesis, el rediseño aplicado no solo mantiene la eficiencia técnica, sino que mejora la rentabilidad y sostenibilidad del proceso de perforación y voladura.

Pasando a nuestro tercer y último objetivo específico Evaluar la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025 El rediseño de la malla implicó la adopción de parámetros técnicos optimizados: 24 taladros, diámetro de 38 mm, espaciamientos de 50–70 cm, y presión de detonación entre 30 y 202 Kbar. Esta configuración permitió una reducción significativa del tiempo del ciclo operativo (de 406.2 a 263.8 minutos) y la simplificación del proceso (de 27 a 18 actividades), identificando cuellos de botella y redundancias. Además, se racionalizó el uso de recursos (explosivos, mechas, brocas) y se establecieron horarios de disparo eficientes. Estos hallazgos coinciden con Chancasanampa (2019) y Quezada (2017), quienes demostraron que la mejora del ciclo de perforación y voladura incrementa la productividad y reduce los costos unitarios. En este contexto, la ingeniería del proceso se consolidó como una herramienta clave para lograr eficiencia operativa en minería subterránea.

4.2 CONCLUSIONES.

Optimización del Proceso de Perforación y Voladura permitió llevar a cabo un rediseño integral de la malla de perforación y voladura, adaptándola a las características geomecánicas del macizo rocoso. Este enfoque permitió optimizar el uso de los recursos disponibles, asegurando una mejor distribución de los taladros y una fragmentación más eficiente del material, lo que contribuyó a un proceso más efectivo y seguro.

Mejoras en Eficiencia Operativa y Reducción de Costos con el rediseño, se produjo una reducción significativa en el número de actividades operativas, pasando de 27 a 18, lo que optimizó los tiempos y los recursos humanos involucrados. El tiempo total de ejecución se redujo considerablemente, pasando de 506.2 minutos a 263.8 minutos, lo que implica una mejora en la productividad. Además, el número de taladros necesarios disminuyó de 30 a 24, contribuyendo a una reducción en el consumo de recursos materiales.

Un aspecto clave del rediseño fue la optimización del costo por disparo, que se redujo de S/. 4759.52 a S/. 3832.51 por cada voladura, generando un ahorro de S/. 927.01 por voladura. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también incrementa la rentabilidad de la operación minera.

Los ahorros generados en cada proceso de perforación y voladura tienen un impacto directo en la rentabilidad de la operación minera. Considerando que se realizan dos voladuras diarias, el ahorro mensual estimado de S/. 45,052.69 representa una mejora sustancial en la eficiencia económica, lo que refuerza la viabilidad de aplicar este tipo de rediseños de manera continua.

Importancia del Análisis Geomecánico en el Rediseño de Procesos. el análisis geomecánico detallado del macizo rocoso, que incluyó la medición de parámetros como el índice RMR (50, correspondiente a una roca de Clase III), permitió una mejor comprensión de las propiedades del material y facilitó la selección del modelo matemático más adecuado para las condiciones locales. Este análisis detallado es fundamental para asegurar que el diseño de la malla de perforación se alinee correctamente con las características geológicas del área, lo que mejora la seguridad y la efectividad del proceso de voladura.

Recomendaciones para Mejorar la Eficiencia a Futuro implementación de análisis

geo mecánicos previos a cada rediseño de malla: Se recomienda que la unidad minera realice un análisis exhaustivo de las características del macizo rocoso antes de cada modificación de malla. Este análisis debe incluir la caracterización geomecánica detallada, que proporcione los parámetros necesarios para un diseño adecuado.

Revisión continua de los procesos operativos: Es crucial que la unidad minera lleve a cabo evaluaciones periódicas de sus procesos operativos actuales, utilizando herramientas como diagramas de flujo y mapeo de actividades, para detectar cuellos de botella, redundancias o ineficiencias. Este tipo de evaluación continua asegura la optimización continua de los ciclos de perforación y voladura.

Uso de modelos matemáticos adecuados: Se recomienda la adopción de modelos matemáticos, como el criterio de Hoek & Brown, en el diseño y rediseño de las mallas de perforación, ya que estos permiten obtener resultados más precisos y ajustados a las condiciones geológicas reales, generando así una mejora directa en la eficiencia y rentabilidad del proceso.

REFERENCIAS.

