



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **Tesis** cuyo título es:

"APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN EN LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA EXPLOTACIÓN MINERA DE EMOTSA – OTAPARA 2022"

Presentado por:

ZARATE PEREZ LUIS FERNANDO

Estudiante del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia, perteneciente a la Escuela Profesional de **INGENIERÍA DE MINAS**. El resultado obtenido es 18% por el cual se otorga el calificativo de:

(APROBADO, Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad)

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 18% (MENOR O IGUAL AL 20% REQUERIDO)

Ica, 08 de julio de 2024

.....
DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA



**APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MALLA DE
PERFORACIÓN EN LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA EN LA EXPLOTACIÓN MINERA DE
EMOTSA – OTAPARA 2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Desarrollo en ciencias puras, ciencias de la tierra e ingeniería de procesos

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR

BACH. LUIS FERNANDO ZARATE PEREZ

ICA – PERÚ

2023



Dedicatoria

En primer lugar, a Dios.

Terrenalmente a mis padres, por ser principales hacedores de la persona que soy hoy en día, con principios, con metas, con objetivos, sobre todo con ética y moral, sus consejos me han llevado a donde ahora estoy, infinitamente con todo el amor del mundo, no hubiera sido posible sin ustedes.

Los amo padres, con ustedes hasta el final.

Agradecimiento

Agradecimiento especial a los profesionales de la empresa, quienes me facilitaron toda información, con la única finalidad de otorgar mi mejor performance profesional en el alcance de un objetivo.

A los catedráticos de mi querida FIMM de la Universidad San Luis Gonzaga, por las experiencias vividas que aportaron en mejorar mis técnicas profesionales.

A mis familiares, siempre con su apoyo incondicional.

A mis compañeros, ahora colegas, por aportar profesionalmente para cumplir mis metas.

De todo corazón, agradecido con ustedes.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Antecedentes	11
1.2.1. Internacionales	11
1.3. Bases teóricas	21
1.3.1. La minería subterránea	21
1.3.2. Perforación y voladura de rocas	37
1.4. Formulación de los problemas	48
1.4.1. Problema general	48
1.4.2. Problemas específicos	48
1.5. Justificación	49
1.6. Objetivos de investigación	50
1.6.1. Objetivo general	50
1.6.2. Objetivos específicos.....	50
1.7. Hipótesis	51

1.7.1. Hipótesis específica.....	51
1.7.2. Hipótesis específica.....	51
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	52
2.1. Tipo.....	52
2.2. Nivel de investigación	52
2.3. Diseño de investigación	52
2.4. Población y muestra.....	52
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
2.6. Técnicas de análisis e interpretación de datos	53
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1. Diseño de malla de perforación y parámetros de maquinaria para perforación.....	54
3.2. Resultados descriptivos	56
3.3. Discusión	62
IV. CONCLUSIONES	68
V. RECOMENDACIONES	69
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
VII. ANEXOS	78
Anexo N°1: Operacionalización de variables.....	79
Anexo N° 2: Matriz de consistencia	80
Anexo N° 3: Planos	82
Anexo N° 4: Precio unitario de actividades.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Parámetros de maquinaria para perforación</i>	55
Tabla 2. <i>Cálculo de burden y espaciamiento</i>	56
Tabla 3. <i>Cálculo del número de taladros</i>	57
Tabla 4. <i>Parámetros de perforación</i>	58
Tabla 5. <i>Eficiencia de perforación</i>	58
Tabla 6. <i>Cantidad de explosivos</i>	58
Tabla 7. <i>Tiempos de actividades de perforación</i>	59
Tabla 8. <i>Tiempos específicos por taladro perforado</i>	60
Tabla 9. <i>Tiempo de acarreo de minerales con carros U35</i>	61
Tabla 10. <i>Procesamiento de datos respecto a la hipótesis general</i>	62
Tabla 11. <i>Procesamiento de datos respecto a la hipótesis específica 1</i>	64
Tabla 12. <i>Procesamiento de datos respecto a la hipótesis específica 2</i>	65
Tabla 13. <i>Procesamiento de datos respecto a la hipótesis general</i>	66

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022. La investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental pre experimento; se empleó la técnica de la observación mediante la recolección con fichas; la muestra se conformó por la Cortada Fortuna perteneciente a la Empresa Minera Otapara. Se determinó que la aplicación del diseño de malla de perforación optimiza los tiempos de perforación y voladura, puesto que se obtuvo un ahorro de tiempo de 00:27:24 hrs, la misma que incluye aspectos de limpieza de equipo, pintado de la malla de perforación, la perforación de taladros de servicio, boleo, perforación, desinstalación de máquina perforadora, traslado de explosivos, orden y limpieza, encebado, cargado, amarrado y chispeo; además se consiguió un ahorro de tiempo de 00:24:11 hrs en el tiempo por taladro perforador, de 00:30:18 hrs en el tiempo específico de actividades y de 00:22:40 hrs en el tiempo de acarreo con caros U35.

Palabras Claves: *Diseño de malla de perforación, perforación, tiempo de perforación.*

Abstract

The main objective of this study is to determine that the application of drilling mesh design influences drilling and blasting times in the EMOTSA – Otapara 2022 mining operation. The research is of applied type, explanatory level and experimental design pre experiment; the technique of observation was used through card collection; the sample was formed by the Cortada Fortuna belonging to the Otapara Mining Company. It was determined that the application of the drilling mesh design optimizes drilling and blasting times, since a time saving of 00:27:24 hrs was obtained, which includes aspects of equipment cleaning, painting of the drilling mesh, drilling of service drills, boleó, drilling, uninstallaion of drilling machine, transfer of explosives, order and cleanliness, baiting, loading, mooring and sparking; In addition, time savings of 00:24:11 hrs in time per drill drill, 00:30:18 hrs in the specific time of activities and 00:22:40 hrs in the hauling time with expensive U35 were achieved.

Keywords: *Drilling mesh design, drilling, drilling time.*

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Perú se destaca por su rica diversidad mineral, tanto metálica como no metálica, debido a su impresionante potencial geológico [1]. Esta riqueza le permite ocupar los primeros puestos entre los países proveedores de estos recursos a nivel mundial, especialmente en reservas de cobre, plata y oro [2]. En el ámbito económico, la minería ha ganado relevancia en Perú, con un aumento en las exportaciones del 7% para finales de 2020 y contribuyendo con el 10% al PBI del país. Asimismo, es evidente que la minería juega un papel crucial en la mayoría de países que poseen dichos recursos [3].

El proceso minero se refiere a las fases de la minería que tiene como finalidad principal la extracción de minerales económicamente rentables, que serán procesados para mediante método metalúrgicos separarlos según conveniencia con un alto nivel de pureza que servirán para transformarlos en insumos u objetos necesarios para los requerimientos y pretensiones de los seres humanos en su vida cotidiana; por lo que estas fases al ser correlativas deben ser exhaustivamente evaluadas para dar pie a su inicio y finalización sin escatimar costos acompañado de alto grado de calidad [4]. Uno de estas fases es el denominado ciclo minero, el mismo que contempla actividades específicas que tiene como fin la extracción del mineral hasta la puesta de mineral en las canchas de las plantas mineras para su próximo procesamiento, esto incluso desde la perforación, voladura, limpieza, carguío, acarreo, ventilación y sostenimiento, que básicamente se concentra en la explotación de las vetas o mantos según disponga el yacimiento [5].

Específicamente de la perforación de rocas, implica hacer orificios en formaciones rocosas para colocar cargas explosivas, siguiendo un patrón y diseño específico. En la minería a menor escala, la técnica comúnmente usada es la rotopercusión, que utiliza energía de aire comprimido. Sus principales componentes son la perforadora manual, que genera la energía mecánica; las barras, que transmiten dicha energía a través de un pistón; el bit, que actúa como el agente cortante de la roca, y un líquido que ayuda a eliminar los residuos generados. En ciertas operaciones mineras de menor escala, se ha introducido el uso de máquinas perforadoras conocidas como jumbos, ya sean neumáticos o hidráulicos. Estas máquinas necesitan operarios especialmente entrenados y estructuras adicionales para su funcionamiento [6].

Perforación que a su vez necesita ostentar parámetros adecuados adaptados a las características del yacimiento minero, como la dureza de roca, aspectos propios de la veta a explotar, equipo disponible, geometría de la labor, dimensiones de la labor, entre otros que permitirán el cálculo adecuado de la denominada malla de perforación que propiamente se refiere a la distribución de los taladros con un correcto corte o cuele, que en conjunto conseguirán alta eficiencia de avance operacional. Además, admitirán que la durabilidad de perforación se reduzca en cuanto al tiempo general de perforación, tiempos específicos de actividades de perforación y tiempo por taladro perforado, todo con la misma calidad de servicio y consiguiendo la productividad basada en el plan de minado anual y sus alcances en metas y objetivos a corto, mediano y largo plazo.

En ese sentido, Minera Otapara ha considerado en sus objetivos anuales, conseguir minimizar los tiempos adheridos a la perforación de rocas en los

frentes de avance y cortadas, puesto que los mismos permitirán dinamizar la producción y elevar la productividad, debido a que al ser la primera operación unitaria, su excelente operación arrastrará próximas operaciones unitarias también con excelencia y calidad, debido a que se ha detectado un elevado tiempo en minutos de la secuencia de perforación que cada vez se acrecienta más, considerando que son en mismas condiciones, mismas maquinarias, mismos recursos e incluso mismo personal, por lo que es crucial la detección de estos detalles y contrarrestar a través de un nuevo diseño de malla de perforación basado en las características de la labor sugerida.

Por ello, y según el análisis el presente estudio es pertinente y relevante para las pretensiones de la empresa y ostenta aporte profesional en las líneas de las operaciones mineras.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Internacionales

A. Internacionales

Arias J [7], en Ecuador, en el año 2023, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Optimizar la malla de perforación subterránea del frente de avance 70 de la mina PROMINE, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay”. Fue una investigación de campo, descriptiva, transversal con técnicas de la observación y las fichas de investigación. Las conclusiones fueron:

→ El modelo de Langefors y Kihlstrom fue aplicado y evitó hacer perforaciones basadas solo en la experiencia. Antes, se usaban 39 barrenos de una pulgada, causando sobre

voladura y avances de 1,28 m, con una eficacia del 80%. Con nuevos patrones, la malla para la mina PROMINE emplea barrenos de 2 pulgadas, usando 32 barrenos y 34,08 kg de ANFO, logrando un volumen de desprendimiento de 8,87 m³ y avance de 1,91 m, con una eficiencia del 94%.

- Los parámetros de consumo se alinean para asegurar un buen proceso de perforación y voladura, teniendo un consumo específico de 3,84 kg/m³, dentro de un rango establecido por un modelo matemático, en contraste con lo previamente usado en la mina.
- La dinámica de perforación y voladura en la mina necesita revisiones regulares para adaptarse a las condiciones cambiantes de la roca y garantizar un rendimiento óptimo y un consumo adecuado de explosivos.

Montalvo B [8], en Ecuador, en el año 2022, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Diseñar una malla de perforación y voladura que permita controlar la dilución en el Subnivel de producción “Gemelos”, en la mina “Pique”, compañía Oroconcent S.A, Portovelo-Ecuador”. Fue una investigación de tipo descriptiva, experimental, causa y efecto, prospectiva y transversal con estudio de campo y técnica de recopilación de información con observación directa. Las conclusiones fueron:

- A través de la monitorización del tiempo del ciclo de minado en el Subnivel “Gemelos”, se determinó una capacidad de

extracción de 0.16 Ton/Hombre-hora. Con una ley operativa de 1.4 gramos/Tonelada y un precio de 1859.03 \$/Ozt (considerando ciertos factores e impuestos), el valor resultante es de 62.1 \$/Ton, lo que se traduce en un rendimiento económico de 9.94 \$/Hora.

→ Al analizar las operaciones unitarias del ciclo de minado mediante el método de Pareto, se destacan tres áreas principales para optimizar y mejorar el rendimiento económico: Desalojo de material (27.7%), ventilación (22.1%) y transporte (11.8%). Es esencial mejorar la precisión en el minado y reducir la mezcla innecesaria durante la extracción para incrementar la rentabilidad.

→ En relación con la dilución mineral, se muestra que, con un ancho de minado de 1.3 metros, la dilución es del 63.08% con una ley de 1.38 gramos/Tonelada. Este dato fue verificado por medio de muestras tomadas en el buzón del Subnivel. Al usar la técnica de Holmberg, que tiene en cuenta las propiedades geomecánicas de las rocas circundantes, se logró alinear la dilución real y planificada en un 60%, manteniendo una ley promedio de 1.5 gramos/Tonelada.

Puma K y Llerena J [9], en Ecuador, en el año 2021, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Optimizar el proceso de perforación y voladura efectuado en la Sociedad Minera “Los

Caprichosos Reina del Rosario”, a través de la implementación del modelo matemático de Holmberg para el mejoramiento de los aspectos económicos, productivos y operativos implicados en el avance de las galerías”. Fue una investigación explicativa, descriptiva de campo con técnicas analíticas observacionales. Las conclusiones fueron:

→ El uso adecuado de una malla de perforación, considerando tanto las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso como las propiedades de los explosivos y el conocimiento empírico de los mineros, favorece un mejor avance en las zonas de perforación. Se descubrió que la combinación del método de Holmberg y la experiencia práctica de la empresa supera el enfoque puramente empírico.

→ Esta combinación ofrece ventajas como: un avance mejorado del 9.66% en los puntos de explotación, fragmentos de roca más consistentes y de menor tamaño (hasta 7.32 cm) que simplifica la excavación y el transporte, voladuras más precisas con menos sobrerotura, reduciendo el peligro de derrumbes y el tiempo necesario para la limpieza, y un ahorro de \$18.06 por zona perforada debido a la eficiencia mejorada.

→ Un diseño de malla que logra más del 95% de avance aporta beneficios económicos, con un ahorro anual estimado de \$7529.28 al alcanzar un 97.03% de avance en comparación

con un 87.41%. Además, optimiza el uso de recursos y herramientas, y disminuye los costos generales de perforación y voladura, pasando de 2.82 \$/mlp a 2.75 \$/mlp y de \$156.86 a \$138.80 por área de 2.40 m².

B. Nacionales

Quispe L y Yupanqui K [10], en Huancayo, en el año 2023, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Implementar el diseño de perforación y voladura de la galería principal 9080-SW para aumentar el avance lineal en minera aurífera Retamas S.A.”. Fue una investigación de método deductivo, experimental, aplicativo, explicativo, experimental y técnicas de observación directa. Las conclusiones fueron:

→ Bajo condiciones ideales, se ha desarrollado un diseño mejorado para la malla de perforación y voladura, lo que ha permitido eliminar tiros incompletos y fallidos. Gracias a este diseño actualizado, y al cambio a una barra cónica de 6 pies y una broca cónica de 38 mm, se logró un avance efectivo de 1.61 metros. Esto resulta en un tamaño de partícula adecuado de menos de 8 pulgadas, un exceso de rotura del 1.44%, y daño mínimo a la roca restante. Después de la detonación, la eficiencia de perforación es del 90.15% y del 87.30% para la voladura, cifras que son considerablemente mejores que las del escenario previo.

→ En términos de costos, en el escenario actual, el costo total por metro de avance lineal es de S/ 2528.42 nuevos soles. En el escenario óptimo, este costo se reduce a S/ 2453.99 nuevos soles. Esto representa un ahorro de S/ 433.176 nuevos soles al considerar los 290 metros de avance lineal, y también resulta en un tiempo de ejecución más corto debido a la mayor longitud de avance por turno.

