



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático Holmberg en el bypass 2573 unidad minera Parcoy La Libertad, 2024”

Trabajo de suficiencia profesional para optar al título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Cantalicio Romero David Carlos
Reyna Garcia Heyner Jhampier

Asesor:

Ing. Mg. Alvarado Obeso Ronald Antonio
<https://orcid.org/0000-0001-7264-6490>

Trujillo - Perú

2024

INFORME DE SIMILITUD






15% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante. Su confianza en mí ha sido una fuente de inspiración en cada paso de este camino.

David Carlos Cantalicio Romero

A mis seres queridos, por ser el pilar de mi vida. Su aliento y motivación me han impulsado a alcanzar mis metas.

Heyner Jhampier Reyna García

AGRADECIMIENTO

Nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Mg. Alvarado Obeso Ronald Antonio, por su invaluable apoyo y asesoría durante el desarrollo de este trabajo de suficiencia profesional. Su vasta experiencia y conocimientos en el campo de la ingeniería de minas han sido fundamentales para guiarnos en cada etapa del proyecto.

Asimismo, deseamos extender nuestro agradecimiento a la Unidad Minera Parcoy, por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto en un entorno tan enriquecedor y desafiante.

Los autores

Tabla de contenidos

Índice de similitud.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimiento.....	4
Índice de tablas	6
Índice de Figuras.....	7
RESUMEN EJECUTIVO.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculos mediante el algoritmo de Holmberg.....	52
Tabla 2. Distribución de taladros.....	53
Tabla 3. Numero de explosivos encartuchados y usados en la malla de perforación.....	54
Tabla 4. Consumo de explosivos y accesorios de voladura por disparo	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa minera ESMINPSA S.A.C.;	Error! Marcador no definido.	16
Figura 2. Problemas diagnosticados en la voladora controladas;	Error! Marcador no definido.	49
Figura 3. Diseño en la malla de perforación y voladura controlada;	Error! Marcador no definido.	50
Figura 4. Distribución de la carga explosiva de la malla de perforación		59
Figura 5. Distribución de energía usando el Jk Simblast 2D Face.		63
Figura 6. Factor de potencia calculado (kg/ton)		64
Figura 7. Factor de carga lineal (Kg/m)		65
Figura 8 Sobrerotura calculada en el Software Jk Simblast 2D Face.....		65

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo abordar la problemática de la sobrerotura en toda la corona y hastiales, buscando reducir los costos asociados al sostenimiento con cimbras de dimensiones 2.4 m x 2.7 m en el bypass 2573 de la Unidad Minera Parcoy. Para lograrlo, se llevó a cabo una comparación entre la malla de perforación utilizada en una voladura convencional y aquella optimizada mediante la implementación del modelo matemático de Holmberg. Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios, evidenciando una reducción del 13.24 % en la sobrerotura. Esta optimización no solo mejoró la precisión y la eficiencia del proceso de voladura, sino que también permitió un mejor control de la sobrerotura, contribuyendo a una operación minera más eficiente y segura en la Unidad Minera Parcoy. Entre las principales conclusiones del trabajo, se destaca que la optimización realizada ha mejorado notablemente la eficiencia de perforación y voladura, lo que podría resultar en un aumento del bance a bajo costo en el Bypass 2573 durante el año 2024. Asimismo, se concluye que la optimización de la malla de perforación y voladura ha tenido un impacto positivo en la reducción de la sobrerotura. Por último, se resalta la importancia del seguimiento continuo de los datos, el cual es esencial para evaluar y mantener las mejoras implementadas en la eficiencia de perforación y voladura. Este trabajo no solo subraya la relevancia de la implementación del modelo matemático en las operaciones mineras, sino que también demuestra su capacidad para generar resultados tangibles que benefician tanto a la operación como al entorno laboral.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Experiencia Profesional

David Cantalicio Romero:

Actualmente me desempeñó en mi carrera profesional en el área de operación mina. Me gradué en la Universidad Privada del Norte, con más de 2 años de experiencia en operaciones mineras. En la actualidad desempeño el cargo de Ingeniero Jefe de Guardia en el área de Operaciones Mina, donde soy responsable directo de la producción mina (Tn/Hom-Guar.), cumpliendo con el Programa de Desarrollo, preparación y explotación de mina semanal, mensual y anual.

