REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Optimización del proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad en la unidad minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte Sociedad Anónima.

Tesis presentada por el Bachiller:

Calderon Motte, Romario

ORCID: 0009-0006-8044-2694

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Morales Valdivia, Javier Antonio

ORCID: 0000-0002-4761-8911

Arequipa - Perú

2026

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Noviembre del 2025

Dictamen: 014605-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 014605, presentado por:

2014402131 - CALDERON MOTTE ROMARIO

Titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA PARCOY - CONSORCIO MINERO HORIZONTE SOCIEDAD ANÓNIMA.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR

40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR

41243378 - TONG LADRON DE GUEVARA JOSE CARLOS
DICTAMINADOR

Optimización del proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad en la unidad minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte Sociedad Anónima.

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	0%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

"Este documento lo dedico en primer lugar a Dios, por su guía, amparo y por permitirme concluir satisfactoriamente mi formación profesional. Asimismo, a mis padres, Guadalupe Motte y José Calderón, por su respaldo constante tanto en lo económico como en lo emocional, ya que gracias a ellos logré crecer como persona y formarme en una institución académica de prestigio que hoy constituye parte esencial de mi alma máter."

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

"Expreso mi gratitud a Dios por haberme dado la fortaleza, la salud y la serenidad necesarias para alcanzar este anhelo. Agradezco también a mis padres por su fe inquebrantable en mis capacidades, a mi pareja por acompañarme y sostenerme en cada etapa de este proceso, y a mi hijo, quien representa la mayor inspiración para continuar avanzando."

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El propósito de este estudio es optimizar el proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad en un 60.39% en el Tj 2070, Nv. 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy-Consorcio Minero Horizonte, evaluando la productividad actual, diseñando la malla de perforación, describiendo la cantidad óptima de carga explosiva, realizando un análisis de los indicadores de los resultados económicos y proponiendo un esquema de capacitación y sensibilización durante el mes de agosto hasta diciembre en el periodo 2024. El documento preciso una metodología de diseño no experimental de nivel descriptivo, utilizando herramientas de recolección de datos como las técnicas de observación y el análisis documental. Sus hallazgos mostraron que con el diseño nuevo de la malla para la sección 3.5 x 3.5 metros, basándose en una longitud de barra de 10 pies, eficiencia de perforación de 92% y eficiencia de voladura de 95%, se obtuvo una cantidad de taladros cargados de 32 unidades, rimados de 4 unidades, donde el total de taladros perforados fue de 36 unidades con un avance de 2.65 metros. Concluyendo que con la optimización del proceso de perforación y voladura se logró incrementar la productividad de avance mensual en 176.22 tn/m^3 y en los costos por disparos se logró disminuir en $571.

Palabras claves: Costos, malla de perforación, productividad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The purpose of this study is to optimize the drilling and blasting process to increase productivity by 60.39% at Tj 2070, Nv. 1865, Zona Rosa of the Parcoy Mining Unit - Consorcio Minero Horizonte, evaluating current productivity, designing the drilling mesh, describing the optimal amount of explosive charge, performing an analysis of the indicators of the economic results and proposing a training and awareness scheme during the month of August to December in the period 2024. The research was based on a non-experimental design methodology at a descriptive level, using data collection tools such as observation techniques and documentary analysis. Their results showed that with the new mesh design for the 3.5 x 3.5 meter section, based on a bar length of 10 feet, drilling efficiency of 92% and blasting efficiency of 95%, a number of loaded holes of 32 units, reamed of 4 units and cutting, where the total number of drilled holes was 36 units with an advance of 2.65 meters. Concluding that with the optimization of the drilling and blasting process, it was possible to increase the monthly advance productivity by 176.22 tn/m^3 and the costs per shot were reduced by $571.

Keywords: Costs, drilling mesh, productivity.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 4

1.1. Planteamiento del Problema 4

1.2. Objetivos 7

1.2.1. General 7

1.2.2. Específicos 7

1.3. Preguntas de Investigación 8

1.4. Líneas de Investigación a la que corresponde el Problema 9

1.5. Palabras Clave 9

1.6. Aporte del Desarrollo de la Tesis 9

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS 13

2.1. Estado del arte 13

2.2. Bases Teóricas de la Investigación 18

2.3. Hipótesis 60

2.4. Variables 61

2.4.1. Variables Dependientes 61

2.4.2. Variables Independientes 62

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 65

3.1. Alcances y Limitaciones 65

3.2. Tipo y Diseño de la Investigación 67

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.3. Población y Muestra o Universo 68

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 68

3.5. Plan de análisis estadístico de los datos 74

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 76

4.1. Análisis e interpretación de resultados 76

4.2. Discusión de Resultados 121

CONCLUSIONES 124

RECOMENDACIONES 125

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 126

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distancia entre taladros 30
Tabla 2 Coeficiente de roca 30
Tabla 3 Factor de carga 32
Tabla 4 Carga promedio por taladro 34
Tabla 5 Burden y distancia entre taladros del arranque 38
Tabla 6 Características técnicas del Emulnor 53
Tabla 7 Características técnicas de la mecha rápida 56
Tabla 8 Características técnicas del cordón detonante 56
Tabla 9 Características técnicas del Carmex 57
Tabla 10 Características técnicas del Famecorte P40 57
Tabla 11 Tiempos de retardo de periodo largo 58
Tabla 12 Tiempo de retardo de periodo corto 59
Tabla 13 Matriz de operacionalización de variables 63
Tabla 14 Datos para el cálculo de la malla de perforación 76
Tabla 15 Datos de perforación 78
Tabla 16 Datos de explosivos 79
Tabla 17 Resultados 80
Tabla 18 Distribución de taladros para malla real 81
Tabla 19 parámetros de campo, de la labor de estudio 83
Tabla 20 Propiedades técnicas de los explosivos a utilizar 84
Tabla 21 Características del explosivo 91
Tabla 22 Datos del explosivo - Emulnor 1000 1 1/8" x 12" 94
Tabla 23 Cálculo de cuadrantes 97
Tabla 24 Distribución de taladros para malla optimizada 104

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 25 Costo de mano de obra- real 105

Tabla 26 Costo de máquinas y equipos - real 106

Tabla 27 Costos de aceros de perforación - real 107

Tabla 28 Costos de materiales y accesorios de perforación - real 108

Tabla 29 Costos de implementos de seguridad - real 109

Tabla 30 Costos de materiales y accesorios de voladura - real 110

Tabla 31 Costos de mano de obra - optimizada 111

Tabla 32 Costos de máquinas y equipos - optimizada 112

Tabla 33 Costos de aceros de perforación - optimizada 112

Tabla 34 Costos de materiales y accesorios de perforación 113

Tabla 35 Costos de implementos de seguridad 114

Tabla 36 Costos de insumos y accesorios de voladura 115

Tabla 37 Comparación entre la malla real vs malla optimizada 115

Tabla 38 Comparación de longitud de barra de perforación 116

Tabla 39 Resumen de costos por avance 118

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de cortes quemados 23

Figura 2 Perforación de taladros en paralelo 23

Figura 3 Tipos de corte cilindro 24

Figura 4 Distribución de taladros 25

Figura 5 Distancia entre el taladro de producción y expansión 28

Figura 6 Escariado de barreno piloto 28

Figura 7 Esquema geométrico de arranque 39

Figura 8 Secciones diferentes en frente establecidas por Holmberg 49

Figura 9 Tipos de emulnor encartuchado 52

Figura 10 Cebado de emulnor usando cordón detonante 54

Figura 11 Taladros cargados con emulnor 54

Figura 12 Flujograma del procedimiento 71

Figura 13 Malla real - Roca regular IIIB 82

Figura 14 Sección de la labor 3.5 x 3.5 m 85

Figura 15 Malla optimizada con Holmberg - Roca regular IIIB 103

Figura 16 Productividad de avance mensual vs real 117

Figura 17 Costo por avance optimizado vs. real 118

ÍNDICE DE ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 1 Matriz de consistencia..... 130

,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La etapa de perforación y voladura constituye un componente esencial en las operaciones mineras, dado su impacto directo sobre la eficiencia en la extracción del mineral, los costos operativos y las condiciones de seguridad del personal, en el contexto del Consorcio Minero Horizonte, se han detectado áreas de mejora orientadas a optimizar esta fase, priorizando la disminución de los tiempos de ejecución, la racionalización del uso de insumos y la mitigación de efectos ambientales, con este propósito, la investigación busca la mejora de su productividad de esta empresa en la mejora de perforación y voladura, implementando estrategias técnicas que incrementen la eficiencia operativa, garantizando al mismo tiempo la integridad de sus resultados y cumplimiento de sus estándares de seguridad.

Esta investigación se estructura en seis capítulos, cada uno diseñado para abordar de manera progresiva los aspectos fundamentales del estudio. El primer capítulo plantea la investigación mediante formulación del problema, definición de sus objetivos generales y específicos, preguntas de estudio e importancia de mejorar la parte de perforación y voladura, el segundo capítulo abarca los fundamentos teóricos, presentando antecedentes y bases conceptuales relacionadas con la planificación operativa, la proporción de materiales, el uso de explosivos y los indicadores de productividad minera.

El tercer capítulo expone su marco metodológico, detallándose su alcance y las limitaciones del estudio, tipo de investigación, población y porción, así como métodos de recolectar data y examinación de data, posteriormente se presentan sus resultados adquiridos tras la aplicación de sus estrategias de optimización, mientras que el quinto capítulo se centra en sus conclusiones y recomendaciones, sintetizando los principales hallazgos y proponiendo acciones para mejorar el proceso, finalmente, en el sexto capítulo se incluyen los anexos, que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

contienen documentos adicionales que respaldan el estudio, esta investigación pretende aportar y fomentar la implementación de soluciones técnicas que favorezcan una minería más eficaz y sustentable, promoviendo prácticas que optimicen el uso de los recursos y contribuyan a la mejora de su rentabilidad y competitividad de sus operaciones en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Según Minaria Sostible de Galicia (2022) cerca del 45 % de la actividad económica global está vinculada directa o indirectamente al sector minero, lo que evidencia su rol estratégico en el dinamismo económico mundial, la minería constituye un componente indispensable para el desarrollo de infraestructura, la implementación de procesos de transición energética y la mejora del bienestar social, en este contexto, la productividad minera se posiciona como un elemento crítico, al facilitar su optimización de recursos, disminución de costos operativos y el fortalecimiento de su competitividad en un entorno de alta exigencia, para alcanzar estos objetivos, resulta fundamental la adopción de tecnologías de avanzadas, prácticas operativas sostenibles y enfoques innovadores que permitan aumentar la eficiencia de sus operaciones y consolidar el aporte del sector al crecimiento económico global.

De acuerdo con Statista (2024) en el año 2021, América Latina registró una producción aproximada de 1.200 millones de toneladas métricas de minerales, este resultado refleja una reducción de un 7.2% respecto a los valores registrados en el periodo 2018. Esta disminución pone de manifiesto las dificultades estructurales que afronta el sector minero en el ámbito regional, entre ellas la volatilidad de la demanda internacional y su impacto en los niveles de producción y rentabilidad, restricciones operativas, y la necesidad de adaptarse a estándares más estrictos en materia ambiental y social, este escenario destaca la importancia de implementar estrategias que incrementen la productividad minera, factores, la automatización de procesos, la gestión responsable y orientada a la eficiencia de los recursos y la capacitación del personal pueden contribuir significativamente a optimizar las operaciones, la mejora en la productividad no solo puede mitigar los efectos de la disminución en la producción, sino también impulsar la competitividad del sector en el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mercado global, garantizando un uso más sostenible y rentable de los recursos minerales de la región.

Conforme con Sociedad de Comercio Exterior del Perú (2024) el sector minero en Perú registró su peor desempeño en dos años, con una contracción del 8,1 %, este resultado se atribuye a una disminución en la producción acumulada de 43 minas bajo el régimen general y de 188 pequeños productores, los cuales representan el 41,9 % de la producción nacional, este grupo de productores, localizado principalmente en zonas de influencia minera dentro de sus departamentos de Madre de Dios, Puno y Arequipa, experimentó una caída significativa del 19,4 % en el mismo periodo, asimismo, 33 productores cesaron sus operaciones comparado con los indicadores reportados en igual mes del año precedente, evidenciando un entorno desafiante para su sostenibilidad y lo productivo operacional de minerías en tales zonas impredecibles.

Según Cruz (2024) en La Libertad durante el periodo evaluado, la industria minera contribuyó con más de 227, 000 puestos de trabajos directos, evidenciando un crecimiento de un 6.4% respecto al mismo mes del periodo 2023,este crecimiento destaca la contribución de la minería al fortalecimiento del mercado laboral, con una distribución significativa a nivel departamental que evidencia su impacto positivo en diversas regiones del país, este progreso también señala la importancia de continuar invirtiendo en innovación y capacitación para maximizar el potencial de la fuerza laboral en el sector minero.

El Consorcio Minero Horizonte enfrenta actualmente una problemática relacionada con la disminución de la productividad en sus operaciones mineras, situación que repercute directamente en la eficiencia operativa, los costos de producción y la competitividad de la organización dentro del sector minero. Entre los factores que influyen en esta problemática se encuentran, en primer lugar, los costos operativos, los cuales se han visto afectados por el incremento sostenido de los costos energéticos, generando un impacto negativo en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

rentabilidad y en la capacidad competitiva de la empresa. Asimismo, la disponibilidad de recursos constituye una limitante importante, debido a la escasez de personal especializado y a las restricciones en el acceso a determinados insumos minerales clave para el desarrollo de las operaciones.

Del mismo modo, las condiciones de trabajo en el entorno minero representan un factor crítico que puede afectar el desempeño productivo. Los trabajadores se encuentran expuestos a diversos riesgos físicos, tales como caídas de altura, electrocución, derrumbes, colapsos y explosiones, los cuales pueden generar incidentes o paralizaciones en las actividades operativas. A ello se suman las condiciones ambientales propias de la minería subterránea, caracterizadas por el incremento de la temperatura y la humedad, factores que influyen en el flujo de calor proveniente de la roca y del agua subterránea, afectando el ambiente laboral y el rendimiento de los trabajadores. Asimismo, el mantenimiento de los equipos constituye otro elemento determinante, ya que una gestión inadecuada puede ocasionar pérdidas en el rendimiento, aprovechamiento y utilización de la maquinaria, repercutiendo directamente en la continuidad y eficiencia de las operaciones.

En relación con los resultados de productividad, el análisis del plan de minado correspondiente al periodo enero–junio muestra que la producción planificada y la producción real alcanzaron 310 742 toneladas, logrando un avance del 100 %. Sin embargo, durante el periodo julio–diciembre, la producción planificada fue de 460 041 toneladas, mientras que la producción real alcanzó 433 348 toneladas, lo que representa un avance del 95 %. Esta diferencia evidencia una brecha entre lo planificado y lo ejecutado, lo que refleja una disminución en la productividad de las operaciones.

En este contexto, la persistencia de estos factores operativos, técnicos y ambientales podría continuar afectando el cumplimiento de las metas de producción y la eficiencia de los procesos mineros. Por ello, resulta necesario analizar de manera integral los factores que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

inciden en la productividad del Consorcio Minero Horizonte, con la finalidad de identificar las principales causas de la brecha productiva y proponer estrategias o mejoras que contribuyan a optimizar el rendimiento operativo y el cumplimiento de los objetivos de producción establecidos por la empresa.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Optimizar el proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad de avance mensual a 176,22 tn/m³ en el TJ 2070, Nivel 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte, mediante la evaluación de la productividad actual, el diseño de una malla de perforación adecuada, la determinación de la cantidad óptima de carga explosiva, el análisis de los indicadores económicos de los resultados obtenidos y la propuesta de un esquema de capacitación y sensibilización para el personal durante el periodo de agosto a diciembre de 2024.

1.2.2. Específicos

Evaluar la productividad actual del proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

Diseñar una malla de perforación utilizando el modelo matemático de Holmberg, con la finalidad de optimizar el proceso de perforación y reducir los costos operativos en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

Determinar la cantidad óptima de carga explosiva para mejorar los resultados operacionales del proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

Analizar los indicadores de los resultados económicos derivados de la implementación del diseño de la malla de perforación en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Proponer un esquema de capacitación y sensibilización dirigido al personal involucrado en el proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

1.3. Preguntas de Investigación

1.3.1. Pregunta general

¿Cómo optimizar el proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad en el TJ 2070, Nivel 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte, mediante la evaluación de la productividad actual, el diseño de la malla de perforación, la determinación de la cantidad óptima de carga explosiva, el análisis de los indicadores de los resultados económicos y la propuesta de un esquema de capacitación y sensibilización durante el periodo de agosto a diciembre del año 2024?

1.3.2. Preguntas específicas

¿Cuál es el estado actual de la productividad en el proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

¿De qué manera el diseño de una malla de perforación, utilizando el modelo matemático de Holmberg, puede contribuir a la disminución de los costos en el proceso de perforación en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

¿Cuál es la cantidad óptima de carga explosiva que permita maximizar la eficiencia y mejorar los resultados operativos del proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

¿Qué variaciones se presentan en los indicadores de los resultados económicos tras la implementación de un diseño optimizado de malla de perforación en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

¿Qué características debe presentar un programa de capacitación y sensibilización para mejorar las competencias y el desempeño del personal en el proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

1.4. Líneas de Investigación a la que corresponde el Problema

Esta investigación se alinea con la optimización de procesos mineros.

1.5. Palabras Clave

Costos, malla de perforación, productividad.

1.6. Aporte del Desarrollo de la Tesis

1.6.1. Justificación e Importancia

La presente investigación se centra en el mejoramiento del proceso de perforación y voladura con la finalidad de incrementar la productividad en la Unidad Minera Parcoy. Desde el punto de vista **teórico**, el estudio se sustenta en diversas teorías y enfoques relacionados con la optimización de operaciones mineras, considerando antecedentes de investigaciones, artículos científicos y estudios tanto nacionales como internacionales vinculados al proceso de perforación y voladura. Estos aportes teóricos permiten comprender los criterios técnicos y operacionales que deben considerarse para optimizar dicho proceso, contribuyendo a la generación de conocimiento aplicado sobre el diseño de mallas de perforación, la determinación de la carga explosiva adecuada y la mejora de la eficiencia operativa en las actividades mineras.

Asimismo, la investigación se justifica desde el **enfoque práctico**, debido a que aborda un aspecto estratégico de alta relevancia para las operaciones de la Unidad Minera Parcoy. La aplicación de los resultados permitirá contribuir a la mejora continua de los procesos de perforación y voladura, considerando parámetros operativos clave como la configuración óptima de la malla de perforación, la cantidad adecuada de carga explosiva y la implementación de programas de capacitación dirigidos al personal involucrado. De esta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

manera, se busca optimizar el desempeño operativo y mejorar los niveles de productividad en la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.

Desde la perspectiva **económica**, la optimización del proceso de perforación y voladura permitirá incrementar la productividad de las operaciones mineras, lo que a su vez contribuirá a la reducción de costos operativos, al mejor aprovechamiento de los recursos y a la mejora de la rentabilidad de la empresa. Esto fortalecerá el posicionamiento del Consorcio Minero Horizonte dentro del sector minero nacional e internacional. Además, la reducción de tiempos y costos operacionales favorecerá la optimización de los márgenes de ganancia y la estabilidad económica de la organización a largo plazo.

Por otro lado, la investigación también presenta una **justificación social**, ya que la mejora en la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras permitirá que la empresa continúe generando oportunidades de desarrollo para las comunidades cercanas a la zona de influencia de la operación. Asimismo, el fortalecimiento económico de la empresa puede facilitar la inversión en programas sociales, educativos y de bienestar dirigidos tanto a los trabajadores como a las comunidades aledañas, contribuyendo al desarrollo local y al fortalecimiento de la relación entre la empresa y su entorno social.

Finalmente, esta investigación resulta **relevante e importante**, ya que contribuirá a que el Consorcio Minero Horizonte mantenga su competitividad en un mercado minero cada vez más exigente. La optimización de los procesos de perforación y voladura permitirá maximizar el rendimiento de los recursos, incrementar la eficiencia de las operaciones, reducir costos y mejorar la sostenibilidad del proyecto minero. Asimismo, la incorporación de mejoras técnicas y la capacitación continua del personal constituyen elementos fundamentales para fortalecer la productividad y consolidar el posicionamiento de la empresa dentro de la industria minera, contribuyendo además al desarrollo económico de la región de La Libertad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.6.2. Descripción de la Solución

En la presente investigación se emplea la metodología SMART como herramienta para definir y orientar el cumplimiento de los objetivos específicos previamente planteados. En este sentido, la propuesta de solución se enfoca en la optimización del proceso de perforación y voladura en el Consorcio Minero Horizonte, mediante la implementación de una serie de acciones estratégicas y técnicas orientadas a incrementar la productividad, reducir los costos operativos, minimizar los tiempos de ejecución de las operaciones y mejorar la rentabilidad de la unidad minera.

Como parte de esta propuesta, se considera el rediseño de la malla de perforación, ajustando parámetros fundamentales como la distancia entre los taladros (burden y espaciamiento) y el diámetro de perforación, con la finalidad de mejorar la fragmentación del material y optimizar el proceso de perforación y voladura. Asimismo, se plantea la aplicación de técnicas de voladura más eficientes, entre ellas la optimización de la secuencia de detonación, lo cual permitirá obtener una fragmentación más uniforme y controlada, facilitando las operaciones posteriores de carguío y transporte, y contribuyendo al incremento de la productividad.

De igual manera, se propone la implementación de un programa de capacitación y sensibilización dirigido al personal operativo, con el objetivo de fortalecer sus conocimientos y competencias en la aplicación de las nuevas metodologías y buenas prácticas relacionadas con los procesos de perforación y voladura. Finalmente, se plantea establecer un sistema de monitoreo y observación continua de las actividades operativas, que permita evaluar el desempeño de los procesos, asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas y aplicar principios de mejora continua mediante la realización de ajustes cuando sea necesario.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

Condor et al. (2024) su propósito de seleccionar el modelo matemático más pertinente para el rediseño de la malla de perforación y voladura en el corte SE Nv. 1680 de la mina Tingo requiere una evaluación integral de la roca, del proceso operativo y de sus componentes técnicos involucrados en las actividades operativas. este análisis incluye la revisión de la malla actualmente implementada, orientándose a optimizar sus parámetros de diseño, mejorar su eficiencia de los procesos y potenciar su productividad en la operación minera. El documento lo llevaron a realizar bajo un diseño metodológico de tipo preexperimental, con enfoque aplicado, retrospectivo y transversal, su recopilación de datos se realizó mediante revisión documental, análisis de parámetros operativos de perforación y voladura, examinación geomecánica a través de los índices RMR y GSI, así como el registro sistemático de observaciones en el cuaderno de campo. El nuevo diseño de malla generó mejoras notables en su productividad, evidenciada por la disminución del 18.87% en los costos por disparo. Este cambio conllevó a un ahorro mensual estimado de S/. 49,140 en el corte SE Nv. 1680 en mina Tingo, perteneciente a CMPSA, Pataz. Su aplicación de este modelo matemático apropiado para su rediseño de su malla de perforación y voladura se consolidó como una solución efectiva para su optimización de procesos mineros, evidenciando una disminución sustancial en los costos operativos asociados.

Lozynskyi (2024) su propósito de optimizar sus fases de perforación y voladura mediante su técnica de formación de cavidades de corte, determinando los parámetros óptimos para la disposición de barrenos de amortiguación y auxiliares en minas. La metodología se basa en actividades experimentales e industriales para evaluar la profundidad óptima de los barrenos de amortiguación en relación con los barrenos de la segunda sección. Se utiliza la técnica de formación de cavidades de corte para perforar y romper mineral en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

caserones con diferentes resistencias de la masa rocosa rota. Sus resultados experimentales mostraron que la técnica propuesta de formación seccional de cavidades de corte aumentó el coeficiente de uso de los barrenos de amortiguación (BUC) del 0,88 al 0,97. El estudio demuestra que su aplicación de esta técnica de formación de cavidades de corte mejora significativamente la facilidad de sus operaciones de perforación y voladura. La mejora de sus parámetros de los barrenos de amortiguación y auxiliares aumenta el coeficiente de uso de los barrenos y reduce sus gastos de proceso.