Izquierdo D [11], en Moquegua, en el año 2022, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Determinar el diseño de malla de perforación para la optimización de la voladura en el tajeo 8680 acceso uno sur de la unidad minera San Vicente de Morococha 2022”. Fue una investigación de tipo descriptiva aplicada, enfoque cuantitativo, diseño experimental cuasiexperimental con técnicas de campo. Las conclusiones fueron:

- Se ajustó la malla de perforación en el tajeo 8680 acceso 1 sur, eliminando 2 taladros cargados y uno en el rimado, lo que condujo a un avance más efectivo en la voladura.
- Al aplicar una malla alternativa, se logró una voladura más eficiente, disminuyendo el número de taladros y, por ende, el uso de emulsión en el mencionado tajeo.
- En términos de eficiencia, se logró un avance promedio de 3.10 metros por detonación, lo que representa una mejora

de 30 cm y una extracción adicional de 14 toneladas de mineral.

→ Se lograron mejoras significativas en los costos de operación. Usando la técnica de voladura estándar, el costo operativo es de \$ 227.04 por tarea. Sin embargo, con la nueva técnica propuesta, el costo se reduce a un promedio de \$ 219.91, generando un ahorro notable de \$7.13 por tarea.

Narváez J [12], en Huaraz, en el año 2022, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Diseñar la malla de perforación y voladura en el frente de avance de la cortada esperanza con el propósito de optimizar el proceso operativo del proyecto maría- 2021”. Fue una investigación de tipo aplicada, nivel descriptivo, diseño transversal no experimental con muestra de 20 disparos por cada frente con técnicas de observación directa y búsqueda de información. Las conclusiones fueron:

→ Al implementar un diseño adecuado de perforación y voladura, se logró una reducción en los costos de explosivos de \$83.80 por metro lineal a \$58.72 por metro lineal, lo que resulta en un ahorro de \$25.08 por cada metro avanzado.

→ Gracias al diseño óptimo de perforación y voladura, se controló la sobrerotura, lo que permitió reducir la longitud de los redondos de madera de 3 metros a 2.4 metros. Esto, a su vez, generó un ahorro en el costo unitario: el costo por

metro lineal avanzado pasó de S/129.00 a S/108.00, con un ahorro neto de S/21.00 por metro avanzado.

→ Optando por una adecuada distribución de malla de perforación, se disminuyó el tiempo requerido para la perforación. Antes de esta optimización, el proceso tomaba 1 hora y 37 minutos, mientras que, tras el ajuste, se necesitó solo 1 hora y 16 minutos. Esto representa una reducción de 21 minutos, lo que a largo plazo prolongará la durabilidad de las herramientas de perforación.

Trinidad M [13], en Huancayo, en el año 2022, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Aplicar el modelo matemático de Holmberg en el mejoramiento del diseño de malla de perforación en la Unidad Minera Julcani”. Fue una investigación experimental, método deductivo inductivo con técnicas de la observación, tipo explicativo aplicativo transversal. Las conclusiones fueron:

→ En el escenario actual, el costo por metro lineal avanzado es de S/ 1169.92 nuevos soles usando una barra de 6 pies. Sin embargo, tras mejorar la malla de perforación, el costo asciende a S/ 1204.86 nuevos soles utilizando una barra de 8 pies. Al aplicar el modelo matemático de Roger Holmberg para optimizar los costos de perforación y voladura en los tramos de 150 metros usando la técnica empírica con un barreno de 6 pies, se requieren 94 disparos para completar

los 150 metros. En el escenario mejorado, aplicando el modelo propuesto y usando un barreno de 8 pies, se necesitan solamente 68 disparos para alcanzar la misma distancia de 150 metros. Esto representa una reducción de 25 disparos en total para el proyecto.

González J [14], en Huancayo, en el año 2021, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Diseñar de malla de perforación y voladura para incrementar la eficiencia de las labores de avance en la Unidad Minera Islay – Cía. Minera Chungar. Fue una investigación experimental de método científico y análisis comparativo, tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental pre y pos testen la Mina Islay con técnicas de observación y de campo. Las conclusiones fueron:

- El diseño optimizado de la malla de perforación y voladura ha potenciado la eficiencia en las tareas de avance. Se ha alcanzado un rendimiento de 3.30m para accesos y 3.40m en subniveles. En ese mismo año y unidad minera, el diseño de la malla de perforación y voladura garantiza un entorno seguro durante las tareas de avance. Luego de la voladura, las condiciones son estables y el perímetro conserva el diseño arqueado previsto.
- A nivel general, durante las últimas tres semanas, la sobrerotura ha estado consistentemente por debajo del objetivo del 10%. En relación con la sobre dilución, esta se

ha mantenido controlada durante este período y ha sido inferior al 6% planeado.

Palma E [15], en Huaraz, en el año 2019, ejecutó una investigación cuyo objetivo principal fue “Optimizar el proceso de perforación y voladura, mediante el diseño de la malla de perforación en la galería 905, de la unidad minera Fox”. Fue una investigación aplicada, descriptiva, no experimental, transversal y método descriptivo deductivo con técnicas de recopilación y observación.

Las conclusiones fueron:

- El tiempo de perforación en la galería 905 se recortó en 19 minutos, pasando de 2:48h a 2.29h. Esta reducción ha favorecido un incremento en la durabilidad de los aceros y un progreso adicional en la perforación, que se traduce en un avance extra de 6 cm por disparo, pasando de 1.62m a 1.68m.
- Se ajustó el uso de agentes explosivos en la galería 905 para lograr una distribución de carga más eficiente. Se redujo el empleo de dinamita 65% semigelatina en 4.88 kg, pasando de 31.71 Kg a 26.83 Kg. Esta mejora llevó a una fragmentación más adecuada de la roca y a una disminución en el daño de las paredes laterales.
- A través del rediseño de la malla de perforación en la galería 905 durante el 2019, se logró una optimización al reducir el número de taladros de 39 a 34, generando un ahorro de US\$

11.21 por metro (US\$ 392.10 por metro previo a la optimización y US\$ 380.89 por metro después).

→ Este rediseño permite mejorar la eficiencia en los procedimientos de Perforación y Voladura en dicha galería, resultando en un ahorro anual de US\$ 5,535.23.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. La minería subterránea

La minería consiste en la extracción selectiva de minerales y otros materiales de la corteza terrestre, excluyendo materiales orgánicos recientes. Esta práctica es una de las más antiguas realizadas por el ser humano. Desde el inicio de la edad de piedra, hace aproximadamente 2,5 millones de años, se ha convertido en la fuente principal para obtener materiales para herramientas. La minería nació cuando nuestros ancestros empezaron a recolectar ciertas rocas para moldear herramientas. Al inicio, esta actividad era básica y consistía en desenterrar rocas como el sílex. Con el tiempo y el agotamiento de los yacimientos superficiales, las excavaciones se profundizaron, dando origen a la minería subterránea. Un ejemplo de una mina antigua es una de ocre rojo en Swazilandia, África, de hace 40,000 años. Sin embargo, la minería superficial es aún más antigua. Todo lo que utiliza la sociedad actual proviene de la minería o necesita de productos mineros para su creación. Se puede afirmar que, si algo no viene de una planta, viene de la tierra. Actividades primarias como la agricultura, pesca y silvicultura dependen de herramientas y maquinaria creadas a partir de productos

mineros, destacando la relevancia fundamental de la minería en nuestra civilización. Existen cuatro métodos principales de minería. Primero, la extracción en minas de superficie o cielo abierto, que son las más comunes globalmente. Segundo, las minas subterráneas, a las que se entra por túneles o galerías. Tercero, la obtención de minerales y combustibles mediante perforaciones. Y cuarto, la minería submarina o dragado, que en un futuro podría incluir la exploración profunda oceánica. La extracción minera subterránea se refiere al proceso de obtener recursos que se encuentran bajo la superficie terrestre. Esta técnica se usa principalmente cuando no es viable extraer minerales en la superficie, ya sea por razones económicas o ambientales. La minería implica la extracción de materiales de la tierra, y a menudo, se extraen grandes cantidades para obtener solo una pequeña porción del recurso deseado. Es inevitable que esta actividad tenga impactos en el medio ambiente, especialmente cerca del área minera. Algunos ven la minería como una de las principales fuentes de deterioro ambiental causado por el hombre. No obstante, hoy en día, un ingeniero minero capacitado puede minimizar estos impactos y rehabilitar el área después de la explotación. Generalmente, la minería se realiza para adquirir minerales o combustibles. Un mineral es una sustancia natural con una composición química específica y propiedades consistentes. Los combustibles más relevantes son los hidrocarburos sólidos, que normalmente no se clasifican como minerales. Un recurso mineral es una parte de la tierra que tiene una alta concentración de un mineral o combustible en particular. Se considera una reserva si ese mineral o su contenido, como

un metal, puede extraerse con la tecnología actual a un costo que garantice un retorno aceptable de la inversión en la actividad minera [16]. Este tipo de minería se origina cuando se detecta una acumulación valiosa de minerales en el subsuelo. En contraste con las minas a cielo abierto, que se excavan desde la superficie hacia abajo, las minas subterráneas se presentan como la solución cuando la excavación superficial se torna ineficaz a más de 60 metros de profundidad. Todas las minas subterráneas comparten ciertos elementos esenciales: canales de ventilación para expulsar gases nocivos, vías de salida, ejes para descender personal y maquinaria, pasadizos para el traslado de minerales, pozos para transportar el mineral al exterior y sistemas de comunicación entre la superficie y las zonas profundas de la mina. A pesar de esto, cada mina es única. Las herramientas tecnológicas y las elecciones fundamentales en cuanto a diseño y técnica minera dependen de factores como la naturaleza del mineral, la disposición del depósito y las condiciones geológicas del subsuelo [17].

Una ventaja destacada de la minería subterránea respecto a la minería a cielo abierto es que genera menos contaminación en áreas próximas al sitio de extracción. Al extraer minerales de las profundidades, el impacto en el entorno externo y el medio ambiente es menor, evitando el desorden común en la minería a cielo abierto. No es preciso utilizar explosivos para romper el suelo. La minería subterránea se basa en cavar túneles y pasajes desde la superficie hasta las zonas ricas en minerales, siendo un proceso más directo que evita la liberación de desechos al ambiente. Con este método, superficies como bosques, tierras de cultivo, ríos y zonas

habitadas no se ven afectadas. La mayoría de las empresas mineras prefieren esta técnica, ya que potencia la producción y rentabilidad. Adicionalmente, las explotaciones subterráneas tienden a tener una duración más extensa, lo cual es ventajoso para las empresas con visión a largo plazo [18].

La desventaja de la minería subterránea respecto al cielo abierto es que la minería subterránea demanda una mayor inversión inicial en comparación con la minería a cielo abierto. Gran parte de esta inversión se destina a preparativos para las perforaciones, garantizar la seguridad laboral y establecer sistemas de ventilación adecuados. Trabajar en minas subterráneas conlleva más riesgos para los mineros y otros profesionales involucrados. Se enfrentan a amenazas continuas como colapsos, exposición a gases tóxicos y otros peligros químicos. También existen riesgos de explosiones, incendios o inundaciones. Dado que el espacio de trabajo es reducido, también lo es la capacidad de mecanización. Las máquinas empleadas en minas subterráneas no pueden ser tan grandes como las utilizadas en explotaciones a cielo abierto. El tiempo para que una mina subterránea esté operativa al 100% es mayor, debido a las precauciones necesarias al perforar y preparar los túneles para el acceso de los trabajadores. Esto conlleva que las empresas mineras enfrenten costos salariales más altos, ya que trabajar bajo tierra se considera más arriesgado que en superficie. El balance entre productividad y costos es desfavorable comparado con la inversión requerida [19].

La minería subterránea se clasifica en dos categorías: minería de roca blanda y minería de roca dura. Cuando los ingenieros mineros se refieren

a roca "blanda", hablan de aquella que no requiere el uso de explosivos para su extracción. Es decir, estas rocas pueden ser cortadas con herramientas modernas. El carbón es el ejemplo más típico de roca blanda, aunque también se incluyen la sal, la potasa, la bauxita y otros minerales. Por otro lado, la minería de roca dura recurre a explosivos para su extracción [20].

En este enfoque, se hacen dos túneles paralelos en la veta de carbón, separados por unos 300 m, conocidos como entradas. Luego, se construye un pasaje que conecta estos túneles, y una de sus paredes se usa como punto de extracción del carbón. Esta área de trabajo se refuerza con sistemas hidráulicos robustos que forman un techo protector sobre los trabajadores y maquinaria, soportando la roca superior. Una cadena transportadora se encuentra en la parte frontal de este sistema de refuerzo. Adyacente a esta cadena hay una máquina, llamada cizalladora, que extrae el carbón usando un tambor rotativo con dientes que se presiona contra el frente de carbón. El carbón extraído se deposita en la transportadora, que luego lo traslada fuera de la mina o al pozo principal. Una vez que se ha extraído todo el carbón del frente, el sistema avanza y la cizalladora comienza a trabajar en dirección opuesta. Detrás del refuerzo, el techo se colapsa, lo que siempre resulta en una depresión en el terreno superior. En lugares como Suráfrica, Estados Unidos y Australia, la extracción se lleva a cabo mayormente usando el método de cámaras y pilares. Aquí, máquinas de extracción continua crean una serie de túneles, dejando pilares de carbón para soportar el techo. Aunque este

método no utiliza completamente el recurso, tiende a causar menos desplazamiento en la superficie [21].

En la mayoría de las minas de roca dura, se usa la técnica de perforación y explosión para la extracción. Primero, se crean agujeros usando perforadoras que funcionan con aire comprimido o sistemas hidráulicos. Luego, se colocan explosivos en estos agujeros y se detonan, causando la fractura de la roca para su posterior extracción. Máquinas especiales, a menudo con motores diesel y ruedas neumáticas, cargan y trasladan la roca fracturada hacia galerías inclinadas. La roca se desplaza por estas galerías, siendo recogida en el pozo principal, desde donde se traslada fuera de la mina en recipientes especiales llamados cucharones. Posteriormente, esta roca se lleva a una planta de procesamiento si es mineral, o a un vertedero si es desecho. Para llegar al mineral, se necesita construir un conjunto de túneles de acceso. Estos generalmente se ubican en la roca circundante al depósito. Este proceso se conoce como desarrollo. Una mina grande, como la de platino de Rustenberg en Suráfrica, puede desarrollar hasta 4 km de túneles mensualmente. La extracción del mineral en sí se llama arranque, y el método seleccionado depende de la estructura y dirección del depósito. Para depósitos planos, es necesario implementar sistemas mecanizados para gestionar la roca. En depósitos inclinados, gran parte del movimiento rocoso se realiza aprovechando la gravedad. Con el método de socavación de bloques, incluso la gravedad ayuda a fracturar la roca, permitiendo que el bloque a extraer se desplome por su propio peso. Dado los riesgos asociados, la

minería subterránea es considerada peligrosa, por lo que se opta por métodos superficiales cuando es viable [22].

En una mina subterránea, las tareas y la manera en que se desarrollan tienen particularidades únicas, inherentes al ambiente confinado y profundo de estas minas. Trabajar bajo tierra y a grandes profundidades exige la implementación de infraestructuras específicas que se deben establecer antes de comenzar la extracción del mineral. Así, se desarrolla una red interconectada de pozos, túneles y espacios que facilitan el desplazamiento de personal, maquinaria y el mineral dentro de la estructura minera.

La fase de preparación y organización de la mina engloba todas las excavaciones y construcciones previas al inicio de la actividad extractiva, configurando el yacimiento para que la producción minera pueda desarrollarse adecuadamente. Esto implica la creación de una red de estructuras mineras meticulosamente diseñadas que abarca [23]:

- Pozos de accesos, producción, ventilación en plano inclinado o socavón
- Rampas secundarias interiores
- Túneles y pozos que sirven para exploración
- Configuración, tajos y preparación de cámaras
- Chimeneas, piqueras, rampas, etc
- Infraestructura para colaboradores
- Estación de carga
- Infraestructuras para mantenimiento, servicios de seguridad, ventilación, seguridad.