Heyner Jhampier Reyna García:

Bachiller en Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte con más de 2 años de experiencia en operaciones mineras subterráneas y open pit, mi mayor conocimiento se enfoca en operaciones mina a tajo abierto, actualmente desempeño el cargo de Supervisor de Operaciones cuya función es coordinar y desarrollar las operaciones unitarias tales como carguío, acarreo, descargas en botadero y PAD's, control de flota y cumplir el plan de producción de la mina, contribuyendo al cumplimiento de los estándares y objetivos de la unidad minera.

1.1.1. Experiencia

Experiencia de: David Cantalicio Romero:

Durante mi carrera, he tenido la oportunidad de ejecutar proyectos de perforación y voladura, sostenimiento en minería convencional y mecanizada. Supervisando trabajos unitarios de producción y avances, construyendo una rescatada experiencia en el área de planificación y

operaciones mineras, rescatando la responsabilidad en gestión de la seguridad minera obteniendo un excelente resultado como líder en operación minera.

Experiencia de: Heyner Jhampier Reyna García:

A lo largo del ámbito laboral he forjado una destacada carrera profesional como especialista en supervisión de movimientos de tierras a tajo abierto, he liderado proyectos de ampliación de botaderos, PAD's, mejoramiento de vías y construcción de pozas de lixiviación. Cumpliendo el requerimiento, estándares y seguridad se desarrolló con éxito dichos trabajos ejecutados bajo mi supervisión.

1.1.2. Logros destacados

David Cantalicio Romero:

En mi trayectoria profesional, he obtenido logros destacados las cuales son:

- Mejora productiva: Implementé voladura controlada en perfil de labores con rocas tipo regular mala, controlando la dilución del mineral y reduciendo costos en sostenimiento.
- Mejora en estándar de seguridad: Gestioné la implementación de seguridad minera usando las herramientas de gestión y sistema integrado DNV, disminuyendo incidentes en la zona de trabajo.
- Gestión de trabajos de alto riesgo: Desarrollé herramientas de gestión como el PETAR, capacitando y dando charlas en el lugar de trabajo, resultados óptimos en reducción de incidentes y accidentes en el lugar de trabajo.

Heyner Jhampier Reyna García:

- Mejora de procesos: Implementé herramientas de mejora continua para tener un mejor control de kpi de producción que permita tomar decisiones más acertadas.
- Gestión de seguridad: Mejoramiento del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, que garanticen las condiciones laborales adecuadas de los trabajadores para prevenir accidentes y enfermedades laborales, proteger al medio ambiente y propiedad.
- Planificación de trabajo: Realicé un mejor control y distribución de flota de carguío y acarreo para reducir tiempos muertos, bajar consumo de combustible de equipo línea amarilla y blanca para reducir costos y mejorar la productividad.
- Cumplimiento de estándares: Cada proyecto realizado bajo mi supervisión fue ejecutados según los procedimientos y superando los estándares de calidad y seguridad que nos solicita la unidad minera.

1.1.3. Responsabilidades Actuales**David Cantalicio Romero:**

Mi cargo actual es Ingeniero Jefe de Guardia, donde reporto directamente a Jefe de Sección y tengo la responsabilidad de:

- Hacer seguimiento de los procesos de operaciones mina para una mejora continua y optimizar la producción.

- Cumplir con la capacitación y retroalimentación de charla de seguridad de 5 minutos con el personal directamente en labor.
- Supervisar la perforación, voladura, acarreo de mineral y desmonte.
- Hacer un historial para Analizar diariamente los KPI'S, Indicadores de Perforación y Voladura, Ratios, Rendimientos, etc.
- Supervisar trabajos unitarios de producción y avances del Contratista minero

Heyner Jhampier Reyna García:

- Planificar y supervisar las actividades de carguío, acarreo, descargas en botaderos, Pad's, mantenimiento de vías con equipos auxiliares, siguiendo los PETS y protocolos de seguridad.
- Control y distribución de flota de equipos a fin de que las necesidades de mina sean cubiertas para cumplir con el plan de producción.
- Garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad en todas las operaciones unitarias.
- Coordinar con otras áreas como perforación, voladura, geología, mantenimiento, seguridad a fin de ejecutar el plan de minado para garantizar una operación eficiente.
-

1.2. Reseña histórica de la empresa

Esminsa S.A.C. es una destacada empresa minera peruana fundada en un contexto de creciente interés por la minería en el país, especialmente durante las últimas décadas del siglo XX. Desde su creación, ha experimentado un crecimiento sostenido al expandir sus operaciones en diversas regiones mineras, enfocándose en la extracción de minerales como el cobre, oro y plata. Comprometida con la sostenibilidad, Esminsa ha implementado prácticas responsables que incluyen la inversión en proyectos comunitarios y el uso de tecnologías más limpias. A lo largo de su trayectoria, ha adoptado innovaciones para mejorar la eficiencia en sus procesos, consolidándose como un actor importante en la industria minera y recibiendo reconocimientos por su contribución al desarrollo económico y social de las comunidades donde opera.