Adauto y Huanuco (2022) tuvieron como propósito optimizar sus criterios de perforación y voladura para minimizar sus gastos de labor en sus frentes de preparación de UM Apminac Pulpera. Su metodología fue aplicada, descriptiva y explicativa. Los resultados evidenciaron que su implementación del novedoso modelado de malla de perforación y buena carga explosiva incrementaron su eficiencia de avance en un 22%, pasando de 2.5 m/disparo a 3.05 m/disparo. Asimismo, se logró reducir la sobrerotura en un 18%, disminuyendo el sobreconsumo de explosivos en 12 kg/disparo. Se concluyó que su optimización de su proceso de perforación y voladura influyó positivamente en su minimización de gastos laborales, generando un ahorro de $ 150 por metro de avance, lo que representó una disminución del 15% en sus costos totales de operación.

Adedara et al. (2022) con el fin de desarrollar una técnica de voladura alternativa para mejorar su productividad y seguridad en sus operaciones de la cantera Oakyam, en Nigeria, la investigación implicó la sustitución de relés de retardo por detonadores eléctricos para la secuenciación de la voladura, el reemplazo de laterita por virutas de granito de 16 mm para el desbarbado, y la adopción de una carga de cubierta en lugar del método convencional. Los resultados experimentales mostraron que la técnica de voladura alternativa logró un mayor grado de fragmentación en comparación con la técnica convencional, con una mínima explosión de aire y vibración del suelo. También se redujo significativamente el número de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

rocas proyectadas. Además, la nueva técnica permitió una reducción del 14 al 16 % en el consumo de explosivos, lo que mejoró la rentabilidad de las operaciones de la cantera. Esta técnica de voladura alternativa desarrollada ha evidenciado ser más efectiva y segura que los métodos convencionales aplicados en la cantera Oakyam. Esta técnica más allá de mejorar su fragmentación de la roca también disminuye los impactos adversos asociados con la voladura, como la vibración del suelo y las rocas proyectadas.

Idone y Tinta (2022) tuvo como propósito optimizar su funcionalidad de perforación y voladura para enaltecer su rendimiento operativo en UM Las Bravas Ica II. La metodología fue aplicada, descriptiva y experimental. Sus resultados evidenciaron que su optimización de su diseño de malla permitió mantener una eficiencia del 88 % con el progreso real de 1.35 metros por disparo, el diseño estándar utilizaba 40 taladros, generando 17.68 toneladas métricas por disparo, mientras que el nuevo diseño empleó 33 taladros cargados y 3 de alivio, logrando una reducción de 7 taladros sin afectar su productividad, traduciéndose en un mejoramiento operativo significativo, disminuyendo sus tiempos de perforación en 0.77 hr; con respecto a la voladura se modificó de manera considerable, ya que con el diseño de su nueva malla se utilizó 12.62 kg, logrando reducir 3.79 kg de explosivo por disparo, evidenciando una disminución del FC de 2.41 a 1.83 kg/m3 y su factor carga lineal de 12.15 a 9.21 kg/m. Concluyendo que con su optimización de su proceso de perforación y voladura lograron disminuir sus costos/disparo en S/. 1161.93, en sus costos/metro lineal se redujo en S/. 847.13 y para los costos/Tn se disminuyó en 47.22 soles/Tn, evidenciando el ahorro de 5.85 soles/Tn extraída.

Huincho (2022) tuvo como propósito optimizar sus actividades de perforación y voladura para maximizar su eficiencia de avance y mitigar sus efectos de la sobrerotura en sus frentes de avance de la UM Cerro Lindo. Su metodología empleada fue de tipo experimental, permitiendo modificar intencionalmente su variable independiente con la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

finalidad de identificar cambios en las variables dependientes. Los resultados evidenciaron una mejora en su eficiencia de avance, incrementándose del 88.20% al 93.60%, con el avance promedio de 4.85 metros. Asimismo, se logró reducir su sobrerotura de 14.90 a 8.70%, contribuyendo a una mayor estabilidad de su macizo rocoso y a su reducción de costos operativos. Se concluyó que su optimización de su proceso de perforación y voladura influye positivamente en su eficiencia de avance y en su control de la sobrerotura, permitiendo alcanzar sus objetivos de producción mensual previstos, integrando acciones orientadas al fortalecimiento de su seguridad operacional.

Idrissa y Sanoh (2022) su propósito de mejorar su eficiencia de la extracción y disminuir las molestias causadas por las vibraciones durante el proceso de voladura. La metodología empleada estuvo orientada a caracterizar sus condiciones del fondo del yacimiento de bauxita, las cuales son ricas en reservas y con un mercado de gran demanda. Se llevaron a cabo estudios detallados sobre las prácticas de voladura, específicamente en cuanto a los tipos de explosivos, la selección de equipos de voladura, y la elección del modo de voladura longitudinal. La optimización permitió una reducción de la tasa de fragmentos grandes de hasta un 15%, lo que contribuyó a un mejor aprovechamiento del mineral extraído. Además, la producción aumentó en un 20% en comparación con las prácticas anteriores, lo que resultó en un incremento notable de la eficiencia operativa. En cuanto a las vibraciones generadas durante las voladuras, se observó una reducción del 25% en su intensidad, lo que minimizó las molestias en las áreas cercanas a la mina y cumplió con los estándares ambientales establecidos para la actividad minera. Este estudio demuestra que su optimización de sus parámetros de voladura en su mina de bauxita de Sangaredi es una estrategia eficaz para mejorar su eficiencia en su extracción, incrementar su producción y disminuir su impacto ambiental de sus vibraciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anchapuri (2021) tuvo como propósito determinar el nuevo diseño de malla de perforación y una adecuada carga explosiva para disminuir sus costos en su ejecución de Gl 819E Mina Yanaquihua. La metodología fue aplicada, descriptiva, correlacional y explicativa. Los resultados evidenciaron que con su nuevo diseño de malla de perforación superaron su problemática del bajo rendimiento de avance/disparo, logrando optimizarse en 20.58%, incrementando en 1.36 m/disparo; en cuanto a la cantidad de carga explosiva se logró reducir un promedio de 18.66%, es decir que se redujo en 9.11 kg/disparo, demostrando que su diseño de malla de perforación influye de forma positiva en su estandarización, utilizando un total de cartuchos de 111 cartuchos/disparo, siendo Semexa 80% y Semexa 60%. Llegando a concluir que con su nuevo diseño de malla de perforación lograron disminuir su número de taladros y su adecuada distribución de sus taladros en el frente de su Gl 819E, disminuyendo sus costos unitarios en US$ 166.67, ahorrando 46.26 US$/metro de avance lineal.

Otto y Lindeque (2021) con el fin de optimizar la productividad de los equipos de minería pesada en mina a cielo abierto a través de un proceso mejorado de planificación a corto plazo, la metodología consistió en implementar un proceso mejorado de planificación de minas a corto plazo en la mina de Kolomela, que se incorpora dentro de sus etapas productivas que componen su cadena de valor en operaciones de minería a tajo abierto. Este proceso se centró en la sincronización de las actividades mineras, destacando las interdependencias entre ellas, los resultados mostraron mejoras significativas en la productividad de los HME. El uso de la zona minera en pozo de Leeuwfontein mejoró del 71 al 90%. Su frecuencia de voladuras se redujo en 14%, mientras que el tamaño promedio de voladuras aumentó en17%. Su recorrido total durante sus reubicaciones de palas se redujo en 16%, y el tiempo perdido relacionado con su reubicación de perforadoras disminuyó en 53%. Como resultado de estas mejoras, su tasa de carga de pala de desechos principal en Kolomela

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

aumentó en un 11%, pasando de 0.9 Mt/mes en 2019 a 1.0 Mt/mes en 2020. La implementación del proceso STMP mejorado en la mina de Kolomela resultó en un aumento significativo de la productividad de los equipos de minería pesada, optimizando la utilización de recursos y reduciendo los tiempos de inactividad.

Yussupov et al. (2021) con el fin de mejorar la fragmentación del mineral, lo cual tiene un efecto sustancial en su eficiencia del procesamiento, productividad y sus costos operacionales, se realizaron experimentos de voladura en la mina para evaluar su efecto de sus modificaciones en su diseño de voladuras sobre la fragmentación del mineral. La metodología incluyó tres enfoques principales: primero, llevándose a cabo el análisis teórico y práctico revisando la literatura científica y las prácticas mineras vigentes para identificar sus parámetros relevantes en su proceso de voladura. Después, se diseñaron y ejecutaron voladuras experimentales utilizando distintas configuraciones de carga explosiva para generar tensiones preliminares en el bloque de mineral. Los resultados de las voladuras experimentales indicaron una mejora notable en la fragmentación del mineral. Las modificaciones en el diseño de voladura redujeron el tamaño de las partículas, lo que aumentó la eficiencia en los procesos de procesamiento del mineral. Aunque las modificaciones implicaron un incremento en los costos iniciales de minería, sus beneficios a largo plazo, en términos de disminución de los costos de procesamiento, justificaron esta inversión adicional. El estudio confirma que su optimización de su diseño de perforación y voladura mejora su fragmentación del mineral, lo que tiene un efecto positivo en su eficiencia operativa y disminución de costos en el procesamiento.

2.2. Bases Teóricas de la Investigación

2.2.1. Optimización del proceso de perforación y voladura

Según Dammert (2021) implica en la mejora continua de las metodologías utilizadas en la extracción de material rocoso mediante perforaciones y voladuras en las actividades

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mineras, cuyo fin es lograr un equilibrio entre su eficiencia operativa, disminución de costos, minimización de impactos ambientales y el incremento de la productividad, para alcanzar estos objetivos, es necesario ajustar variables clave, como sus parámetros de perforación, selección de explosivos adecuados, los diseños de mallas de voladura y los tiempos de disparo, estos ajustes permiten obtener una fragmentación más homogénea de la roca, un uso más eficiente de los explosivos y un avance más rápido en las excavaciones.

2.2.1.1. Perforación.

Se define como una de las operaciones más esenciales para el sector minero a partir de costos e influencias con respecto a los rendimientos de las siguientes operaciones mineras, finalizando en sus resultados de producción minera, de tal manera que existen diferentes métodos de perforación como perforación manual, neumática, eléctrica e hidráulica (ISE, 2022). Además, es una de las primeras operaciones para su preparación de la voladura, teniendo la finalidad de realizar huecos cilíndricos que se destinan a depositar explosivos y accesorios iniciadores, denominándose como barrenos, taladros y blast holes (Castro y Rosado, 2023).

2.2.1.2. Voladura.

Consta en una operación de fragmentar esta roca a través de su empleo de explosivos y teniendo en cuenta accesorios para voladura, de tal manera, que se ejecutan para que puedan conseguir una adecuada fragmentación de roca de acuerdo a lo solicitado por parte de la empresa o compañía minera (Condori y Velazco, 2021). Asimismo, esta etapa consta en un procesamiento tridimensional, donde estas presiones son originadas mediante sus explosivos limitados dentro de sus taladros perforados en una roca, originándose en la zona de concentración de energía alta, produciéndose desplazamientos y fragmentaciones, denominándose como efectos dinámicos (Castro y Rosado, 2023).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.2. Parámetros de diseño de malla de perforación y voladura

Es un gráfico con una estructura clara, y su función es dividir y mover explosivos de acuerdo a los requerimientos del operador. Un buen diseño de malla requiere una investigación geomecánica de campo (Romani, 2018).

- ✓ **Parámetros de la roca**

  En el análisis de los parámetros de su macizo rocoso para actividades de perforación, es fundamental considerar las variables no controlables que pueden influir en el comportamiento del terreno, entre ellas se incluyen las propiedades físicas del material, como tenacidad, grado de alteración, dureza, porosidad, densidad y variabilidad litológica; sus propiedades mecánicas y elásticas, tales como resistencia a la compresión, tensión, cohesión, fricción interna y respuesta sísmica; así como las condiciones geológicas del entorno, que abarcan la estructura del macizo, el grado de fisuramiento y la presencia de agua subterránea, estos factores inciden de forma directa en su eficiencia de su proceso de perforación y voladura, y deben ser evaluados con rigurosidad técnica.

- ✓ **Parámetros del explosivo**

  A diferencia de sus condiciones geológicas de su macizo rocoso, los parámetros asociados a los explosivos constituyen variables controlables mediante herramientas de cálculo modernas, gracias a los avances en ingeniería de voladura, las empresas fabricantes proporcionan información detallada sobre las características del explosivo utilizado, lo que permite ajustar su aplicación de forma precisa y eficiente en términos de respuesta funcional frente a sus características del terreno evaluado y sus objetivos operacionales (EXSA, 2015). Las propiedades físico-químicas de los explosivos comprenden una serie de parámetros fundamentales para su caracterización y desempeño en campo. Entre ellos se destacan su densidad del material, velocidad de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

detonación, capacidad de transmisión o simpatía entre cargas, la resistencia al agua, la energía liberada durante la reacción explosiva, la sensibilidad al sistema de iniciación, el volumen estándar de gases generados, la presión ejercida en el taladro y el nivel de emisión de humos, estos atributos permiten evaluar la eficiencia, seguridad y adaptabilidad del explosivo frente a distintas condiciones geotécnicas y operativas.

- ✓ **Parámetros de carga**

  Durante la etapa de diseño de su malla de perforación y voladura, existen múltiples parámetros operativos que pueden ser ajustados para optimizar el rendimiento del proceso, entre estas variables controlables se encuentran el diámetro y la profundidad de sus taladros, grado de confinamiento y acoplamiento de su carga, la densidad y longitud del explosivo, el tipo y la ubicación del cebo, la distribución energética en el macizo, los intervalos de iniciación y otros aspectos relacionados con la perforación, la correcta configuración de estos elementos permite mejorar la fragmentación, reducir impactos ambientales y maximizar la eficiencia operativa (EXSA, 2015).

2.2.3. Tipos de arranques o cortes

Los distintos tipos de corte utilizados en operaciones de perforación y voladura pueden clasificarse según su geometría y disposición en el macizo rocoso, aunque reciben diversas denominaciones en función de su configuración específica, todos pueden agruparse en dos categorías principales, siendo cortes angulares y cortes paralelos, esta clasificación permite estandarizar el diseño de mallas y adaptar la estrategia de excavación a las condiciones geotécnicas del terreno.

Se denomina de esta manera a los taladros inclinados respecto al plano del frente de trabajo, cuyo propósito es generar, durante la detonación, un área de ruptura en forma de cono con una base amplia correspondiente a su cara libre y una profundidad intermedia, la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

cual varía según las características geomecánicas del terreno, esta configuración favorece la eficiencia en la fragmentación inicial y facilita el avance del corte.

2.2.3.1. Cortes paralelos.

El corte paralelo se configura mediante su perforación de tres o más taladros horizontales, dispuestos de forma equidistante y alineados con el eje longitudinal de la galería, en terrenos de mayor dureza, se requiere reducir la separación entre taladros para garantizar una adecuada fragmentación, dentro del conjunto de taladros que conforman corte o cuele, uno o varios se dejan sin carga con su propósito de generar una cara libre que facilite la expulsión del material fragmentado por los taladros cargados, este tipo de arranque se clasifica en tres variantes principales, según la disposición y función de los taladros dentro del diseño de voladura, siendo corte quemado, cilíndrico con taladros de alivio y escalonada por tajadas horizontales (EXSA, 2015).

En este tipo de arranque, todos sus taladros se ejecutan de forma paralela y con un diámetro uniforme, la estrategia consiste en cargar selectivamente algunos de ellos con su cantidad adecuada de explosivo, mientras que otros se dejan sin carga para generar espacios libres que faciliten la expansión del macizo rocoso durante la detonación, para garantizar una ruptura eficiente, es necesario disponer de un número adecuado de taladros vacíos; además, todos sus taladros correspondientes al arranque deben perforarse con una profundidad adicional de seis pulgadas respecto a los demás taladros del trazado, con el fin de asegurar una cara libre efectiva y mejorar la fragmentación inicial (EXSA, 2015).

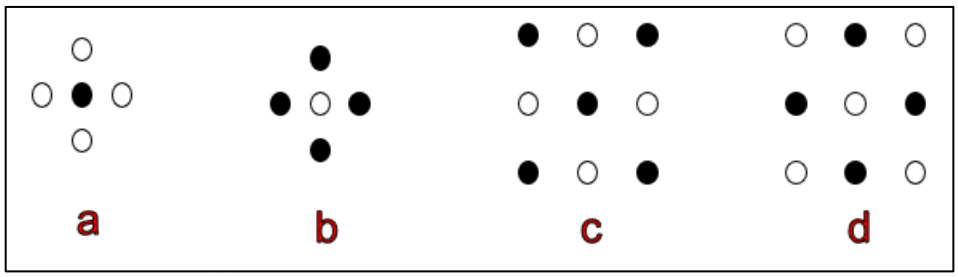
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 1

Tipos de cortes quemados



Nota. Tomado de EXSA (2015).

Figura 2

Perforación de taladros en paralelo

Nota. Tomado de EXSA (2015).

- ✓ **Corte quemado**

Las ventajas del corte quemado son las siguientes:

- Es especialmente adecuado para macizos rocosos de alta dureza, donde otros tipos de corte resultan menos efectivos.
- Facilita un avance eficiente en la excavación, gracias a la configuración de sus taladros y distribución de energía.

Sus desventajas del corte quemado son las siguientes:

- La proximidad requerida entre los taladros y la necesidad de mantener un paralelismo estricto dificultan la ejecución precisa del diseño.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Este tipo de corte demanda una mayor cantidad de explosivo, lo que puede incrementar los costos operativos y requerir medidas adicionales de seguridad.

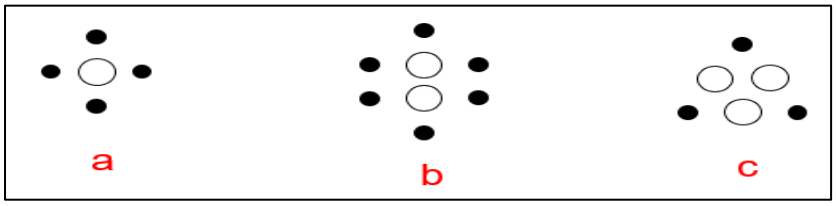
✓ **Corte cilindro**

Presenta una configuración similar al corte quemado, pero incorpora uno o más taladros centrales sin carga y de diámetro mayor que los demás, favoreciendo su formación de una cavidad cilíndrica inicial, esta disposición suele generar un mayor avance en la excavación respecto al corte quemado, un aspecto crítico en este diseño es el cálculo del burden, es decir, su distancia entre taladro central vacío y taladro cargado más cercano, la cual puede estimarse mediante su vínculo: B = 0,7 x diámetro del taladro central, es importante no confundir esta medida con su distancia entre centros de taladros, comúnmente empleada en otros contextos de diseño.

Cuando se emplean dos taladros de gran diámetro como parte del diseño de arranque, la relación utilizada para calcular el burden se ajusta a esta fórmula: B = 0,7 × 2 × diámetro del taladro central, este valor representa la distancia óptima entre sus taladros cargados más próximos y los taladros vacíos centrales, con el fin de garantizar una expansión eficiente del macizo rocoso, además, como regla práctica, se recomienda que la separación entre taladros paralelos sea equivalente a 2,5 veces el diámetro del taladro, lo que contribuye a mantener una distribución energética uniforme y mejorar la fragmentación (EXSA, 2015).

Figura 3

Tipos de corte cilindro



Nota. Tomado de EXSA (2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

✓ **Ventajas**

- Altamente recomendado para macizos rocosos de elevada dureza, donde se requiere una configuración robusta de corte.
- Facilita un progreso eficiente en la excavación, optimizando el rendimiento por ciclo de avance.

✓ **Desventajas**

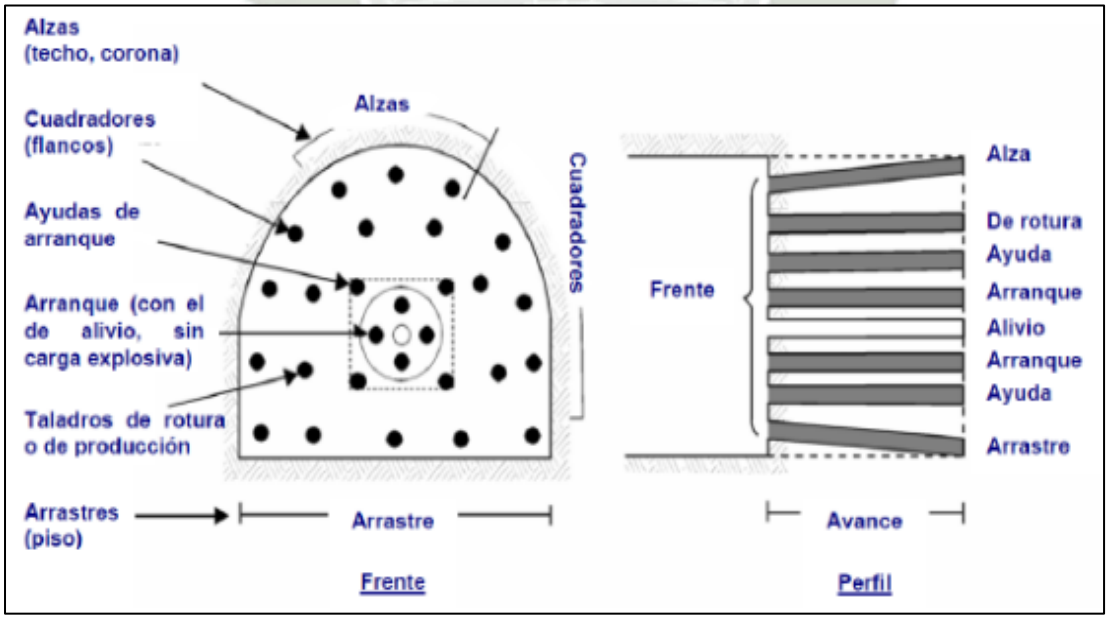
- Presenta una mayor demanda temporal en la etapa de perforación, debido a las características del sustrato o a la configuración del equipo utilizado.

2.2.4. Distribución de taladros de perforación

La disposición de los barrenos se realizará en torno al punto de inicio, partiendo desde el núcleo de la zona de voladura, su clasificación se establecerá según el esquema que se detalla a continuación.

Figura 4

Distribución de taladros



Nota. Partes de malla de perforación y voladura. Tomado de Ynfantes (2020).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.4.1. Taladros de alivio.

Corresponde a sus barrenos sin carga explosiva, cuya función principal es generar una superficie libre que facilite la expansión del frente de voladura durante el disparo (EXSA, 2015).

2.2.4.2. Taladros de arranque o corte.

Se trata de un grupo de barrenos, tanto cargados como vacíos, dispuestos en la zona central del esquema de perforación, son los primeros en ser detonados con el objetivo de generar la cavidad inicial o cara libre, habitualmente, los barrenos cargados en esta área reciben entre 1.3 y 1.5 veces la carga explosiva estándar, debido a su función crítica en la iniciación del proceso de fragmentación (EXSA, 2015).

2.2.4.3. Taladros de ayuda de arranque.

Son barrenos que se disponen alrededor de sus taladros de arranque, y cuya función es facilitar la expansión hacia la cavidad inicial generada por el disparo, su cantidad y distribución dependen directamente de las dimensiones del frente de trabajo, incluyendo sus primeras ayudas (contra cueles), así como las segundas y terceras ayudas, comúnmente denominadas taladros de destrozo o franqueo, estos barrenos se detonan en una segunda fase, posterior al arranque (EXSA, 2015).

2.2.4.4. Cuadradores.

Se trata de los barrenos ubicados en los extremos laterales de la malla de perforación, cuya función es definir los flancos del túnel y contribuir al control geométrico del perfil excavado.

2.2.4.5. Alza o techo.

Corresponden a los barrenos ubicados en la parte superior del frente de excavación, conformando la bóveda del túnel. Son comúnmente conocidos como taladros de la corona, en el contexto de voladuras de recorte, estos barrenos se disparan simultáneamente junto con las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

alzas y cuadradores, en la fase final de la secuencia de disparo, en conjunto, se les clasifica como taladros periféricos, dado su rol en definir el contorno del túnel y controlar la sobre excavación (EXSA, 2015).

2.2.4.6. Zapatera o arrastre.

Corresponden a los barrenos ubicados en la base del túnel o galería, cuya detonación se realiza en la fase final de la secuencia de disparo, su función principal es delimitar la excavación inferior y movilizar el material previamente fragmentado, facilitando así las operaciones de carguío y limpieza (EXSA, 2015).