Al construir una mina subterránea, el conjunto de rocas en el que se ubica juega un papel fundamental en la resistencia estructural, influenciando directamente el diseño y desarrollo de la mina. Por esta razón, si no se analizan minuciosamente todas sus propiedades y consecuencias, la elección de una metodología constructiva puede no solo incrementar el costo hasta hacer el proyecto económicamente inviable, sino que también puede determinar el diseño y, en consecuencia, el proyecto en su totalidad. Más allá de seleccionar el sistema y método constructivo, existen otros factores del sitio y su entorno que deben ser considerados en cualquier proyecto de ingeniería. También es crucial entender cómo estos factores están interconectados, qué elementos son influyentes y qué desafíos adicionales pueden surgir. El equipo de ingeniería encargado del diseño de una mina subterránea siempre debe considerar al menos los siguientes seis grupos fundamentales de temas [24]:

- Objetivo de la mina subterránea
- Geometría del proyecto en base a la sección y trazado
- Geotecnia y geología
- Sistema constructivo
- Estructura resistente
- Instalaciones de explotación

Además de los mencionados, es necesario considerar otros dos grupos de factores que generalmente no se abordan directamente en el proyecto, pero que son esenciales en iniciativas de gran magnitud y con largos periodos de ejecución. Estos se refieren a:

- -La evaluación y asunción de riesgos.

- La financiación del proyecto.

Es común que el propietario de la mina trate estos temas mediante estudios complementarios, que típicamente no forman parte del paquete principal entregado a su equipo de proyectos o a un diseñador externo encargado de la planificación de la mina. Por lo tanto, es probable que recurra a consultores especializados para estos análisis, quienes trabajarán de manera autónoma. Dada la importancia que tiene en el avance y la viabilidad del proyecto, es crucial mencionar que muchas complicaciones en la construcción y operación de minas subterráneas surgen porque el proyecto no considera de forma holística toda la información y estudios relacionados con los temas fundamentales mencionados anteriormente. Esta breve descripción sobre la minería subterránea no debe eclipsar la complejidad, el esfuerzo y la especialización requeridos para desarrollar un proyecto minero. Cada mina tiene sus particularidades en términos de localización, infraestructura, operaciones, tecnología, compromiso ambiental y resultados. Todo esto varía según el tipo de mineral, su posición y condiciones geológicas, así como factores económicos, como la demanda del mineral y la disponibilidad financiera. Hay minas que han operado sin interrupciones durante más de cien años, mientras que otras acaban de empezar su actividad. Para explotar correctamente una mina subterránea, lo que implica alcanzar una productividad óptima con eficiencia y seguridad, es esencial llevar a cabo un estudio detallado de las propiedades del yacimiento y diseñar adecuadamente la red compuesta por pozos, túneles, rampas, chimeneas y otros accesos, lo que se conoce

como planificación minera. Esta estructuración tiene como objetivo asegurar una operación con costes razonables tanto en inversión como en operación. Este diseño, realizado antes de la fase de producción, depende estrechamente del método de explotación escogido. Su propósito es establecer los elementos fundamentales de la estructura minera para garantizar una producción efectiva. Esto se organiza en torno a: Accesos, que son las excavaciones que conectan la superficie con el yacimiento para su explotación. Preparación (o construcción) de la mina, que incluye soporte, ventilación, desarrollo, iluminación, servicios, entre otros. Elección de los métodos de extracción. El pozo, que es el punto de acceso más común desde la superficie hacia el yacimiento, especialmente cuando las actividades mineras deben llevarse a cabo a cierta profundidad [25].

Cuando los yacimientos están a una profundidad relativamente menor, se suelen crear accesos inclinados o rampas. El transporte del mineral extraído puede hacerse mediante camiones hacia la superficie o a través de cintas transportadoras. En la superficie generalmente se encuentran las instalaciones para los trabajadores, las oficinas, las estructuras de los pozos, las áreas de almacenamiento de mineral, la planta de procesamiento y los depósitos de desechos. Sin embargo, gran parte de las instalaciones de talleres suele estar dentro de la mina, cerca de las zonas de extracción. Las infraestructuras de ventilación, tratamiento de efluentes y otras, se distribuyen entre el interior y la superficie de la mina. El elemento que tradicionalmente ha representado a la mina en la superficie es el castillete, ubicado directamente sobre el pozo. Su función

principal es facilitar el acceso y salida de los mineros, permitir la descendencia de suministros y equipos, y extraer el mineral y desechos a la superficie. Las características del pozo y sus instalaciones dependen de las necesidades específicas de cada mina en términos de capacidad, profundidad y otros factores. A partir del pozo principal, se extienden túneles laterales que conectan cada nivel del pozo con las áreas de extracción. Las rampas internas, por su parte, son túneles inclinados que enlazan diferentes niveles subterráneos de la mina [26].

En años recientes, ha habido un incremento destacado en la cantidad de proyectos mineros de interior en proceso, y se anticipa que esta tendencia continuará en las próximas dos décadas. De esta manera, es probable que los proyectos mineros subterráneos nuevos superen a los proyectos de minería a cielo abierto. Un indicativo de esto es el aumento de desarrollos tecnológicos orientados específicamente a la minería de interior. Se proyecta que, para 2025, la mitad de la producción minera global provenga de explotaciones subterráneas. Desde la perspectiva de los proveedores de equipo, la demanda de maquinaria más eficiente y segura para abordar estos nuevos proyectos y cumplir con altos niveles de producción representa un desafío significativo para el sector. Las tendencias actuales en minería subterránea están dominadas por una adopción acelerada de tecnología. El objetivo es reducir la exposición de los operarios, optimizar la eficiencia al minimizar tiempos improductivos, economizar en combustible, aumentar la recuperación del mineral, reforzar la seguridad y reducir gastos. El giro de la industria hacia técnicas de explotación subterránea responde a varios factores. Una razón clave

es la disminución en la calidad promedio de los yacimientos detectados. Las reservas añadidas a las carteras de producción suelen encontrarse a profundidades mayores y en condiciones más desafiantes. En cualquier sector industrial actual, maximizar la rentabilidad es esencial. Así, la minería subterránea enfrenta el reto de mantener rentabilidad mientras se adentra más en la tierra, lo que incrementa costos y lleva a las empresas a innovar en métodos de extracción. Este enfoque impacta tanto en las metodologías y herramientas analíticas de las compañías como en la maquinaria empleada en la producción. Por otra parte, muchos yacimientos extensamente explotados mediante minería a cielo abierto, como Chuquicamata y Bingham Canyon, están aproximándose a su umbral de rentabilidad en esa modalidad con las condiciones actuales. En cuanto a la forma de explotación, estos vastos yacimientos muestran mejores recursos cuanto más profundo se excavan. Para estos lugares, el principal beneficio de la minería subterránea en comparación con la de cielo abierto es que se orienta hacia un modelo donde predominantemente se extrae solo el mineral, minimizando o incluso evitando la extracción de material no útil o estéril. Además de evitar la extracción de estos materiales no deseados, se logra una disminución significativa en el impacto ambiental de la operación [27].

En términos de seguridad, las mejoras significativas en las prácticas de explotaciones modernas han llevado a una drástica reducción en los accidentes en los años recientes. El reconocimiento de que las minas subterráneas actuales son más eficientes, seguras, ecológicas, energéticamente eficientes, tecnológicamente avanzadas, más viables y

rentables son algunas de las razones por las que la industria las elige, debido a su competitividad superior. Los equipos de carga y los camiones de minería subterránea de hoy en día son notablemente eficientes y confiables. Además de ser duraderos, son fáciles de manejar, de mantener, tienen una capacidad amplia para su tamaño, prolongada vida útil y costos de operación bajos por tonelada. A la vez que se potencian sus capacidades, también se busca simplicidad. Ni a los fabricantes ni a los operadores les conviene equipos sobre-tecnificados que no funcionen adecuadamente bajo las demandas extremas de la minería subterránea. Avances como sistemas de fácil diagnóstico de problemas y sistemas predictivos son ejemplos claros de esta evolución hacia la sencillez. Además, se han implementado sistemas de recopilación de datos para desarrollar planes de mantenimiento alineados con las operaciones. Una tendencia emergente para mejorar la seguridad en la conducción es la adopción de transmisiones automáticas. Estas reducen el potencial de daño, prolongan la vida útil y permiten el uso de conductores menos experimentados, lo cual es esencial dada la actual escasez de conductores experimentados. En las minas subterráneas, el espacio es limitado, por lo que no es posible utilizar equipos de gran tamaño. Sin embargo, se han diseñado maquinarias adecuadas para los variados tamaños de túneles presentes en las minas. Es notable el avance en equipos de perfil bajo para explotaciones de vetas y filones bajos, que maximizan la productividad y la seguridad en zonas anteriormente consideradas inaccesibles para maquinaria móvil. La estrategia principal de fabricantes y operadores se basa en tres pilares: incrementar la

producción, atender a las demandas medioambientales y ofrecer equipos más seguros. La internacionalización de los mercados intensifica la necesidad de cumplir con las expectativas de las empresas mineras en cuanto a equipo. Aunque ya enfrentamos problemas de suministro en la actualidad, el futuro de la minería subterránea exige la creación de maquinarias que puedan duplicar o incluso triplicar la producción actual. En el ámbito de la seguridad, emerge el reto de impulsar la productividad a través de sistemas automatizados que se interconecten. Uno de los principales retos para los fabricantes es la implementación de sistemas automatizados en sus equipos, maximizando su uso y eficiencia. Es crucial considerar estas necesidades desde las primeras etapas del diseño minero, estableciendo planificaciones que capitalicen los beneficios de esta automatización [28].

El ámbito de la perforación ha experimentado innovaciones dirigidas a satisfacer las necesidades de las compañías mineras. Estas buscan equipos rentables, adaptados para áreas restringidas o complicadas, con fácil operación, mantenimiento simplificado, movilidad y bajo consumo de agua. Estas máquinas integran lo último en tecnología, proveyendo soluciones específicas para cada reto. Dada la magnitud de los proyectos mineros actuales, se busca constantemente tecnología que asegure calidad, eficiencia y supervisión. El reto radica en identificar y adoptar estas innovaciones. Los progresos técnicos en perforación abarcan equipos para la misma, voladura y apoyo en labores subterráneas. Estas mejoras incluyen la digitalización de maquinarias, implementación de componentes modernos, herramientas de análisis de calidad de roca y

sistemas de monitoreo de trabajos realizados. En el uso de explosivos, las emulsiones están ganando terreno debido a las dificultades asociadas con el ANFO y su elevada producción de gases. Se ha popularizado el uso de dispositivos para la inyección de emulsión, permitiendo un control detallado del uso de explosivos según el tipo de perforación. Otra innovación destacable es el uso de escáneres diseñados para mapear el perfil de un túnel. Estas exploraciones se pueden realizar en diferentes etapas y se comparan con el diseño teórico de la excavación. Aunque algunos dispositivos se montan en equipos de perforación, otros pueden adaptarse a vehículos más comunes, como camionetas o carros autónomos [29].

En función de las métricas de los equipos de perforación, se ha desarrollado un concepto que utiliza variables como la presión de avance, rotación, percusión y tasa de penetración para predecir la calidad de la roca en las etapas subsiguientes. A este sistema se le conoce como Measure While Drilling (MWD). En cuanto al talento humano, muchas empresas adoptan la estrategia de formar un núcleo de profesionales altamente calificados. Estos expertos se capacitan continuamente, adquiriendo habilidades especializadas para liderar futuras operaciones mineras. A pesar de los avances, la minería todavía combina ciencia y arte. No es tan precisa como otras disciplinas de ingeniería. Requiere experimentación y adaptabilidad, pero con estructuras que puedan ajustarse y fortalecerse. Esto incrementa la competitividad y garantiza ganancias consistentes, perfilándose como un punto a favor para el futuro. La tendencia es clara: la minería se encamina hacia operaciones

subterráneas más eficientes y seguras. Se espera que la minería subterránea domine el sector, por lo que es crucial desarrollar técnicas que, a pesar de las dificultades, mantengan la rentabilidad. Esto podría involucrar una extracción más rápida y eficiente, formación de operadores expertos y maquinaria avanzada. La idea de una "minería continua", donde se extrae mineral ininterrumpidamente de manera automatizada, ganará relevancia. Para lograrlo, se necesitarán equipos más eficientes, rápidos, automatizados y, en ocasiones, controlados remotamente. El principal reto es reducir costos y mejorar la productividad, asegurando operaciones confiables y cumpliendo metas de producción. Es esencial que la tecnología empleada en los equipos sea intuitiva y fácil de mantener para evitar complicaciones adicionales [30].

Al planificar las operaciones preparatorias de una mina subterránea, una de las decisiones cruciales es cómo acceder al yacimiento, ya sea mediante un pozo, una galería inclinada o rampas. Esta elección, junto con el diseño posterior, se basa en cuatro aspectos clave: la profundidad del yacimiento, el plazo establecido para la preparación, los costos asociados y el medio de transporte seleccionado tanto dentro como fuera de la mina. Es vital alcanzar el yacimiento de manera eficiente y segura, optimizando cada fase del proceso para evitar demoras innecesarias. Al analizar detalladamente cada etapa del proceso, se pueden prever o reducir los tiempos de ejecución. Las estructuras que proporcionan acceso al mineral, como los pozos y rampas, son fundamentales. No solo facilitan el acceso del personal a las áreas de trabajo, sino que también permiten la extracción del mineral. Estas estructuras deben diseñarse

considerando factores como la profundidad y extensión del yacimiento, su naturaleza geológica, las consideraciones económicas y el método de extracción elegido. Todo esto garantiza un acceso y producción eficientes durante toda la vida útil de la mina [31].

1.3.2. Perforación y voladura de rocas

La perforación y voladura son esenciales en la industria minera, siendo cruciales para la extracción efectiva de minerales. Mediante la combinación de perforaciones precisas con el uso controlado de explosivos, es posible fragmentar la roca y preparar el terreno para las siguientes fases de la operación minera. Este proceso no solo es vital para acceder a los recursos, sino que, al diseñar con precisión las detonaciones, las minas pueden maximizar la eficiencia de sus equipos y recursos, impulsando una producción más sostenible y eficaz [32].

La técnica de perforación y voladura se utiliza para extraer roca en lugares donde los métodos mecánicos no resultan rentables. Por lo tanto, este enfoque es relevante tanto en minería como en proyectos de construcción que requieran movimientos significativos de tierra. Este proceso implica primero hacer perforaciones en la roca y luego llenarlas con explosivos. Al detonarlos, la energía liberada fragmenta la roca que se quiere extraer. Por lo tanto, se puede identificar una clara división entre las tecnologías de perforación y las de diseño y ejecución de voladuras. La perforación se utiliza no solo para preparar la roca para las voladuras, sino también para otras tareas, como exploración, drenaje y sostenimiento. A lo largo del tiempo, la tecnología de perforación ha avanzado, incorporando diversas

metodologías. Aunque algunas de ellas han quedado obsoletas debido a su eficiencia o a factores externos (como costos o impacto ambiental), las técnicas más adoptadas se basan en sistemas de perforación mecánicos, específicamente los de "rotación" y "percusión". Estos métodos, especialmente eficientes en contextos de energías específicas inferiores a 1.000 J/cm^3 , serán discutidos con mayor detalle en esta obra. Es esencial entender la conexión entre perforación y voladura: una perforación bien realizada puede conducir a una voladura exitosa, pero una perforación deficiente casi garantiza una voladura ineficaz. Una buena perforación se logra con las herramientas y técnicas adecuadas y se lleva a cabo correctamente. De igual manera, una voladura efectiva es aquella que logra el propósito para el cual fue planeada [33].

La perforación en el proceso de voladura se refiere a la creación de agujeros cilíndricos en el macizo rocoso que se desea fragmentar, conocidos como barrenos. Estos se distribuyen y se inclinan de acuerdo con un diseño específico para lograr el desprendimiento, fragmentación y movimiento del material rocoso. En estos barrenos se colocan cargas explosivas, las cuales se detonan en un orden particular para lograr una fragmentación ideal del material, minimizando al mismo tiempo las proyecciones y vibraciones. Si esta etapa del proceso productivo no se lleva a cabo con precisión y de acuerdo con el diseño de voladura, los resultados pueden no ser los deseados. Esto puede resultar en fragmentos de roca más grandes de lo esperado, lo que aumenta los costos de carga, transporte y trituración, y puede requerir acciones adicionales como el uso de martillos neumáticos. Además, si no se realiza

correctamente, hay un mayor riesgo de proyecciones peligrosas, lo que aumenta la posibilidad de accidentes [34].