- Acero F. (2021). Propuesta de una malla de perforación y voladura para labores de avance, Lima, 2021. (Tesis) Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2023. Recuperado de: https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/22526/1/acero_va.pdf (consultado el 9 de febrero 2025)
- Arias (2012). El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica (Episteme). Caracas. https://drive.google.com/file/d/0B0GG8H7NoaXTcFZrQVhQRTZBRF9JYWR2VnF2azB4cEs3Nzc0/view?resourcekey=0-cZgWuRm_CDyn_pHmyFsMgw (Consultado el 11 de enero del 2025)
- Hernández, Fernández y Baptista, 2014 [Metodología de la investigación](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=xgBhDfMAAAAJ&citation_for_view=xgBhDfMAAAAJ:KIAtU1dfN6UC), https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=xgBhDfMAAAAJ&citation_for_view=xgBhDfMAAAAJ:KIAtU1dfN6UC (consultado el 10 de febrero 2025)
- Chipana, R.M. (2015). Diseño de Perforación y Voladura para reducción de costos en el frente de la galería progreso de la contrata Minera Cavilquis –Corporación Minera Ananea S.A. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/1937/Chipana_Tito_Rudy_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consultado el 10 de febrero 2025)
- Condori, P.A. (2017). Evaluación, mejoramiento de rendimientos operativos y actualización de precios unitarios en la ejecución del cruce 500- Mina Yanaquihua- Arequipa. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/48763ea6-543f-428c-bdff-fa74793242d8> (consultado el 9 de febrero 2025).
- En Consorcio Minero Horizonte sociedad anónima. Jr. Crane 102, San Borja, Lima Perú. <https://www.bing.com/search?EID=MBSC&form=BGGCMF&pc=U763&DPC=BG02&q=Consortio%20Minero+Horizonte+sociedad+anonima&PC=U3>

[16&FORM=CHROMN](#) (consultado el 10 de febrero 2025)

EXSA. (2015). Explosivos y Accesorios de Voladura. Lima, Perú. (consultado el 10 de febrero 2025)

International Society for Rock Mechanics. (2021). Advances in underground mining techniques: <https://isrm.net/isrm/conference/index> (consultado el 9 de febrero 2025)

El proyecto de Investigación Hurtado 2012 pdf
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-experimental-de-los-llanos-occidentales-ezequiel-zamora/metodologia-de-la-investigacion/elproyecto-de-investigacion-hurtado-2012-pdf/22858510>
(consultado el 28 de febrero 2025)

Método de Langefors y Kihlström para voladuras en banco de pequeño calibre (2022).
<https://victorypes.blogs.upv.es/2022/12/29/metodo-langefors/> (consultado el 19 de febrero 2025)

Paredes, C., & Calderón, E. (2024). Relación consumo específico/avance, en operaciones de minería subterránea MAPE, caso de estudio Ecuador. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 17(1), 43–58.
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/4932> (consultado el 9 de febrero 2025).

Roger Holmberg basándose en los estudios presentados por los investigadores LANGEFORS y KIHILSTROM (1963) y GUSTAFSSON (1973), presenta un modelo matemático para diseñar una malla de perforación y voladura, para frentes y galerías en obras subterráneas <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1340> (2014) (consultado el 19 de febrero 2025).

Ruelas, A. (2020). Optimización de vida útil de los aceros de perforación para disminuir costos en unidad minera [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/9d8e16b6-4420-4237-b15d-fda040dff9d>

(consultado el 9 de febrero 2025).

Minera Aurífera Retamas S.A -RETAMAS <https://marsa.com.pe/> (consultado el 10 de febrero 2025).

ISE Academy, (2021)
<https://www.bing.com/search?q=ISE+Academy%2C+2021&pc=U316&form=CHRDEF&sp=-1&lq=0&pq=ise+academy%2C+2021&sc=0-17&qs=n&sk=&cvid=09C301BEAFF244B888479AF60315DE06&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=> (consultado el 10 de febrero 2025)

Santana L. (2014) Diseño de malla para perforación y voladura de frentes utilizando modelo matemático de Holmberg e índice de volatilidad de Lylli <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1340> (consultado el 10 de febrero 2025).