2.2.4.7. Dimensiones del corte.

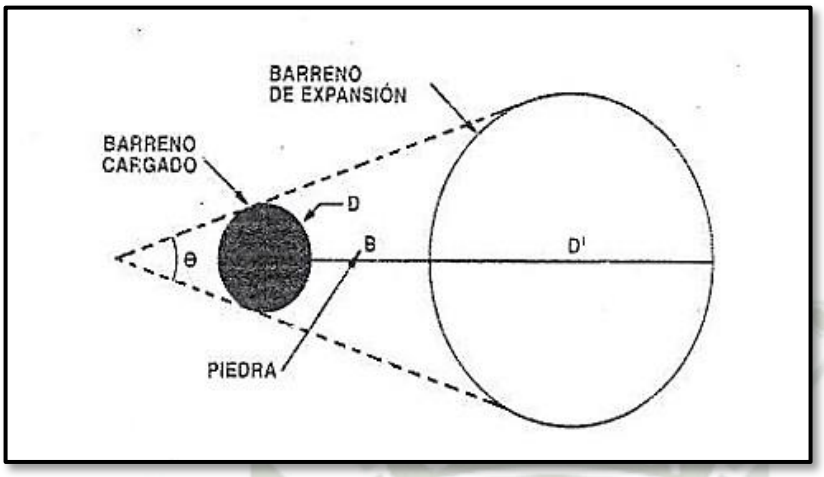
El diseño de sus distintos tipos de corte parte de un esquema base, a partir del cual se definen las configuraciones específicas de arranque, en este contexto, el parámetro burden es decir, su distancia entre taladro de expansión vacío y barreno cargado más cercano resulta crítico para la eficiencia del disparo; dado que el taladro de expansión presenta una geometría convexa, la efectividad del frente libre reduce de manera rápida a medida que incrementa su distancia entre sus puntos de carga y superficie del taladro vacío; aunque su profundidad de sus taladros de expansión suele igualarse a los demás barrenos, se ha comprobado que perforarlos entre 15 y 30 cm más profundos que sus cargados mejora significativamente el rendimiento del arranque, optimizando la fragmentación y la liberación de energía.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5

Distancia entre el taladro de producción y expansión

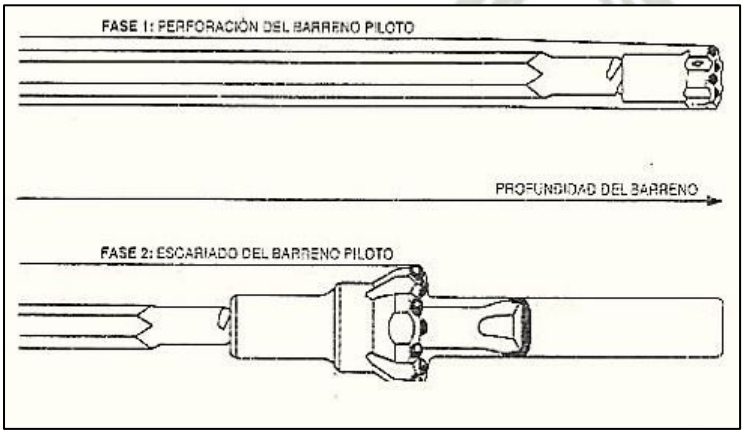


Nota. Tomado de FAMESA (2019).

Este fenómeno se explica considerando que cada carga explosiva actúa como si tuviera acceso a una superficie de rotura equivalente al doble del área inicial, esta ampliación del frente libre incrementa significativamente la probabilidad de lograr un mayor avance en la excavación, reduciendo la formación de irregularidades o "panzas" en el frente de trabajo (FAMESA, 2019).

Figura 6

Escariado de barreno piloto



Nota. Tomado de FAMESA (2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De acuerdo a Dionisio y Flores (2022) indica que para determinar su diámetro equivalente de un único barreno de alivio que represente su volumen total de sus taladros de alivio utilizados, se emplea esta fórmula:

$$\emptyset_e = \emptyset_{Alivio} \text{ x } \sqrt{n}$$

Donde:

$Ø_e$: diámetro equivalente.

Ø: diámetro de alivio o vacío.

n: número de taladros de alivio

2.2.4.8. Taladros de alivio.

La cantidad de barrenos necesarios en voladura subterránea está condicionada por múltiples factores, entre ellos, la naturaleza del macizo rocoso, nivel de confinamiento del frente de trabajo, grado de fragmentación requerido y diámetro de sus brocas disponibles, cada uno de sus elementos puede influir en su necesidad de ajustar la malla de perforación, lo que a su vez modifica el número teórico de taladros; adicionalmente, su tipo de explosivo seleccionado y sistema de iniciación empleado también inciden en esta estimación, para obtener un valor aproximado del número de barrenos requeridos, se puede recurrir a una fórmula empírica que considera estos parámetros de manera integrada (Ynfantes, 2020).

Según Ynfantes (2020) indica que para calcular el número de taladros se utiliza las fórmulas siguientes:

$$\text{N° tal} = 10 \text{ x } \sqrt{(A \; x \; H)}$$

Donde:

A: Ancho de sección

H: Altura de sección

Para una estimación más rigurosa, se emplea esta fórmula:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$N° \text{ tal} = \left(\frac{P}{dt}\right) + (C \text{ x } S)$$

Donde:

P: perímetro de la sección (m)

dt: distancia entre taladros (m)

C: constante de roca (m)

S: área de la sección (m²)

Perímetro: Se define como su suma total de sus longitudes de sus lados que conforman la sección transversal considerada.

$$P = 4\sqrt{A}$$

Tabla 1

Distancia entre taladros

DUREZA DE ROCA	DISTANCIA ENTRE PERFORACIONES (m)
Dura	0,50 a 0,55
Intermedia	0,60 a 0,65
Blanda	0,70 a 0,75

Nota. Esta tabla muestra la distancia entre taladros de acuerdo a la dureza de roca. Tomado de Chipana (2015).

Tabla 2

Coeficiente de roca

DUREZA DE ROCA	COEFICIENTE DE ROCA (m)
Dura	2,00
Intermedia	1,50
Blanda	1,00

Nota. Esta tabla muestra el coeficiente de roca de acuerdo a la dureza de roca. Tomado de Chipana (2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.4.9. Longitud de taladros.

De acuerdo a Chipana (2015) refiere que la longitud de los barrenos de corte está influenciada por su ancho útil de su sección a excavar, tipo de arranque seleccionado y sus capacidades del equipo de perforación disponible, en su caso del corte quemado, es posible alcanzar profundidades de entre 2 y 3 metros, lo que lo hace adecuado para secciones más amplias, por el contrario, el corte en "V", utilizado en túneles de menor sección, permite perforaciones de 1 a 2 metros como máximo, para estimar su longitud de sus taladros en configuraciones tipo "V", cuña o pirámide, se puede aplicar un vínculo geométrico que considera el ángulo de apertura del corte y el ancho de la sección, permitiendo ajustar el diseño a las condiciones específicas del frente. Por lo tanto, para calcular la longitud se tiene la siguiente formula:

$$\mathrm{L} = \mathrm{Lb} \times E_p$$

Donde:

Lb: longitud de barra (m)

E_p: eficiencia de perforación %

2.2.4.10. Cantidad de carga.

Esta carga explosiva requerida por unidad de superficie se determina principalmente por su resistencia mecánica de su roca y sus dimensiones del frente de trabajo, entre los factores que inciden en esta determinación se encuentran su profundidad, número y diámetro de sus barrenos, tipo de explosivo seleccionado y los sistemas de iniciación utilizados. Es importante considerar que a medida que aumenta la sección transversal del túnel, su cantidad de explosivo por metro cuadrado tiende a disminuir, debido a una mayor eficiencia volumétrica, en contraste, rocas de mayor tenacidad requieren una mayor carga específica, incrementando el consumo por unidad de área.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De manera general, el consumo de explosivos por unidad de volumen de roca puede expresarse en kilogramos por metro cúbico (kg/m³), dependiendo de sus características geomecánicas de su macizo y de su diseño de la voladura, en operaciones mineras convencionales, el uso de dinamita presenta rangos típicos de consumo que oscilan entre 0.3 y 0.8 kg/m³, equivalentes a 300 a 800 gramos por metro cúbico, según su dureza de su roca, geometría del frente y su eficiencia del esquema de perforación y carga.

Tabla 3

Factor de carga

Tipo de roca	Factor (kg/m3)
Muy duras	1,5 a 1,8
Duras	1,3 a 1,5
Blandas	1,1 a 1,3
Muy blandas	1,0 a 1,2

Nota. Tomado de EXSA (2015).

Para efectos de planificación minera y diseño de voladuras, los materiales pueden agruparse según su resistencia al arranque y comportamiento frente a la perforación:

- ✓ Rocas de muy alta tenacidad: incluyen litologías como granito, conglomerado y arenisca compacta, que presentan elevada resistencia mecánica y requieren mayor energía de fragmentación.
- ✓ Rocas de tenacidad alta: como la arenisca sacaroide y la arena esquistosa, que aunque menos resistente que las anteriores, aún demandan esquemas de perforación y carga robustos.
- ✓ Rocas de baja tenacidad: tales como esquisto, arcilla, lutita y esquistos arcillosos, que permiten una excavación más eficiente con menor consumo energético.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ Rocas de muy baja tenacidad: como la arcilla esquistosa o materiales extremadamente blandos, cuya fragmentación puede lograrse con cargas mínimas y perforación simplificada.

En contextos de excavación subterránea, su consumo específico de explosivos varía según su número de caras libres disponibles en su frente de voladura, para galerías con una sola cara libre, se utilizan valores de referencia más elevados debido al mayor grado de confinamiento del macizo rocoso, en cambio, cuando el disparo cuenta con dos caras libres, la eficiencia de la fragmentación mejora, permitiendo reducir el consumo a rangos estimados de 0.4 a 0.6 kg/m³ (EXSA, 2015).

2.2.4.11. Volumen del material roto.

Según a Ynfantes (2020) refiere que para calcular el volumen del material roto se utiliza las fórmulas siguientes:

$$\text{Volumen (V)} = \text{S x L}$$

Donde:

V: Volumen, en m^3

S: Sección del túnel, en m^2

L: longitud de taladros, en m.

$$\text{Tonelaje (t)} = \text{V x } \delta\text{r}$$

Donde:

δr: Densidad de roca, usualmente de 1.5 a 2.5.

2.2.4.12. Cantidad de carga.

Ynfantes (2020) señala que para calcular la cantidad de carga emplean la formula siguiente:

$$\text{Qt} = \text{V x Kg/m}^3$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

V: Volumen estimado, en m^3.

Kg/m^3: Carga por m^3.

2.2.4.13. Carga promedio por taladro.

De acuerdo a Ynfantes (2020) indica que para calcular la carga promedio por taladro utilizan la formula siguiente:

$$\text{Qt/N° tal}$$

Donde:

Qt: Carga total de explosivo, en Kg.

Nº tal: Número de taladros.

Tabla 4

Carga promedio por taladro

Diámetro de Taladro (mm)	Carga Especifica (Kg/m^3)
30	1.1
40	1.3
50	1.5

Nota. Tomado de EXSA (2015).

2.2.4.14. Profundidad de taladros.

En configuraciones de voladura que emplean el esquema de corte en cuatro secciones, su profundidad de sus taladros puede calcularse aplicando una expresión específica que considera su geometría del frente, el tipo de corte y sus condiciones operativas. Esta fórmula permite ajustar la longitud de perforación de manera proporcional a los parámetros de diseño, optimizando la fragmentación y el rendimiento por ciclo (EXSA, 2015).

Por lo tanto, Quezada (2017) señala que para calcular la profundidad de taladros se tiene en cuenta a la formula siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$L = 0.15 + (34.1 \text{ x } \emptyset_2) - (39.4 \text{ x } \emptyset^2)$$

Donde:

L: Longitud de taladro, en m.

$\emptyset^2$: Diámetro del taladro de alivio, en mm.

2.2.4.15. Concentración de carga lineal del explosivo.

Sus barrenos ubicados en las inmediaciones del taladro de expansión deben ser cargados con especial cuidado, ya que el equilibrio energético en esta zona es crítico para lograr una fragmentación eficiente, una carga insuficiente puede resultar en una fractura incompleta del macizo rocoso, comprometiendo la geometría del arranque, por el contrario, una sobrecarga excesiva puede generar un desplazamiento violento de los fragmentos hacia el lado opuesto del barreno de expansión, provocando su compactación en lugar de su expulsión a través del vacío generado, para optimizar el diseño, concentración lineal de carga en sus taladros de arranque se determina mediante una expresión específica, que considera variables como su tipo de explosivo, diámetro del barreno y sus propiedades mecánicas de la roca.

Según Dionisio y Flores (2022) señala que para la concentración de carga lineal del explosivo se calcula con la formula siguiente:

$$q = 55 \text{ x } \left(\frac{B}{\emptyset_2}\right)^{1.5} \text{ x } \left(B - \frac{\emptyset_2}{2}\right)\left(\frac{c}{0.4}\right)\left(\frac{1}{PRP_{ANFO}}\right)$$

Donde:

q: Concentración lineal de carga (kg/m).

$\emptyset_1$: Diámetro de producción (m).

$\emptyset_2$: Diámetro del taladro de alivio (m).

B: Dimensión del Burden (m).

C: Constante de la roca

PRP_{ANFO}: Potencia relativa en peso del explosivo referido al ANFO.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.4.16. Potencia relativa en peso.

Desde una perspectiva operativa, la potencia constituye una de las propiedades más relevantes de los explosivos en contextos industriales, ya que representa su cantidad de energía disponible para generar efectos mecánicos, como su fragmentación, desplazamiento y fractura del macizo rocoso, esta capacidad energética puede cuantificarse mediante una fórmula específica, que permite estimar el rendimiento del explosivo en función de sus características fisicoquímicas y condiciones de aplicación (EXSA, 2015).

De acuerdo a Fernández y Pedraza (2012) indica que para la potencia relativa en peso se calcula utilizando la formula siguiente:

$$\mathrm{PRP_{ANFO}} = \left(\frac{\mathrm{d} - \mathrm{V_d^2}}{\mathrm{d_{ANFO}}\ \mathrm{V_{ANFO}^2}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d: Densidad de explosivo a emplear (g/cm³)

V_d: Velocidad de detonación del explosivo a emplear (m/s)

d_{ANFO}: Densidad del ANFO (g/cm³)

V_{ANFO}: Velocidad de detonación del ANFO (m/s).

2.2.4.17. Presión de detonación.

Su presión en el plano CJ, ubicado inmediatamente detrás del frente de detonación, representa una magnitud crítica en el análisis del comportamiento de los explosivos, esta presión se genera durante el paso de su onda de detonación y depende directamente de su densidad del explosivo y del cuadrado de su velocidad de detonación; este valor se expresa comúnmente en kbar o MPa, y en el caso de explosivos comerciales, suele encontrarse en un rango aproximado de 500 a 1 500 MPa, según la formulación y condiciones de confinamiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Fernández y Pedraza (2012) señala que para calcular la presión de detonación se utiliza las fórmulas siguientes:

$$PD = \frac{\rho e \times VOD^2 \times 10^{-5}}{4}$$

Con fines operativos, su presión de detonación puede estimarse utilizando cartuchos de 30 mm de diámetro como referencia estándar, para ello, se aplica una fórmula aproximada que permite calcular este parámetro en función de las propiedades del explosivo, facilitando su evaluación en campo sin necesidad de instrumentación especializada.

$$PD = 0.25 \times d \times VOD^2$$

Donde:

PD: presión de detonación (Pa, kbar).

d: densidad de explosivos (kg/m³, g/cm³)

VOD: velocidad de detonación, con 30 mm de diámetro (m/s)

2.2.4.18. Factor de carga.

Se define como una proporción entre la masa de explosivo empleada y su volumen de roca fracturada, lo que permite determinar su eficiencia energética de su proceso de voladura y optimizar su diseño de mallas de acuerdo a sus características geomecánicas de su macizo rocoso.

Fernández y Pedraza (2012) señala que para el factor de carga se utiliza la formula siguiente:

$$FC = (\frac{W_e}{V})$$

2.2.4.19. Distancia entre taladros.

Las distancias entre taladros se determinan en función del número de perforaciones y la superficie del frente de voladura. De manera referencial, los arranques suelen espaciarse entre 15 y 30 cm, los taladros de ayuda entre 60 y 90 cm, los cuadradores entre 50 y 70 cm,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como criterio práctico, se aplica una regla empírica que sugiere un espaciamiento de aproximadamente 2 pies (60 cm) por cada pulgada de diámetro de broca, lo que permite ajustar el diseño según su tipo de roca y diámetro de perforación utilizado.

Sus taladros periféricos, como sus alzas y cuadradores, deben ubicarse a una distancia aproximada de 20 a 30 cm del contorno del túnel, lo que facilita la perforación y contribuye a minimizar la sobre rotura en las paredes, para preservar la geometría proyectada de la sección, estos taladros se perforan con una ligera divergencia respecto al eje del túnel, de modo que sus extremos definan con precisión la nueva cara libre, manteniendo la amplitud deseada en cada avance (EXSA, 2015).

Tabla 5

Burden y distancia entre taladros del arranque

SECCION DEL CORTE	VALOR DE BURDEN	LADO DE LA SECCION
Primera	B1 = 1,5 x D2	B1 x $\sqrt{2}$
Segunda	B2 = B1 x $\sqrt{2}$	1,5 x B2 x $\sqrt{2}$
Tercera	B3 = 1,5 x B2 x $\sqrt{2}$	1,5 x B3 x $\sqrt{2}$
Cuarta	B4 = 1,5 x B3 x $\sqrt{2}$	1,5 x B4 x $\sqrt{2}$

Nota. Esta tabla muestra el burden y distancia entre taladros del arranque de acuerdo a la sección del corte. Tomado de Chipana (2015).

2.2.4.20. Esquema geométrico de arranque.

Para agilizar el dimensionamiento de las tronaduras en excavaciones subterráneas, especialmente aquellas que emplean cortes paralelos distribuidos en cuatro secciones, puede utilizarse una regla práctica que permite estimar rápidamente los parámetros de carga y espaciamiento, optimizando el diseño sin necesidad de cálculos extensos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

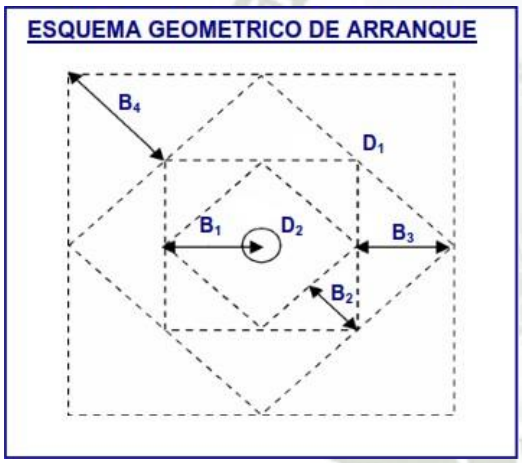
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para garantizar una fragmentación efectiva y una expulsión adecuada del material, la separación entre taladro central de alivio y barrenos de su primera sección no debe superar 1.7 veces su diámetro del taladro de alivio ($1.7 \times D_2$), este parámetro geométrico es clave para mantener la eficiencia del arranque, ya que una distancia excesiva puede comprometer la liberación de energía y dificultar la salida del material fragmentado, cabe destacar que las condiciones de fragmentación están influenciadas por múltiples factores, entre ellos el tipo de explosivo utilizado, las propiedades geomecánicas de roca, la disposición y proximidad entre taladros cargados y los vacíos.

Figura 7

Esquema geométrico de arranque



Nota. Tomado de EXSA (2015).

Para agilizar el cálculo de voladuras en túneles que emplean cortes paralelos de cuatro secciones, pueden aplicarse una regla empírica que simplifica la determinación del número de secciones requeridas, esta consiste en asegurar que su longitud del lado de su última sección (B) sea igual o superior a su raíz cuadrada de su avance previsto, este criterio permite optimizar el diseño del corte, garantizando su distribución eficiente de su energía de voladura y una progresión controlada del frente de excavación (EXSA, 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.4.21. Cálculo de taladros de arranque.

- ✓ **Burden y espaciamiento**

La determinación del burden y del espaciamiento entre barrenos en la primera sección de perforación varía de acuerdo a su tipo de corte que se adopte en su diseño de voladura, el burden corresponde a su separación mínima entre el barreno cargado y de alivio, y es un parámetro crítico para garantizar una fragmentación eficiente, y el espaciamiento, por su parte, corresponde a su distancia entre taladros consecutivos dentro de su misma sección; para calcular el burden de manera precisa, pueden emplearse distintos enfoques, entre ellos, este modelo matemático de Holmberg, que considera variables como su energía del explosivo, propiedades de su roca y la geometría del frente, y el principio de longitud de arco, que permite estimar la distancia óptima en función de la curvatura del frente libre generado por el taladro de alivio.

Según Quezada (2017) señala que para calcular el burden se debe tener en cuenta al diámetro, así como se muestra en la formula siguiente:

$$\mathrm{B} = 1.5 \text{ x } D_2$$

- ✓ **Burden practico**

Se refiere a su distancia ajustada que resulta de compensar las desviaciones generadas durante el proceso de perforación, ya sea por errores en la orientación, profundidad o alineación de los barrenos, esta corrección permite recalibrar parámetros como el burden, el espaciamiento o la geometría del corte, asegurando que el diseño de voladura se mantenga dentro de los márgenes operativos previstos.

Por lo tanto, Quezada (2017) indica que para calcular el burden practico se utiliza la formula siguiente:

$$\mathrm{Bp} = \mathrm{B} - \text{Error de perforación}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ **Error de perforación**

Corresponde a su variación no deseada en la trayectoria del barreno durante el proceso de perforación, la cual puede afectar su orientación, inclinación o profundidad respecto al diseño original, esta desviación puede influir en su geometría de su malla de voladura, su eficiencia de fragmentación y el control de su frente de avance.

De acuerdo a Mendoza (2014) señala que para calcular el error de perforación se emplea la formula siguiente:

$$Ep = \alpha \, x \, L + \beta$$

Donde:

α: Desviación angular, generalmente se toma un valor 10 mm/m.

β: Error de emboquillado o error en el collar, este valor 20 mm/m.

En sus secciones subsiguientes del diseño de perforación, es necesario aplicar la fórmula correspondiente establecida por el modelo matemático de Langefors, el cual proporciona criterios específicos para calcular parámetros como burden, espaciamiento y carga lineal, en función de sus características geotécnicas de su macizo y sus objetivos de fragmentación.

Según Quezada (2017) refiere que para las secciones subsiguientes en este diseño de perforación se utilizará la formula siguiente:

$$B1 = 8.8 \times 10^{-2} \frac{\sqrt{q1 \times Ah \times PRP_{ANFO}}}{\emptyset 1 \times C}$$

Donde:

q1: Concentración de carga lineal

Ah: Es el espaciamiento de la nueva abertura Ah=a1

PRP_{ANFO}: Potencia relativa en peso del ANFO

C: Constante de roca

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ **Consumo específico de explosivo**

Ortiz y Chipana (2024) indica que para calcular el consumo específico de explosivo se emplea la formula siguiente:

$$CE = \frac{0.56 \times \delta r \times tg(\frac{GSI + 15}{2})}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

Donde:

δr: Densidad de la roca

RQD: Índice de calidad de roca

GSI: índice de resistencia geológica

- ✓ **Constante de la roca**

Quezada (2017) indica que para calcular la constante de la roca, utiliza la formula siguiente:

$$C = 0.8784 \text{ x } CE + 0.0052$$

Donde:

C: constante de roca (m).

- ✓ **Longitud de carga**

Se fundamenta en estudios realizados por diversos expertos en ingeniería de voladuras, quienes han establecido que, para favorecer su distribución eficiente de su energía del explosivo y una fragmentación controlada, la longitud óptima de carga debe representar aproximadamente dos tercios (⅔) de la longitud total del barreno, esta proporción busca maximizar el rendimiento del explosivo sin comprometer la estabilidad del macizo ni generar sobrepresión innecesaria.