La perforación y voladura constituyen la primera y, posiblemente, la más crucial operación en el proceso total de la minería. Diseños de voladura mal ejecutados pueden tener repercusiones severas en todo el proceso minero, desde la voladura misma hasta las fases de carga, transporte y trituración. Realizar una correcta operación de perforación y voladura en las minas combina tanto el arte y el sentido común como la ciencia. Por lo tanto, cualquier programa de perforación y voladura debe adaptarse a las circunstancias geológicas, operativas, ambientales y de seguridad del lugar. A pesar de ello, todas las actividades de perforación y voladura, ya sean en minas a cielo abierto o subterráneas, deben llevarse a cabo siguiendo prácticas seguras. Estas prácticas están diseñadas para reducir los daños ambientales y asegurar un entorno laboral seguro para los mineros. La perforación en la minería subterránea es crucial, no solo por su costo, sino también por su impacto en las etapas mineras subsiguientes y, en consecuencia, en los resultados productivos. Una perforación precisa conduce a voladuras más controladas y eficaces [35]. Hay varios métodos de perforación de rocas, y se distinguen principalmente por la fuente de energía que emplean. Dada la relevancia de este proceso, es vital tener expertos en perforación minera que posean el conocimiento y habilidades necesarias para llevarlo a cabo, al mismo tiempo que se asegura un ambiente seguro y rentable en la minería.

Hay diversos métodos de perforación de rocas y minerales. Aunque en la actualidad, tanto en minería a cielo abierto como subterránea, así como

en obras civiles, predomina el uso de energía mecánica para la perforación, es esencial familiarizarse con todos los métodos disponibles [27].

- **Perforación Manual**

En este método, se utilizan herramientas manuales manejadas por operarios. Se emplea principalmente en proyectos de menor magnitud donde, debido a las limitaciones espaciales o la eficiencia económica, no es viable usar equipos más grandes. En este proceso, un operador sostiene el barreno mientras otro lo golpea con un mazo. Después de cada golpe, se gira el barreno en un ángulo específico para continuar perforando. Esta técnica es común en la minería artesanal y, en algunos casos, puede ser manejada por un solo individuo.

- **Perforación Neumática**

En este enfoque, se utiliza una perforadora que emplea la fuerza del aire comprimido para realizar perforaciones más pequeñas con barrenos integrales equipados con una punta de cincel que descompone la roca. Para la minería a menor escala, el método predominante es la rotopercusión, que usa la energía del aire comprimido. Esto implica una perforadora manual, varillas, un bit o broca, y un sistema de barrido que limpia y elimina los residuos generados durante la perforación.

- **Método de Perforación Rotativa**

Este método se clasifica en dos categorías basadas en si la perforación se logra mediante trituración (usando triconos) o corte (empleando brocas especiales). La trituración es adecuada para rocas de dureza media a alta, mientras que el corte se utiliza en rocas más suaves. En esta técnica, no hay percusión involucrada.

- Método Rotopercusivo

Comúnmente aplicado en la minería subterránea, a cielo abierto o en la exploración superficial, este método combina la percusión, rotación, empuje y limpieza del barreno.

- Perforación Eléctrica

Este método se basa en la energía eléctrica generada por potentes motores diésel. Se utiliza una perforadora con una broca helicoidal para realizar taladros de hasta 90 cm de longitud. A pesar de ser más caras, estas perforadoras ofrecen beneficios como ausencia de emisiones y una alta productividad.

- Perforación Hidráulica

Este enfoque de perforación emplea agua o potencia hidráulica para transmitir, controlar fuerzas y movimientos, y para alimentar el golpeo del martillo. Se utilizan con maquinaria avanzada de alta capacidad, equipadas con sistemas computarizados que muestran el patrón de perforación deseado. Este método destaca por su rapidez,

precisión y eficiencia energética en comparación con las máquinas que operan con energía neumática o eléctrica.

Determinantes en la posición y ángulo de los taladros [36]:

- Naturaleza del terreno a perforar:

Las características físicas de los macizos rocosos se determinan según su origen y los eventos geológicos que han influido en ellos. Estos factores dan lugar a una litología específica con variaciones debido a los compuestos minerales presentes. Además, presentan una estructura geológica con un estado tensional y diversas discontinuidades, como fracturas, diaclasas y juntas.

- Cantidad de caras expuestas en la obra:

En cualquier proyecto minero, se denomina "cara libre" a cada área expuesta al aire en la zona que se quiere volar. Por ejemplo, el frente de un túnel o de un pozo tendría una cara libre.

- Nivel de fragmentación deseado:

Se refiere a las dimensiones que se esperan del material después de la detonación. En términos generales, si los taladros están más próximos entre sí, la fragmentación es mayor. En ciertas zonas, los taladros verticales logran una fragmentación más detallada que los horizontales.

- Herramientas de perforación y habilidad del operador:

El tipo de equipo de perforación es un factor crucial, al igual que la competencia del perforista. Algunos ángulos o posiciones de perforación pueden ser desafiantes, especialmente cuando se deben lograr inclinaciones precisas. Además, algunos equipos pueden ser difíciles de usar en ciertas circunstancias, especialmente en perforaciones específicas donde se requiere precisión en la inclinación.

El diseño de malla de perforación es el diseño que muestra la disposición de los taladros, especificando las distancias, la cantidad de explosivo y el orden de detonación. Cada taladro perforado en el frente posee una localización, orientación, ángulo y profundidad específicos. Los propósitos de la configuración de la malla de perforación son [37]:

- Minimizar costos en perforación y en uso de explosivos.
- Lograr un avance efectivo.
- Asegurar una sección de trabajo uniforme.
- Establecer la secuencia y activación de los taladros.

Por otro lado, el diseño de la voladura dependiente de la perforación se refiere al conjunto de modelos y ecuaciones matemáticas que facilitan un diseño de voladura más eficiente, simplificado y veloz, tomando en cuenta aspectos geológicos, geomecánicos, la naturaleza del explosivo y las especificaciones de los equipos a emplear. Los taladros se distribuyen de manera concéntrica, los mismos que son [38]:

- Corte o arranque

Son los taladros situados en el centro, disparados primero con el propósito de crear una cavidad inicial o una cara libre artificial. Usualmente, están cargados con 1.30 a 1.5 veces más explosivos que los demás.

- Taladros auxiliares

Ubicados alrededor del arranque, tienen la función de facilitar la ruptura hacia la cavidad creada por el arranque. Según el tamaño del frente, su cantidad y disposición varían. Incluyen las primeras ayudas (contracueles) y las siguientes, conocidas como taladros de desgarre. Se disparan en una segunda instancia.

- Taladros de contorno lateral

Estos definen los lados o muros del túnel. Diseñados para formar la parte superior o bóveda del túnel, también conocidos como corona. En algunas técnicas, como el "smooth blasting", se disparan simultáneamente con los taladros de contorno lateral al final de la secuencia, siendo referidos colectivamente como "taladros periféricos".

- Taladros de base

Están situados en el piso del túnel y se disparan al finalizar la secuencia.

El enfoque matemático de Roger Holmberg es para simplificar las operaciones tanto en minería subterránea como en túneles, Holmberg ha segmentado el frente en distintas áreas. Cada una de estas áreas requiere

un tratamiento específico durante los cálculos. En el proceso de voladura de túneles, el paso esencial es establecer una cara libre en el frente del túnel. La eficacia de la voladura en la tunelería depende directamente de la correcta formación de estas caras libres. Esto implica que el diseño del corte o arranque es crucial. La organización y secuencia de los retardos en el corte deben configurarse de manera que generen una abertura que crezca gradualmente, permitiendo que los taladros auxiliares dispongan de caras libres adecuadas. La elección del tipo de corte dependerá del equipo de perforación a mano, del ancho del túnel y del avance que se quiera lograr [39].

Respecto al arranque en paralelo, según Carlos López Jimeno y Emilio López Jimeno, las detonaciones en ambientes subterráneos resultan ser más complicadas que las realizadas en bancos. Esto se debe a que, en el caso subterráneo, el único espacio libre es el frente de la excavación. Estas detonaciones requieren más explosivos y las cargas están más confinadas. Además, debido a las pequeñas dimensiones de la carga inicial, los explosivos deben ser lo suficientemente estables para prevenir la detonación involuntaria, pero al mismo tiempo, deben tener una velocidad de detonación alta, superior a 3000 m/s, para evitar ciertos problemas técnicos, como el "efecto canal", al usar explosivos en cartuchos dentro de taladros grandes. Este efecto implica que los gases producidos por la detonación del explosivo desplacen el aire, alterando la estructura del explosivo. Por otro lado, dado que las operaciones mineras están cada vez más mecanizadas y se utilizan herramientas avanzadas, como los jumbos de perforación, se considera que perforar en línea recta

es más adecuado. Esto es más sencillo ya que no se necesita ajustar los ángulos constantemente y el progreso de la perforación no está tan limitado por la anchura de la excavación, a diferencia de cuando se perfora en ángulo [40].

Respecto al arranque cilíndrico, en la actualidad, el método de arranque que se utiliza con más frecuencia en las excavaciones subterráneas, sin importar sus dimensiones, es considerado una evolución o mejora del arranque quemados, que se discutirá más adelante. Este método incluye uno o dos taladros vacíos o de expansión, hacia los cuales se rompen secuencialmente los taladros con carga. Estos taladros de mayor diámetro (entre 65 y 175 mm) se perforan usando brocas especiales llamadas escariadoras. Los taladros en esta técnica de arranque se posicionan muy cercanos entre sí, alineados y paralelos. Por ello, es común el uso de jumbos con paralelismo automático. El tipo de arranque más popular es el de cuatro secciones, debido a su sencillez de diseño y ejecución. Las metodologías de cálculo para este tipo de arranque y otras áreas de un frente se basan en teorías suecas, recientemente actualizadas por Roger Holmberg (1982) y simplificadas por Oloffsson (1990). Además, existen otros tipos de arranques cilíndricos que han probado ser eficientes y tienen amplia experiencia de uso [41].

Respecto a las herramientas de perforación [42]:

- Perforadora tipo Jackleg

Es una herramienta de perforación con una barra de avance, adecuada para hacer taladros tanto horizontales como inclinados. Se utiliza principalmente en la construcción de

galerías, subniveles y rampas. La barra de avance ayuda a sostener la máquina y ofrece una mayor facilidad de manejo al operador.

- Brocas de perforación

Las brocas son herramientas de corte que, en general, cuentan con un inserto hecho de metal endurecido, como el carburo de tungsteno, que entra en contacto directo con la roca que se va a perforar. El tipo y diámetro de la broca se seleccionan según la maquinaria de perforación utilizada, las propiedades de la roca y el diámetro de los cartuchos explosivos que se van a usar. En las operaciones de perforación, se emplean brocas con botones que tienen un diámetro de 45mm. Estas brocas cuentan con 7 botones, que actúan como elementos cortantes: 5 botones en la periferia (A) y 2 botones centrales (B). Están equipadas con un orificio (C) por donde circula el agua, que no solo enfría la broca y el barreno, sino que también facilita la eliminación de residuos. Las hendiduras (D) proporcionan espacios para que los detritos resultantes de la perforación se evacúen adecuadamente.

- Escariadores

Se utiliza una broca con botones de carburo de tungsteno para el escareado, que tiene un diámetro de 110mm. Este escariador se conecta a la barra de perforación en el brazo

del jumbo. Su propósito principal es proporcionar una superficie libre para liberar presión durante las explosiones.

- **Barrenos de perforación**

Son barras metálicas que tienen un canal interno destinado al flujo de agua para enfriamiento y eliminación de residuos. En su extremo, cuentan con una rosca donde se unen las brocas.

1.4. Formulación de los problemas

1.4.1. Problema general

¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo por taladro perforado en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?
- ¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?
- ¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?

1.5. Justificación

La perforación y voladura de rocas es la primera operación unitaria en el denominado ciclo de minado, que permite efectivizar los demás aspectos de ciclo de minado, si este es ejecutado con total eficiencia, por ello, es importante en tal efectividad, considerar los tiempos de actividad de perforación que muchas veces es determinado, establecido e incidido por el buen diseño de malla de perforación, así como otros aspectos que en su conjunto elevan la productividad de operación unitaria.

El estudio se justifica de forma práctica, puesto que al conseguir un diseño oportuno de malla de perforación y aplicarlo, basado en correctos parámetros de perforación, eficiencia y rendimiento por frente trabajado alcanza a influenciar en los tiempos de perforación y voladura, que permitirá minimizar tiempos por taladros perforados, es decir, por ejecución unitaria; además del tiempo específico de actividades, es decir, cada factor o camino necesario desde inicio a fin; y finalmente el tiempo de acarreo con carros U35 que admitirán mejorar su rendimiento a partir de una voladura eficiente con hasta el 95% de alcance; todo lo descrito permitirá dinamizar la producción, elevar la productividad, pero minimizando costos, precios unitarios y sobre todo llevar a cabo trabajos seguros en todo momento.

El estudio también se justifica a nivel técnico, puesto que el cálculo de los parámetros específicos de malla de perforación para diseñar la malla de trabajo es basada en cálculos matemáticos de Holmberg que es necesario una experticia por parte del profesional dependiente de sus conocimientos en materia de explotación minera; por otro lado, cada ficha usada, será de elaboración propia concordante a las características de la mina y los recursos que se manejan de

acuerdo al análisis hechos por el profesional; asimismo, se aplicará un control de operaciones mineras a través de indicadores que permitirán una rápida toma de decisiones para mejorar las estrategias y medidas de prevención y acción. Finalmente, el estudio es justificable a nivel metodológico, por cuanto constituirá su propia ruta metodológica con un tipo y diseño de investigación concordante al método científico y con uso de técnicas e instrumentos de investigación de elaboración propia para alcanzar los objetivos propuestos; además, servirá de punto de partida para otras investigaciones en el campo de la ingeniería de minas que contengan las variables de estudio.

1.6. Objetivos de investigación

1.6.1. Objetivo general

Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo por taladro perforado en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022
- Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022
- Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis específica

La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

1.7.2. Hipótesis específica

- La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo por taladro perforado en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022
- La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022
- La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Tipo

Aplicada, porque la investigación persigue la solución de un problema o fenómeno in situ a través de la puesta en práctica de la teoría conseguida en la investigación básica, que permitirá según la pretensión del investigador, mejorar, incrementar o minimizar aspectos; en ese sentido, el estudio persigue la optimización del tiempo de perforación y voladura [43].

2.2. Nivel de investigación

Explicativa, porque el estudio además de describir la peculiaridad de los hechos, también se requiere explicar el porqué del acontecimiento, es decir, explica cómo y de qué manera se ha provocado este hecho que se quiere solucionar, pero a través de una vinculación causal, una causa que ha provocado efectos [44].

2.3. Diseño de investigación

Experimental en su modalidad pre experimento, porque el estudio usa y manipula en bajo grado una variable conocida como independiente (aplicación del diseño de malla de perforación) para luego medir los efectos de solución en la variable conocida como dependiente (tiempos de perforación y voladura) [45].

2.4. Población y muestra

La población estará conformada por todas las labores mineras de desarrollo, preparación y exploración de la Empresa Otapara, en el año 2022.

La muestra se constituirá por la labor Cortada Fortuna.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El actual estudio usará la técnica de la observación directa, la misma que permite la recolección de datos a través del contacto directo con los hechos evaluados o el fenómeno en proceso a solución, es decir, in situ en el campo [46]. Asimismo, se usará la técnica del fichaje, la misma que permite recolectar información con el uso de fichas de elaboración propia concordante a las características del fenómeno en estudio [47].

En relación a los instrumentos utilizados se usará los reportes e informes a partir de las fichas de elaboración propia enfocadas en la operación unitaria de perforación y voladura en la Cortada Fortuna, en el año 2022.