1.2.1. Visión

Ser una empresa contratista líder y reconocida en el ámbito minero por la calidad de nuestros servicios siendo nuestro compromiso la constante mejora de los índices de calidad, productividad y seguridad en nuestras operaciones.

1.2.2. Misión

Proporcionar servicios de ingeniería y construcción de alta calidad para una variedad de industrias, con un enfoque particular en la explotación de minas. Esta especialización nos ha permitido establecer sólidas alianzas con empresas líderes en el sector minero, siendo uno de nuestros clientes destacados la prestigiosa compañía minera Parcoy.

1.2.3. Valores

- **MEJORA CONTINUA:** Aceptamos los distintos desafíos para realizar la mejora continua optimizando procesos.
- **TRABAJO EN EQUIPO:** Trabajar bajo una misma dirección lo que implica compromiso y comunicación durante el proceso del logro de objetivos.
- **TRANSPARENCIA:** Actuar de forma honesta, clara e íntegra con toda nuestra organización y sus stakeholders.
- **EXCELENCIA:** Si nos exigimos lo mejor, podremos dar lo mejor en base a calidad.
- **LEALTAD:** Nuestra fidelidad tanto con nuestros colaboradores y nuestros clientes será muestra de un reflejo de un trabajo de equipo.

1.2.4. Logros destacados

Colaboración con Parcoy: Establecimos una alianza estratégica con Parcoy, una de las compañías mineras más respetadas de la región. Esta colaboración ha permitido el desarrollo de proyectos innovadores que no solo cumplen con los estándares de calidad, sino que también han mejorado la eficiencia operativa de Parcoy. La confianza depositada en nosotros ha sido fundamental para expandir nuestra reputación en el sector.

Certificación en sostenibilidad: Obtuvimos la certificación ISO 14001, que demuestra nuestro compromiso con la gestión ambiental. Este logro resalta nuestra dedicación a implementar prácticas sostenibles en todos nuestros proyectos, lo que no solo beneficia al medio ambiente, sino que

también mejora la percepción de nuestra empresa ante los clientes y la comunidad.

Proyectos de infraestructura innovadores: Hemos completado exitosamente varios proyectos de infraestructura, incluyendo la construcción de caminos de acceso y sistemas de drenaje para operaciones mineras. Estos proyectos han sido fundamentales para facilitar el transporte de materiales y mejorar la seguridad en las operaciones mineras, lo que ha resultado en una mayor productividad y menores costos operativos para nuestros clientes.

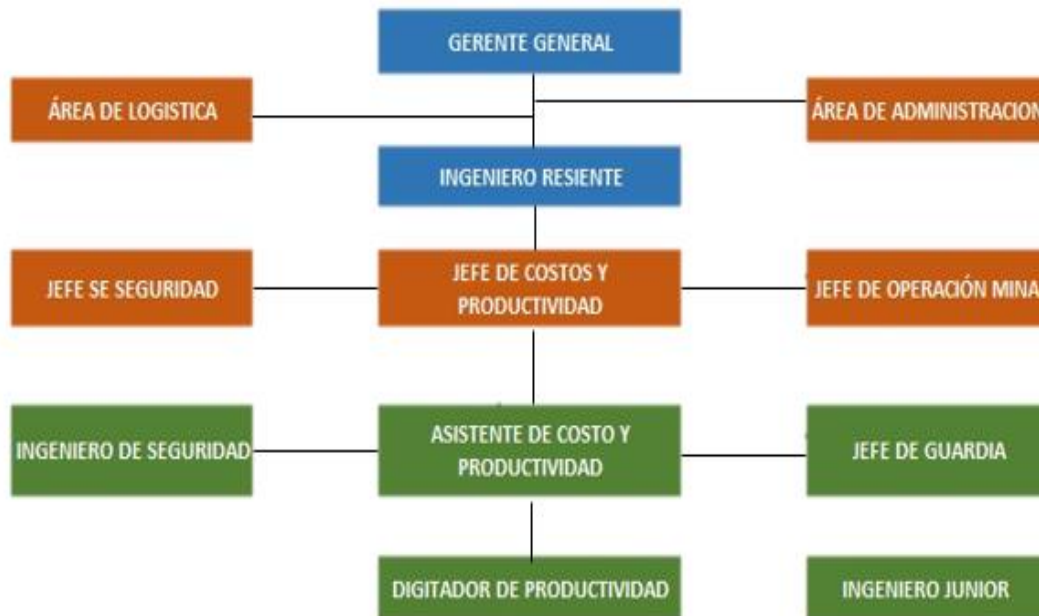
Capacitación y desarrollo del personal: Implementamos un programa de capacitación continua para nuestros empleados, enfocado en nuevas tecnologías y prácticas de seguridad. Este esfuerzo ha mejorado significativamente las habilidades de nuestro personal, reduciendo incidentes laborales y aumentando la eficiencia en los proyectos. La inversión en nuestro equipo humano es una prioridad que se traduce en un mejor servicio para nuestros clientes.