- ✓ **Longitud de carga en el fondo**

Ynfantes (2020) señala que para calcular la longitud de carga en el fondo se utiliza la formula siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Lcf = 1.3 \text{ x } B$$

Donde:

Lcf: longitud de carga en el fondo (m)

B: burden

- ✓ **Longitud de carga en la columna**

Ynfantes (2020) señala que para calcular la longitud de carga en la columna, utiliza la formula siguiente:

$$Lcc = L - T - Lcf$$

Donde:

L: longitud de barra

T: taco

- ✓ **Taco**

Desempeña un rol clave en su retención de su energía generada durante voladura, al minimizar su dispersión prematura y favorecer una transmisión más eficiente hacia el macizo rocoso, cuanto mayor sea el tiempo que la energía permanece contenida dentro del barreno, mejor será la calidad de la fragmentación obtenida; para lograr este efecto, se recomienda que la longitud del taco represente aproximadamente ⅓ de su longitud total del taladro, según prácticas operativas consolidadas.

Por lo tanto, Quezada (2017) señala que para calcular la longitud del retacado se utiliza la formula siguiente:

$$T = 10 \text{ x } \emptyset_1$$

2.2.4.22. Cálculo de los taladros de arrastre.

Inicialmente, el cálculo se realiza empleando su misma fórmula utilizada en voladuras de banco, con su diferencia de que la altura del banco se sustituye por la longitud de avance correspondiente al frente de perforación; además, se incorpora un factor de fijación que ajusta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

el diseño a las condiciones específicas del entorno operativo, facilitando una determinación más exacta de sus parámetros de carga y espaciamiento.

- ✓ **Burden**

Quezada (2017) indica que para calcular el burden de los taladros de arrase se utiliza la formula siguiente:

$$B = 0.9 \times \sqrt{\frac{q1 \times PRP_{ANFO}}{C2 \times f \times \frac{S}{B}}}$$

Donde:

q1: Concentración de carga lineal

C2: Constante de roca corregida

f: Factor de fijación, e emplea como un coeficiente de ajuste en el diseño de voladuras, y comúnmente se adopta un valor de 1.45. Este valor permite incorporar los efectos del campo gravitacional sobre el material fragmentado, así como considerar el intervalo de retardo entre barrenos, lo que influye de forma directa en su dinámica de expansión de voladura y en su eficiencia del arranque.

S/B: Relación de espaciamiento y burden se suele tomar el valor de 1.

PRP_{ANFO}: Usaremos el peso relativo del anfo con respecto al Emulnor 1000.

- ✓ **Burden práctico**

Quezada (2017) indica que para calcular el burden práctico se usa la formula siguiente:

$$\mathrm{Bp} = \mathrm{B} - \mathrm{L}\,\mathrm{Sen}\,\mathrm{Y} - \mathrm{Ep}$$

Donde:

Y: ángulo del taladro de contorno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ **Constante de roca corregida**

Quezada (2017) señala que para calcular la constante de roca corregida se tiene en cuenta las fórmulas siguientes:

$$C2 = C + 0.05 \text{ para } B >= 1.4$$

$$C2 = C + 0.07/B \text{ para } B < 1.4$$

2.2.4.23. Cálculo de números de taladros.

Además, Quezada (2017) indica que para calcular el número de taladros se utiliza la formula siguiente:

$$NT = \frac{\text{Ancho tunel} \times 2L \times \sin y}{B} + 2$$

- ✓ **Espaciamiento de las perforaciones centrales**

Su espaciamiento considerado en este cálculo se aplica exclusivamente a los taladros ubicados en la zona central del patrón de perforación, sin incluir los barrenos laterales, esta delimitación responde a la configuración específica del diseño, según la fórmula que se detalla a continuación, la cual optimiza la distribución de carga y la eficiencia de fragmentación en el núcleo del frente de voladura.

Asimismo, Quezada (2017) señala que para el cálculo del espaciamiento de las perforaciones centrales se emplea la formula siguiente:

$$Ah = \frac{\text{Ancho tunel} - 2(Ah1)}{n - 1}$$

Donde:

Ah1: Es el espaciamiento de sus taladros del rincón

n: número de taladros

- ✓ **Concentración de carga lineal**

Choque (2017) señala que para calcular la concentración de carga lineal en el taladro se utiliza la formula siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$q = \frac{32.3\emptyset_1 \times C2 \times Bp}{PRP_{ANFO} \times \sin(\frac{arctg\ (Ancho\ tunel)}{2 \times Bp})^{1.5}}$$

- ✓ **Cálculo del número de cartuchos**

Choque (2017) indica que para calcular el número de cartuchos por taladro se utiliza la formula siguiente:

$$NC = \frac{q \times \frac{3}{4} \times L}{We}$$

Donde:

We: Peso del explosivo empleado

2.2.4.24. Cálculo de los taladros de corona.

Espaciamiento

Entre barrenos se determina como 15 veces el diámetro del taladro, siempre que se cumpla la condición geométrica de relación entre espaciamiento (S) y burden (B), establecida en S/B = 0.8, esta proporción garantiza una distribución equilibrada de su carga explosiva, optimizando su fragmentación y reduciendo su riesgo de sobrepresión o zonas sin voladura efectiva.

Según Choque (2017) señala que para calcular el espaciamiento en los taladros de corono se empleó la formula siguiente:

$$Ah = 15 \text{ x } \emptyset 1$$

- ✓ **Burden**

Choque (2017) señala que para calcular el burden en los taladros de corono se empleó la formula siguiente:

$$B = \frac{Ah}{0.8}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ **Burden práctico**

Quezada (2017) indica que para calcular el burden práctico se usa la formula siguiente:

$$\mathrm{Bp} = \mathrm{B} - \mathrm{L}\,\mathrm{Sen}\,\mathrm{Y} - \mathrm{Ep}$$

- ✓ **Numero de taladros**

Quezada (2017) señala que para calcular el número de taladros se utiliza la formula siguiente:

$$\mathrm{NT} = \left(\frac{\text{Ancho tunel}}{\mathrm{B} \times \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{B}}} + 2\right)$$

- ✓ **Concentración de carga lineal del explosivo**

De acuerdo a Choque (2017) indica que para calcular la concentración de carga lineal del explosivo se emplea la formula siguiente:

$$\mathrm{q4} = \frac{32.3\emptyset_1 \times \mathrm{C2} \times \mathrm{Bp}}{\mathrm{PRP_{ANFO}} \times \sin\left(\frac{\mathrm{arctg}\,(\text{Ancho tunel})}{2 \times \mathrm{Bp}}\right)^{1.5}}$$

- ✓ **Cálculo del número de cartuchos**

Choque (2017) indica que para calcular el número de cartuchos por taladro se utiliza la formula siguiente:

$$\mathrm{NC} = \frac{\mathrm{q} \times \frac{3}{4} \times \mathrm{L}}{\mathrm{We}}$$

Donde:

We: Peso del explosivo empleado

2.2.4.25. Cálculo de los taladros de arrastre.

- ✓ **Burden**

Quezada (2017) indica que para calcular el burden de los taladros de arrase se utiliza la formula siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$B = 0.9 \times \sqrt{\frac{q \times PRP_{ANFO}}{C \times f \times \frac{S}{B}}}$$

- ✓ **Burden práctico**

Quezada (2017) indica que para calcular el burden práctico se usa la formula siguiente:

$$Bp = B - Sen\ Y - Ep$$

- ✓ **Cálculo del número de taladros**

Quezada (2017) señala que para calcular el número de taladros se utiliza la formula siguiente:

$$NT = \frac{Altura\ disponible}{\frac{S}{B}} + 2$$

- ✓ **Concentración de carga lineal**

Según Choque (2017) indica que para calcular la concentración de carga lineal del explosivo se emplea la formula siguiente:

$$q5 = \frac{32.3\emptyset_1 \times C2 \times Bp}{PRP_{ANFO} \times \sin(\frac{arctg\ (Ancho\ tunel)}{2 \times Bp})^{1.5}}$$

- ✓ **Caculo del número de cartuchos**

Choque (2017) indica que para calcular el número de cartuchos por taladro se utiliza la formula siguiente:

$$NC = \frac{q5 \times \frac{3}{4} \times L}{We}$$

2.2.5. Modelo matemático de Holmberg

El científico Roger Holmberg se refirió a los resultados de su investigación en base a Kihilstrom y Langerfors (1963) y Gustafsson (1973), para proporcionar un tipo de diseño

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

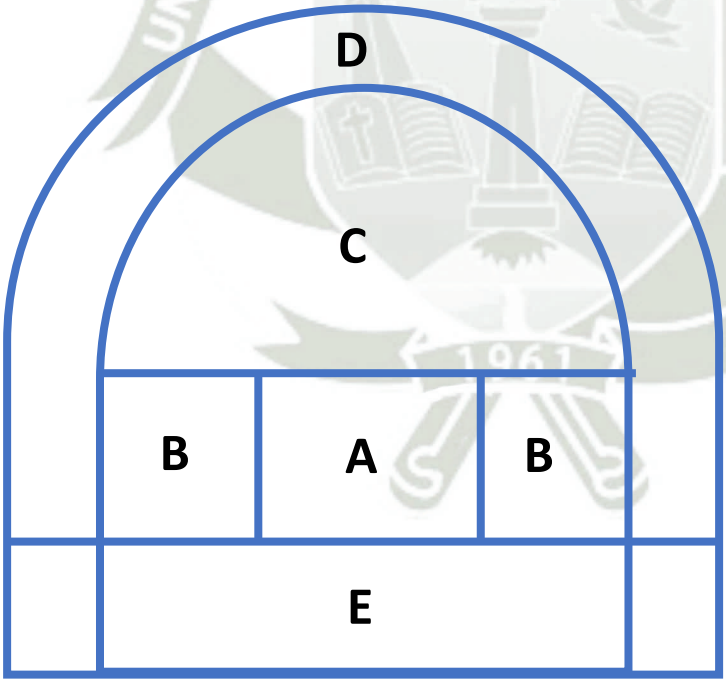
matemático con el fin de diseñar una red de malla de perforación y voladura en sus áreas y caminos mineros a nivel subterráneo.

Esta técnica metodológica se basa en obtener el burden según su clasificación geomecánica de su macizo rocoso a analizar (GSI, RQD o RMR). Entre sus variaciones más significativas se encuentran las propiedades del material rocoso, explosivo usado y su geometría del cuerpo.

La distribución segmentada de las secciones en los frentes de perforación, conforme al modelo propuesto por Holmberg, se representa gráficamente en la figura 8, donde se ilustran los criterios geométricos y espaciales que rigen la disposición de los barrenos en función del tipo de corte y del diseño de voladura.

Figura 8

Secciones diferentes en frente establecidas por Holmberg



Nota. Elaboración propia.

Donde:

A: sección de corte

B: sección de tajeo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

C: sección de alza

D: Sección de contorno

E: sección de arrastre

Los parámetros considerados por el método de Holmberg son:

- ✓ Cálculo del avance
- ✓ Cálculo del corte
- ✓ Primer cuadrante
- ✓ Segundo cuadrante
- ✓ Tercer cuadrante
- ✓ Cuarto cuadrante
- ✓ Cálculo de arrastre
- ✓ Cálculos de taladros de hastiales
- ✓ Cálculos de zonas de tajeo

2.2.5. Explosivos

Estos explosivos se definen como la mezcla de productos químicos, siendo combustibles y otros oxidantes, de tal manera que cuando se empieza de manera correcta, ocasionan una reacción exotérmica demasiada rápida, secuencias químicas estables a una temperatura alta, ocupando el más grande volumen, de tal manera que estos explosivos sirven para remover piedras, radicando en obtener una cantidad adecuada de energía de forma química concentrándose en una zona adecuada, por ello, cuando se libera de una forma controlada, genera una fragmentación más adecuada de su material rocoso (Valer, 2022).

2.2.5.1. Anfo.

Explosivo de tipo granular y seco, compuesto en su mayoría por nitrato de amonio poroso (NH_4NO_3) en una proporción del 94.3% en peso, complementado con un 5.7% de hidrocarburo líquido (diésel, CH_2), formulado para lograr un balance óptimo de oxígeno en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

su detonación, su densidad influye directamente en su velocidad de detonación y en la efectividad del impacto sobre el macizo rocoso, aunque una mayor densidad incrementa la velocidad, también reduce la sensibilidad, dificultando la iniciación; por encima de 1.2 g/cm³, el ANFO se vuelve inerte, en condiciones estándar, su densidad promedio es de 0.8 g/cm³ (EXSA, 2015).

2.2.5.2. Emulnor.

Las emulsiones explosivas son compuestos agua en aceite, donde la fase dispersa es insoluble y su fase continua está formada por aceites, ceras y parafinas, estabilizadas con un emulsificante, su sensibilización mediante microesferas de vidrio mejora la capacidad detonante. Encartuchadas en envolturas plásticas, estas emulsiones de última generación están reemplazando progresivamente a la dinamita, gracias a su mayor resistencia al agua, seguridad, calidad de los gases de voladura y potencia.

- ✓ **Tipos de emulnor**

Con el objetivo de atender las distintas exigencias del mercado, Famesa Explosivos ofrece una línea de emulsiones encartuchadas Emulnor, formuladas para adaptarse a diversos rangos de competencia del macizo rocoso:

Emulnor 500: Diseñada para rocas muy suaves.

Emulnor 1000: Recomendada para rocas de baja a media dureza.

Emulnor 3000: Adecuada para rocas de dureza intermedia a alta.

Emulnor 5000: - Especializada en rocas muy duras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 9

Tipos de emulnor encartuchado

Nota. Tomado de FAMESA (2025).

✓ **Ventajas**

- Cebado seguro y sin efectos adversos: El proceso de iniciación con Emulnor no genera molestias físicas en el personal, contribuyendo a un espacio laboral que favorece la salud.
- Alta resistencia al agua: Su formulación permite mantener la eficacia explosiva incluso en condiciones húmedas o con presencia de agua en el frente de trabajo.
- Emisión controlada de gases: Produce volúmenes reducidos de gases con menor toxicidad, lo que lo hace especialmente adecuado para operaciones con limitaciones de ventilación, como labores subterráneas profundas o zonas de difícil acceso.
- Eficiencia costo-rendimiento: Presenta una relación costo-beneficio favorable, combinando precio competitivo con desempeño técnico confiable en distintos tipos de macizo rocoso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 6

Características técnicas del Emulnor

	UNIDAD	EMULNOR 500	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000
Densidad relativa	g/cm^3	0.90 ± 0.15	1.13 ± 0.1	1.14 ± 0.1	1.16 ± 0.1
Velocidad de detonación confinado (*)	m/s	4400 ± 300	5800 ± 300	5700 ± 300	5500 ± 300
Velocidad de detonación sin confinar (**)	m/s	3500 ± 300	4500 ± 300	4400 ± 300	4200 ± 300
Presión de detonación	kbar	44	95	93	88
Energía	kcal/kg	628	785	920	1010
Volumen normal de gases	l/kg	952	920	880	870
Potencia relativa en peso (***)	%	70	87	102	112
Potencia relativa en volumen (***)	%	77	120	142	159
Sensibilidad al fulminante	…	N° 8	N° 8	N° 8	N° 8
Resistencia al agua	…	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	…	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1

Nota. Tomado de FAMESA (2025).

- ✓ **Aplicación de las emulsiones**

Está dirigido a una amplia gama de actividades mineras, incluyendo las labores subterráneas como túneles, desarrollos y frentes de explotación, operaciones en canteras y tajos abiertos, taladros secos y húmedos, manteniendo su eficacia en presencia de agua, adaptación según la dureza del macizo rocoso, con formulaciones específicas para rocas muy suaves hasta muy duras; esta versatilidad permite optimizar su diseño de voladura en función de sus condiciones geomecánicas del terreno, optimizando su fragmentación, seguridad y eficiencia operativa (Enaex, 2001).

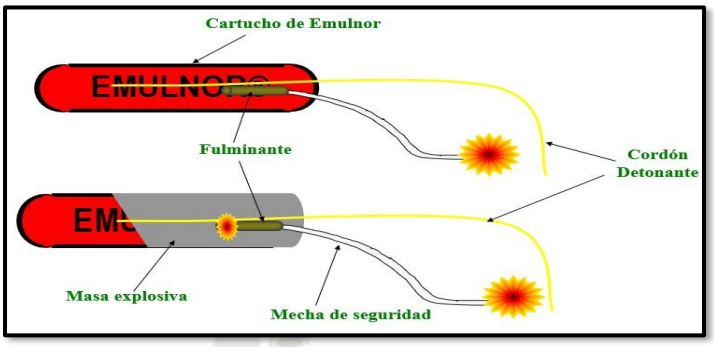
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 10

Cebado de emulnor usando cordón detonante

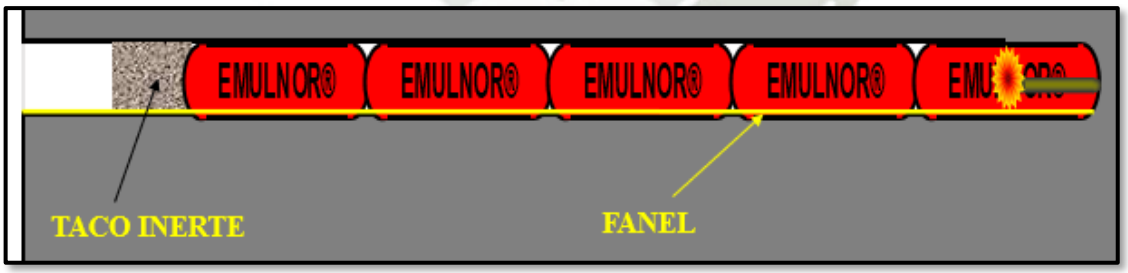


Nota. Tomado de Enaex (2001).

Una detonación uniforme requiere que el cebo tenga suficiente energía para iniciar y sostener la velocidad de detonación (VOD) en todo el taladro. Asegurando su sensibilidad del explosivo y su propagación por simpatía, logrando una rotura radial completa del macizo rocoso. La correcta orientación del fulminante dentro del cartucho es esencial para garantizar la transmisión eficaz de energía y la uniformidad de la onda de detonación.

Figura 11

Taladros cargados con emulnor



Nota. Tomado de Enaex (2001).

- ✓ **Uso de tacos inertes**

El uso de detritus como taco inerte permite redistribuir las fuerzas de detonación hacia direcciones verticales e inclinadas, aumentando la presión sobre las paredes del taladro. Esta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mayor confinación mejora su transferencia de energía a la roca, optimizando su eficiencia de su rotura (FAMESA, 2019).

Su sistema de iniciación regula su secuencia de detonación entre taladros, afectando directamente la magnitud de las vibraciones, la calidad de su fragmentación, su control del rompimiento trasero y su liberación de gases. Una configuración adecuada permite optimizar la energía de detonación, mejorar el desempeño operativo y reducir impactos en áreas sensibles (FAMESA, 2019).

2.2.5.3. Accesorios de voladura.

Son elementos físicos utilizados para iniciar su detonación en una operación minera. Se clasifican en cuatro grupos según su tecnología:

- ✓ No eléctricos tradicionales: mecha de seguridad, fulminante simple, mecha rápida y conectores.
- ✓ Cordón detonante y retardos: retardos mecánicos de superficie e internos al taladro.
- ✓ Eléctricos: detonadores instantáneos, de retardo MS-LP, especiales y de retardo eléctrico.
- ✓ Tubos de choque: mangueras con detonadores de retardo integrados y sistemas especiales resistentes a interferencias.

En el marco de esta investigación, se establecerá un enfoque específico en los accesorios de voladura seleccionados, considerando su funcionalidad, tecnología de iniciación y aplicabilidad operativa dentro del contexto técnico evaluado.

2.2.5.4. Mecha rápida.

El sistema está diseñado principalmente para eliminar el chispeo individual asociado al uso de mechas de seguridad, reducir su exposición del personal operativo a gases y humos generados durante la iniciación, y facilitar una evacuación segura en caso de una detonación anticipada o iniciación no programada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 7

Características técnicas de la mecha rápida

	UNIDAD	MECHA RÁPIDA Z-18
Color de la mecha rápida	…	Rojo
Material de la cobertura exterior	…	Plástico
Tiempo de combustión a.n.m.	s/m	35 ± 5
Diámetro externo	mm	2 ± 0.3
Peso total	g/m	Min. 6.0

Nota. Tomada de Famesa (2025).

2.2.5.5. Cordón detonante.

Es un elemento explosivo lineal de alta resistencia, compuesto por el núcleo de pentrita de color blanco, capaz de detonar instantáneamente a lo largo de toda su extensión con una velocidad aproximada de 7000 m/s. Su función principal es transmitir la señal de detonación de manera continua y confiable entre los distintos taladros de una voladura, asegurando una iniciación sincronizada y eficiente del conjunto explosivo.

Tabla 8

Características técnicas del cordón detonante

	UNIDAD	3P	3PE	5P	5PE	8P	8PE	10P	10PE
Peso de carga	g/m	Min. 4	Min. 4	Min. 5	Min. 6	Min. 8	Min. 8	Min. 10	Min. 10
Resistencia a la tracción*	kg	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 10
Velocidad de detonación	m/s	Min. 6800	Min. 6800	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000	Min. 7000

*Fuerza de rotura evaluado en equipo de tracción a una velocidad de 65 mm/min.

Nota. Tomado de Famesa (2025).

2.2.5.6. Carmex.

Este sistema ha sido diseñado específicamente para realizar voladuras convencionales de manera segura y eficiente. Su ensamblaje es llevado a cabo por personal capacitado, utilizando equipos neumáticos de fijación, lo que asegura una conexión hermética y confiable entre su fulminante, mecha de seguridad y el conector, minimizando riesgos operativos y garantizando la integridad del proceso de iniciación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 9

Características técnicas del Carmex

Diámetro del fulminante (mm)	6.3	Resistencia a la humedad relativa del 100% por 24 horas	Detona
Longitud del fulminante (mm)	45	Resistencia al impacto 2 kg/1m	No detona
Prueba de esopo, diámetro de perforación (mm)	Min. 9.0	Sensibilidad a la chispa de la mecha de seguridad	Buena
Volumen trauzl (cm^3)	Min. 23		

Nota. Tomado de Famesa (2016).

2.2.5.7. Famecorte P40.

Este explosivo lineal ha sido diseñado específicamente para operaciones de contorno, ofreciendo una alternativa más eficiente y segura frente al explosivo de corte tradicional elaborado con dinamita en tubos plásticos. Consiste en segmentos de cordón detonante de alto gramaje de PETN, caracterizados por su elevada resistencia a la tracción. Sus extremos están sellados con tapones plásticos, lo que previene la entrada de humedad y evita la pérdida del material explosivo, asegurando así su integridad y desempeño en condiciones exigentes.

Tabla 10

Características técnicas del Famecorte P40

	FAMECORTE P® - 40	**FAMECORTE P® - 60**
COLOR	Anaranjado	Amarillo
DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	7.8	9.0
CARGA EXPLOSIVA (g/m)	40.0	60.0
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	7000	6900
PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	140	140
ENERGÍA (kcal/m)	77	116
SENSIBILIDAD AL FULMINANTE	N° 6	N° 6
RESISTENCIA AL AGUA	Excelente	Excelente

Nota. Tomado de Famesa (2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.5.8. Periodo largo LP.

Este tipo de configuración de voladura ha sido especialmente diseñada para labores de excavación subterránea, como túneles. Se caracteriza por el uso de intervalos de retardo más prolongados, lo que permite que la roca confinada se libere progresivamente, generando una cara libre adecuada para facilitar su salida de sus productos de detonación de los taladros posteriores. Los tiempos de microretardo utilizados en este tipo de diseño suelen estar comprendidos entre 500 y 9000 milisegundos, favoreciendo una fragmentación controlada, menor sobrepresión y mejor desplazamiento del material.

Tabla 11

Tiempos de retardo de periodo largo

N° SERIE	PERIODO LARGO
	TIEMPO DE RETARDO (s)
1	0.5
2	1.0
3	1.5
4	2.0
5	2.5
6	3.0
7	3.5
8	4.0
9	4.5
10	5.0
11	5.6
12	6.2
13	6.8
14	7.4
15	8.0
16	8.6

Nota. Tomado de Famesa (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.5.9. Periodo corto MS.

Este sistema de iniciación emplea intervalos de retardo breves, comprendidos entre 25 y 750 milisegundos, diseñados para controlar la secuencia de detonación en voladuras de gran extensión. Su uso está orientado principalmente a operaciones superficiales y labores subterráneas de gran volumen, como tajos amplios, donde se requiere una fragmentación eficiente, reducción de vibraciones y optimización del desplazamiento del material.