2.6. Técnicas de análisis e interpretación de datos

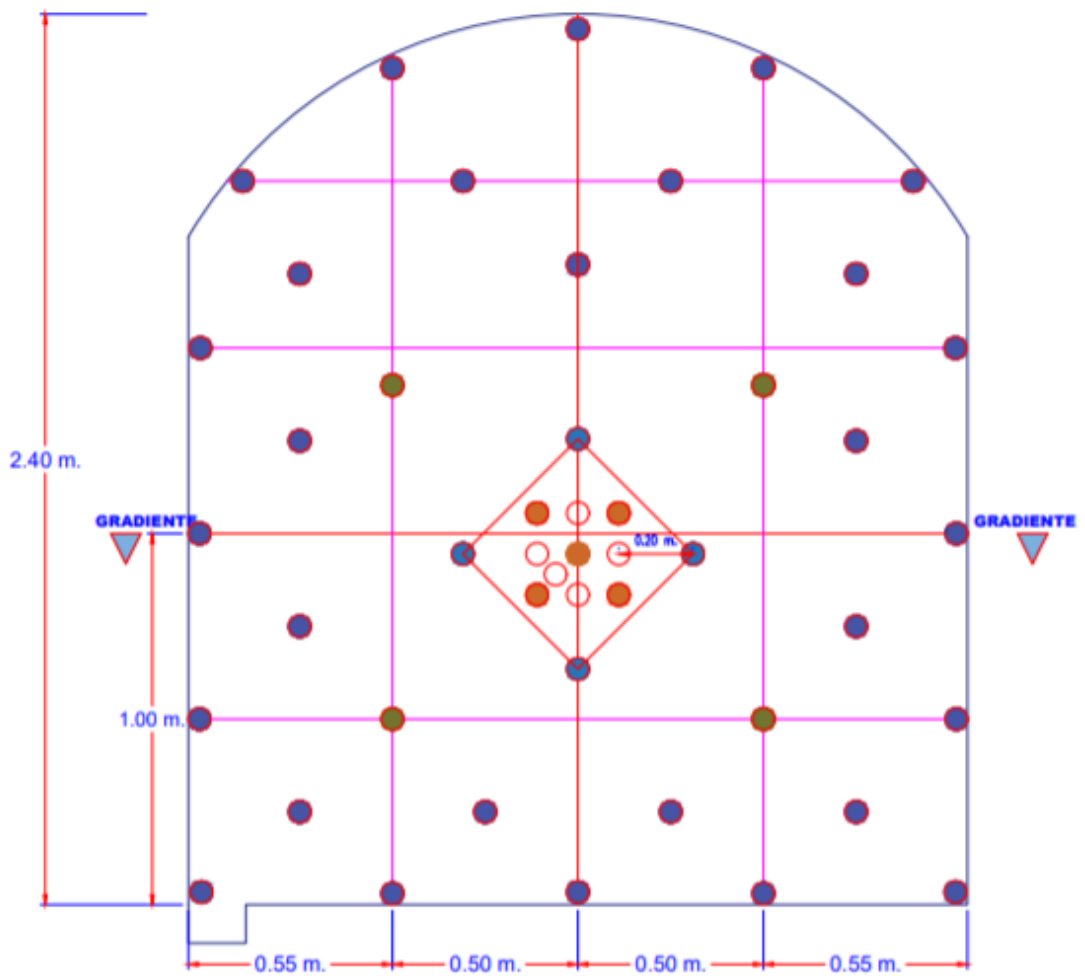
Los datos serán recolectados con el permiso del jefe de mina y supervisión según guardia, se usarán las fichas de elaboración propia sin interrumpir las actividades cotidianas siempre en respeto de la normativa de la empresa; por otro lado, al obtener los datos, estos serán analizados basado en un ordenamiento por variables e indicadores, filtro para evitar errores, tabulación de datos a través de la estadística descriptiva, interpretación con el uso de gráficos y tablas concordantes a los objetivos del estudio.

Es necesario acotar, que el procesamiento de datos se llevará a cabo con el uso de software estadístico Microsoft Excel 2016 para el análisis descriptivo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño de malla de perforación y parámetros de maquinaria para perforación

MALLA FORTUNA



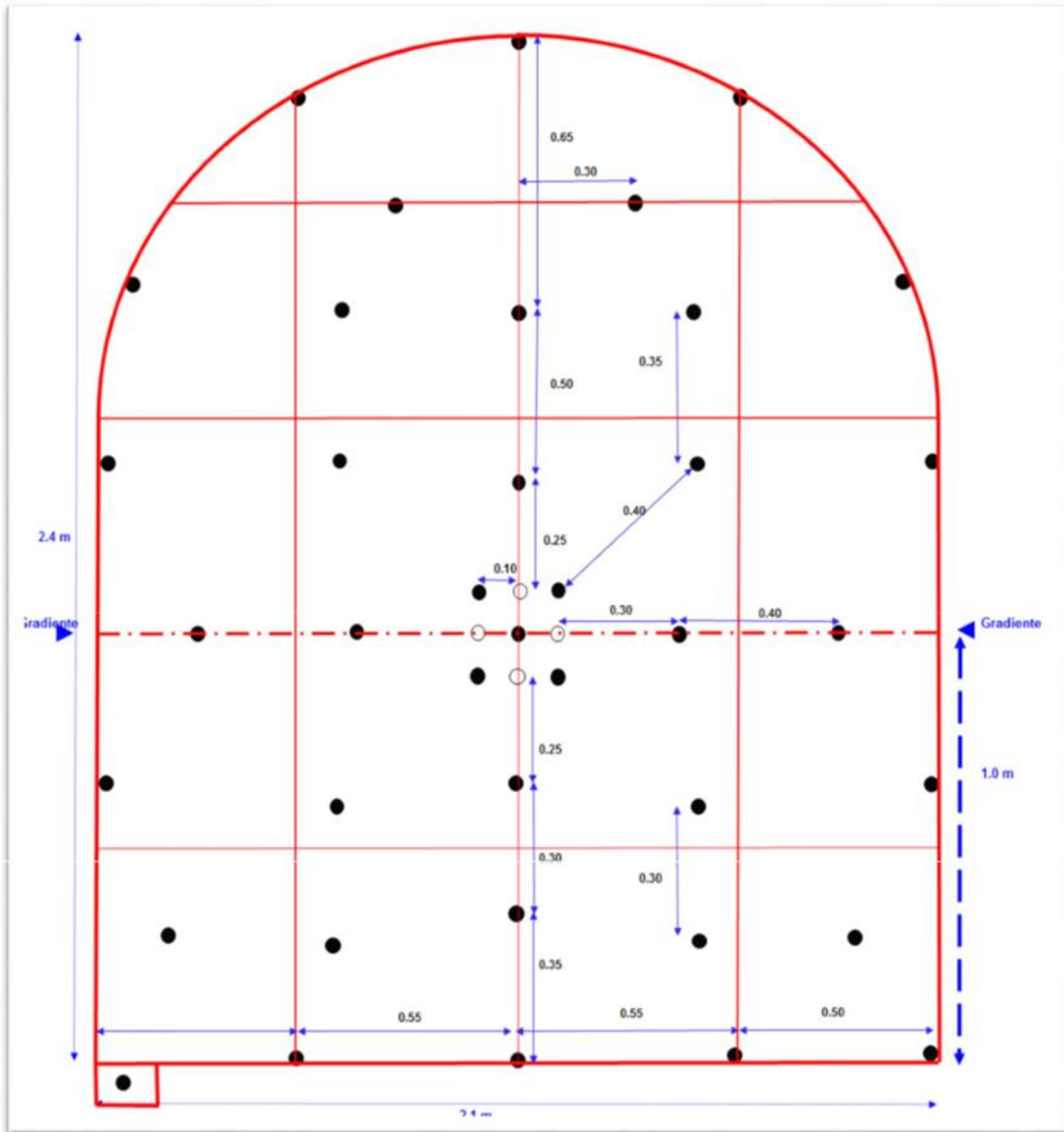


Tabla 1.
Parámetros de maquinaria para perforación

COMPRESORA	cantidad	precio	vida util	consumo por hora
Inversión	1	444000	36000	no aplica
mantt. 60%	1	266400	36000	no aplica
Aceite motor 15W40 (galon)	10	50	250	0.04
Aceite hidraulico 68 (galon)	10	50	1000	0.01
Combustible. Gl/ hora	7.5	11	1	7.5
GRUPO ELECTROGENO	cantidad	precio	vida util	consumo por hora
Inversión	1	100000	36000	no aplica
mantt. 60%	1	60000	36000	no aplica
Aceite motor 15W40 (galon)	4	50	250	0.016
Combustible. Gl/ hora	1.5	11	1	1.5

Tabla 3.
Cálculo del número de taladros

CÁLCULO DEL NÚMERO DE TALADROS

MÉTODO TRADICIONAL

Ancho	8	pies
Alto	6	pies
NT	16	taladros

MÉTODOS EMPIRICOS

$$N^{\circ} \text{ Taladros} = 10 \sqrt{b \times h}$$

Secciones rectangulares

b	1.8	m
h	2.8	m
N° taladros	22.4	Taladros

MÉTODO DE LOS PERIMETROS (Método Práctico)

Tipo de Roca	K o dt		E o c	
Dura	0.44	0.55	2	2.5
Intermedia	0.6	0.65	1.5	1.7
Suave	0.7	0.75	1	1.2

Tipo de Roca	
Dura	0.44 2

Parámetros

b: base	2.4	m
h: Altura	2.4	m
Factor	0.92	
Seccion	5.28	m ²
Perimetro	9.19	m
	4	2.29782506

N° de taladros	Rocas	Secciones
$Nt = \frac{P}{dt} + \frac{S}{K}$	Suave, intermedia, duras	>6 m ²
$Nt = \frac{P}{dt} + S * K$	Suave a intermedia	<6 m ²
$Nt = \frac{P}{dt} + \frac{S}{K}$	Roca dura	<6 m ²

N° de Taladros

31.4 Tal.

Tabla 4.
Parámetros de perforación

PERFORACIÓN		
N° Taladros cargados:	39	tal
N° Taladros alivio:	4	tal
N° total de taladros:	43	tal
Long. Barrenado (6 pies):	1.52	m
Tiempo de perforación:	02:18:57	horas
Avance por disparo:	1.22	m
Long. Perf. Efectiva:	1.4	m / tal
metros perforados:	60.2	m

Tabla 5.
Eficiencia de perforación

EFICIENCIA		
Rendimiento en perforación:	92.1	%
Rendimiento en voladura:	90	%
Volumen:	6.1488	M3
Tonelaje:	15.37	TM
Velocidad media de perforacion		pies/minuto
Factor de carga:	3.25	Kg / M3

Tabla 6.
Cantidad de explosivos

EXPLOSIVOS		
	N° de cartuchos	Peso (Kg)
Exadit 45%	0	0
Semexa 65%	180	14.58
Semexa 80%	100	8.5
total	280	23.08

Tabla 7.
Tiempos de actividades de perforación

ACTIVIDADES	INICIO	FINAL	TIEMPO
DIALOGO DE SEGURIDAD	19:00:01	19:05:32	00:05:31
REPARTO DE GUARDIA	19:05:32	19:36:13	00:30:41
PEDIDO DE HERRAMIENTAS	19:36:13	19:45:36	00:09:23
TRASLADO A BOCAMINA	19:45:36	19:50:36	00:05:00
INGRESO CORTADA FORTUNA	19:50:36	20:05:27	00:14:51
INSPECCION DE LA LABOR(PRESENCIA DE GASES)	20:05:27	20:10:46	00:05:19
VENTILACION, BOLEO Y LLENADO DE CHECK LIST	20:10:46	20:16:43	00:05:57
REGADO DE CARGA	20:16:43	20:19:17	00:02:34
DESATADO DE ROCAS SUELTAS	20:19:17	20:28:24	00:09:07
PREPARACION DE PALA PARA LA LIMPIEZA	20:28:24	20:35:38	00:07:14
LIMPIEZA DE CARGA CON PALA	20:35:38	23:15:47	02:40:09
LIMPIEZA DE EQUIPO Y PINTADO DE MALLA	23:15:47	23:36:08	00:20:21
PERFORACION DE TALADROS DE SERVICIO	23:36:08	23:46:54	00:10:46
BOLEO	23:46:54	23:51:54	00:05:00
PERFORACION	23:51:54	02:10:51	02:18:57
DESINSTALACION DE MAQUINA PERFORADORA	02:10:51	02:28:28	00:17:37
ORDEN Y LIMPIEZA, TRASLADO DE EXPLOSIVOS	02:28:28	02:49:26	00:20:58
ENCEBADO	02:49:26	03:10:22	00:20:56
CARGADO, AMARRADO Y CHISPEO	03:10:22	03:45:48	00:35:26

Tabla 8.
Tiempos específicos por taladro perforado

N° TALADROS	TIEMPO DE EMPATE	TIEMPO DE PERFORACION	TIEMPO DE SACADO Y POSICION	TIEMPO POR TALADRO
1	00:00:18	00:01:45	00:00:22	00:02:25
2	00:00:23	00:01:45	00:00:11	00:02:19
3	00:00:19	00:01:39	00:00:12	00:02:10
4	00:00:21	00:01:48	00:00:09	00:02:18
5	00:00:36	00:00:49	00:00:14	00:01:39
6	00:00:21	00:01:50	00:00:09	00:02:20
7	00:00:30	00:01:15	00:00:24	00:02:09
8	00:00:21	00:01:58	00:00:18	00:02:37
9	00:00:23	00:01:47	00:00:11	00:02:21
10	00:00:22	00:01:46	00:00:25	00:02:33
11	00:00:23	00:01:16	00:00:12	00:01:51
12	00:00:26	00:01:56	00:00:18	00:02:40
13	00:00:30	00:01:19	00:00:19	00:02:08
14	00:00:25	00:01:57	00:00:22	00:02:44
16	00:00:24	00:01:17	00:00:23	00:02:04
17	00:00:19	00:01:15	00:00:21	00:01:55
18	00:00:20	00:01:46	00:00:13	00:02:19
19	00:00:27	00:01:53	00:00:24	00:02:44
20	00:00:23	00:01:59	00:00:25	00:02:47
21	00:00:21	00:01:36	00:00:21	00:02:18
22	00:00:22	00:01:52	00:00:12	00:02:26
23	00:00:15	00:01:56	00:00:18	00:02:29
24	00:00:16	00:01:48	00:00:22	00:02:26
25	00:00:21	00:01:13	00:00:23	00:01:57
26	00:00:16	00:01:54	00:00:10	00:02:20
27	00:00:15	00:01:39	00:00:18	00:02:12
28	00:00:18	00:01:16	00:00:21	00:01:55
29	00:00:23	00:01:01	00:00:18	00:01:42
30	00:00:28	00:01:04	00:00:15	00:01:47
31	00:00:14	00:01:45	00:00:09	00:02:08
32	00:00:20	00:01:05	00:00:10	00:01:35
33	00:00:25	00:01:48	00:00:11	00:02:24
34	00:00:21	00:01:49	00:00:11	00:02:21
35	00:00:19	00:02:11	00:00:09	00:02:39
36	00:00:18	00:01:49	00:00:21	00:02:28
38	00:00:17	00:01:03	00:00:19	00:01:39
39	00:00:18	00:01:56	00:00:21	00:02:35
40	00:00:24	00:02:15	00:00:12	00:02:51
41	00:00:18	00:01:19	00:00:28	00:02:05

42	00:00:18	00:01:03	00:00:10	00:01:31
43	00:00:17	00:01:04	00:00:11	00:01:32
44	00:00:15	00:02:36	00:00:15	00:03:06
45	00:00:29	00:02:15	00:00:22	00:03:06
				1:37:35

Tabla 9.
Tiempo de acarreo de minerales con carros U35

N° CARROS	TIEMPO DE LLENADO POR U35	TIEMPO DE IDA Y VUELTA POR U35	TIEMPO TOTAL POR CARRO	IMPREVISTOS
1	00:09:16	00:03:13	00:12:29	
2	00:08:54	00:03:26	00:12:20	
3	00:10:18	00:03:36	00:13:54	Descarrila pala
4	00:08:23	00:03:41	00:12:04	
5	00:08:36	00:03:33	00:12:09	
6	00:08:41	00:03:12	00:11:53	
7	00:07:03	00:03:13	00:10:16	
8	00:08:03	00:03:51	00:11:54	
9	00:09:10	00:03:33	00:12:43	
10	00:08:41	00:03:12	00:11:53	
11	00:09:26	00:03:13	00:12:39	Descarrila pala
12	00:08:34	00:03:25	00:11:59	
13	00:10:20	00:03:36	00:13:56	
			02:40:09	

3.3. Discusión

La hipótesis general plantea

La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

A. Hipótesis estadística

Ho: No existe optimización de los tiempos de perforación y voladura a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

Ha: Existe optimización de los tiempos de perforación y voladura a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

B. Procesamiento de datos estadísticos

Tabla 10.