Reconocimientos en la industria: Hemos recibido varios premios de la industria por nuestra excelencia en ingeniería y construcción. Estos reconocimientos no solo validan nuestra calidad de trabajo, sino que también refuerzan nuestra posición como líderes en el sector, atrayendo nuevos clientes y oportunidades de negocio.

1.3. Organigrama

Figura 1

Organigrama de la empresa minera ESMINPSA S.A.C.



1.4. Servicios que ofrece la empresa

1.4.1. Extracción de Minerales: Cobre, oro, plata y otros minerales.

1.4.2. Procesamiento de Minerales: Técnicas avanzadas para la obtención de metales.

1.4.3. Exploración Geológica: Estudios para identificar nuevos yacimientos minerales.

1.4.4. Consultoría Minera: Asesoramiento en proyectos de minería y desarrollo sostenible.

1.4.5. Responsabilidad Social: Proyectos que benefician a las comunidades locales.

1.5. Políticas de seguridad y salud ocupacional

Esminsa S.A.C. se compromete a garantizar la seguridad y salud de todos sus trabajadores mediante la implementación de políticas rigurosas que incluyen:

- **Capacitación continua:**

Programas de formación en seguridad para todos los empleados.

- **Evaluación de riesgos:**

Identificación y mitigación de riesgos en el lugar de trabajo.

- **Equipos de Protección Personal (EPP):**

Provisión de EPP adecuados para todas las actividades laborales.

- **Monitoreo de salud:**

Exámenes médicos periódicos para asegurar el bienestar de los trabajadores.

- **Promoción de un ambiente seguro:**

Fomento de una cultura de seguridad y salud en todas las operaciones.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En el contexto de la minería moderna, la optimización de los procesos de voladura es fundamental para garantizar la estabilidad y eficiencia de las operaciones. En este sentido, la Unidad Minera Parcoy, ubicada en La Libertad, ha enfrentado desafíos significativos relacionados con la inestabilidad de las labores, especialmente en la corona de las excavaciones. La presencia de roca de mala calidad en esta zona ha resultado en sobre roturas, lo que a su vez ha incrementado los costos asociados al sostenimiento y al uso de explosivos.

Ante esta problemática, se ha decidido implementar un enfoque basado en la voladura controlada, utilizando el modelo matemático de Holmberg (Holmberg et al., 1996). Este modelo permite realizar un análisis detallado de las características de la roca y optimizar la malla de perforación, con el objetivo de minimizar la sobrerotura y mejorar la estabilidad de las labores.

La experiencia profesional en este ámbito incluye la evaluación de diferentes tipos de servicios y productos relacionados con la voladura y el sostenimiento en minería. Se han llevado a cabo estudios previos que han permitido identificar las deficiencias en la malla de perforación utilizada anteriormente, la cual no cumplía con los estándares requeridos para garantizar la seguridad y la eficiencia operativa (Kanchan et al., 2017).