Tabla 12

Tiempo de retardo de periodo corto

N° SERIE	PERIODO CORTO
	TIEMPO DE RETARDO (ms)
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
9	225
10	250
11	300
12	350
13	400
14	450
15	500
16	600
17	700
18	800
19	900
20	1000

Nota. Tomado de Famesa (2025).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.6. Productividad

Según Juez (2020) se entiende como una relación entre sus recursos invertidos y la producción obtenida, en minería, la productividad evalúa el rendimiento del proceso de extracción y operación en general. Un alto nivel de productividad indica una operación eficiente, en la que se logra un aprovechamiento óptimo de los recursos para extraer minerales o llevar a cabo tareas específicas, como perforación y voladura, sin desperdiciar materiales ni tiempo.

2.2.7. Eficiencia

Según Juez (2020) hace referencia a su capacidad de realizar la tarea empleando su menor cantidad posible de recursos, al tiempo que se alcanzan los objetivos establecidos, la eficiencia, se evalúa en función del uso adecuado del tiempo, los recursos materiales y la energía para ejecutar las actividades, como la perforación y voladura, de manera que se maximicen los resultados sin comprometer la calidad ni la seguridad del proceso.

2.2.8. Eficacia

Según Juez (2020) se refiere a la habilidad para cumplir con los objetivos propuestos en un proceso, independientemente de los recursos utilizados, se mide con respecto a si se logran sus objetivos determinados, tales como su adecuada fragmentación de la roca o la reducción de costos, independientemente de su cantidad de recursos usados para lograr dichos resultados.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

La evaluación de la productividad actual, el diseño de la malla de perforación, la determinación de la cantidad óptima de carga explosiva, el análisis de los indicadores económicos y la implementación de un esquema de capacitación y sensibilización del personal permiten optimizar el proceso de perforación y voladura, incrementando

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

significativamente la productividad en el TJ 2070, Nivel 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

2.3.2. Hipótesis específicas

La evaluación de la productividad actual del proceso de perforación y voladura permitirá determinar el porcentaje de productividad alcanzado en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

El diseño de la malla de perforación mediante el modelo matemático de Holmberg contribuirá a la disminución de los costos en el proceso de perforación en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

La determinación de la cantidad óptima de carga explosiva optimizará los resultados operacionales, mejorando la secuencia de detonación y asegurando una fragmentación más controlada y uniforme.

El análisis de los indicadores de los resultados económicos tras la implementación del diseño de la malla de perforación permitirá evidenciar mejoras en el ámbito económico de la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

La propuesta e implementación de un esquema de capacitación y sensibilización del personal incrementará significativamente las competencias y habilidades del personal involucrado en el proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

2.4. Variables

2.4.1. Variables Dependientes

Productividad:

Se entiende como la relación entre los recursos invertidos y la producción obtenida en un proceso minero. En minería, la productividad evalúa el rendimiento de las operaciones de extracción y procesamiento, considerando factores como el tiempo, la eficiencia del personal,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el uso de maquinaria y los insumos utilizados. Un alto nivel de productividad indica que la operación es eficiente, logrando un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles para actividades específicas, como la perforación y voladura, sin generar desperdicios de materiales ni tiempo.

2.4.2. Variables Independientes

Optimización del proceso de perforación y voladura

Se refiere a la mejora continua de las metodologías utilizadas para la extracción de material rocoso mediante perforaciones y voladuras en las actividades mineras. Su objetivo es lograr un equilibrio entre eficiencia operativa, disminución de costos, reducción de impactos ambientales y aumento de la productividad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 13

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
V.I Optimización del proceso de perforación y voladura	Implica en su mejora continua de las metodologías utilizadas en la extracción de material rocoso mediante perforaciones y voladuras en las actividades mineras, cuyo fin es lograr un equilibrio entre su eficiencia operativa, disminución de costos, minimización de impactos ambientales y el incremento de la productividad, para alcanzar estos objetivos, es necesario ajustar variables clave, como sus parámetros de perforación, selección de explosivos adecuados, diseños de mallas de voladura y tiempos de disparo, estos ajustes permiten obtener una fragmentación más homogénea de la roca, un uso más eficiente de los explosivos y un avance más rápido en las excavaciones (Dammert, 2021).	Esta variable independiente "Optimización del proceso de perforación y voladura" se tiene como dimensiones a las siguientes: - Diseño de malla de perforación - Carga explosiva - Capacitación y sensibilización	Diseño de malla de perforación	Parámetros de perforación
				Modelo matemático de Holmberg
			Carga explosiva	Tipo de explosivos
				Cantidad de explosivos (kg/tm)
			Capacitación y sensibilización	Capacitación técnica especializada
				Sensibilización en seguridad y medio ambiente
V.D. Productividad	Se entiende como su relación entre sus recursos invertidos y producción obtenida, en minería, la productividad evalúa el rendimiento del proceso de extracción y operación en general. Un alto nivel de productividad indica una operación eficiente, en la que se logra un aprovechamiento óptimo de los recursos para extraer minerales o llevar a cabo tareas específicas, como perforación y voladura, sin desperdiciar materiales ni tiempo (Juez, 2020).	Esta variable dependiente "Productividad" se tiene como dimensiones a los siguientes: - Eficiencia y eficacia - Costos de perforación y voladura	Eficiencia y eficacia	Eficiencia
				Eficacia
			Costos de perforación y voladura	Costos de mano de obra
				Costos de equipos y maquinas
				Costos de aceros de perforación
				Costos de materiales y accesorios de perforación
				Costos de implementación de seguridad
				Costos de materiales y accesorios de voladura

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcances y Limitaciones

3.1.1. Alcances

El alcance de la investigación se centra en la optimización del proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte. Para ello, se considerarán los siguientes aspectos:

1. **Evaluación de la productividad actual:** Se recopilarán y analizarán los datos actuales del proceso de perforación y voladura, con el fin de determinar el nivel de productividad alcanzado.
2. **Diseño de la malla de perforación:** Se aplicará el modelo matemático de Holmberg para optimizar la configuración del patrón de perforación, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados al proceso de perforación.
3. **Determinación de la cantidad óptima de carga explosiva:** Se establecerá la distribución adecuada de los explosivos, considerando el tipo de explosivo y las características de la roca, para garantizar una fragmentación homogénea y maximizar la eficiencia del proceso.
4. **Análisis de indicadores económicos:** Se evaluarán los resultados económicos pre y post implementación del diseño de malla, con el objetivo de medir el impacto de la optimización en los costos operativos y la rentabilidad de las operaciones.
5. **Propuesta de capacitación y sensibilización:** Se desarrollará un esquema de formación dirigido al personal involucrado, con el propósito de incrementar sus competencias y habilidades, asegurando la correcta implementación de las mejoras operativas y la sostenibilidad de los cambios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En conjunto, estos alcances permiten establecer un marco de acción claro para optimizar la productividad, reducir costos, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer las competencias del personal en el proceso de perforación y voladura de la unidad minera.

3.1.2. Limitaciones

1. únicamente a la **productividad actual**, lo que restringe el análisis a las condiciones observadas durante el periodo de estudio.
2. **Diseño de la malla de perforación:** La información utilizada para el diseño de la malla se obtuvo a partir del modelo matemático de Holmberg, considerando únicamente los parámetros de la malla disponibles, lo que puede limitar la variabilidad de escenarios evaluados.
3. **Secuencia de detonación y carga explosiva:** Los datos analizados sobre la distribución de cargas explosivas, secuencia de detonación y fragmentación del material se basaron en información existente y controlada, sin incluir posibles variaciones externas no registradas durante el estudio.
4. **Indicadores económicos:** El análisis de los resultados económicos se realizó considerando únicamente los datos pre y post implementación del diseño de malla, lo que limita la evaluación de factores externos que podrían afectar los costos y la rentabilidad de manera independiente al proceso optimizado.
5. **Capacitación y sensibilización:** La evaluación del esquema de capacitación y sensibilización se basó en programas técnicos y de seguridad específicos, con seguimiento limitado al periodo de implementación, lo que puede restringir la medición del impacto a largo plazo sobre las competencias y desempeño del personal.

En conjunto, estas limitaciones indican que los resultados obtenidos reflejan las condiciones específicas del estudio y deben interpretarse dentro del contexto de los datos y recursos disponibles durante la investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.2. Tipo y Diseño de la Investigación

Este estudio es de **tipo aplicada**, ya que busca resolver un problema práctico mediante la optimización del proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte, utilizando el modelo matemático de Holmberg para diseñar la malla de perforación. Esto permitirá una mejor distribución de la carga explosiva, reducción de costos y aumento de la productividad. Asimismo, se propone un esquema de capacitación y sensibilización dirigido al personal involucrado, con el objetivo de garantizar la correcta implementación de las mejoras operativas. Conforme a Reyes (2022), la investigación aplicada se enfoca en resolver problemas mediante el conocimiento teórico y métodos científicos.

La investigación es de **nivel descriptivo**, dado que su finalidad es identificar y detallar un fenómeno en un momento y espacio específicos, describiendo de manera sistemática los elementos relacionados con la optimización del proceso de perforación y voladura. Esto incluye la evaluación de la productividad, el diseño de la malla de perforación, la determinación de la carga explosiva óptima, los indicadores económicos y el esquema de capacitación. Según Reyes (2022), la investigación descriptiva permite especificar las características de un fenómeno de manera precisa y ordenada.

El estudio se clasifica como de **diseño no experimental**, ya que se trabajará únicamente con datos recolectados de la empresa, sin manipulación de las variables. Esto implica que se evaluarán los resultados de productividad, la malla de perforación, la carga explosiva, los indicadores económicos y la capacitación, observando y analizando los fenómenos tal como ocurren en la realidad. De acuerdo con Rebollo (2020), los estudios no experimentales se centran en el análisis de los fenómenos sin intervención directa sobre las variables.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3. Población y Muestra o Universo

La población del estudio está constituida por las labores ejecutadas en el área de perforación y voladura de la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte, durante el periodo comprendido entre agosto y diciembre de 2024. De acuerdo con Rebollo (2020), la población se define como el conjunto de elementos o datos que comparten características en común, en este caso, todas las operaciones y actividades de perforación y voladura realizadas en la unidad minera durante el periodo de estudio.

La muestra se seleccionó considerando rocas con características regulares, con un RMR (Rock Mass Rating) de 41 a 50, específicamente en el TJ 2070, Nivel 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy. Esta selección permite facilitar la recolección de datos y garantizar la homogeneidad de las condiciones geológicas durante la evaluación del proceso de perforación y voladura. Según Rebollo (2020), la muestra consiste en una porción representativa de la población, cuyos miembros comparten características esenciales similares a las del universo de estudio.

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En el presente estudio se aplicarán métodos mixtos, combinando la observación directa y la revisión documental, con el fin de recopilar información integral sobre el proceso de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.

1. Observación directa

Se utilizará como instrumento la guía de observación, cuyo objetivo es registrar información en campo sobre:

- La disposición actual de la malla de perforación.
- El empleo de explosivos durante el proceso de voladura.
- Los costos unitarios asociados a las actividades de perforación y voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. Revisión documental

Se empleará la guía de análisis documental para recopilar información proveniente de bases de datos operativas y financieras, con el propósito de:

- Determinar el nivel de productividad vigente en la unidad minera.
- Analizar los costos operativos y resultados económicos antes y después de la implementación del diseño de malla optimizado.

3. Evaluación de la productividad

La productividad del proceso de perforación y voladura se calculará mediante:

- **Longitud efectiva de perforación**, considerando profundidad de barrenos y rendimiento de perforación.
- **Volumen de avance**, en m^3 y toneladas métricas por disparo, tomando como referencia la densidad del macizo rocoso.
- **Eficiencia operativa**, evaluando el desempeño previo a la optimización del proceso.

4. Diseño optimizado de la malla de perforación

El rediseño de la malla se realizará utilizando:

- Los cálculos propuestos por el modelo matemático de Holmberg.
- El software AutoCAD para la elaboración del modelo técnico.
- Parámetros clave de perforación, como espaciamiento, burden, diámetro y patrón de taladros.

5. Determinación de la carga explosiva óptima

Se considerarán las características del macizo rocoso (RMR 41-50) y los diseños de malla correspondientes. Se calcularán:

- Tonelaje de material fragmentado.
- Factor de carga y índice de potencia.
- Eficiencia global del disparo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Estos cálculos permitirán ajustar la cantidad de explosivo empleada, incrementando la eficiencia, disminuyendo los costos y mejorando el rendimiento general del proceso de perforación y voladura.

6. Análisis de indicadores económicos

Se evaluará el impacto del nuevo diseño de malla sobre la economía de la operación mediante:

- Comparación de costos unitarios antes y después de la optimización.
- Examen económico-financiero de los resultados operativos, basado en informes de gestión operativa y financiera.

7. Capacitación y sensibilización del personal

Se desarrollará un programa de formación y concientización, que incluirá:

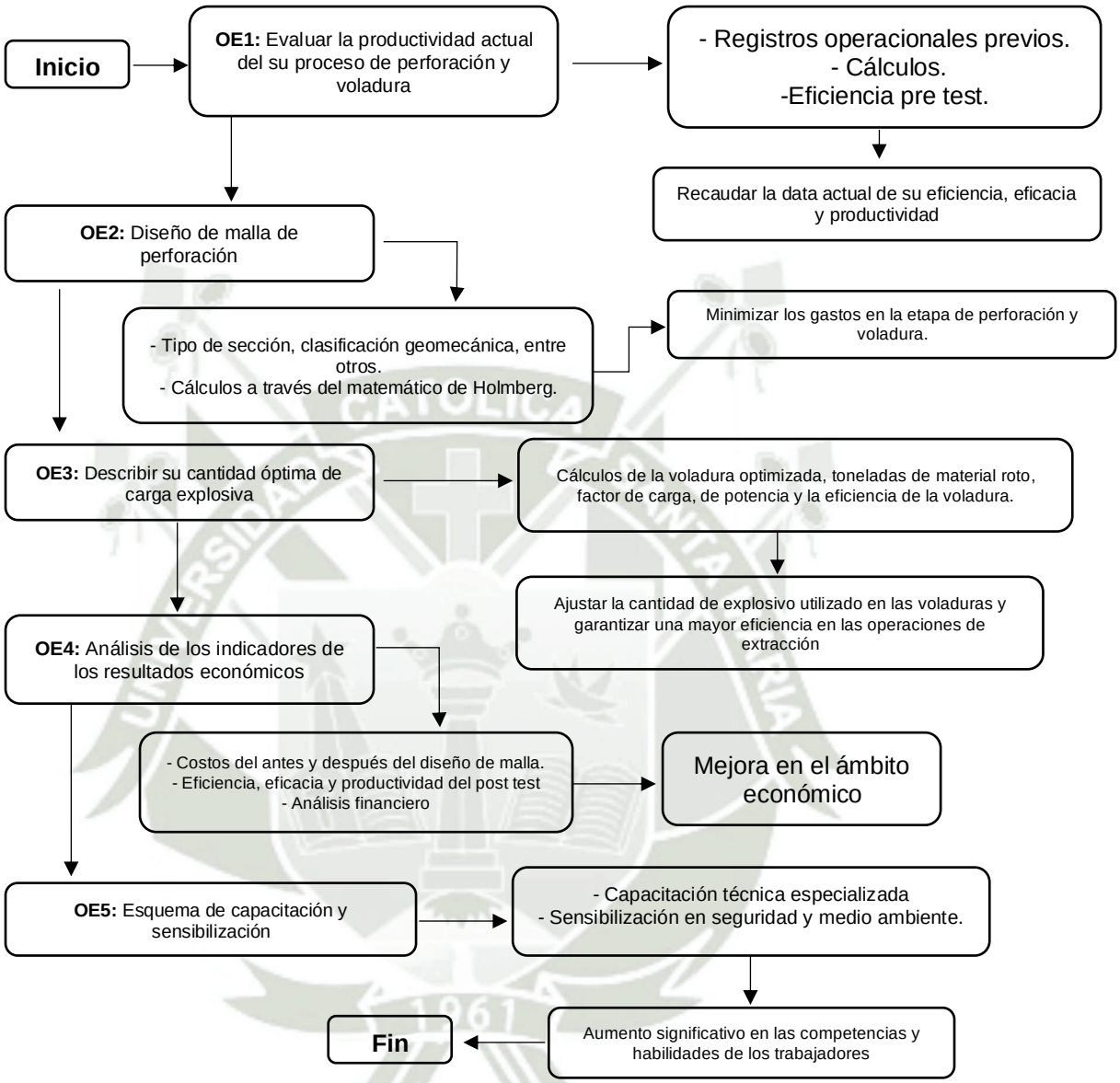
- Diagnóstico de las necesidades de formación del personal operativo.
- Fortalecimiento de competencias en nuevas tecnologías y mejores prácticas.
- Adopción de protocolos de seguridad y eficiencia operativa para garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 12

Flujograma del procedimiento



3.4.1. Técnicas

3.4.1.1. Observación directa.

- ✓ Levantamiento documental especializado.
- ✓ Sistematización de registros operacionales y técnicos.
- ✓ Revisión crítica de monografías y trabajos académicos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.4.1.2. Instrumentos.

- ✓ Plantillas estandarizadas de avance por guardia.
- ✓ Reportes periódicos de operación (semanal y mensual).
- ✓ Vales de salida de explosivos.
- ✓ Acceso a internet.
- ✓ Gabinetes físicos y digitales.
- ✓ Instrumentos de registro en campo como hojas de control, libretas técnicas y datos remitidos por la misma empresa.
- ✓ Software especializado AutoCAD, incluyendo Microsoft Excel.

3.4.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos recolectados mediante los reportes diarios de guardia serán sistematizados y organizados utilizando Microsoft Excel, lo que permitirá realizar un análisis detallado de los indicadores clave del proceso de perforación y voladura.

A partir de este procesamiento, se obtendrán métricas específicas, tales como:

- Número total de taladros ejecutados.
- Cantidad de explosivo utilizada por unidad de perforación.
- Tiempos efectivos de perforación por taladro y por malla.
- Costos asociados a cada malla de perforación.

Estos indicadores permitirán evaluar de manera técnica y económica la eficiencia del proceso, identificando oportunidades de mejora en la distribución de explosivos, tiempos de ejecución y costos operativos. Posteriormente, los resultados obtenidos servirán de base para la optimización del diseño de la malla, la determinación de la carga explosiva óptima y la planificación de acciones de capacitación para el personal operativo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.4.3. Tratamiento estadístico

3.4.3.1. Tratamiento estadístico manual.

En el desarrollo del estudio se emplearon herramientas estadísticas orientadas al tratamiento de datos tanto descriptivos como inferenciales. Para la caracterización de los datos se aplicaron indicadores estadísticos representativos como la media, mediana y moda, junto con métricas de dispersión, incluyendo su desviación estándar, dispersión y el coeficiente de dispersión, con el objetivo de evaluar la consistencia y variabilidad de los parámetros operativos.

En el ámbito inferencial, se incorporó la prueba de hipótesis como técnica para validar supuestos y establecer relaciones significativas entre variables del proceso minero analizado.

3.4.3.2. Tratamiento estadístico computarizado.

Como parte del soporte analítico, se empleará la evaluación T de Student por medio del módulo estadística disponible en Microsoft Excel versión 2024. Esta herramienta permitirá realizar comparaciones entre grupos de datos, evaluar diferencias significativas y contribuir al desarrollo riguroso de los resultados obtenidos durante el estudio.

Para la organización y tabulación de la información recolectada, se empleará una representación visual de compartición de frecuencia, herramienta fundamental en la examinación descriptiva que permite visualizar la dispersión y comportamiento de los datos. En complemento, se aplicarán aplicaron indicadores estadísticos representativos como la media, mediana y moda, junto con métricas de dispersión, tales como su dirección congruente, dispersión y tasa de variabilidad, con el fin de caracterizar la estructura interna de sus datos. Asimismo, se incorporarán técnicas de estadística inferencial, mediante la formulación y prueba de hipótesis, para validar supuestos y determinar conclusiones significativas dentro del marco de la investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.5. Plan de análisis estadístico de los datos

Sus resultados del análisis proporcionarán una recomendación basada en datos sobre la porción óptima de carga explosiva, permitiendo su exaltación de su proceso de perforación y voladura, minimización de gastos y mejora del rendimiento del Consorcio Minero Horizonte, este plan de análisis estadístico será crucial para su toma de decisiones registradas sobre el uso de explosivos en su proceso de voladura, mejorando su productividad de las operaciones mineras, los cuales se realizará a través de pruebas de normalidad e hipótesis en el software estadístico Spss versión 26.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Evaluar la productividad actual del proceso de perforación y voladura en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad

En cuanto a su eficiencia uno de los principales problemas es el uso inadecuado de los recursos materiales y energéticos. Sus técnicas de perforación y voladura aún presentan deficiencias, lo que origina el consumo excesivo de explosivos y un mayor tiempo de ejecución de las labores mineras, los tiempos de inactividad de la maquinaria debido a fallas mecánicas o mantenimiento correctivo incrementan los costos operativos y reducen la capacidad de producción, logística de materiales también presenta oportunidades de mejora, ya que existen demoras en la adquisición y distribución de insumos esenciales, lo que ocasiona interrupciones en los procesos productivos y afecta el flujo de trabajo.

Procesamiento de datos para la malla de perforación y voladura

Tabla 14

Datos para el cálculo de la malla de perforación

GEOMETRÍA DE LABOR	
Ancho Sección	3.5 m
Alto Sección	3.5 m
PARAMETROS DE PERFORACIÓN	
Diámetro de taladro de producción	45 mm
Diámetro de alivio	64 mm
longitud de barra	8 $pies$
Eficiencia de perforación	92%
Eficiencia de voladura	95%
Angulo de taladro de contorno	3°
Desviación angular	10 mm/m
Error de emboquille	20 mm

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PARÁMETROS DE LA ROCA

Tipo de Roca	$III\ Regular\ B$
Clasificación de la Roca	$Mala$
Densidad de la Roca	$2.70\ gr/cm^3$
RMR	$40\ -\ 50$
RQD	35.50%
Resistencia a la Compresión	$45\ -\ 50\ Mpa$

Nota. Elaboración propia

Con respecto al resultado del primer objetivo, se tendrá en cuenta algunos datos como su longitud de barreno y eficiencia de perforación para que se pueda calcular la longitud efectiva.

$$Long.efect = Longitud\ de\ barreno\ x\ eficiencia\ de\ perforación\ (92\%)$$

$$Long.efect.Perf. = 2.4\ m\ x\ 0.92$$

$$Long.efect.Perf. = 2.24\ m$$

$$Long.efect = Longitud\ de\ barreno\ x\ eficiencia\ de\ voladura\ (95\%)$$

$$Long.Efect.Vol. = 2.24\ m\ x 0.95$$

$$Long.efect.Vol. = 2.13\ m$$

A partir de ello, para que se calcule la producción de avance se tiene que multiplicar la longitud efectiva que se desarrolla en cada perforación por la sección del frente, aplicando esta siguiente formula:

$$\frac{Producción}{avance} = Long.efect.vol.\ x\ Sección\ del\ frente$$

$$Producción/avance\ = 2.13\ m\ x\ 3.5\ m\ x\ 3.5\ m$$

$$Producción/avance\ = 26.09\ m^3$$

De tal manera, que por cada disparo se adquiere 26.09 m^3 de material, donde se multiplique por su densidad de la roca, aplicando su siguiente formula:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Producción/avance\ (TM)\ = V\ x\ \rho$$

$$Producción/avance\ (TM)\ = 26.09\ m^3\ x\ 2.70\ TM/m^3$$

$$Producción/avance\ (TM) = 70.44\ TM$$

Por lo tanto, esta malla estándar de perforación tiene una totalidad productiva de 70.44 TM por disparo.

- **Malla de perforación real de la empresa Consorcio Minero Horizonte La Libertad**

En este punto se va a detallar todos sus parámetros de perforación y voladura que se tienen en cuenta para el modelado de malla de perforación real, siendo para sus tres tipos de roca (roca regular IIIB).