Procesamiento de datos respecto a la hipótesis general

VARIABLE	Pre- aplicación	Pos- aplicación	Diferencia
Optimización de los tiempos de perforación y voladura	04:57:25 hrs	04:30:01 hrs	0:27:24 hrs

Nota: Base de datos obtenidos del proceso de perforación en la Mina Otapara

C. Toma de decisión

En la tabla 10 se observa los datos obtenidos del procesamiento de datos de la variable, se observa que una diferencia positiva entre las horas de perforación pre-aplicación y pos-aplicación de 00:27:24 hrs, es decir, el impacto ha sido a favor de las pretensiones del tesista, en ese sentido, se asegura concretamente que al aplicar un diseño de malla de perforación se alcanza a optimizar los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

La hipótesis específica 1 plantea

La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo por taladro perforado en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

A. Hipótesis estadística

Ho: No existe optimización del tiempo por taladro perforado a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

Ha: Existe optimización del tiempo por taladro perforado a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

B. Procesamiento de datos estadísticos

Tabla 11.

Procesamiento de datos respecto a la hipótesis específica 1

INDICADOR	Pre-aplicación	Pos-aplicación	Diferencia
1			
Tiempo por taladro perforado	02:01:46 hrs	1:37:35 hrs	0:24:11 hrs

Nota: Base de datos obtenidos del proceso de perforación en la Mina Otapara

C. Toma de decisión

En la tabla 11 se observa los datos obtenidos del procesamiento de datos del indicador 1, se observa que una diferencia positiva entre las horas de perforación pre-aplicación y pos-aplicación de 00:24:11 hrs, es decir, el impacto ha sido a favor de las pretensiones del tesista, en ese sentido, se asegura concretamente que al aplicar un diseño de malla de perforación se alcanza a optimizar el tiempo por taladro perforado en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

La hipótesis específica 2 plantea

La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

A. Hipótesis estadística

Ho: No existe optimización del tiempo específico de actividades de perforación a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

Ha: Existe optimización del tiempo específico de actividades de perforación a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

B. Procesamiento de datos estadísticos

Tabla 12.

Procesamiento de datos respecto a la hipótesis específica 2

INDICADOR	Pre- aplicación	Pos- aplicación	Diferencia
2			
Tiempo específico de actividades de perforación	02:49:15 hrs	02:18:57 hrs	00:30:18 hrs

Nota: Base de datos obtenidos del proceso de perforación en la Mina Otapara

C. Toma de decisión

En la tabla 12 se observa los datos obtenidos del procesamiento de datos del indicador 2, se observa que una

diferencia positiva entre las horas de perforación pre-aplicación y pos-aplicación de 00:30:18 hrs, es decir, el impacto ha sido a favor de las pretensiones del tesista, en ese sentido, se asegura concretamente que al aplicar un diseño de malla de perforación se alcanza a optimizar el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

La hipótesis específica 3 plantea

aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

A. Hipótesis estadística

Ho: No existe optimización del tiempo de acarreo con carros U35 a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

Ha: Existe optimización del tiempo de acarreo con carros U35 a partir de la aplicación del diseño de malla de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

B. Procesamiento de datos estadísticos

Tabla 13.

Procesamiento de datos respecto a la hipótesis general

INDICADOR	Pre-aplicación	Pos-aplicación	Diferencia
3			

Tiempo de acarreo con carros U35	03:02:49 hrs	02:40:09 hrs	00:22:40 hrs
----------------------------------	--------------	--------------	--------------

Nota: Base de datos obtenidos del proceso de perforación en la Mina Otapara

C. Toma de decisión

En la tabla 13 se observa los datos obtenidos del procesamiento de datos del indicador 3, se observa que una diferencia positiva entre las horas de perforación pre-aplicación y pos-aplicación de 00:22:40 hrs, es decir, el impacto ha sido a favor de las pretensiones del tesista, en ese sentido, se asegura concretamente que al aplicar un diseño de malla de perforación se alcanza el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.

IV. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la aplicación del diseño de malla de perforación optimiza los tiempos de perforación y voladura en EMOTSA, puesto que se obtuvo un ahorro de tiempo de 00:27:24 hrs, la misma que incluye aspectos de limpieza de equipo, pintado de la malla de perforación, la perforación de taladros de servicio, boleó, perforación, desinstalación de máquina perforadora, traslado de explosivos, orden y limpieza, encebado, cargado, amarrado y chispeo.
2. Se determinó que la aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo por taladro perforado en EMOTSA, puesto que se obtuvo un ahorro de tiempo de 00:24:11 hrs, la misma que incluye el tiempo de empate, el tiempo de perforación, tiempo de sacado y posición.
3. Se determinó que la aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo específico de actividades de perforación en EMOTSA, puesto que se obtuvo un ahorro de tiempo de 00:30:18 hrs, la misma que incluye la perforación por taladro perforado y los acontecimientos esperados e inesperados en un proceso de perforación.
4. Se determinó que la aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo de acarreo con carros U35 en EMOTSA, puesto que se obtuvo un ahorro de tiempo de 00:22:40 hrs, la misma que incluye el tiempo de llenado a los carros y el tiempo de ida y vuelta del mismo carro, incluido los imprevistos por descarrilamiento u otros.

V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a empresa evaluar mediante investigación otros factores diferente a los tiempos de perforación que afecten el proceso general de perforación y voladura, es decir, retrasos por motivos de bloqueos de labores, incidentes, accidentes, situaciones externas a las maquinarias e internas a la maquinaria, u a partir de otras responsabilidades como supervisión operativa y de seguridad minera.
2. Se recomienda a la empresa, cumplir a cabalidad el plan de mantenimiento de las perforadoras, además de respetar los pies perforados de vida útil de cada maquinaria, llevar a cabo un adecuadoafilamiento de brocas y rimadores, así como cambio o mantenimiento a las mangueras o maquina compresora, es decir, que cumplan con los parámetros según los cálculos de caudales de aire para cada labor y nivel en proceso de perforación y explotación minera.
3. Se recomienda a la empresa tomar importancia al aspecto psicosocial del trabajador, ya que muchas veces el rendimiento no es vinculado al aspecto operativo sino al propio trabajador que muchas veces depende de la falta de capacitación, mejoramiento de la motivación, o falta de compromiso, entre otros aspectos como los familiares que admitan minimizar el desempeño y no conseguir los objetivos y metas plasmadas en el plan de minado anual.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas, «Perú: País Minero». [En línea]. Disponible en: <http://mineria.minem.gob.pe/institucional/peru-pais-minero/>
- [2] M. Cardozo, «Beneficios de la Minería», Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- [3] Ministerio de Energía y Minas, «Anuario Minero 2021», Minem. Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/3145151-anuario-minero-2021>
- [4] L. Salomón, A. Ortiz, y V. Cordero, «Productividad del proceso minero, más allá de la producción», *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 22, n.º 89, pp. 04-16, 2018, doi: 2542-3401.
- [5] Antofagasta Minerals Group, «Etapas del proceso productivo de una mina», SONAMI2. [En línea]. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/04/01.-Etapas-del-Proceso-Productivo-de-una-Mina.pdf>
- [6] SONAMI, *Guía de operación para la pequeña minería*, 1era ed. Santiago de Chile: OGRAMA, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>
- [7] J. Arias, «Optimización del diseño de malla de perforación subterránea en el frente de avance 70 de la mina PROMINE, Camilo Ponce Enríquez – Azuay (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad del Azuay,

- Cuenca-Ecuador, 2023. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea].
Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13081>
- [8] B. Montalvo, «Diseño de malla de perforación y voladura para el control de dilución en el subnivel de producción “Los Gemelos”, en la explotación minera subterránea de la mina “Pique”, compañía OROCONCENT S.A., Portovelo Ecuador (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas-Ecuador, 2022. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18114>
- [9] K. Puma y J. Llerena, «Optimización del proceso de perforación y voladura en una mina dedicada a la extracción metálica a pequeña escala en la comunidad la Fortuna, Ponce Enríquez (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador, 2021. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52305>
- [10] L. Quispe y K. Yupanqui, «Aplicación del diseño de perforación y voladura de la galería principal 9080-SW, para aumentar el avance lineal, Minera Aurífera Retamas S. A. (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Continental, Huancayo, 2023. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13095>
- [11] D. Izquierdo, «Diseño de malla de perforación para la optimización de la voladura en el tajeo 8680 acceso uno sur de la unidad minera San Vicente de Morocha 2022 (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, 2022. Accedido: 27 de agosto de

2023. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/353>
- [12] J. Narváez, «Diseño de perforacion y voladura para la optimizacion en el proceso operativo de la cortada esperanza en el proyecto María 2021 (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, 2022. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5433>
- [13] M. Trinidad, «Aplicación del modelo matemático de Roger Holmberg para mejorar el diseño de malla de perforación y voladura, Unidad Minera Julcani (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Continental, Huancayo, 2022. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12035>
- [14] J. Gonzáles, «Diseño de malla de perforación y voladura para incrementar la eficiencia en labores de avance en la Unidad Minera Islay - Cía Minera Chungar – 2021 (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Nacional del Centro, Huancayo, 2021. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7128>
- [15] E. Palma, «Optimización del proceso de perforación y voladura, mediante el diseño de la malla de perforación en la galería “GL-905” de la compañía minera fargo minería y construcción SAC, unidad minera “FOX”, periodo 2019 (Tesis de Titulación en Ingeniería)», Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, 2019. Accedido: 27 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4388>

- [16] Agencia Nacional de Minería, «¿Qué es la minería?», República de Colombia. Accedido: 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.anm.gov.co/portalinicos/Queeslamineria>
- [17] México Minero, «¿Qué es la Minería?», Gobierno Nacional de México. Accedido: 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mexicomintero.org/ciencia/que-es-la-mineria/>
- [18] M. Sosalaya, «Minería: Resultados del sector», Banco Mundial. Accedido: 1 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/14/mining-results-profile>
- [19] MMSD, «Proyecto minería, minerales y desarrollo sostenible». [En línea]. Disponible en: <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00678.pdf>
- [20] Ministerio de Energía y Minas, «Kit de Minería. La exploración minera», Minem. Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2018/06/Folleto-de-Mineria-1.pdf>
- [21] VENTIUS, «Polvo en minería. Sistema de control de polvo». [En línea]. Disponible en: http://www.ventius.cl/docs/Ventius_Polvo_en_Mineria_2016.pdf
- [22] Ministerio de Energía y Minas, «Minería, una actividad que aporta significativamente a la economía peruana», Anglo American. Accedido: 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://peru.angloamerican.com/moquegua/impulso-minero/mineria-una-actividad-que-aporta-significativamente-a-la-economia-peruana.aspx>

- [23] J. Herrera, «Introducción a la minería subterránea. Vol II: Construcción de accesos», Universidad Politécnica de Madrid. Accedido: 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/62724/7/CONTRUCCION_DE_ACCESOS_A_INTERIOR_LM1B4T2R0-20191114.pdf
- [24] Australia Unlimited, «Minería Subterránea». [En línea]. Disponible en: https://www.austrade.gov.au/ArticleDocuments/5310/Mineria_Subterranea.pdf.aspx
- [25] L. Reyes, «La minería subterránea», Panorama Minero. Accedido: 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://panorama-minero.com/noticias/mineria-subterranea-para-principiantes/>
- [26] J. Herrera Herbert, *Introducción a la minería subterránea*, 2da ed. Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid, 2020. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/62726/1/METODOS_MINERIA_INTERIOR_LM1B4T4R0-20200406.pdf
- [27] A. Gonzalo, «Métodos de Perforación en Minería Subterránea», Academy-ISE. Accedido: 11 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ise-academy.net/metodos-de-perforacion-en-mineria-subterranea/>
- [28] M. Guerrero, «Riesgos ocupacionales en proyectos de minería subterránea», *Revista cCentífica Teknos*, vol. 16 (1), pp. 19-27, 2016.
- [29] C. C. Córdoba Quiceno y J. M. Molina Escobar, «Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea», *Boletín de Ciencias de la TIERRA*, vol. 29, pp. 73-86, 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n29/n29a06.pdf>

- [30] G. Vanegas, «La minería subterránea en Colombia: el riesgo latente de morir bajo el suelo», El País. Accedido: 1 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elpais.com/america-colombia/2023-03-16/la-mineria-subterranea-en-colombia-el-riesgo-latente-de-morir-bajo-el-suelo.html>
- [31] Agencia Nacional de Minería, «Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas», 02/12/2017. [En línea]. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318_guia_seg_ventilacion_minas_subterraneas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289
- [32] R. Fernández, R. de Barrio, y M. Tessone, «Apuntes didácticos de geología de minas. Perforaciones en la explotación dimantina», Universidad Nacional de la Plata.
- [33] V. Yepes, «Perforación mediante jumbos», Apuntes de la Universitat Politècnica de València. Accedido: 11 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/07/27/perforacion-mediante-jumbos/>
- [34] Cámara Minera del Perú, «Voladura y perforación», 31/10/2019. [En línea]. Disponible en: <https://camiper.com/tiempominero/tipos-voladura-y-perforacion-minera-especializacion/>
- [35] SONAMI, «Perforación y tronadura». [En línea]. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>
- [36] V. Yepes, «Rendimiento en una perforación rotativa con triconos», Universidad Politécnica de Valencia. Accedido: 26 de marzo de 2023. [En

- línea]. Disponible en:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2022/11/25/rendimiento-en-una-perforacion-rotativa-con-triconos/>
- [37] Instituto Tecnológico Geominero de España, *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid (España): Izquierdo S.A., 1994.
- [38] J. Bernaola, J. Castilla, y J. Herrera, *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [39] Interempresas, «Avances tecnológicos en la perforación y voladura», 2018. [En línea]. Disponible en:
<https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/203363-Avances-tecnologicos-en-la-perforacion-y-voladura-de-rocas.html>
- [40] Jornada Pervol'17 en la ETSIMM, «Avances tecnológicos en la perforación y voladura de rocas», Interempresas.
- [41] Dirección General de Asuntos Ambientales, «Guía ambiental para la perforación y voladura en operaciones mineras», Ministerio de Energía y Minas.
- [42] Sernageomin, «Guía N°4 de operación para la pequeña minería. Perforación y tronaduras», Servicio Nacional de Geología y Minería. Accedido: 11 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G4PerforacionTronaduras.pdf>
- [43] C. Cruz, S. Olivares, y M. Gonzáles, *Metodología de la investigación*. México D.F: Patria, 2014.
- [44] R. Hernández, C. Fernández, y M. del P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2014. Accedido: 14 de

octubre de 2022. [En línea]. Disponible en:

https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

- [45] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 5ta ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2010.
- [46] V. Niño, *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U, 2011.
- [47] C. Bernal, *Metodología de la Investigación*, 3era ed. Bogotá: Pearson Educación, 2010. Accedido: 13 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- [48] C. Meléndez Ramos, «La perforación diamantina desde la perspectiva técnico operacional», Perforaciones Diamantina S.A.C.
- [49] E. Umaña, «Reducción y optimización de costos operativos en peroración y voladura Minera Yanaquihua S.A.C. E.E. Adgeminco S.A.C.», Universidad Nacional de San Agustín, 2014.