Palomino, H. A. (2016) – Optimización del proceso de perforación y voladura en la Compañía Minera Poderosa S.A.: <dspace.unitru.edu.pedspace.unitru.edu.pe>

Condori & Velazco (2021) – Aplicación del modelo matemático de Holmberg para la reducción de costos en perforación y voladura <repositorio.unamba.edu.pe>

Mamani (2013) – Análisis del macizo rocoso y su influencia en el diseño de voladuras utilizando el modelo Kuz-Ram: <repositorio.unam.edu.pe>

Chancasanampa (2019) – Optimización del proceso de perforación y voladura en la rampa 068 para mejorar la productividad <repositorio.unap.edu.pe>

Quezada (2017) – Reducción de costos por metro lineal de avance en perforación y voladura mediante la mejora de actividades unitarias <repositorio.unap.edu.pe>

Choque (2019) – Aplicación del modelo matemático de Langefors para la optimización de perforación y voladura en la rampa negativa 440 <repositorio.unap.edu.perepositorio.unap.edu.pe>

Barrientos & Durand (2020) – Diseño de malla optimizada para perforación y voladura en

la explotación de caliza en la cantera Mercedes
[repositorio.unamba.edu.pe](https://repositorio.unamba.edu.pe/repositorio.unap.edu.pe)
repositorio.unap.edu.pe

Huatarongo, J. M., & Sulla, S. B. (2022). Identificación y control de los problemas operacionales de perforación y voladura para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Americana. Universidad Continental. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.12394/12702Repositorio_Continental+1Repositorio_Continental+1

Vargas Fernández, R. R. (2024). Mejora del proceso de perforación y voladura en las labores mineras – Zona II – Unidad Minera Yauricocha, provincia Yauyos – región Lima. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Recuperado de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8974>

Lopez, J., & Yauri, H. (2024). Análisis de las variables de perforación y voladura en la rampa (-) RP 5585 SW-NV 1070 para la mejora en el avance efectivo en la mina Yauricocha de Sierra Metals Inc., 2023 [Tesis profesional, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15420>

Jallurani Ruelas, H. R. (2023). Implementación de herramientas de gestión IPERC para minimizar los incidentes y accidentes para el proceso de perforación diamantina en la Unidad Minera Untuca, Quiaca – Sandía – Puno [Tesis]. Universidad Nacional de Altiplano. Repositorio UNAP. tesis.unap.edu.pe

Guerra, A. (2024). Implementación de metodología QA/QC en la mina La Arena para optimizar procesos de perforación y voladura. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. <https://iimp.org.pe/mineria-en-el-peru/proceso-de-innovacion-permitio-reducir-en79-los-costos-por-sobreperforacion-en-mina-la-arena>

Romero Pérez, K. E. (2024). Evaluación del proceso y estrategia de formalización minera para reducir la minería informal en la provincia de Santiago de Chuco [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/1369bcbf->

[9060-4bff-87d1-b9894b2ced7a/full](https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/41409)

- Giraldo Colonia, A. R. (2024). Plan de minado para la explotación de carbón en las labores 01-08 de una concesión minera en Bambamarca, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/41409>
- Condori, J. (2017). Evaluación, mejoramiento de rendimientos operativos y actualización de precios unitarios en la ejecución del cruce 500 – Mina Yanaquihua – Arequipa [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Flores, R. (2023). Manual de perforación y voladura – Unidad Minera Yauricocha. Revista Minería, Edición Especial.
- Gonzales, L. (2021). Optimización del diseño de malla de perforación y voladura en la Unidad Minera Casapalca [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Minaya, J. (2022). Factores técnicos que influyen en la utilidad de empresas contratistas de voladura: Caso Chancay [Tesis, Universidad Nacional de San Marcos].
- Revista Minería. (2023). Evaluación técnica del diseño de voladura para mejorar la granulometría en planta de beneficio. Revista Minería, 561, 35–42.
- Sánchez, E. (2024). Mejora de vibraciones por control de parámetros de voladura en veta Fortunata, Unidad Parcoy [Tesis, Universidad Continental].
- Vásquez, P., & Quispe, D. (2025). Aplicación de iniciación electrónica para control de sobre rotura en minería subterránea. Revista Minería, 568, 18–27.
- Mamani Chiqui, A. (2024). Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios de producción en la Galería 206E – Unidad Minera Yanaquihua S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Ayala Vásquez, J. (2024). Optimización de indicadores de voladura mediante la aplicación del modelo matemático de Holmberg en la RP 159N – Unidad Minera El

Porvenir [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Pedraza Pampañaupa, C. (2021). Diseño de malla triangular de perforación y voladura para mejorar la producción en la Unidad Productiva Fiorella 508 – Compañía Minera Sayarumi S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].