Tabla 15

Datos de perforación

Descripción	Valores	Unidades
Longitud de barra	8	pies
Eficiencia de perforación	92	%
Eficiencia de voladura	95	%
Taladros cargados	45	und
Taladros rimados	4	und
Total de taladros perforados	49	und

Nota. Elaboración propia

En la tabla 15, se observa sus datos de perforación para la roca regular, donde está la largura de barra de 8 pies, una exaltación de perforación de 92% pies, priorización de voladura de 95%, taladros cargados son 45 unidades, son 4 taladros de rimado y el total de taladros perforados son 49 unidades.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 16

Datos de explosivos

Descripción	Valores	Unidades
Emulnor 3000 1 1/8" *x* 12"	72	Cart
Emulnor 1000 1 1/8" *x* 12"	107	Cart
Emulnor 500 1 1/8" *x* 12"	136	Cart
Total de explosivo	47.04	kg
detonador no eléctrico	45	Und
Carmex/detonador	2	Und
Cordón detonante	20	m
Mecha rápida	0.1	m
Tacos de arcilla	45	und

Nota. Elaboración propia

En la tabla 16, se observa sus datos de sus explosivos, donde para el Emulnor 3000 1 1/8" x 12" son 72 cartuchos, de 1000 1 1/8" x 12" son 107 cartuchos, de 500 1 1/8" x 12" son 136 cartuchos, arcilla son 45 cartuchos, totalidad de explosivo son 47.04 kg, cordón detonante es de 20 metros, mecha rápida es de 0.1 m, detonador no eléctrico es de 45 unidades, carmex es de 2 unidades, y los tacos de arcilla son 45 unidades.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 17

Resultados

Descripción	Valores	Unidades
Ancho	3.5	m
Alto	3.5	m
Avance	2.13	m
Eficiencia de voladura	95	%
Volumen roto	26.09	m^3
Toneladas rotas	70.44	Tn

Nota. Elaboración propia

En esta tabla 17, se observa sus resultados adquiridos para su roca regular, precisando la priorización de que el ancho y alto es de 3.5 metros con un avance de 2.13 metros, eficiencia de voladura de 95%, volumen roto de 26.09 m^3, toneladas rotas es de 70.44 Tn, ítem de carga lineal es de 18.1 kg/m, ítem de potencia es de 0.78 kg/Tn, ítem de carga es de 1.64 kg/m^3.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 18

Distribución de taladros para malla real

Taladros	N° taladros	Emulnor 3000 1 1/8" x 12" (Cart)	Emulnor 1000 1 1/8" x 12" (Cart)	Emulnor 500 1 1/8" x 12" (Cart)	Cantidad de Cartuchos/Taladro	Emulnor 3000 1 1/8" x 12" (kg)	Emulnor 1000 1 1/8" x 12" (kg)	Emulnor 500 1 1/8" x 12" (kg)	Total (kg)Emulnor 1000	Total (kg) Emulnor 3000	Total (kg) Emulnor 500	Total (kg)
Arranque	3	7			21	0.17	0.16	0.13	0	3.57	0	3.57
1 Ayuda	4	1	6		28	0.17	0.16	0.13	3.84	0.68	0	4.52
2 Ayuda	4	1	6		28	0.17	0.16	0.13	3.84	0.68	0	4.52
3 Ayuda	4	1	6		28	0.17	0.16	0.13	3.84	0.68	0	4.52
4 Ayuda	4	1	6		28	0.17	0.16	0.13	3.84	0.68	0	4.52
Ayuda corona	3		1	6	21	0.17	0.16	0.13	0.48	0	2.34	2.82
Hastiales	8		1	6	56	0.17	0.16	0.13	1.28	0	6.24	7.52
Corona	10			7	70	0.17	0.16	0.13	0	0	9.1	9.1
Piso	5	7			35	0.17	0.16	0.13	0	5.95	0	5.95
Total taladros	**45**	**18**	**26**	**19**	**315**	**1.53**	**1.44**	**1.17**	**17.12**	**12.24**	**17.68**	**47.04**

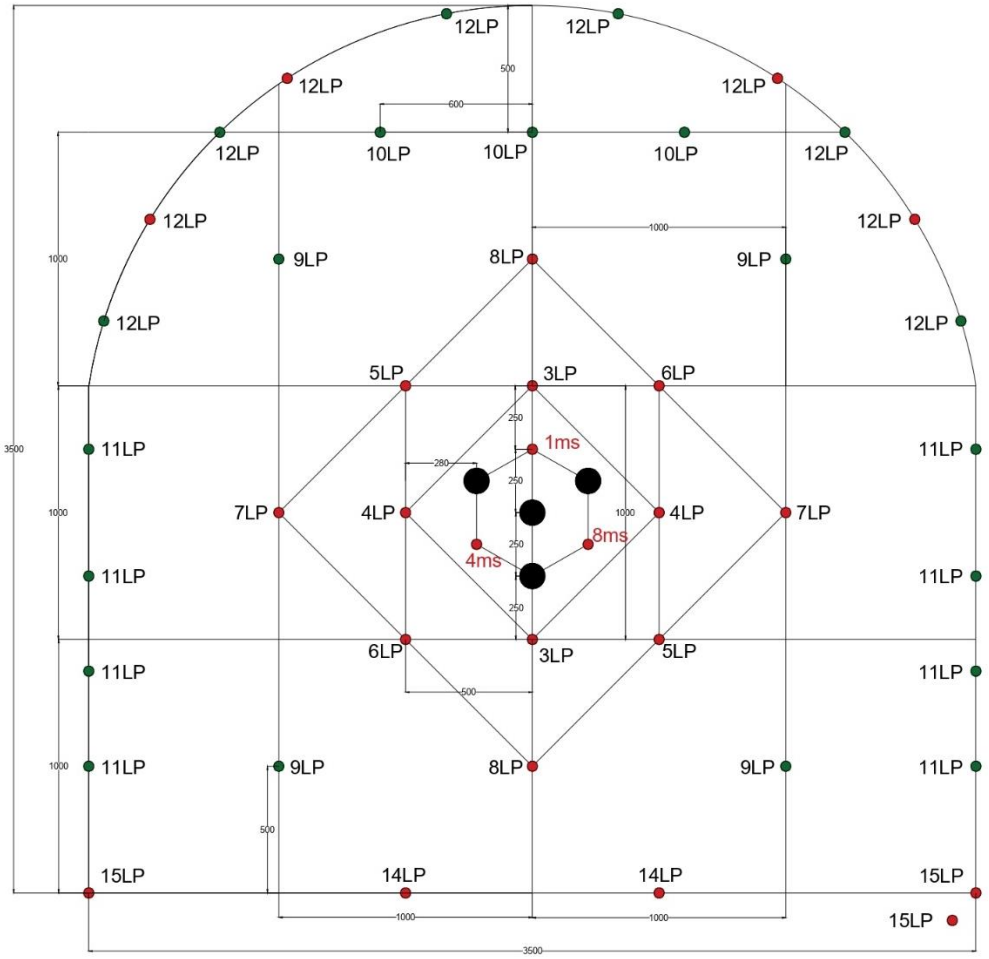
Nota. Elaboración propia

En esta tabla 5, se puede observar que el total de la cantidad de taladros es de 45, para el Emulnor 3000 1 1/8” x 12” es de 18 cartuchos, para el Emulnor 1000 1 1/8” x 12” es de 26 cartuchos y para el Emulnor 500 1 1/8” x 12” es de 19 cartuchos, de tal manera, que el total de la proporción de cartuchos/taladro es de 45, para el Emulnor 3000 1 1/8” x 12” es de 1.53 kg, para el Emulnor 1000 1 1/8” x 12” es de 1.44 kg y para el Emulnor 500 1 1/8” x 12” es de 1.17 kg; por lo tanto el total del Emulnor 1000 es de 17.12 kg, para el Emulnor 3000 es de 12.24 kg y para el Emulnor 500 es de 17.68 kg, siendo un total de 47.04 kg.

Malla en AutoCAD de la roca regular IIIB

Figura 13

Malla real de perforación y voladura de la sección 3.5 m x 3.5 m RMR 50.



Perforacion		
descrpcion	valores	unidades
long. Barra	8	pies
long. Perforacion	7.36	pies
efic. Perforacion	92	%
taladros cargados	45	und
taladros rimados	4	und
total tal. Perforados	49	und
Explosivos		
descripcion	valores	unidades
emulnor 3000 1 1/8" x 12"	72	cart
emulnor 1000 1 1/8" x 12"	107	cart
emulnor 500 1 1/8" x 12"	136	cart
total de explosivos	47.04	kg
fanel/detonador no electrico	45	und
mecha rapida	0.1	m
carmex/detonador	2	und
pentacor/cordon detonante	20	m
tacos de arcilla	45	und
Resultados		
descripcion	valores	unidades
ancho	3.5	m
alto	3.5	m
avance	2.13	m
eficiencia de voladura	95	%
volumen roto	26.09	m^3
toneladas rotas	70.44	Tn
factor de carga lineal	22.08	kg/m
factor de potencia	0.67	kg/tn
factor de carga	1.8	kg/m^3

Nota. Elaboración propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.1.2. ***Diseñar una malla de perforación a través del modelo matemático Holmberg para reducir costos correspondientes al proceso de perforación en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad***

Detalle de los parámetros de la labor

La configuración de la malla renovada de barrenado con arranque cilíndrico requiere tener presentes los datos de campo consignados en la representación visual posterior.

Tabla 19

parámetros de campo, de la labor de estudio

	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDAD
LABOR	Ancho	3.50	m
	Alto	3.50	m
	Radio de arco	1.75	m
DETALLES DE CAMPO	**CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA**		
	RMR	50	%
	RQD	36	%
	GSI	55	%
	Densidad de la roca	2.7	G / cm3
	CRITERIOS DE PERFORACIÓN		
	Longitud de barreno	10	pies
	Diámetro de la broca rimadora	0.064	m
	Diámetro de la broca de producción	0.045	m
	Eficiencia de perforación	92	%
	Desviación angular	0.01	m
	Error de emboquillado	0.02	m
	Angulo de los taladros de Contorno	3	grados

Nota. Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 20

Propiedades técnicas de los explosivos a utilizar

		EMULNOR 500	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000
Densidad relativa (g/cm3)		0.90 ± 0.15	1.13 ± 0.1	1.14 ± 0.1	1.16 ± 0.1
Velocidad de detonación	confinado *	4400 ± 300	5800 ± 300	5700 ± 300	5500 ± 300
(m/s)	s/confinar **	3500 ± 300	4500 ± 300	4400 ± 300	4200 ± 300
Presión de detonación (kbar)		44	95	93	88
Energía (kcal/kg)		628	785	920	1010
Volumen normal de gases (l/kg)		952	920	880	870
Potencia relativa en peso (%) (***)		70	87	102	112
Potencia relativa en volumen /%) (***)		77	120	142	159
Sensibilidad al fulminante		N° 8	N° 8	N° 8	N° 8
Resistencia al agua		Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos		Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1 ½ pulgadas de diámetro.

** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.

*** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

Nota. Tomado del catálogo de Famesa.

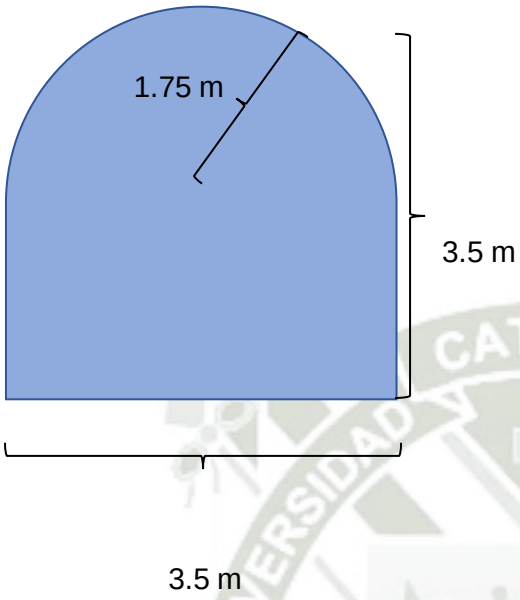
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14

Sección de la labor 3.5 x 3.5 m



Nota. Elaboración propia

Determinación del área de la labor de sección de 3.50 m x 3.50 m.

Ecuación 1

Área de la sección 3.5 x 3.5 m

$$As = (\pi \left(\frac{r^2}{2}\right)) + \left(r\ x\ \left(A - (2\ x\ r)\right)\right) + (A\ x\ (H - r)$$

$$As = (3.14 \left(\frac{1.75^2}{2}\right)) + \left(1.75\ x\ \left(3.5 - (2\ x\ 1.75)\right)\right) + (3.5\ x\ (3.5 - 1.75)$$

$$As = 10.94\ m^2$$

Ecuación 2

Perímetro de la labor

$$P = (\pi\ x\ r) + 2\ x\ (H - r) + 2\ x\ (A - r)$$

$$P = (3.1416\ x1.75) + 2\ x\ (3.50 - 1.75) + 2\ x\ (3.5 - 1.75)$$

$$P = 12.50\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

MÉTODO DE ROGER HOLMBERG

Paso 1: avance por disparo

La estimación del avance se basa en parámetros geométricos del barreno, considerando tanto su longitud total como el ancho de la broca utilizada. Para esta situación específico, se proyecta el uso de barrenos de 10 pies de profundidad, y se prevé que el alcance efectivo por voladura alcanzará ciertamente el 92 % de dicha largura, lo que permite anticipar el rendimiento operativo y acomodar los diseños de malla precisando las condiciones del macizo rocoso.

Ecuación 3

Avance efectivo del disparo

$$I = Efic.de\ perf.x\ long.del\ barreno\ perf.x\ \frac{0.3048\ m}{1\ pie}$$

$$I = 92\%\ x\ 10\ pie\ x\ \frac{0.3048\ m}{1\ pie}$$

$$I = \frac{92}{100}\ x\ 2.4384$$

$$I = 2.80\ m$$

Con base en los ítems de perforación establecidos, se proyecta una configuración por voladura de aproximadamente 2.80 metros, considerando que la largura del barreno es de 10 pies. A partir de esta estimación, se procederá la calculación numérica de taladros de alivio necesarios para alcanzar el rendimiento deseado, optimizando la fragmentación del macizo rocoso y asegurando la eficiencia del modelado de malla.

$$H = 0.15 + 34.1\ \times Ø - 39.4\ \times Ø^2$$

$$H = 0.15 + 34.1\ \times 0.045 - 39.4\ \times 0.045^2$$

$$H = 1.60\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Según los cálculos realizados, se determina que un taladro de alivio con diámetro de 45 mm resulta insuficiente para lograr el labor requerido de 2.80 metros. Frente a esta limitación, se consideran dos alternativas técnicas, la primera es la perforación de múltiples taladros de alivio, aplicando la formulación correspondiente para calcular la dimensión precisa del vacío generado, el otro es el uso de brocas rimadoras, que permiten ampliar el diámetro del taladro de alivio sin incrementar el número de perforaciones. Dado que en la operación minera se dispone de brocas rimadoras de 64 mm, se opta por la segunda alternativa, priorizando la exaltación operativa y la gestión adecuada de los insumos accesibles.

En este escenario, se emplearon tres taladros de alivio de 64 mm de diámetro durante la fase de arranque. A partir de esta configuración, se procede la estimación de la dimensión radial semejante del vacío generado, con el objetivo de validar su efectividad en función del avance proyectado y enaltecer la configuración de la malla de perforación.

$$Q_e = \emptyset_a \times \sqrt{NT}$$

$\emptyset_a$: Diametro del taladro de alivio (64 mm).

NT: Numero de taladros de alivio

$$Q_e = 0.064 \times \sqrt{4}$$

$$Q_e = 0.128\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para esta etapa, se procede a calcular el avance proyectado considerando el diámetro equivalente generado por 4 taladros vacíos dispuestos en la zona de arranque.

$$H = 0.15 + 34.1 \times \emptyset - 39.4 \times \emptyset^2$$

$$H = 0.15 + 34.1 \times 0.128 - 39.4 \times 0.128^2$$

$$H = 3.45\ m$$

El análisis realizado indica que la utilización de tres taladros de alivio de 64 mm genera un diámetro equivalente de 0.111 m, valor que resulta suficiente para alcanzar el avance proyectado de 2.80 metros por voladura.

Ecuación 4

Volumen del disparo

$$V = A\ x\ I$$

$$V = 10.94\ m^2\ x\ 2.80\ m$$

$$V = 30\ m^3$$

Ecuación 5

Consumo específico del explosivo

$$CE = \frac{0.56\ x\ \rho r\ x \tan\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

$$CE = \frac{0.56\ x\ 2.70\ x \tan\left(\frac{55 + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - 35.50}{3.3}}}$$

$$CE = 0.367\ Kg/m^3$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 6

Constante de roca "c"

$$C = (0.8784\ x\ CE) + 0.0052$$

$$C = (0.8784\ x\ 0.367) + 0.0052$$

$$C = 0.327\ Kg/m^3$$

Ecuación 7

Diámetro equivalente

$$DTH\ equi = (\frac{\emptyset\ 2\ rimadora\ (mm)}{1000})\sqrt{N°\ TH}$$

$$DTH\ equi = (\frac{64}{1000})\sqrt{4}$$

$$DTH\ equi = 0.128\ m$$

Ecuación 8

Error de perforación

$$F = \alpha 2\ (m) x\ 1\ (m) + \alpha 1$$

$$F = (0.01\ x\ 2.24) + 0.02$$

$$F = 0.042$$

Ecuación 9

Longitud de perforación según Holmberg

$$H = 0.15 + 34.12\ x\ (\emptyset\ equi) - 39.4\ x\ (\emptyset\ equi)^2$$

$$H = 0.15 + 34.12\ x\ (0.128) - 39.4\ x\ (0.128)^2$$

$$H = 3.45\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Donde:

Ø equi: diámetro equivalente.

Para el cálculo de los diseños de malla se debe tener en cuenta las características del explosivo, por lo tanto, en la siguiente tabla se describe las características del Emulnor 3000 1 1/8" x 12", 1000 1 1/8" x 12" y 500 1 1/8" x 12" para una roca regular.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 21

Características del explosivo

Explosivos	Densidad relativa (gr/cm3)	VOD (m/s)	Presión de detonación (Kbar)	Volumen (l/Kg)	RWS (%)	RBS (%)	Longitud (m)	q densidad de carga (kg/m)	Ø del explosivo (m)	Masa del explosivo (Kg/Cart.)
***Emulnor* 500 1 1 /8″ *x* 12″**	0.9	4200	44	952	70	77	0.28	0.46	0.0254	0.128
***Emulnor* 1000 1 1 /8″ *x* 12″**	1.13	4500	95	920	87	120	0.28	0.57	0.0254	0.160
***Emulnor* 3000 1 1/ 8″ *x* 12”**	1.14	4400	93	880	102	142	0.30	0.58	0.0254	0.173

Nota. Elaboración propia

En esta tabla 9, se puede observar las características de los explosivos donde son explosivos para una roca regular y teniendo en cuenta su densidad relativa para Emulnor 500 1 1/8” x 12” es de 0.9 gr/cm3, longitud es de 0.28, densidad de carga es de 0.46 kg/m, Ø del explosivo es de 0.0254 m y la masa del explosivo es de 0.128 Kg/Cart.; para el Emulnor 1000 1 1/8” x 12” la densidad relativa es de 1.13 gr/cm3, longitud es de 0.28, densidad de carga es de 0.57 kg/m, Ø del explosivo es de 0.0254 m y la masa del explosivo es de 0.160 Kg/Cart.; y para el Emulnor

3000 1 1/8” x 12” la densidad relativa es de 1.14 gr/cm3, longitud es de 0.30, la densidad de carga es de 0.58 kg/m, Ø del explosivo es de 0.0254 m y la masa del explosivo es de 0.173 Kg/Cart.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 10

Densidad de carga lineal

$$q = D_{explosivo} \frac{\pi \, x \, (\emptyset_{explosivo})^2}{4} \, x \, 10^{-6}$$

$$q = 1.14 \, \frac{3.1416 \, x \, (0.0254)^2}{4} \, x \, 10^{-6}$$

$$q = 0.58 \, Kg/m$$

Ecuación 11

Masa del explosivo

$$m = (Longitud \, x \, \pi \, x \, \frac{(\emptyset \, explosivo)^2}{4} \, x \, D_{explosivo} \, x \, 1000$$

$$m = (0.30 \, x \, 3.1416 \, x \, \frac{(0.0254)^2}{4} \, x \, 1.14 \, x \, 1000$$

$$m = 0.173 \, Kg/cart$$

Diseño de arranque

Ecuación 12

Burden máximo

$$B \, e - max.(m) = (\frac{\pi \, x \, \emptyset_{eq}(m)}{2})$$

$$B \, e - max \, (m) = (\frac{3.1416 \, x \, 0.111}{2})$$

$$B \, e - max.(m) = 0.17 \, m$$

Ecuación 13

Burden práctico

$$Bp \, (m) = B \, e - max.(m) - F$$

$$Bp = 0.17 - 0.042$$

$$Bp = 0.13 \, m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 14

Ancho de la abertura

$$Ah_0 = \sqrt{2}\,(B\ e - max. - F)$$

$$Ah_0 = \sqrt{2}\,(0.17 - 0.042)$$

$$Ah_0 = 0.18\ m$$

Ecuación 15

Número de cartuchos por taladro

$$N(c/tal) = \frac{I\ (m) - 0.5\ x\ B\ e - \max\ (m)}{Long.cartucho\ (m)}$$

$$N(c/tal) = \frac{2.80 - 0.5\ x\ 0.17}{0.3000}$$

$$\mathrm{N(c/tal)} = 9$$

Tabla 22

Datos del explosivo - Emulnor 1000 1 1/8" x 12"

Explosivos	q (kg/m)	Longitud cart. (m)
***Emulnor* 1000 1 1 /8" *x* 12"**	0.57	0.20

Nota. Elaboración propia

En esta tabla 10, se puede observar los datos del explosivo Emulnor 1000 1 1/8" x 12", donde la densidad de carga es de 0.57 kg/m y la longitud de cartucho es de 0.20 metros.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Primer cuadrante:

Ecuación 16

Burden máximo

$$B\ e-max = 0.088\ x\ \sqrt{\frac{Ah_0\ (m) x\ q\ (kg/m)\ x\ RWS}{\emptyset\ 1\ broca\ (mm)\ x\ c\ (Kg/m^3)}}$$

$$B\ e-max = 0.088\ x\ \sqrt{\frac{0.18\ x\ 0.57\ x\ 0.87}{\left(\frac{45}{1000}\right) x\ 0.327}}$$

$$B\ e-max = 0.22\ m$$

Ecuación 17

Burden práctico

$$Bi\ p_1 = (Bi_1 - F) - 0.07$$

$$Bip_1 = (0.22 - 0.042) - 0.07$$

$$Bip_1 = 0.10\ m$$

Ecuación 18

Ancho de la abertura

$$Ah_1 = \sqrt{2}\ (Bipractico_1 + \frac{Ah_0}{2})$$

$$Ah_1 = \sqrt{2}\ (0.10 + \frac{0.18}{2})$$

$$Ah_1 = 0.26$$

Ecuación 19

Cantidad de cartuchos por taladro

$$N = \frac{I\ (m) - 0.5\ x\ Bi_1\ (m)}{Long.cartucho\ (m)}$$

$$N = 9.6$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Segundo cuadrante:

Ecuación 20

Burden máximo 2

$$B\ e-max = 0.088\ x\ \sqrt{\frac{Ah_0\ (m)\ x\ q\ (kg/m)\ x\ RWS}{\emptyset\ 1\ broca\ (mm) x\ c\ (kg/m^3)}}$$

$$B\ e-max = 0.26\ m$$

Ecuación 21

Burden práctico 2

$$Bp = B_{máx} - F$$

$$Bp = 0.22\ m$$

Ecuación 22

Ancho de la abertura 2

$$Ah_2 = \sqrt{(Long.Xi = Xj)^2 + (Long.Xi = Xj)^2}$$

$$Ah_2 = 0.49\ m$$

Ecuación 23

Número de cartuchos por taladro

$$N = \frac{I\ (m) - 0.5\ x\ Bmáx}{Long.cartucho}$$

$$N = 9.5$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

A continuación, se detallan los cálculos en cuanto a los cuadrantes realizados anteriormente.