Abocándose a la ingeniería de minas, el trabajo se ha centrado en la optimización de procesos mineros, abarcando desde la exploración y evaluación de yacimientos hasta la planificación y ejecución de operaciones de extracción. Se ha trabajado en la implementación de sistemas de voladura controlada, aplicando modelos matemáticos

como es el de Holmberg para mejorar las mallas de perforación y reducir la sobrerotura, garantizando la estabilidad de las labores en condiciones geológicas desafiantes (Singh & Singh, 2019). Además, se ha colaborado con equipos multidisciplinarios, gestionando riesgos y asegurando el cumplimiento de estándares de seguridad y medio ambiente (Bhandari et al., 2020). La trayectoria incluye la capacitación de personal y la supervisión de operaciones en campo, lo que le ha permitido comprender las realidades del trabajo minero y fomentar un ambiente seguro y eficiente, siempre comprometido con la innovación y la sostenibilidad en el sector (González et al., 2021).

Por lo tanto, la propuesta actual contempla una comparativa entre la malla de perforación anterior y la nueva malla propuesta, diseñada a partir del modelo de Holmberg. Esta comparación se centra en la evaluación de la sobrerotura generada por ambas mallas, permitiendo identificar mejoras significativas en la ejecución de las voladuras y, en consecuencia, en la estabilidad de las labores.

Además, la implementación de la voladura controlada bajo el modelo matemático de Holmberg no solo busca reducir los costos asociados al sostenimiento y al uso de explosivos, sino también mejorar la seguridad y eficiencia de las operaciones en el Bypass 2573 de la Unidad Minera Parcoy. La evaluación de la sobrerotura entre las mallas de perforación permitirá establecer un enfoque más efectivo y adaptado a las condiciones geológicas específicas de la zona, contribuyendo así al éxito de la operación minera en el año 2024.

Entre las bases teóricas y conceptuales involucradas que sustentan la implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático Holmberg en el bypass 2573 de la unidad minera Parcoy, La Libertad, 2024; se tiene a:

1. Voladura controlada:

- La voladura controlada es un proceso crítico en la minería moderna que permite fragmentar rocas de manera eficiente, asegurando que se minimicen los efectos negativos en el entorno. Este método se basa en una planificación precisa y en la aplicación de técnicas específicas para controlar la energía liberada durante la explosión (Kanchan et al., 2018).

2. Modelo Matemático de Holmberg:

- El modelo de Holmberg es esencial para predecir el comportamiento de las explosiones en función de diversos parámetros, incluyendo la geometría de la carga explosiva y las características geológicas del terreno. Este modelo permite calcular la distribución de la energía de la explosión, lo que es fundamental para diseñar voladuras que minimicen el daño a las estructuras adyacentes y optimicen la fragmentación (Holmberg & Persson, 1979).

3. Ciclos de minado:

- Los ciclos de minado se refieren a las etapas que se llevan a cabo en un proceso de extracción de minerales. Cada ciclo incluye la planificación, perforación, voladura, carguío, transporte y finalmente la rehabilitación del área afectada (Coulter, 2020).

- Las etapas son:

Planificación: Es la etapa inicial del ciclo de minado, donde se evalúan las reservas minerales, se realizan estudios geológicos y se diseñan los métodos de extracción. Esta fase es crucial para determinar

la viabilidad económica del proyecto y establecer un cronograma de operaciones (Coulter, 2020).

Perforación: Se utilizan equipos especializados para crear agujeros en la roca, que serán utilizados para la carga de explosivos. Este proceso puede variar en técnica, dependiendo de la dureza de la roca y el tipo de mina. Las técnicas comunes incluyen perforación rotativa y perforación por percusión (Bhandari, 2020).

Voladura: Se cargan los agujeros perforados con explosivos y se detonan. Este proceso está diseñado para fragmentar la roca de manera controlada, permitiendo la extracción del mineral. La voladura puede ser subterránea o a cielo abierto, dependiendo del tipo de mina (Kaiser & Gertsch, 2017).

Carguío: Después de la voladura, el material fragmentado es cargado en equipos de transporte, como cargadores frontales o palas mecánicas. Esta etapa implica mover el mineral desde el lugar de voladura hacia las áreas de procesamiento o almacenamiento (Hustrulid & Bullock, 2018).

Transporte: Implica mover el mineral cargado desde la mina hasta la planta de procesamiento o a un área de almacenamiento temporal. Este proceso puede realizarse mediante camiones, cintas transportadoras o sistemas de tuberías, dependiendo de la distancia y el tipo de operación (Sullivan, 2019).