Aguilar Pino, J. A. (2023). Diseño de malla y carga explosiva para la reducción de costos en el By Pass 723 E, Compañía Minera Las Bravas N° 2 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19372>

Huancoco Quispe, M. J. (2024). Rediseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos en la mina Animón, Chungar S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22508>

Mamani Chiqui, A. (2024). Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios de producción en la Galería 206E – Unidad Minera Yanaquihua S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22669>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo 1. Matriz de categorización o Matriz de consistencia

1° (TITULO) OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA CASCAADA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025.

Tabla 22

Matriz de consistencia

4° Problema de investigación	3° Objetivo	5° Hipótesis	2° Variable	Dimensión		Metodología
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>De qué manera será la optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 NV. 3987 - Llacuabamba - la libertad, 2025.</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>¿Cómo será la optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 nv. 3987 - Llacuabamba - la libertad (2025)</p> <p>¿Cómo será la optimización de la perforación y voladura para reducir el costo por metro lineal de avance en el</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>. optimizar el proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional – en el sn-02 NV. 3987, Llacuabamba, la libertad 2025</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Diagnosticar la situación inicial de los procesos de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025</p> <p>¿Optimizar la perforación y voladura para reducir el costo por metro lineal de avance en el</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>El proceso de perforación y voladura optimizará la eficiencia operacional en el sn-02 NV. 3987, Llacuabamba - la libertad 2025.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</p> <p>El diagnostico situacional de los procesos de perforación y voladura beneficiara para la mejora operacional en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacuabamba- la libertad 2025</p> <p>La optimización de la perforación y voladura</p>	<p>VARIABLES INDEPENDIENTE</p> <p>Optimización de los procesos de perforación y voladura</p> <p>VARIABLES DEPENDIENTE</p> <p>Eficiencia operacional</p>	<p>DIMENSIONES 01</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Malla de perforación ➤ Carguío y voladura <p>DIMENSIONES 02</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Avance por disparo 	<p>INDICADORES</p> <p>Numero de taladros Burden y espaciamento</p> <p>Kg/disparo FC. Potencia FC. Lineal</p> <p>metros/disparo</p> <p>\$/disparo</p>	<p>-Enfoque de investigación: Presenta un enfoque cuantitativo.</p> <p>-Tipo de investigación: La investigación aplicada.</p> <p>-Planificación de investigación: Es una investigación retrospectiva.</p> <p>-Según el número de mediciones en un determinado tiempo: La investigación Transversal.</p> <p>-Según la intervención del investigador: Investigación Pre Experimental.</p> <p>-Diseño de investigación:</p>

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA CASCAADA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025

<p>Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025?</p> <p>¿Como será la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025</p>	<p>Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025?</p> <p>Evaluar la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025</p>	<p>será factible y viable para reducir el costo por metro lineal de avance en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025</p> <p>La evaluación de la optimización del nuevo proceso, con el nuevo diseño de malla de Perforación y Voladura será factible y viable para mejorar la eficiencia operacional en el Sn - 02 Nv. 3987 mina cascada- Llacubamba- la libertad 2025</p>		<p>➤ Costo por disparo</p>		<p>Investigación Pre Experimental.</p> <p>-Técnica: Análisis documental.</p> <p>-Instrumento: Cuaderno de Campo. RMR de Bieniawski. Parámetros de perforación y voladura.</p> <p>POBLACIÓN Mina cascada</p> <p>Muestra Sn - 02. NV. 3987 de la minera cascada</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	----------------------------	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nota. Elaboracion propia (2025)

ANEXO 2 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA INTEGRADA DE RECOLECCIÓN DE DATOS / guardia			
Proyecto			
Empresa			
Año			
Área			
Responsable del registro			
Fecha			
Turno		<input type="checkbox"/> Día	<input type="checkbox"/> Noche
Tipo de Roca / Sistema		RMR / Q	
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (GEOMECÁNICA)			
Clasificación según RMR	RMR	Q	Calidad
<input type="checkbox"/> II	>60	>5.92	Buena
<input type="checkbox"/> III A	51–60	2.18–5.92	Regular A
<input type="checkbox"/> III B	41–50	0.72–1.95	Regular B
<input type="checkbox"/> IV A	31–40	0.24–0.64	Mala A
<input type="checkbox"/> IV B	21–30	0.08–0.21	Mala B
<input type="checkbox"/> V	<21	<0.08	Muy Mala
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			
Variable Técnica	Unidad	Valor	
Diámetro de taladro	pulgadas (")		
Burden (separación)	metros (m)		
Espaciamiento entre taladros	metros (m)		
Altura del banco	metros (m)		
Longitud total del taladro	metros (m)		
Sobre perforación	metros (m)		
Densidad del macizo rocoso	gr/cm ³		
Costo por metro perforado	\$/m		
Costo total perforación	\$/ton		
PARÁMETROS DE VOLADURA			
Variable Técnica	Unidad	Valor	
Tipo de explosivo utilizado	Emulsión		
Costo del explosivo	\$/kg		
Carga lineal	kg/m		
Taco (material inerte)	metros (m)		
Columna de carga	metros (m)		