Tabla 23

Cálculo de cuadrantes

Explosivo	RWS	q (kg/m)	Long. Cart.	Long. Xi=Xj	Bi (m)	Bip (m)	Ahí (m)	N (c./tal)	N Tal.
I. Emulnor 3000 1 1/8" x 12"	0.87	0.57	0.280	0.23	0.22	0.10	0.26	9.6	4
II. Emulnor 3000 1 1/8" x 12"	0.87	0.57	0.280	0.35	0.26	0.22	0.49	9.5	4
III. Emulnor 3000 1 1/8" x 12"	0.87	0.57	0.280	0.56	0.36	0.31	0.79	9.4	4
IV. Emulnor 3000 1 1/8" x 12"	0.87	0.57	0.280	0.80	0.45	0.41	1.13	9.2	4
V. Emulnor 3000 1 1/8" x 12"	0.87	0.57	0.280	1.06	0.54	0.50	1.50	9.0	4

$Ah_i \leq \sqrt{I}$	
$Ah\ (i) \leq$	$\sqrt{(T)} = \sqrt{avance\ lineal} = \sqrt{2.80} = 1.67$

Nota. Elaboración propia

Por lo tanto, se debe tener en cuenta el $Ah_{(i)} \leq (I)$, donde se calcula basándose en el avance lineal, I (m) = 2.24, que establece si la medida asociada a la cifra de cuadrantes es igual o menor a 1.67, evidenciando que este se precisa en el punto 5, de tal manera, que el diseño de malla tendrá 5 cuadrantes.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Taladros de ayuda

Ecuación 24

Intervalo del burden

$$B = 0.6\ x\ I$$

$$B = 1.68\ m$$

Ecuación 25

Constante de roca corregido

$$C' = c + \frac{0.07}{B}$$

$$C' = 0.38$$

Ayuda de hastiales

Ecuación 26

Burden máximo

$$Bmáx = 0.9\ (\sqrt{\frac{RWS\ x\ q\ (kg/m)}{C'(kg/m^3)\ x\ 1.45\ x\ 1.25}})$$

$$Bmáx = 0.77\ m$$

Ecuación 27

Burden práctico

$$Bp = \frac{(ancho\ de\ la\ sección - Ah_2)}{4}$$

$$Bp = 0.75\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 28

Espaciamiento de taladros

$$S = (\frac{Ahi\ (m)}{N°\ taladros - 2})$$

$$S = 0.16\ m$$

Ecuación 29

Ancho de abertura

$$Ah = Ah_2 + (2\ x\ Bp\ x\ S)$$

$$Ah = 0.74\ m$$

Ecuación 30

Número de cartuchos por taladros

$$N = (\frac{I\ (cm) - (0.5\ x\ Bmáx)}{Long.q.cm})$$

$$N = 8.6$$

Ayuda de corona

Ecuación 31

Burden máximo

$$Bmáx = 0.9\ (\sqrt{\frac{RWS\ x\ q\ (kg/m)}{C'(kg/m^3)\ x\ 1.45\ x\ 1.25}})$$

$$Bmáx = 0.84\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ecuación 32

Burden práctico

$$Bp = 0.51\ x\ 0.64\ x\ (ancho\ de\ la\ sección - Ah)$$

$$Bp = 0.98\ m$$

Ecuación 33

Espaciamiento

$$S = 0.33\ x\ (0.653\ x\ ancho\ de\ la\ sección)$$

$$S = 0.76\ m$$

Ecuación 34

Ancho de abertura

$$Ah = (0.653\ x\ ancho\ de\ la\ labor)$$

$$Ah = 2.29\ m$$

Ecuación 35

Número de cartuchos por taladros

$$N = I(m) - (0.5\ x\ Bi\ ayu.corona)/longitud$$

$$N = 8.5$$

Ayuda de arrastre

Ecuación 36

Burden máximo

$$B\ máx = 0.9\ (\sqrt{\frac{RWS\ x\ q\ (kg/m)}{C'\ (kg/m^3)\ x\ 1.45\ x\ 1.25}})$$

$$B\ máx = 0.77\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ecuación 37

Burden práctica

$$Bp = (\sqrt{\frac{0.36\ x\ (altura\ de\ la\ sección - Ah_3)}{2}})$$

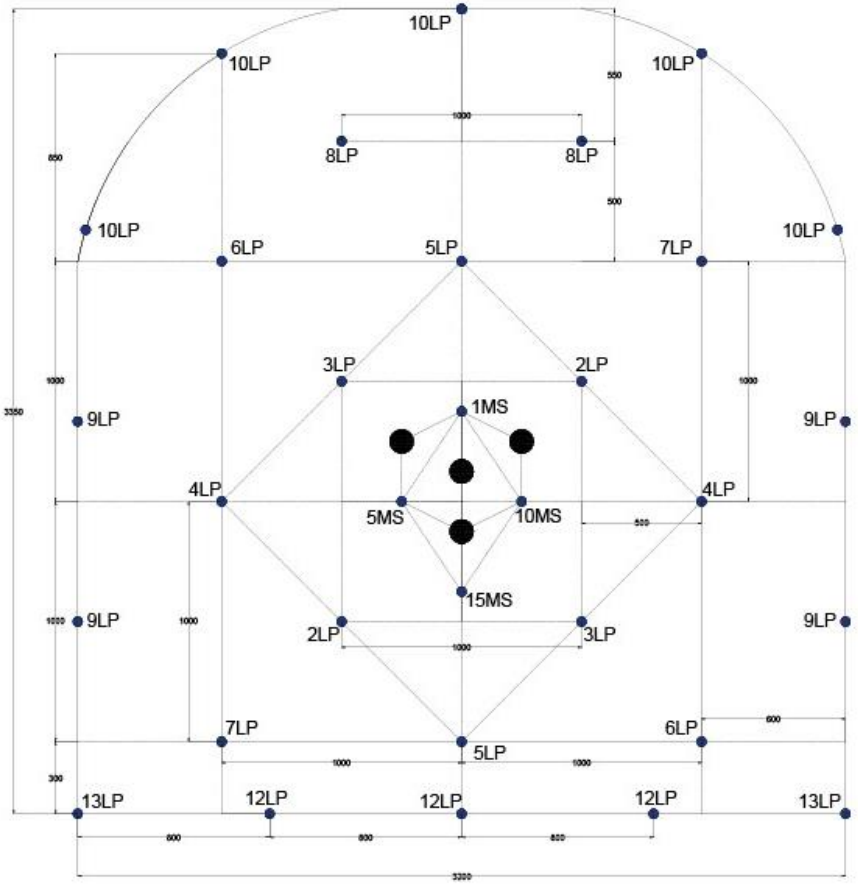
$$Bp = 0.54$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

4.1.3. *Describir la cantidad óptima de carga explosiva para optimizar los resultados operacionales en el Consorcio Minero Horizonte*

Figura 15

Malla optimizada de perforación y voladura de la sección 3.5 m x 3.5 m RMR 50, modelo matemático Roger Holmberg - Roca regular IIIB



Perforacion		
descrpcion	valores	unidades
long. Barra	10	pies
long. Perforacion	7.8	pies
efic. Perforacion	92	%
taladros cargados	32	und
taladros rimados	4	und
total tal. Perforados	36	und
Explosivos		
descripcion	valores	unidades
emulnor 3000 1 1/8" x 12"	84	cart
emulnor 1000 1 1/8" x 12"	104	cart
emulnor 500 1 1/8" x 12"	68	cart
total de explosivos	39.76	kg
fanel/detonador no electrico	32	und
mecha rapida	0.1	m
carmex/detonador	2	und
pentacor/cordon detonante	20	m
tacos de arcilla	32	und
Resultados		
descripcion	valores	unidades
ancho	3.5	m
alto	3.5	m
avance	2.66	m
eficiencia de voladura	95	%
volumen roto	32.63	m^3
toneladas rotas	88.11	Tn
factor de carga lineal	14.95	kg/m
factor de potencia	0.45	kg/tn
factor de carga	1.22	kg/m^3

Nota. Elaboración propia

Con respecto al resultado del tercer objetivo, se tendrá en cuenta la compartición de taladros de la malla optimizada, donde se podrá observar la cantidad óptima de carga explosiva y con su respectivo diseño de malla optimizada.

Tabla 24

Distribución de taladros para malla optimizada

Taladros	N° taladros	Emulnor 3000 1 1/8" x 12" (Cart)	Emulnor 1000 1 1/8" x 12" (Cart)	Emulnor 500 1 1/8" x 12" (Cart)	Cantidad de Cartuchos/Taladro	Emulnor 3000 1 1/8" x 12" (kg)	Emulnor 1000 1 1/8" x 12" (kg)	Emulnor 500 1 1/8" x 12" (kg)	Total (kg) Emulnor 1000	Total (kg) Emulnor 3000	Total (kg) Emulnor 500	Total (kg)
Arranque	4	8			32	0.17	16	0.13	0	5.44	0	5.44
1 Ayuda	4	1	7		32	0.17	0.16	0.13	4.48	0.68	0	5.16
2 Ayuda	4	1	7		32	0.17	0.16	0.13	4.48	0.68	0	5.16
3 Ayuda	4	1	7		32	0.17	0.16	0.13	4.48	0.68	0	5.16
Ayuda corona	2		8		16	0.17	0.16	0.13	2.56	0	0	2.56
Hastiales	4		1	7	32	0.17	0.16	0.13	0.64	0	3.64	4.28
Corona	5			8	40	0.17	0.16	0.13	0	0	5.2	5.2
Piso	5	8			40	0.17	0.16	0.13	0	6.8	0	6.8
Total taladros	**32**	**19**	**30**	**15**	**256**	**1.53**	**17.28**	**1.17**	**16.64**	**14.28**	**8.84**	**39.76**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente las distribuciones de explosivos para cada parte de la malla de perforación, siendo 32 taladros, Emulnor 3000 1 1/8” x 12” es de 19 cartuchos, de 1000 1 1/8” x 12” es de 30 cartuchos, de 500 1 1/8” x 12” es de 15 cartuchos, el total para el Emulnor 1000 es de 16.64 kg, de 3000 es de 14.28 kg y de 500 es de 8.84 kg, siendo un total de 39.76 kg.

4.1.4. *Realizar un análisis de los indicadores de los resultados económicos pre y post al diseño de malla en el Consorcio Minero Horizonte*

En cuanto al resultado del cuarto objetivo, se tendrá en cuenta los gastos de la malla real y la malla optimizada.

Costos de la malla real

Tabla 25

Costo de mano de obra - real

Descripción	Cantidad	Costo mensual $	Días pagados	Costo total $/disparo	Coeficiente de malla	Costo por taladro	Taladros perforados	Costo disparo $/taladro	Costo total por disparo $/disparo
Operador jumbo	1	1609.5	30	53.65	1.00	0.02	45	0.84	53.65
Ayudante jumbo	1	1133.4	30	37.78	1.00	0.03	45	1.19	37.78
Maestro cargador	1	1213.8	30	40.46	1.00	0.02	45	1.11	40.46
Ayudante cargador	1	1074.3	30	35.81	1.00	0.03	45	1.26	35.81
Operador Scoop	1	1458.9	30	48.63	1.00	0.02	45	0.93	48.63
Bodeguero	1	1111.5	30	37.05	1.00	0.03	45	1.21	37.05
Jefe de guardia	1	1847.3	30	61.58	1.00	0.02	45	0.73	61.58
Total	**7.00**							**7.27**	**314.96**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de mano de obra, donde el costo disparo es de 7.27 $/taladro y el costo total por disparo es de 314.96 $/disparo.

Tabla 26

Costo de máquinas y equipos - real

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil	costo / metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Jumbo	1	Hr	236723.00	120000	1.973	45.00	2.13	95.85	189.08
Bomba sumergible 10 HP	1	Hr	200.00	120000	0.002	45.00	2.13	95.85	1.92
Total									**191**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de máquinas y equipos, donde el total del costo/disparo es de $ 191.

Tabla 27

Costos de aceros de perforación - real

Descripción	Precio $	Vida útil (m)	costo/metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Barras cónicas de 10 pies	60.00	300	0.20	45.00	2.13	95.85	19.17
Barras cónicas de 8 pies	63.00	300	0.21	45.00	2.13	95.85	20.13
Brocas de 64 mm	15.00	250	0.06	45.00	2.13	95.85	5.75
Brocas de R32 x 45	26.00	250	0.10	45.00	2.13	95.85	9.97
Total							**55.02**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de aceros de perforación, donde el total del costo/disparo es de $ 55.02.

Tabla 28

Costos de materiales y accesorios de perforación - real

Descripción	cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil (m)	costo / metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Manguera Ø ½"	30	*m*	100.00	150.00	0.67	45.00	2.13	95.85	63.90
Manguera Ø 1"	30	*m*	100.00	150.00	0.67	45.00	2.13	95.85	63.90
Punzón para cebo	1.0	*Unidad*	4.30	120.00	0.04	45.00	2.13	95.85	3.44
Aceite torcola 100	0.3	*gln*	5.38	20.00	0.27	45.00	2.13	95.85	25.77
Llave Stilson 14"	1.0	*Pza*	15.05	175.00	0.09	45.00	2.13	95.85	8.25
Pintura Spray	1.0	*Gal*	2.15	10.00	0.22	45.00	2.13	95.85	20.61
Pico de mango	1.0	*Unidad*	6.99	120	0.06	45.00	2.13	95.85	5.58
Combo	1.0	*Unidad*	12.37	360	0.03	45.00	2.13	95.85	3.29
Barretilla 4′	2.0	*Unidad*	64.52	120	0.54	45.00	2.13	95.85	51.53
Llave francesa 24"	1.0	*Unidad*	28.23	250	0.11	45.00	2.13	95.85	10.82
Cucharilla de 6"	1.0	*Unidad*	3.23	90	0.04	45.00	2.13	95.85	3.44
Barretilla	1.0	*Unidad*	23.66	90	0.26	45.00	2.13	95.85	25.19
Atacadores 6	3.0	*Unidad*	1.34	20	0.07	45.00	2.13	95.85	6.44
Total									**257.09**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente que el total de costo/disparo es de $ 257.09.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 29

Costos de implementos de seguridad - real

Descripción	cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil por tarea	costo/por tarea $
Botas de jebe (par)	7	*Unidad*	11.8	100	0.12
Saco de jebe	7	*Unidad*	14.8	60	0.25
Pantalón de jefe	7	*Unidad*	14.8	60	0.25
Guantes de cuero (par)	7	*Unidad*	2.4	12	0.20
Mameluco	7	*Unidad*	13.2	100	0.13
Casco minero	7	*Unidad*	7.0	240	0.03
Correa porta lampara	7	*Unidad*	6.5	120	0.05
Respirador polvo	7	*Unidad*	18.5	120	0.15
Filtro polvo (par)	7	*Unidad*	5.3	30	0.18
Tapones de oído	7	*Unidad*	0.5	30	0.02
Anteojos de seguridad	7	*Unidad*	1.6	40	0.04
Guantes de jebe (par)	7	*Unidad*	2.7	12	0.22
Total					**1.64**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente que el total del costo/tarea es de $1.64.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 30

Costos de materiales y accesorios de voladura - real

Descripción	cantidad	Unidad	Costo unitario $	Cantidad total
Explosivo Emulnor 1000	107	Unidad	0.32	34.52
Explosivo Emulnor 3000	72	Unidad	0.35	15.40
Explosivo Emulnor 500	136	Unidad	0.29	32.48
Detonador no electrico	45	Unidad	0.34	15.30
Carmex(fuliminante + mecha rápida)	2	Unidad	0.56	20.16
Cordon detonante	20	m	0.14	2.80
Total				**120.66**

Nota. Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Costos de la malla optimizada

Tabla 31

Costos de mano de obra - optimizada

Descripción	Cantidad	Costo mensual $	Días pagados	Costo total $/disparo	Coeficiente de malla	Costo por taladro	Taladros perforados	Costo disparo $/taladro	Costo total por disparo $/disparo
Operador Jumb0	1	1609.5	30	53.65	1.00	0.02	35.00	0.65	53.65
Ayudante Jumbo	1	1133.4	30	37.78	1.00	0.03	35.00	0.93	37.78
Maestro cargador	1	1213.8	30	40.46	1.00	0.02	35.00	0.87	40.46
Ayudante cargador	1	1074.3	30	35.81	1.00	0.03	35.00	0.98	35.81
Operador Scoop	1	1458.9	30	48.63	1.00	0.02	35.00	0.72	48.63
Bodeguero	1	1111.5	30	37.05	1.00	0.03	35.00	0.94	37.05
Jefe de guardia	1	1847.3	30	61.58	1.00	0.02	35.00	0.57	61.58
Total		**9448.70**		**314.96**				**5.65**	**314.96**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de mano de obra, donde el costo disparo es de 5.65 $/taladro y el costo total por disparo es de 314.96 $/disparo.

Tabla 32

Costos de máquinas y equipos - optimizada

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil	costo / metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Jumbo	1	Hr	236723.00	120000	1.973	35.00	2.65	92.75	182.97
Bomba sumerg. 10 HP	1	Hr	200.00	120000	0.002	35.00	2.65	92.75	0.15
Cargador	1	Hr	50.00	120000	0.000	35.00	2.65	92.75	0.04
Total									**183.16**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de máquinas y equipos, donde el total del costo/disparo es de $ 183.16.

Tabla 33

Costos de aceros de perforación - optimizada

Descripción	Precio $	Vida útil (m)	costo / metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Barras cónicas de 10 pies	60.00	300	0.20	35.00	2.65	92.75	18.55
Barras cónicas de 8 pies	63.00	300	0.21	35.00	2.65	92.75	19.48
Brocas de 64 mm	15.00	250	0.06	35.00	2.65	92.75	5.57
Brocas de R32 x 45	26.00	250	0.10	35.00	2.65	92.75	9.65
Total							**53.24**

Nota. En esta representación, se resalta visualmente los gastos de aceros de perforación, donde el total del costo/disparo es de $ 53.24

Tabla 34

Costos de materiales y accesorios de perforación

Descripción	cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil (m)	costo/metro $	Taladros perforados	avance perforado	(m) perforados	costo / disparo $
Manguera Ø ½"	30	m	100.00	150.00	0.67	35.00	2.65	92.75	61.83
Manguera Ø 1"	30	m	100.00	150.00	0.67	35.00	2.65	92.75	61.83
Punzón para cebo	1.0	*Unidad*	4.30	120.00	0.04	35.00	2.65	92.75	3.32
Aceite torcola 100	0.3	*gln*	5.38	20.00	0.27	35.00	2.65	92.75	24.93
Llave Stilson 14"	1.0	*Pza*	15.05	175.00	0.09	35.00	2.65	92.75	7.98
Pintura Spray	1.0	*Gal*	2.15	10.00	0.22	35.00	2.65	92.75	19.95
Pico de mango	1.0	*Unidad*	6.99	120	0.06	35.00	2.65	92.75	5.40
Combo	1.0	*Unidad*	12.37	360	0.03	35.00	2.65	92.75	3.19
Barretilla 4′	2.0	*Unidad*	64.52	120	0.54	35.00	2.65	92.75	49.87
Llave francesa 24"	1.0	*Unidad*	28.23	250	0.11	35.00	2.65	92.75	10.47
Cucharilla de 6"	1.0	*Unidad*	3.23	90	0.04	35.00	2.65	92.75	3.32
Barretilla	1.0	*Unidad*	23.66	90	0.26	35.00	2.65	92.75	24.38
Atacadores	3.0	*Unidad*	1.34	20	0.07	35.00	2.65	92.75	6.23
Total									**248.77**

Nota. En esta tabla 23, se puede visualizar que el total de gastos/disparo es de $ 248.77

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 35

Costos de implementos de seguridad

Descripción	cantidad	Unidad	Precio $	Vida útil por tarea	costo/por tarea $
Botas de jebe (par)	7	*Unidad*	11.8	100	0.12
Saco de jebe	7	*Unidad*	14.8	60	0.25
Pantalón de jefe	7	*Unidad*	14.8	60	0.25
Guantes de cuero (par)	7	*Unidad*	2.4	12	0.20
Mameluco	7	*Unidad*	13.2	100	0.13
Casco minero	7	*Unidad*	7.0	240	0.03
Correa porta lampara	7	*Unidad*	6.5	120	0.05
Respirador polvo	7	*Unidad*	18.5	120	0.15
Filtro polvo (par)	7	*Unidad*	5.3	30	0.18
Tapones de oído	7	*Unidad*	0.5	30	0.02
Anteojos de seguridad	7	*Unidad*	1.6	40	0.04
Guantes de jebe (par)	7	*Unidad*	2.7	12	0.22
Total					**1.64**

Nota. En esta tabla 24, se puede visualizar que el total del costo/tarea es de $1.64.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 36

Costos de insumos y accesorios de voladura

Descripción	cantidad	Unidad	Costo unitario $	Cantidad total
Explosivo Emulnor 1000	104.00	Unidad	0.24	25.65
Explosivo Emulnor 3000	84.00	Unidad	0.32	12.58
Explosivo Emulnor 500	68.00	Unidad	0.32	18.71
Detonador no eléctrico	32	Unidad	0.34	11.90
Carmex(fuliminante + mecha rápida)	2	Unidad	0.50	10
Cordon detonante(m)	20	m	0.14	2.80
Total				**81.64**

Nota. Elaboración propia

Luego de obtener los datos mostrados anteriormente, se realiza una comparativa entre la malla real y la malla mejorada, tal y como se resalta en la siguiente representación visual.

- **Incremento de la Productividad**

Tabla 37

Comparación entre la malla real vs malla optimizada

Descripción	Optimizada	Real
	Cantidad	Cantidad
$N°\ taladros$	32	45
$N°\ taladros\ vacíos$	4	4
$Total\ de\ explosivo\ Kg\ /\ disparo$	39.76	47.04
$Cantidad\ de\ detonador\ no\ electrico$	32	45
$Factor\ de\ carga\ (kg/Tn)$	0.61	0.67
$Factor\ de\ avance\ (kg/m)$	14.95	22.08
$Volumen\ roto\ (tn/m3)$	88.11	70.44

Nota. Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la Tabla 38 se aprecia que el número de taladros utilizados en la malla real fue de 45, mientras que en la malla optimizada se redujo a 32, manteniéndose el número de taladros vacíos en 4 para ambos casos. El total de explosivo por disparo disminuyó de 47.06 kg en la malla real a 39.76 kg en la malla optimizada, y la cantidad de detonadores no eléctricos se redujo de 45 a 32. Asimismo, el factor de carga pasó de 0.67 kg/Tn a 0.61 kg/Tn, y el ítem de avance se ajustó de 0.67 kg/m a 0.61 kg/m. Finalmente, el volumen roto por disparo se incrementó de 70.44 tn/m³ en la malla real a 88.11 tn/m³ en la malla optimizada, demostrando que el rediseño de la malla contribuye a una mayor eficiencia operativa y reducción de consumo de explosivos.

Tabla 38

Comparación de longitud de barra de perforación

avance optimizado			avance real		
10 pies	3.04	m	8 pies	2.4384	m
Efic. perforación 92%	2.7968	m	Efic. perforación 92%	2.243328	m
Efic de voladura 95%	2.65696	m	Efic de voladura 95%	2.1311616	m

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 29 se muestra que la longitud del barreno utilizada en la malla real fue de 8 pies, mientras que en la malla optimizada se incrementó a 10 pies. A pesar de esta diferencia, la eficiencia de avance por disparo mejoró significativamente, alcanzando 2.65 m en la malla optimizada frente a 2.13 m en la malla real, lo que evidencia el impacto positivo del rediseño de la malla en el rendimiento de perforación y voladura.