VII. ANEXOS

Anexo N°1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	TÉCNICA/INSTRUMENTO
<p>VARIABLE VX: Control operacional de avance</p>	<p>Se refiere al seguimiento de las condiciones otorgadas para alcanzar un efectivo avance operacional de perforación diamantina como el control de tiempos concordantes a las horas operativas efectivas de trabajo y los metros trabajados por ese tiempo efectivo [48].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Control de tiempos operativos • Control de avance por tiempo operativo 	<p>Técnica de análisis documental y el fichaje.</p>
<p>VARIABLE VY: Costos operativos</p>	<p>Se refiere a los gastos que todas las empresas incurren para llevar a cabo una inversión o gastos en el proceso de un proyecto para sostenerlo en cada elemento específico, en algunos casos se mantienen fijos y en otros cambian con el avance del proceso operativo [49].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Costos por metro perforados diamantinos • Costos por servicios de perforación diamantina • Costos por logueo y muestreo en perforación diamantina 	<p>Técnica del fichaje y la observación.</p>

Anexo N° 2: Matriz de consistencia

TÍTULO: APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN EN LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA EXPLOTACIÓN MINERA DE EMOTSA – OTAPARA 2022

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			
¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?	Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.	La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza los tiempos de perforación y voladura en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022.	Variable X: Aplicación del diseño de malla de perforación	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo del burden de taladros • Cálculo del espaciamiento de taladros • Cálculo del número de taladros • Cálculo de la eficiencia de perforación y voladura 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental – pre experimento</p> <p>Población: La población estará conformada por todas las labores de la empresa EMOTSA, en el año 2022.</p> <p>Muestra: La muestra se constituirá por la</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo por taladro perforado en la	Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo por taladro perforado en la	La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo por taladro perforado en la	Variable Y: Tiempos de perforación y voladura	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo por taladro perforado • Tiempo específico de 	

<p>explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?</p> <p>¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo específicos de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?</p> <p>¿De qué manera la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022?</p>	<p>explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p> <p>Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo específicos de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p> <p>Determinar que la aplicación del diseño de malla de perforación influye en el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p>	<p>explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p> <p>La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo específico de actividades de perforación en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p> <p>La aplicación del diseño de malla de perforación optimiza el tiempo de acarreo con carros U35 en la explotación minera de EMOTSA – Otapara 2022</p>	<p>actividades de perforación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de acarreo con carros U35 	<p>Cortada Fortuna, en el año 2022.</p> <p>Técnicas: La observación y el fichaje</p>
---	--	---	--	---

Anexo N° 3: Planos



Anexo N° 4: Precio unitario de actividades

LABOR GALERIA 7 x 8 LIMPIEZA A PALA NEUMATICA

I. PARAMETROS

1 Seccion de Labor	2.1 x 2.4 mts	8 Efic. Voladura	87 %
Tipo de			
2 Roca	MEDIA	9 Avance Efectivo	1.22 mts
3 Long. De Taladro	1.52 mts	10 Eficiencia total	80.1 %
4 N° tal. Cargados	39 tal	11 Pies perforados	215 ft
N° tal.			
5 Alivios	4 tal	12 Horas de trabajo	8 h
6 N° tal. Perforados	43 tal	13 BB.SS.	0.00%
7 Efic. Perforacion	92 %		

II. COSTOS DIRECTOS

1. MANO DE OBRA

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	NUMERO LABORES	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Perforista	1.00	1	tareas	65	1.00	0.00	65	
Ayud. Perforista	1.00	1	tareas	45	1.00	0.00	45	
Carrero	1.00	2	tareas	45	1.00	0.00	90	
Almacenero	0.14	1	tareas	53	7.00	0.00	8	
Compresorista	0.14	1	tareas	67	7.00	0.00	10	
Supervisor	0.14	1	tareas	83	7.00	0.00	12	
Ing. De Minas	0.14	1	tareas	200	7.00	0.00	29	

	Servicios Auxiliares	0.14	1	tareas	40	7.00	0.00	5.7142857	215.85
2. PERFORACION									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Maquina Perforadora		215.00	pza/p.p.	16,740	80,000		44.99	
	Mtto. y Repuestos (30%)		215.00	pza/p.p.	5,022	15,000		71.98	
	Broca de 36 mm		172.00	pza/p.p.	85	1,000		14.62	
	Broca de 38 mm		43.00	pza/p.p.	90	1,000		3.87	
	Barreno Conico de 4'		172.00	pza/p.p.	360.00	1,000		61.92	
	Barreno Conico de 5'		43.00	pza/p.p.	407.00	1,000		17.50	
	Manguera de Jebe 1"		30.00	mt/disparo	13	120		3.25	
	Manguera de Jebe de 1/2"		30.00	mt/disparo	6.5	120		1.63	
	Aceite Almo 529		0.25	gl/disparo	35	1		8.75	
	Conexiones		4.00	unid.	20.34	120		0.68	187.86
3. VOLADURA									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Dinamita 7/8" x 7" 65%		192.50	cartuchos	1.05			202.13	
	Mecha ensamblada		39.00	unid.	2.34			91.26	
	Mecha Seguridad (reloj)		2.70	mts	1.45			3.92	243.69
4. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Botas de Jebe	3.7	1.00	Par	69	90		2.85	
	Lentes de Seguridad	3.7	1.00	Pza.	20	60		1.24	
	Casco Minero	3.7	1.00	Pza.	18	360		0.19	
	Tafilete	3.7	1.00	Pza.	7	360		0.07	
	Barbiquejo	3.7	1.00	Pza.	3	180		0.05	
	Respirador	3.7	1.00	Pza.	77	180		1.59	

Filtro	3.7	1.00	Pza.	29	20	5.39	
Guante de Cuero	3.7	1.00	Par	10	15	2.48	
Correa PortaLampara	3.7	1.00	Pza.	16	360	0.17	
Tapon de Oido	3.7	1.00	Pza.	5	60	0.31	
Pantalon plomo	3.7	1.00	Pza.	39	180	0.80	
Polo manga larga	3.7	1.00	Pza.	36	180	0.74	
Lampara Minera	3.7	1.00	Pza.	115	360	1.19	
Mtto. Lampara Minera 10%	3.7	1.00	Pza.	12	360	0.12	
Casaca de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20	
Pantalon de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20	16.04

5. HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Lampa		2.00	Pza.	25.0	90	1.03	
Pico		2.00	Pza.	34.0	90	1.40	
Llave Stilson de 16"		1.00	Pza.	42.0	360	0.22	
Llave Francesa 12"		1.00	Pza.	95.0	360	0.49	
Atacador		5.00	Pza.	8.0	60	1.24	
Curcharillas		2.00	Pza.	15.0	60	0.93	
Barretillas		3.00	Pza.	50.0	120	2.32	
Saca Barreno		1.00	Pza.	7.7	360	0.04	
Soplete de Taladros		1.00	Pza.	15.0	360	0.08	
Combo 6 Lbs		1.00	Pza.	30.0	90	0.62	
Otros (17% del total)				0.17		1.42	8.02

6. AIRE COMPRIMIDO

DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	
Compresora 750		5.00	Hrs/Disparo	100000.0	35000	14.29	

Mtto. y Repuestos (30%)		5.00	Hrs/Disparo	30000.0	60000	2.50
Aceite de motor 15W40		0.20	Gl/Disparo	54.0	1	10.80
Aceite Hidraulico 68 plus		0.05	Gl/Disparo	45.0	1	2.25
Combustible		37.50	Gl/Disparo	11.0	1	412.50
Tuberia de polietileno de 2"		100.00	mt/Disparo	10.5	3650	0.29
362.81						

7. VENTILACION

DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL
Generador electrico		3.00	Hrs/Disparo	90000.0	18000	15.00
Mtto. y Repuestos (50%)		3.00	Hrs/Disparo	45000.0	18000	7.50
Aceite de motor 15W40		0.05	Gl/Disparo	50.0	1	2.40
Combustible		4.50	Gl/Disparo	11.0	1	49.50
Ventilador		3.00	Hrs/Disparo	50000.0	18000	8.33
Mtto. y Repuestos (60%)		3.00	Hrs/Disparo	30000.0	18000	5.00
Mangas de 10"		100.00	mt/Disparo	4.7	1825	0.26
72.12						

8. LIMPIEZA Y ACARREO

DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL
Pala Neumatica		2.00	Hrs/Disparo	97500.0	12000	16.25
Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	48750.0	12000	8.13
Aceite 150		0.30	Gl/Disparo	45.0	1	13.50
Carro U -35		2.00	Hrs/Disparo	25000.0	12000	4.17
Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	12500.0	12000	2.08
36.17						

8. ALIMENTACION

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	% PAGADO	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Obreros	4	1	menu/diario	24.00	100%	89.14	73.07

	TOTAL COSTO DIRECTO							S/ 1,215.63
	III. COSTOS INDIRECTOS							
	1. GASTOS GENERALES						10%	121.56
	TOTAL COSTO INDIRECTO							S/ 121.56
	COSTO TOTAL POR METRO LINEAL							S/ 1,337.19
	COSTO 362 METROS CON RIEL Y PALA NEUMATICA							S/ 484,062.78
	COSTO 60 METROS A PULSO							S/ 108,126.00
	INSTALACION DE RIEL							S/ 7,633.50

INST. RIELES

I. PARAMETROS

Tipo de roca	MEDIA
Horas de trabajo	8 h
BB.SS.	0.00%
Rendimiento	3.00 Colleras/Dia

II. COSTOS DIRECTOS

1. MANO DE OBRA

DESCRIPCION	INCID.	CANT	UNID.	PRECIO	NUMERO LABORES	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Perforista	1.00	1.00	tareas	55	1.00	0.00	55.00	
Ayud. Perforista	1.00	1.00	tareas	45	1.00	0.00	45.00	
	0.00	0.00	tareas	45	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	tareas	45	0.00	0.00	0.00	33.33

2. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

DESCRIPCION	INCID.	CANT	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Botas de Jebe	2.00	1.00	Par	69	90		1.53	
Lentes de Seguridad	2.00	1.00	Pza.	20	60		0.67	
Casco Minero	2.00	1.00	Pza.	18	360		0.10	
Tafilete	2.00	1.00	Pza.	7	360		0.04	
Barbiquejo	2.00	1.00	Pza.	3	360		0.01	
Respirador	2.00	1.00	Pza.	77	180		0.86	
Filtro	2.00	1.00	Pza.	29	20		2.90	

Guante de Cuero	2.00	1.00	Par	10	15	1.33		
Correa PortaLampara	2.00	1.00	Pza.	16	360	0.09		
Tapon de Oido	2.00	1.00	Pza.	5	60	0.17		
Polo manga larga	2.0	1.00	Pza.	36	180	0.40		
Lampara Minera	2.0	1.00	Pza.	115	360	0.64		
Lampara Minera	2.00	1.00	Pza.	115	360	0.64		
Mtto. Lampara Minera 10%	2.00	1.00	Pza.	12	360	0.06		3.15

3. HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	INCID.	CANT	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Lampa		2.00	Pza.	25.0	60		0.83	
Pico		1.00	Pza.	34.0	60		0.57	
Arco de Sierra		1.00	Pza.	18.0	90		0.20	
Hoja de sierra		1.00	Pza.	5.0	2		2.50	
Llave Stilson de 16"		1.00	Pza.	42.0	360		0.12	
Llave Francesa 12"		1.00	Pza.	95.0	360		0.26	
Combo 12 Lbs		1.00	Pza.	60.0	120		0.50	
Combo 6 Lbs		1.00	Pza.	30.0	120		0.25	
Santiago		1.00	Pza.	1250.0	2800		0.45	
Barretilla		2.00	Pza.	150.0	100		3.00	
Otros (17% del total)				0.17			1.48	3.38

4. MATERIALES

DESCRIPCION	INCID.	CANT	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Durmientes		24.00	Pza.	0			0.00	
							0.00	S/ -

5. ALIMENTACION

	DESCRIPCION	INCID.	CANT	UNID.	PRECIO	% PAGADO	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Obreros	8.00	2.00	menu/diario	24.00	100%		192.00	64.00
TOTAL COSTO DIRECTO								S/	103.86
III. COSTOS INDIRECTOS									
	1. GASTOS GENERALES							5%	5.193
								0%	0
TOTAL COSTO INDIRECTO								S/	5.19
COSTO TOTAL POR INST. RIELES POR COLLERA								S/	109.05

LABOR 7 x 8 LIMPIEZA A PALA NEUMATICA

I. PARAMETROS

1	Seccion de Labor	2.1 x 2.4 mts	8	Efic. Voladura	87 %
2	Tipo de Roca	MEDIA	9	Avance Efectivo	1.22 mts
3	Long. De Taladro	1.52 mts	10	Eficiencia total	80.1 %
4	N° tal. Cargados	40 tal	11	Pies perforados	220 ft
5	N° tal. Alivios	4 tal	12	Horas de trabajo	8 h
6	N° tal. Perforados	44 tal	13	BB.SS.	0.00%
7	Efic. Perforacion	92 %			

II. COSTOS DIRECTOS

1. MANO DE OBRA

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	NUMERO LABORES	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Perforista	1.00	1	tareas	65	1.00	0.00	65	
Ayud. Perforista	1.00	1	tareas	50	1.00	0.00	50	
Carrero	1.00	2	tareas	45	1.00	0.00	90	
Almacenero	0.14	1	tareas	53	7.00	0.00	8	
Compresorista	0.14	1	tareas	67	7.00	0.00	10	
Supervisor	0.14	1	tareas	83	7.00	0.00	12	
Ing. De Minas	0.14	1	tareas	200	7.00	0.00	29	
Servicios Auxiliares	0.14	1	tareas	40	7.00	0.00	5.7142857	219.95

2. PERFORACION

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Maquina Perforadora		220.00	pza/p.p.	16,740	80,000	46.04	
Mtto. y Repuestos (30%)		220.00	pza/p.p.	5,022	15,000	73.66	
Broca de 36 mm		176.00	pza/p.p.	85	1,000	14.96	
Broca de 38 mm		44.00	pza/p.p.	90	1,000	3.96	
Barreno Conico de 4'		176.00	pza/p.p.	360.00	1,000	63.36	
Barreno Conico de 5'		44.00	pza/p.p.	407.00	1,000	17.91	
Manguera de Jebe 1"		30.00	mt/disparo	13	120	3.25	
Manguera de Jebe de 1/2"		30.00	mt/disparo	6.5	120	1.63	
Aceite Almo 529		0.25	gl/disparo	35	1	8.75	
Conexiones		4.00	unid.	20.34	120	0.68	191.95

3. VOLADURA

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Dinamita 7/8" x 7" 65%		255.00	cartuchos	1.05		267.75	
Mecha ensamblada		40.00	unid.	2.34		93.60	

	Mecha Seguridad (reloj)		2.70	mts	1.45		3.92	299.40
4. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD								
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Botas de Jebe	3.7	1.00	Par	69	90	2.85	
	Lentes de Seguridad	3.7	1.00	Pza.	20	60	1.24	
	Casco Minero	3.7	1.00	Pza.	18	360	0.19	
	Tafilete	3.7	1.00	Pza.	7	360	0.07	
	Barbiquejo	3.7	1.00	Pza.	3	180	0.05	
	Respirador	3.7	1.00	Pza.	77	180	1.59	
	Filtro	3.7	1.00	Pza.	29	20	5.39	
	Guante de Cuero	3.7	1.00	Par	10	15	2.48	
	Correa PortaLampara	3.7	1.00	Pza.	16	360	0.17	
	Tapon de Oido	3.7	1.00	Pza.	5	60	0.31	
	Pantalon plomo	3.7	1.00	Pza.	39	180	0.80	
	Polo manga larga	3.7	1.00	Pza.	36	180	0.74	
	Lampara Minera	3.7	1.00	Pza.	115	360	1.19	
	Mtto. Lampara Minera 10%	3.7	1.00	Pza.	12	360	0.12	
	Casaca de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20	
	Pantalon de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20	16.04
5. HERRAMIENTAS								
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Lampa		2.00	Pza.	25.0	90	1.03	
	Pico		2.00	Pza.	34.0	90	1.40	
	Llave Stilson de 16"		1.00	Pza.	42.0	360	0.22	
	Llave Francesa 12"		1.00	Pza.	95.0	360	0.49	
	Atacador		5.00	Pza.	8.0	60	1.24	
	Curcharillas		2.00	Pza.	15.0	60	0.93	
	Barretillas		3.00	Pza.	50.0	120	2.32	
	Saca Barreno		1.00	Pza.	7.7	360	0.04	