Procesamiento: En esta etapa, el mineral extraído se somete a procesos de separación y concentración para extraer los metales o

minerales valiosos. Esto puede incluir triturado, molienda, flotación y otros métodos de tratamiento (López, 2021).

Rehabilitación: Se refiere a las acciones tomadas para restaurar el área afectada por la minería. Esto incluye la reforestación, la estabilización del suelo y la restauración de ecosistemas, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental de las operaciones mineras (Wagner & Ziegler, 2020).

4. Maquinaria y Equipos:

- La maquinaria y los equipos utilizados en la minería son fundamentales para la ejecución de los ciclos de minado. Esto incluye perforadoras, cargadores, camiones de transporte y sistemas de ventilación (Smith & Johnson, 2021).
- Entre las principales máquinas se encuentran las perforadoras, que se utilizan para crear agujeros en la roca, y los cargadores, que facilitan la recolección y transporte de mineral. También se emplean camiones de acarreo para mover los materiales extraídos y sistemas de ventilación para asegurar un ambiente seguro en las minas subterráneas. La selección adecuada de maquinaria influye directamente en la productividad y la seguridad operativa (Bhandari, 2020).

5. Herramientas y Materiales:

- Las herramientas y materiales utilizados en la voladura controlada incluyen explosivos, detonadores, sistemas de iniciación y equipos de monitoreo (Meyer, 2016).

- Esto incluye explosivos, como ANFO (nitrato de amonio y combustible), y detonadores, que inician la explosión. Además, se utilizan sistemas de iniciación electrónica para un control preciso del tiempo de detonación. La calidad de estos materiales afecta la eficiencia de la voladura y la fragmentación del mineral, por lo que es fundamental elegir herramientas adecuadas para cada tipo de operación (Chadwick y Smith, 2019).

6. Tipos de perforación:

- Existen diferentes tipos de perforación en minería, incluyendo la perforación rotativa, la perforación por percusión y la perforación con martillo en fondo. Cada método tiene sus ventajas según el tipo de roca y la profundidad de la operación (Singh & Singh, 2017).
- La perforación rotativa es común en rocas blandas y permite una mayor velocidad de perforación. La perforación por percusión es efectiva en rocas duras, utilizando un martillo que impacta la roca para crear agujeros. Por otro lado, la perforación con martillo en fondo permite trabajar a mayores profundidades, siendo ideal para aplicaciones subterráneas. La elección del método depende de la dureza de la roca y el diseño de la voladura (Duncan y Wright, 2018).

7. Dureza de la roca:

- La dureza de la roca es un factor determinante en la planificación de las voladuras. Se mide utilizando la escala de Mohs, que clasifica las rocas desde muy blandas hasta extremadamente duras (Coulter, 2020).
- La escala de Mohs, clasifica las rocas desde muy blandas hasta

extremadamente duras. Conocer la dureza permite ajustar la cantidad de explosivo y el diseño de la voladura para lograr una fragmentación eficiente. Una correcta evaluación de la dureza también ayuda a prevenir problemas operativos, como el desgaste excesivo de las herramientas de perforación (Hustrulid y Bullock, 2018).

8. Voladura subterránea:

- La voladura subterránea se utiliza en minas que operan bajo tierra y presenta desafíos específicos, como el control de la presión de aire y la ventilación (Bishop et al., 2019).
- Este tipo de voladura requiere un diseño meticuloso para evitar colapsos y garantizar la seguridad de los trabajadores. Además, se deben considerar las características geológicas del entorno, ya que influyen en la propagación de las ondas de choque y en el control de vibraciones. La planificación adecuada es esencial para minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia de la extracción (Kaiser y Gertsch, 2017).

9. Condiciones de la carga:

- Las condiciones de la carga explosiva, como la densidad, la humedad y la temperatura, influyen en la efectividad de la voladura. Es crucial realizar pruebas y ajustes para asegurar que la carga se comporte como se espera (Holmberg & Persson, 1979).