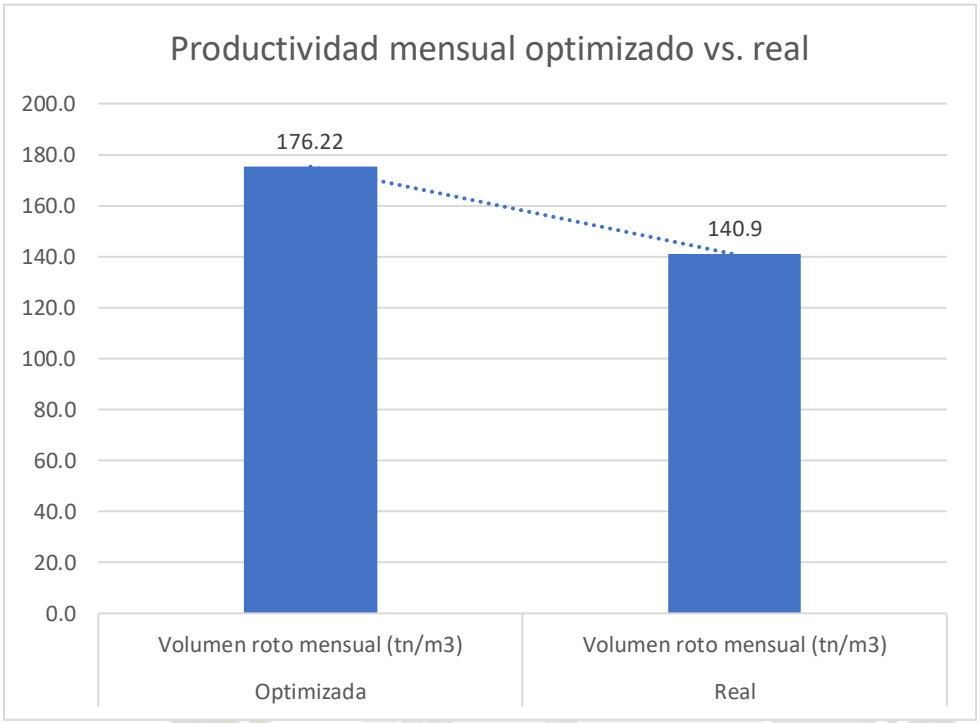
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 16

Productividad de avance mensual vs real



Nota. Elaboración propia

En la Figura 17 se observa que la optimización de la malla de perforación y voladura permitió incrementar la productividad mensual de 140.9 tn/m³ a 176.22 tn/m³. Considerando que el volumen por disparo en la malla optimizada fue de 88.11 tn/m³, frente a 70 tn/m³ en la malla real, y que en la operación del Consorcio Minero Horizonte se realizan dos guardias por día, al multiplicar este valor por dos y por los 30 días del mes, se obtiene el total mensual de producción. Esto evidencia que la aplicación de la configuración matemática de Roger Holmberg en el diseño de la malla contribuye significativamente a mejorar la eficiencia operativa y maximizar el rendimiento de la perforación y voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 39

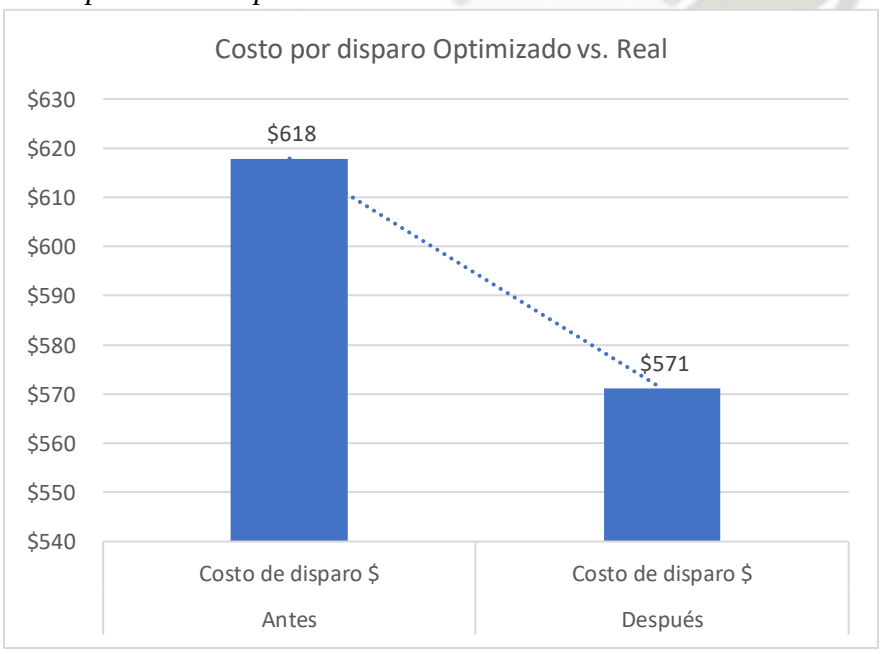
Resumen de costos por avance

Descripción	Antes Costo de disparo ($/m)	Después Costo de disparo ($/m)	Diferencia Costo de disparo ($/m)
Mano de obra	7.27	5.65	1.62
Máquinas y equipos	189.28	183.16	6.12
costos de accesorios de perforación	55.02	53.24	1.78
Costos de materiales y accesorios de perforación	257.1	248.77	8.31
Costos de implementos de seguridad	1.64	1.64	0.00
Costos de materiales y accesorios de voladura	107.60	78.6	28.96
Total	**617.90**	**571**	**46.79**

Nota. Elaboración propia

Figura 17

Costo por avance optimizado vs. real



Nota. Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la representación visual siguiente se evidencia que, mediante la implementación del diseño optimizado de la malla de perforación y voladura, se logró reducir los gastos operativos de $618 a $571 por metro perforado, demostrando un ahorro significativo y la eficiencia económica derivada de la optimización del proceso.

4.1.5. ***Proponer un esquema de capacitación y sensibilización para el personal involucrado en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad***

Con respecto al resultado del quinto objetivo, se realizará un esquema con el objetivo de consolidar las mejoras en la productividad y garantizar la grandeza en el desarrollo de perforación y voladura, se ha diseñado un programa integral de capacitación y sensibilización dirigido al personal involucrado en estas actividades. Por lo tanto, este esquema aborda aspectos técnicos, operativos y de seguridad, alineándose con las mejoras prácticas del sector minero, sustentándose en evidencia científica que respalda su aporte positivo a la optimización de procesos.

- ✓ **Capacitación técnica especializada**

  Se realizará un programa de formación estructurado en las siguientes áreas clave:

  - **Optimización de la malla de perforación:** Técnicas avanzadas para enaltecer la distribución y diseño de la malla, aportando a minimizar los gastos unitarios.
  - **Selección eficiente de explosivos:** Criterios técnicos para la adecuada elección de explosivos en fases a las descripciones del macizo rocoso, relacionándose con el modelo de malla de perforación.
  - **Innovaciones en técnicas de voladura:** Aplicación de metodologías modernas para minimizar las vibraciones, logrando optimizar la performance de la voladura.
  - **Mantenimiento preventivo de equipos:** Tener en cuenta estrategias para la conservación óptima de los dispositivos de perforación y voladura, donde permite garantizar la operatividad y extendiendo el ciclo de operación de los dispositivos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De tal manera, que para que se refuerce los conocimientos adquiridos, se tendrán que llevar a cabo sesiones prácticas donde los operarios podrán aplicar todas las técnicas aprendidas en entornos controlados, estas actividades pueden incluir lo siguiente:

- **Simulación de perforaciones y voladura controladas:** Utilizar el software especializado y simuladores para que se pueda evaluar diferentes escenarios operativos.
- **Ejercicios prácticos en mina:** Aplicación de las mejores prácticas en condiciones reales, supervisadas por instructores especializados.

✓ **Sensibilización en seguridad y medio ambiente**

Dado que la perforación y voladura conllevan riesgos operacionales y ambientales, el programa incluirá sesiones de sensibilización orientadas a:

- **Manejo seguro de explosivos y prevención de riesgos:** Se tendrá en cuenta las normativas, protocolos y mejores prácticas para la manipulación de explosivos en condiciones seguras.
- **Reducción de impactos ambientales:** Estrategias para minimizar la generación de vibraciones, proyección de rocas y emisiones contaminantes.
- **Concienciación sobre sostenibilidad:** Promoción de prácticas responsables que reduzcan el efecto de ítems negativos en la zona.

✓ **Evaluación del desempeño y seguimiento**

Para que se pueda garantizar la efectividad del esquema de capacitación se implementará un sistema de evaluación y monitoreo basado en los siguientes puntos.

- **Pruebas teóricas y prácticas periódicas:** Medición de la asimilación de conocimiento y habilidades adquiridas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Indicadores clave de desempeño:** Análisis del impacto de la capacitación en la reducción de costos.
- **Retroalimentación continua:** Ajuste del programa en función de los resultados obtenido y las necesidades detectadas en campo.

4.2. *Discusión de Resultados*

4.2.1. Evaluación de la productividad actual del proceso de perforación y voladura

La evaluación inicial del Consorcio Minero Horizonte indicó un avance promedio de 26.09 m³ por disparo, con la malla estándar logrando un total productivo de 70.44 TM/disparo. Para la malla real en roca regular IIIB, se registró una longitud de barra de 8 pies, eficiencia de perforación del 92%, eficiencia de voladura del 95%, y un total de 45 taladros cargados. La cantidad de explosivo total utilizada fue de 47.04 kg, logrando un avance de 2.13 m y un volumen roto de 70.44 Tn/m³.

Comparativamente, Condor et al. (2024) en la mina Tingo reportaron una malla de 3.5 x 3.5 m con 43 taladros y un avance por disparo de 1.55 m, consumiendo un promedio de 67.2 kg/m de explosivo. Estos resultados muestran que la productividad actual del Consorcio Minero Horizonte se encuentra por debajo del rendimiento potencial de mallas optimizadas en condiciones similares, evidenciando la necesidad de rediseñar la malla y optimizar el consumo de explosivos.

4.2.2. Diseño de malla de perforación mediante modelo Holmberg

El rediseño propuesto consideró longitud de barra de 10 pies y un espaciamiento de 2.7 m, con 36 taladros, de los cuales 32 fueron cargados y 4 de alivio. La distribución de explosivos totalizó 39.76 kg, logrando un avance de 2.65 m y una eficiencia de voladura del 95%, evidenciando mejoras en el rendimiento operativo y reducción de consumos.

Estos resultados coinciden con estudios de Idone y Tinta (2022) en UM Las Bravas y Condor et al. (2024) en mina Tingo, quienes reportaron que el rediseño de malla permite reducir

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

taladros y optimizar el consumo de explosivos, logrando mejoras en productividad, eficiencia y costos.

4.2.3. Determinación de la carga explosiva óptima

La malla optimizada permitió ajustar la carga explosiva a 33.05 kg distribuidos entre Emulnor 3000, 1000 y 500, logrando 32 taladros cargados y 4 de alivio, con un avance de 2.65 m y eficiencia de voladura del 95%.

Comparaciones con estudios previos muestran resultados consistentes:

- Adauto y Huanuco (2022) lograron incrementar el avance de 2.5 a 3.05 m/disparo y reducir el consumo en 12 kg/disparo.
- Anchapuri (2021) reportó una disminución promedio de 18.66% en el consumo de explosivos mediante diseño optimizado de malla.

Esto evidencia que el diseño de malla influye directamente en la eficiencia operativa y estandarización de voladuras, permitiendo un uso más racional de los explosivos.

4.2.4. Análisis de indicadores económicos pre y post implementación

El rediseño de la malla generó mejoras significativas en los indicadores económicos:

- Malla real: explosivo total 47.04 kg, factor de carga 0.38 kg/Tn, ítem de desarrollo 10.15 kg/m, volumen roto 70.44 tn/m³.
- Malla optimizada: explosivo total 39.76 kg, factor de carga 0.37 kg/Tn, ítem de desarrollo 15.24 kg/m, volumen roto 88.11 tn/m³.

Esto se tradujo en un incremento de la productividad de 140.9 a 176.22 tn/m³ y una reducción de costos de $618 a $571 por disparo. Resultados similares se reportaron en Condor et al. (2024), Adauto y Huanuco (2022) e Idone y Tinta (2022), quienes destacaron ahorros significativos y mejora de eficiencia operativa mediante la optimización de la malla y consumo de explosivos.

4.2.5. Propuesta de capacitación y sensibilización

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El esquema de formación se enfocó en:

- Capacitación técnica especializada en perforación y voladura.
- Métodos avanzados de voladura, selección de explosivos y optimización de malla.
- Sensibilización en seguridad y medio ambiente, garantizando un manejo seguro de explosivos y reducción de impactos ambientales.

Idrissa y Sanoh (2022) reportan que programas similares permiten mejorar la eficiencia de las operaciones y reducir impactos negativos, como vibraciones y fragmentación inadecuada, reforzando la sostenibilidad y seguridad en la faena minera.

Conclusión de la discusión

La aplicación conjunta de evaluación de productividad, diseño optimizado de malla, ajuste de carga explosiva, análisis económico y capacitación del personal permitió mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir costos en el Consorcio Minero Horizonte. Los hallazgos son consistentes con investigaciones previas y muestran que la optimización del proceso de perforación y voladura es clave para incrementar la productividad, garantizar la seguridad y fortalecer la rentabilidad de la operación minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

El nuevo diseño de malla de perforación y voladura permitió disminuir los costos por metro perforado de $618/m a $571/m, logrando un ahorro de $47/m, evidenciando que la optimización de la malla contribuye directamente a la eficiencia económica de la operación minera.

Con el rediseño de la malla se logró reducir la cantidad de taladros de 49 a 36, lo que representa una reducción de 13 taladros por malla, generando un ahorro adicional en tiempo y costos de producción de avance, sin afectar la eficiencia de perforación y voladura.

El consumo total de explosivos se redujo de 94.08 kg a 79.52 kg, mejorando el factor de carga de 0.67 kg/m³ a 0.61 kg/m³. Esto permitió un uso más eficiente de los explosivos, reduciendo el desperdicio y contribuyendo a una operación más segura y económica.

La productividad de avance mensual se incrementó de 140.88 Tn/m³ a 176.22 Tn/m³, con un volumen de material roto por disparo de 88.11 Tn/m³. Este incremento demuestra que la optimización de la malla, junto con la adecuada distribución de explosivos, mejora significativamente el rendimiento operativo.

La implementación de buenas prácticas, como el uso de plantillas para arranque, guiadores, puntos de control, líneas de dirección y arcillas, contribuyó a optimizar la calidad del trabajo de los operarios, reflejándose en una mayor precisión, menor sobrerotura y resultados más consistentes en la producción de avance.

En conjunto, estos resultados evidencian que la optimización del proceso de perforación y voladura, mediante un diseño de malla adecuado, distribución eficiente de explosivos y capacitación del personal, incrementa la productividad, reduce costos y mejora la seguridad en las operaciones mineras del Consorcio Minero Horizonte.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Al planificar la malla de perforación y voladura, es fundamental tener en cuenta el tipo de roca, su clasificación geomecánica y el comportamiento del macizo rocoso, así como el método matemático utilizado y el tipo de explosivo, para garantizar un diseño eficiente y seguro.

Se debe prestar especial atención a la distribución adecuada de la carga explosiva, ajustando la cantidad y ubicación de los explosivos según la fragmentación deseada y el comportamiento del macizo rocoso, con el objetivo de reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del proceso de voladura.

Es recomendable realizar programas de capacitación continúa dirigidos a supervisores, operadores de Jumbo, cargadores y todo el personal involucrado en perforación y voladura. Esto asegurará que el equipo comprenda los principios del diseño de mallas, el manejo seguro de explosivos y las mejores prácticas operativas, aumentando la productividad y optimizando el uso de los recursos.

Se sugiere implementar un traslape eficiente entre turnos durante el cambio de guardia, con la supervisión correspondiente, para minimizar demoras y asegurar la continuidad de las operaciones, evitando pérdidas de tiempo y garantizando un proceso de perforación y voladura más fluido.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adauto, R., & Huanuco, A. (2022). *Optimización de los parámetros de perforación y voladura, para disminuir el costo de avance de los frentes de preparación, Unidad Minera Apminac Pulpera*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio digital Continental. https://doi.org/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12700/2/IV_FIN_110_TE_Adauto_Huanuco_2022.pdf

Adedara, F., Kolapu, P., Ogunsola, N., Munemo, P., & Akinola, A. (2022). Application of Improved Blasting Techniques in Open Pit Mining for Maximum Productivity: A Case of Oakyam Quarry Limited, Ogun State, Nigeria. *Science Publishing Group, 10*(2), 12-23. https://doi.org/10.11648/j.sjee.20221002.11

Caride, C. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas.* Madrid: Instituto Tecnologico Geominero.

Cheng, P., Li, Y., Lu, C., Jiang, S., & Xu, H. (2022). Study on Blasting Effect Optimization to Promote Sustainable Mining under Frozen Conditions. *Sustainability, 14*(24), 16479. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su142416479

Chipana, R. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería progreso de la contrata minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1937

Choque, E. (2017). *Diseño de perforación y voladura por el método Roger Holmberg para reducir las incidencias de voladuras deficientes en Cía Minera Ares S.A.C.-U.O. Arcata* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4654/Choque_Velarde_Emerson.pdf?sequence=1

Condor, O., Rodriguez, A., Castro, L., Llaque, G., & Valderama, M. (2024). Optimization of Drilling and Blasting Processes through Mathematical Models to Increase Productivity in the SE Cutting Nv. 1680-Tingo Mine, Compañía Minera Poderosa S.A.-Pataz-Peru, 2022. *Laccei, 1*(8). https://doi.org/https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.469

Cruz, E. (16 de 04 de 2024). *CONAMIN 2024: Líderes de la minería analizarán oportunidades de inversión en La Libertad*. Obtenido de Rumbo Minero:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/conamin-2024-lideres-de-la-mineria-inversion-la-libertad/

Dammert, A. (2021). *Economía minera*. Lima: Fondo Editorial de la PUCP.

Dionisio, R. y Flores, E. (2022). *Aplicación del método matemático de Holmberg para reducir el costo unitario de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12401/2/IV_FIN_110_TE_Dionisio_Chihuan_2022.pdf

Fattahi, H., & Ghaedi, H. (2023). Optimizing mining economics: Predicting blasting costs in limestone mines using the RES-based method. *International Journal of Mining and Go -Enineering, 58*(2), 181-190. https://doi.org/10.22059/ijmge.2024.363654.595091

Fernández, R. y Pedraza, J. (2012). Propuesta de fórmula y método para la expresión de la potencia explosiva. *Minería y Geología, 28* (4), 72-86. https://www.redalyc.org/pdf/2235/223524909005.pdf

Guo, H., Lin, L., Wu, J., Lv, Y., & Tong, C. (2024). Optimizing Driving Parameters of the Jumbo Drill Efficiently with XGBoost-DRWIACO Framework: Applied to Increase the Feed Speed. *Mdpi, 24*(8), 2600. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24082600

Huincho, J. (2022). *Optimización del proceso de perforación y voladura para mejorar la eficiencia de avance y controlar la sobrerotura en los frentes de avance de la unidad minera Cerro Lindo, Nexa Resources S. A. A.* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio digital Continetal. https://doi.org/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12258/4/IV_FIN_110_TE_Huincho_Torres_2022.pdf

Idrissa, F., & Sanoh, O. (2022). Analysis and Optimization of Blasting Practices at the Sangaredi Mine. *Scientific Research Publishing, 10*(9), 149-169. https://doi.org/10.4236/gep.2022.109010

Juez, J. (2020). *Productividad Extrema: Como Ser Más Eficiente, Producir Más, y Mejor.* México. https://doi.org/https://books.google.com.pe/books?id=2YznDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Lozynskyi, V., Yussupov, K., Rysbekov, K., Rusternov, S., & Bazaluk, O. (2024). Using sectional blasting to improve the efficiency of making cut cavities in underground mine

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

workings. *Frontiers, 12*, 1366901. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/feart.2024.1366901

Mendoza, N. (2014). *Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraiso-Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/93eade89-9a36-4b6f-9799-1c00a48b75c7/content

Minaria Sostible de Galicia. (06 de 06 de 2022). *El 45% de economía mundial está impulsada por el sector minero*. Obtenido de Minaría Sostible de Galicia: https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/

Ortiz, N. y Chipana, E. (2024). *Aplicación del modelo matemático de Holmberg para optimizar los parámetros de perforación y voladura y poder reducir los costos de las labores mineras* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/11208/N.Ortiz_E.Chipana_Tesis_Titulo_Profesional_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Otto, T., & Lindeque, G. (2021). Improving productivity at an open-pit mine through enhanced short-term mine planning. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 12*(11), 589-598. https://doi.org/https://doi.org/10.17159/2411-9717/1710/2021

Quezada, W. (2017). *Optimización de perforación y voladura aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg en frentes de 3.5 m * 3 m en roca tipo II veta Papagayo. Mina Poderosa. 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU. https://dspace.unitru.edu.pe/items/143d6e84-eab3-4711-86bc-a1fe0cbc95e0

Rebollo, P. (2020). *Metodología de la Investigacion /Recopilacion.* Buenos Aires: Editorial Autores de Argentina.

Reyes, E. (2022). *Metodolog{ia de la Investigación Científica.* México: Page Publishing, Incorporated.

Sociedad de Comercio Exterior del Perú. (2024). *Desempeño de la actividad minera en el Perú*. Obtenido de COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior del Perú: https://www.comexperu.org.pe/articulo/desempeno-de-la-actividad-minera-en-el-peru

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Statista. (2024). *Producción de minerales en América Latina de 2005 a 2021*. Obtenido de statista.com: https://es.statista.com/estadisticas/1131997/empresas-mineras-america-latina-lideres-ventas/

Ynfantes, L. (2020). *Cambio de malla de perforación y voladura para reducir costos en la galería 10510 N en una empresa minera de Pataz* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI]. Repositorio Institucional UCT. https://repositorio.uct.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2d56ee1a-bac6-40a9-adc1-d1826526ad03/content

Yu, J., Liu, X., & Wu, H. (2022). Optimization and Simulation of Monitoring Technology of Blasting Rock Movement Trajectory Based on the Improved SVM Algorithm. *Wiley Online Library*, *2022*(1), 4825212. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/4825212

Yussupov, K., Myrzakhmetov, S., Aben, K., & Nehrii, S. (2021). Optimization of the drilling-and-blasting process to improve fragmentation by creating of a preliminary stress in a block. *E3S Web of Conferences*, *280*(2021), 08015. https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128008015

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Variables	Metodología
Problema General ¿Cómo se puede optimizar el proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad en el Tj 2070, Nv. 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy-Consorcio Minero Horizonte, evaluando la productividad actual, diseñando la malla de perforación, describiendo la cantidad óptima de carga explosiva, realizando un análisis de los indicadores de los resultados económicos y proponiendo un esquema de capacitación y sensibilización durante el mes de agosto hasta diciembre en el periodo 2024? **Problemas Específicos** ¿Cuál es el estado actual de productividad en el proceso de perforación y voladura del Consorcio Minero Horizonte La Libertad? ¿De qué manera se diseñará la malla de perforación para que pueden contribuir a la disminución de costos en el proceso de perforación del Consorcio Minero Horizonte La Libertad? ¿Cuál es la cantidad ideal de carga explosiva que permite maximizar la eficiencia y los resultados operativos en el proceso de perforación y voladura del Consorcio Minero Horizonte La Libertad? ¿Cuáles son las variaciones que se presentan en los indicadores de los resultados económicos del Consorcio Minero Horizonte La Libertad tras el diseño optimizado de malla de perforación? ¿Qué características debe tener un programa de capacitación y sensibilización para mejorar las competencias y el desempeño del personal en los procesos de perforación y voladura del Consorcio Minero Horizonte La Libertad?	**Objetivo General** Optimizar el proceso de perforación y voladura para incrementar la productividad de avance mensual en 175.3 tn/m^3 en el Tj 2070, Nv. 1865, Zona Rosa de la Unidad Minera Parcoy-Consorcio Minero Horizonte, evaluando la productividad actual, diseñando la malla de perforación, describiendo la cantidad óptima de carga explosiva, realizando un análisis de los indicadores de los resultados económicos y proponiendo un esquema de capacitación y sensibilización durante el mes de agosto hasta diciembre en el periodo 2024. **Objetivos Específicos** Evaluar la productividad actual del proceso de perforación y voladura en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad. Diseñar una malla de perforación a través del modelo matemático Holmberg para reducir costos correspondientes al proceso de perforación en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad. Describir la cantidad óptima de carga explosiva para optimizar los resultados operacionales en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad. Realizar un análisis de los indicadores de los resultados económicos pre y post al diseño de malla en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad. Proponer un esquema de capacitación y sensibilización para el personal involucrado en el Consorcio Minero Horizonte La Libertad.	**V.I.** Optimización del proceso de perforación y voladura **V.D.** Productividad	**Tipo** Aplicado **Nivel** Descriptivo **Diseño** No experimental **Población** Estará constituida por las labores ejecutadas en el área de perforación y voladura en el Consorcio Minero Horizonte desde el mes de agosto hasta diciembre en el periodo 2024 **Muestra** Se tuvo en cuenta al tipo de roca regular con un RMR de 41-50 en el Tj 2070, Nv. 1865, Zona Rosa del Consorcio Minero Horizonte ubicado en la Libertad. **Técnica** Análisis documental Observación **Instrumentos** Guía de análisis documental Guía de observación