Soplete de Taladros		1.00	Pza.	15.0	360	0.08		
Combo 6 Lbs		1.00	Pza.	30.0	90	0.62		
Otros (17% del total)				0.17		1.42		8.02
6. AIRE COMPRIMIDO								
DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
Compresora 750		6.00	Hrs/Disparo	100000.0	35000		17.14	
Mtto. y Repuestos (30%)		6.00	Hrs/Disparo	30000.0	60000		3.00	
Aceite de motor 15W40		0.24	Gl/Disparo	54.0	1		12.96	
Aceite Hidraulico 68 plus		0.06	Gl/Disparo	45.0	1		2.70	
Combustible		45.00	Gl/Disparo	11.0	1		495.00	
Tuberia de polietileno de 2"		100.00	mt/Disparo	10.5	3650		0.29	
								435.32
7. VENTILACION								
DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
Generador electrico		5.00	Hrs/Disparo	90000.0	18000		25.00	
Mtto. y Repuestos (50%)		5.00	Hrs/Disparo	45000.0	18000		12.50	
Aceite de motor 15W40		0.08	Gl/Disparo	50.0	1		4.00	
Combustible		7.50	Gl/Disparo	11.0	1		82.50	
Ventilador		5.00	Hrs/Disparo	50000.0	18000		13.89	
Mtto. y Repuestos (60%)		5.00	Hrs/Disparo	30000.0	18000		8.33	
Mangas de 10"		100.00	mt/Disparo	4.7	1825		0.26	
								120.06
8. LIMPIEZA Y ACARREO								
DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
Pala Neumatica		2.00	Hrs/Disparo	97500.0	12000		16.25	
Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	48750.0	12000		8.13	
Aceite 150		0.30	Gl/Disparo	45.0	1		13.50	

	Carro U -35		2.00	Hrs/Disparo	25000.0	12000		4.17	
	Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	12500.0	12000		2.08	36.17
8. ALIMENTACION									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	% PAGADO		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Obreros	4	1	menu/diario	24.00	100%		89.14	73.07
TOTAL COSTO DIRECTO								S/	1,399.98
III. COSTOS INDIRECTOS									
	1. GASTOS GENERALES							10%	140
TOTAL COSTO INDIRECTO								S/	140.00

LABOR GALERIA 7 x 8 LIMPIEZA A PALA NEUMATICA

I. PARAMETROS

1	Seccion de Labor	2.1 x 2.4 mts	8	Efic. Voladura	87 %
2	Tipo de Roca	MEDIA	9	Avance Efectivo	1.22 mts
3	Long. De Taladro	1.52 mts	10	Eficiencia total	80.1 %
4	N° tal. Cargados	35 tal	11	Pies perforados	195 ft
5	N° tal. Alivios	4 tal	12	Horas de trabajo	8 h
6	N° tal. Perforados	39 tal	13	BB.SS.	0.00%
7	Efic. Perforacion	92 %			

II. COSTOS DIRECTOS

1. MANO DE OBRA									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	NUMERO LABORES	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Perforista	1.00	1	tareas	65	1.00	0.00	65	
	Ayud. Perforista	1.00	1	tareas	45	1.00	0.00	45	
	peon	0.50	1	tareas	40	1.00	0.00	20	
	Carrero - Lampero	0.50	2	tareas	45	1.00	0.00	45	
	Almacero - compresorista	0.20	1	tareas	85	1.00	0.00	17	
	Supervisor								
	Ing. De Minas	0.21	1	tareas	150	1.00	0.00	31.5	183.20
2. PERFORACION									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Maquina Perforadora		195.00	pza/p.p.	16,740	80,000		40.80	
	Mtto. y Repuestos (30%)		195.00	pza/p.p.	5,022	15,000		65.29	
	Broca de 36 mm		156.00	pza/p.p.	85	1,000		13.26	
	Broca de 38 mm		39.00	pza/p.p.	90	1,000		3.51	
	Barreno Conico de 4'		156.00	pza/p.p.	360.00	1,000		56.16	
	Barreno Conico de 5'		39.00	pza/p.p.	407.00	1,000		15.87	
	Manguera de Jebe 1"		30.00	mt/disparo	13	120		3.25	
	Manguera de Jebe de 1/2"		30.00	mt/disparo	6.5	120		1.63	
	Aceite Almo 529		0.25	gl/disparo	35	1		8.75	
	Conexiones		4.00	unid.	20.34	120		0.68	171.47
3. VOLADURA									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Dinamita 7/8" x 7" 65%		68.00	cartuchos	1.05			71.40	
	Mecha ensamblada		35.00	unid.	2.34			81.90	
	Mecha Seguridad (reloj)		2.70	mts	1.45			3.92	128.86

4. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Botas de Jebe	3.4	1.00	Par	69	90		2.61	
	Lentes de Seguridad	3.4	1.00	Pza.	20	60		1.14	
	Casco Minero	3.4	1.00	Pza.	18	360		0.17	
	Tafilete	3.4	1.00	Pza.	7	360		0.07	
	Barbiquejo	3.4	1.00	Pza.	3	180		0.05	
	Respirador	3.4	1.00	Pza.	77	180		1.46	
	Filtro	3.4	1.00	Pza.	29	20		4.94	
	Guante de Cuero	3.4	1.00	Par	10	15		2.27	
	Correa PortaLampara	3.4	1.00	Pza.	16	360		0.15	
	Tapon de Oido	3.4	1.00	Pza.	5	60		0.28	
	Pantalon plomo	3.4	1.00	Pza.	39	180		0.74	
	Polo manga larga	3.4	1.00	Pza.	36	180		0.68	
	Lampara Minera	3.4	1.00	Pza.	115	360		1.09	
	Mtto. Lampara Minera 10%	3.4	1.00	Pza.	12	360		0.11	
	Casaca de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100		1.20	
	Pantalon de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100		1.20	14.89
5. HERRAMIENTAS									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Lampa		2.00	Pza.	25.0	90		0.95	
	Pico		2.00	Pza.	34.0	90		1.29	
	Llave Stilson de 16"		1.00	Pza.	42.0	360		0.20	
	Llave Francesa 12"		1.00	Pza.	95.0	360		0.45	
	Atacador		5.00	Pza.	8.0	60		1.14	
	Curcharillas		2.00	Pza.	15.0	60		0.85	
	Barretillas		3.00	Pza.	50.0	120		2.13	
	Saca Barreno		1.00	Pza.	7.7	360		0.04	
	Soplete de Taladros		1.00	Pza.	15.0	360		0.07	
	Combo 6 Lbs		1.00	Pza.	30.0	90		0.57	

	Otros (17% del total)				0.17			1.31	7.37
6. AIRE COMPRIMIDO									
	DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
	Compresora 750		5.00	Hrs/Disparo	100000.0	60000		8.33	
	Mtto. y Repuestos (30%)		5.00	Hrs/Disparo	30000.0	60000		2.50	
	Aceite de motor 15W40		0.20	Gl/Disparo	54.0	1		10.80	
	Aceite Hidraulico 68 plus		0.05	Gl/Disparo	45.0	1		2.25	
	Combustible		37.50	Gl/Disparo	11.0	1		412.50	
	Tuberia de polietileno de 2"		100.00	mt/Disparo	10.5	3650		0.29	
									357.93
7. VENTILACION									
	DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
	Generador electrico		5.00	Hrs/Disparo	90000.0	18000		25.00	
	Mtto. y Repuestos (50%)		5.00	Hrs/Disparo	45000.0	18000		12.50	
	Aceite de motor 15W40		0.08	Gl/Disparo	50.0	1		4.00	
	Combustible		7.50	Gl/Disparo	11.0	1		82.50	
	Ventilador		5.00	Hrs/Disparo	50000.0	18000		13.89	
	Mtto. y Repuestos (60%)		5.00	Hrs/Disparo	30000.0	18000		8.33	
	Mangas de 10"		100.00	mt/Disparo	4.7	1825		0.26	
									120.06
8. LIMPIEZA Y ACARREO									
	DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	
	Pala Neumatica		2.00	Hrs/Disparo	97500.0	12000		16.25	
	Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	48750.0	12000		8.13	
	Aceite 150		0.30	Gl/Disparo	45.0	1		13.50	
	Carro U -35		2.00	Hrs/Disparo	25000.0	12000		4.17	
	Mtto. y Repuestos (50%)		2.00	Hrs/Disparo	12500.0	12000		2.08	
									36.17
8. ALIMENTACION									

	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	% PAGADO	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Obreros	3	1	menu/diario	24.00	100%	81.84	67.08
TOTAL COSTO DIRECTO							S/	1,087.03
III. COSTOS INDIRECTOS								
	1. GASTOS GENERALES						10%	108.7
TOTAL COSTO INDIRECTO							S/	108.70
COSTO TOTAL POR METRO LINEAL							S/	1,195.73

LABOR GALERIA 7 x 8 LIMPIEZA A PULSO

I. PARAMETROS

1	Seccion de Labor	2.1 x 2.4	mts	8	Efic. Voladura	87	%
2	Tipo de Roca	Dura		9	Avance Efectivo	1.22	mts
3	Long. De Taladro	1.52	mts	10	Eficiencia total	80.1	%
4	N° tal. Cargados	39	tal	11	Pies perforados	215	ft
5	N° tal. Alivios	4	tal	12	Horas de trabajo	8	h
6	N° tal. Perforados	43	tal	13	BB.SS.	0.00	%
7	Efic. Perforacion	92	%				

II. COSTOS DIRECTOS

1. MANO DE OBRA									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	NUMERO LABORES	BB.SS.	PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Perforista	1.00	1	tareas	65	1.00	0.00	65	
	Ayud. Perforista	1.00	1	tareas	45	1.00	0.00	45	
	Carrero - Lampero	1.00	4	tareas	45	1.00	0.00	180	
	Ing. De Minas	0.24	1	tareas	200	7.00	0.00	48	
	Servicios Auxiliares	0.50	1	tareas	40	1.00	0.00	20	293.44
2. PERFORACION									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Maquina Perforadora		215.00	pza/p.p.	16,740	80,000		44.99	
	Mtto. y Repuestos (30%)		215.00	pza/p.p.	5,022	15,000		71.98	
	Broca de 36 mm		172.00	pza/p.p.	85	1,000		14.62	
	Broca de 38 mm		43.00	pza/p.p.	90	1,000		3.87	
	Barreno Conico de 4'		172.00	pza/p.p.	360.00	1,000		61.92	
	Barreno Conico de 5'		43.00	pza/p.p.	407.00	1,000		17.50	
	Manguera de Jebe 1"		30.00	mt/disparo	13	120		3.25	
	Manguera de Jebe de 1/2"		30.00	mt/disparo	6.5	120		1.63	
	Aceite Almo 529		0.25	gl/disparo	35	1		8.75	
	Conexiones		4.00	unid.	20.34	120		0.68	187.86
3. VOLADURA									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.
	Dinamita 7/8" x 7" 65%		250.00	cartuchos	1.05			262.50	
	Mecha ensamblada		39.00	unid.	2.34			91.26	
	Mecha Seguridad (reloj)		3.05	mts	1.45			4.42	293.59
4. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD									
	DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL		PARCIAL	PARCIAL / REND.

Botas de Jebe	3.7	1.00	Par	69	90	2.87
Lentes de Seguridad	3.7	1.00	Pza.	20	60	1.25
Casco Minero	3.7	1.00	Pza.	18	360	0.19
Tafilete	3.7	1.00	Pza.	7	360	0.07
Barbiquejo	3.7	1.00	Pza.	3	180	0.05
Respirador	3.7	1.00	Pza.	77	180	1.60
Filtro	3.7	1.00	Pza.	29	20	5.42
Guante de Cuero	3.7	1.00	Par	10	15	2.49
Correa PortaLampara	3.7	1.00	Pza.	16	360	0.17
Tapon de Oido	3.7	1.00	Pza.	5	60	0.31
Pantalon plomo	3.7	1.00	Pza.	39	180	0.81
Polo manga larga	3.7	1.00	Pza.	36	180	0.75
Lampara Minera	3.7	1.00	Pza.	115	360	1.19
Mtto. Lampara Minera 10%	3.7	1.00	Pza.	12	360	0.12
Casaca de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20
Pantalon de Jebe	2.0	1.00	Pza.	60	100	1.20
16.14						

5. HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL	PARCIAL / REND.
Lampa		2.00	Pza.	25.0	90	1.04	
Pico		2.00	Pza.	34.0	90	1.41	
Llave Stilson de 16"		1.00	Pza.	42.0	360	0.22	
Llave Francesa 12"		1.00	Pza.	95.0	360	0.49	
Atacador		5.00	Pza.	8.0	60	1.25	
Curcharillas		2.00	Pza.	15.0	60	0.94	
Barretillas		3.00	Pza.	50.0	120	2.34	
Saca Barreno		1.00	Pza.	7.7	360	0.04	
Soplete de Taladros		1.00	Pza.	15.0	360	0.08	
Combo 6 Lbs		1.00	Pza.	30.0	90	0.62	
Otros (17% del total)				0.17		1.43	
8.08							

6. AIRE COMPRIMIDO

DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL		
Compresora 750		6.00	Hrs/Disparo	100000.0	60000	10.00		
Mtto. y Repuestos (30%)		6.00	Hrs/Disparo	30000.0	60000	3.00		
Aceite de motor 15W40		0.24	Gl/Disparo	54.0	1	12.96		
Aceite Hidraulico 68 plus		0.06	Gl/Disparo	45.0	1	2.70		
Combustible		45.00	Gl/Disparo	11.0	1	495.00		
Tuberia de polietileno de 2"		100.00	mt/Disparo	10.5	3650	0.29		
							429.47	
7. VENTILACION								
DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL		
Generador electrico		5.00	Hrs/Disparo	90000.0	18000	25.00		
Mtto. y Repuestos (50%)		5.00	Hrs/Disparo	45000.0	18000	12.50		
Aceite de motor 15W40		0.08	Gl/Disparo	50.0	1	4.00		
Combustible		7.50	Gl/Disparo	11.0	1	82.50		
Ventilador		5.00	Hrs/Disparo	50000.0	18000	13.89		
Mtto. y Repuestos (60%)		5.00	Hrs/Disparo	30000.0	18000	8.33		
Mangas de 10"		100.00	mt/Disparo	4.7	1825	0.26		
							120.06	
8. LIMPIEZA Y ACARREO								
DESCRIPCION	INCID.	CANTIDAD	UND.	PRECIO	VIDA UTIL	PARCIAL		
Carro U -35	3	3.00	Hrs/Disparo	25000.0	12000	18.75		
Mtto. y Repuestos (50%)	3	3.00	Hrs/Disparo	15000.0	12000	11.25		
							24.59	
8. ALIMENTACION								
DESCRIPCION	INCID.	CANT.	UNID.	PRECIO	% PAGADO	PARCIAL	PARCIAL / REND.	
Obreros	4	1	menu/diario	24.00	100%	89.76	73.57	

TOTAL COSTO DIRECTO		S/	1,446.80
III. COSTOS INDIRECTOS			
	1. GASTOS GENERALES	10%	144.68
TOTAL COSTO INDIRECTO		S/	144.68
COSTO TOTAL POR METRO LINEAL		S/	1,591.48