También se tiene a las bases reglamentarias y normativas:

- Ley N.º 28611: Esta ley regula la actividad minera en Perú, estableciendo las disposiciones sobre la exploración, explotación y cierre de minas. Define los derechos y obligaciones de los titulares de concesiones mineras.
- Decreto Supremo N.º 024-2016-EM: Este reglamento establece las disposiciones de seguridad y salud ocupacional específicas para las actividades mineras, buscando proteger la vida y salud de los trabajadores.
- Ley N.º 27446: Regula el proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA) para proyectos mineros, asegurando que se evalúen y mitiguen los impactos ambientales antes de la aprobación de las operaciones.
- Decreto Supremo N.º 006-2017-PCM: Aunque más general, este reglamento incluye aspectos de responsabilidad social empresarial en el contexto de la minería, protegiendo los derechos de las comunidades afectadas.
- Resolución Ministerial N.º 139-2017-MEM/DM: Establece normas técnicas para la explotación y procesamiento de minerales, asegurando que se sigan estándares de calidad y seguridad.
- Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM: Este reglamento regula la gestión de residuos sólidos generados por las actividades mineras, promoviendo prácticas de manejo adecuado y minimización de residuos.
- Ley N.º 29338: Regula el uso y conservación de los recursos hídricos, estableciendo condiciones para el uso del agua en actividades mineras y

protegiendo las fuentes de agua.

- **Iniciativa de Minería Responsable (IRMA):** Aunque no es una norma formal, promueve prácticas éticas y sostenibles en la minería, influyendo en la regulación y operaciones en Perú.

Estas normativas son fundamentales para el marco legal que regula la actividad minera en Perú, asegurando que se lleve a cabo de manera responsable y sostenible, protegiendo al medio ambiente y a las comunidades locales.

Por otro lado, el estudio recae principalmente en varias normas ISO relevantes. En primer lugar, la ISO 9001:2015 establece criterios para un sistema de gestión de la calidad, lo cual es esencial para asegurar que los procesos de voladura se realicen con eficiencia y cumplan con los requisitos establecidos. Además, la ISO 14001:2015 es crucial para gestionar los impactos ambientales de las voladuras, promoviendo prácticas que minimicen el daño al entorno. La ISO 45001:2018 se enfoca en la seguridad y salud ocupacional, garantizando la protección de los trabajadores durante las operaciones de voladura. Por último, la ISO 31000:2018 proporciona directrices para la gestión de riesgos, lo que es fundamental para identificar y mitigar los riesgos asociados con las voladuras controladas. Estas normas aseguran que la implementación de voladuras controladas se realice de manera sistemática y responsable, alineándose con las mejores prácticas en la industria minera (ISO, 2015).

Cabe indicar que, el proyecto de "**Implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático Holmberg en el bypass 2573 unidad minera Parcoy La Libertad, 2024**" puede enfrentar varias limitaciones, que se detallan a continuación:

1. Limitaciones técnicas:

- La aplicación del modelo matemático Holmberg puede requerir datos geotécnicos precisos y específicos del terreno. Si los datos son inexactos o insuficientes, la efectividad de la voladura controlada puede verse comprometida. Por lo tanto, la precisión en la modelación es crucial para predecir el comportamiento de las explosiones y su impacto en el entorno.

2. Limitaciones ambientales:

- La voladura, incluso si es controlada, puede generar vibraciones, ruido y emisiones que afectan al medio ambiente circundante. La normativa ambiental exige evaluaciones de impacto, y cualquier efecto negativo podría resultar en sanciones o en la necesidad de implementar medidas adicionales.

3. Limitaciones regulatorias:

- El proyecto debe cumplir con diversas normativas y regulaciones locales e internacionales, lo que puede restringir ciertos métodos de voladura o la cantidad de explosivos utilizados. La falta de cumplimiento puede llevar a retrasos en la obtención de permisos y a posibles multas.

4. Limitaciones económicas:

- La implementación de voladuras controladas puede implicar costos

elevados en términos de tecnología, capacitación del personal y mantenimiento de equipos. Si los costos superan el presupuesto asignado, el proyecto podría verse afectado financieramente, limitando su viabilidad.

5. Limitaciones de capacitación:

- La efectividad del modelo de voladura controlada depende en gran medida de la capacitación del personal encargado de su implementación. La falta de formación adecuada puede resultar en errores operativos, comprometiendo la seguridad y la efectividad de las voladuras.

6. Limitaciones sociales:

- La percepción de la comunidad local sobre las actividades mineras puede influir en el proyecto. Resistencia o preocupación por los efectos de las voladuras pueden generar conflictos. Además, la falta de aceptación social puede resultar en protestas o bloqueos, afectando el cronograma del proyecto.

7. Limitaciones climáticas:

- Las condiciones climáticas adversas pueden afectar la planificación y ejecución de las voladuras. Es decir, lluvias intensas o vientos fuertes pueden complicar las operaciones y aumentar los riesgos asociados con la voladura.