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA
MINA CASCA DA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-
02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025

Explosivo por taladro	kg/tal	
Factor de potencia	kg exp / tn roca	
Costo por taladro	\$/tal	
Costo total de voladura	\$/tn	

Nota: Elaboración propia (2025)

ANEXO 03 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA INTEGRADA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
Proyecto:							
Empresa:							
Año:							
Área:							
Responsable del registro:							
Fecha:							
Turno:	<input type="checkbox"/> Día			<input type="checkbox"/> Noche			
MONITOREO DE ACTIVIDADES POR HORARIO							
Actividad	07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
Inspección de la labor / IPERC							
Evaluación del macizo rocoso							
Asignación y distribución de tareas							
Desarrollo operativo (perforación, carga)							

Nota: Elaboración propia (2025)

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA CASCA DA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025.
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible gestión empresarial
Apellidos y nombres del experto:	Msc. Ing. Ricardo Antonio Saavedra Zapata
El instrumento de medición pertenece a la variable:	VARIABLE INDEPENDIENTE: Optimización de los procesos de perforación y voladura VARIABLE DEPENDIENTE: Eficiencia operacional

<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.</p>				
tems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		

	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
0	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
1	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Trujillo, 28 de septiembre de 2025



Firma del experto:

Ricardo Antonio Saavedra Zapata

Nombre

CIP: 63808

Yo, MSC. Ing. Ricardo Antonio Saavedra Zapata, con **CIP 63808/ DNI: 32541157**, ejerzo la carrera profesional en ingeniería minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación de los instrumentos que serán aplicados en la investigación. optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional en el sn-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025; de los bachilleres: Wilson Anibal Anticona Zúñiga y Alejandro cadenillas Cerrinos.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA CASCA DA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025.
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible gestión empresarial
Apellidos y nombres del experto:	José Luis Palacios Polo
El instrumento de medición pertenece a la variable:	VARIABLES INDEPENDIENTE: Optimización de los procesos de perforación y voladura VARIABLES DEPENDIENTE: Eficiencia operacional

<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.</p>				
tems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		

	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
0	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
1	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Trujillo, 28 de septiembre de 2025



ING. METALURGISTA
R CIP. 142657

Firma del experto:

José Luis Palacios Polo

Nombre

CIP:142657

Yo, Ing. Jose Luis Palacios Polo **CIP.142657/DNI:18021654**, ejerzo la carrera profesional en ingeniería Metalurgia. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación de los instrumentos que serán aplicados en la investigación. Optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional en el sn-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025; de los bachilleres: Wilson Anibal Anticono Zúñiga y Alejandro Lenin Cadenillas Cerrinos.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA CASCA DA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN EL SN-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025.
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible gestión empresarial
Apellidos y nombres del experto:	Ronald Antonio Alvarado Obeso
El instrumento de medición pertenece a la variable:	VARIABLES INDEPENDIENTE Optimización de los procesos de perforación y voladura VARIABLES DEPENDIENTE Eficiencia operacional

<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.</p>				
tems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		

	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
0	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
1	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Trujillo, 28 de septiembre de 2025



Firma del experto:

Ronald Antonio Alvarado Obeso

Nombre

CIP: 197380

Yo, Ing. Ronald Antonio Alvarado Obeso **CIP: 197380**, ejerzo la carrera profesional en ingeniería Ambiental. Por medio del presente hago constar que he revisado, con fines de validación de los instrumentos que serán aplicados en la investigación. optimización del proceso de perforación y voladura en la mina cascada para mejorar la eficiencia operacional en el sn-02 NV. 3987 LLACUABAMBA LA LIBERTAD, 2025. de los bachilleres: Wilson Anibal Anticona Zúñiga y Alejandro Lenin Cadenillas Cerrinos.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