Cada una de estas limitaciones debe ser cuidadosamente considerada y gestionada para garantizar el éxito del proyecto y minimizar los riesgos asociados.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Proceso de ingreso a la empresa

El ingreso a la Unidad Minera Parcoy se llevó a cabo en enero de 2024, tras un proceso de selección riguroso que incluyó entrevistas y evaluaciones técnicas. Los autores, David Carlos Cantalicio Romero y Heyner Jhampier Reyna García, fueron seleccionados por su sólida formación académica en ingeniería de minas y su experiencia previa en proyectos similares. Durante el proceso de incorporación, se les presentó al equipo de trabajo, que incluía ingenieros, geólogos y personal de seguridad, quienes desempeñaron roles clave en el desarrollo del proyecto de voladura controlada.

3.2. Personas involucradas en el proyecto

El equipo del proyecto estuvo compuesto por:

- **David Carlos Cantalicio Romero:**

Ingeniero de minas, encargado de la planificación y ejecución de las voladuras, así como del análisis de datos.

- **Heyner Jhampier Reyna García:**

Ingeniero de minas, responsable del diagnóstico inicial y la evaluación de riesgos, además de la supervisión del cumplimiento de las normas de seguridad.

3.3. Funciones desempeñadas

Cada miembro del equipo tuvo funciones específicas que contribuyeron al éxito del proyecto:

- **David Carlos Cantalicio Romero:**

Se encargó de la planificación de las voladuras, analizando las características geológicas y diseñando el esquema de voladura basado en el modelo matemático de Holmberg. También realizó el seguimiento de los resultados post-voladura para evaluar la efectividad del proceso.

- **Heyner Jhampier Reyna García:**

Lideró el diagnóstico inicial del área de trabajo, identificando los riesgos potenciales asociados a las voladuras. También fue responsable de la implementación de las medidas de seguridad y de la capacitación del personal en el manejo de explosivos.

3.4. Desarrollo del proyecto

3.4.1. Identificación del problema

El proyecto comenzó con la identificación de problemas en la eficiencia de las voladuras realizadas anteriormente. Se observó que las voladuras no estaban optimizando la fragmentación del material, lo que resultaba en mayores costos y tiempos de operación.

3.4.2. Diagnóstico

Se realizó un diagnóstico exhaustivo, que incluyó:

- Revisión de registros históricos de voladuras.
- Análisis de datos geológicos y topográficos.
- Entrevistas con el personal operativo para entender las dificultades enfrentadas.

A continuación, se explica cada una de ellas:

1. Revisión de Registros Históricos de Voladuras

Proceso:

- **Acceso a la Base de Datos:** Se debe tener acceso a la base de datos de la unidad minera que contenga los registros históricos de voladuras. Esto puede incluir informes de voladuras, registros de explosivos utilizados, resultados de fragmentación, y cualquier incidencia relacionada con las voladuras.
- **Recolección de Información:** Se recopilaron datos relevantes, tales como:
 - Fechas de las voladuras.
 - Tipos de explosivos y cantidades utilizadas.
 - Métodos de voladura empleados.
 - Resultados de la fragmentación (tamaño del material, distribución).
 - Costos asociados a cada voladura.
- **Análisis de Tendencias:** Se realizó un análisis de tendencias a partir de los datos recopilados. Esto implica identificar patrones en la eficacia de las voladuras, como la relación entre el tipo de explosivo utilizado y la calidad de la fragmentación.
- **Identificación de Problemas:** A partir de la revisión, se identificaron

problemas recurrentes, como la sobreutilización de explosivos o la fragmentación inadecuada, que podrían ser abordados en el nuevo enfoque de voladura.

2. Análisis de Datos Geológicos y Topográficos

Proceso:

- **Recolección de Datos Geológicos:** Se obtuvieron datos geológicos del área de estudio, que pueden incluir:
 - Mapas geológicos.
 - Información sobre la composición del suelo y la roca.
 - Estudios previos realizados en la zona.
- **Análisis Topográfico:** Se emplearon herramientas de análisis topográfico, como:
 - Sistemas de Información Geográfica (SIG) para crear mapas detallados de la topografía del área.
 - Modelos digitales de elevación (MDE) para analizar la pendiente y la forma del terreno, lo que influye en el diseño de las voladuras.
- **Integración de Datos:** Se integraron los datos geológicos y topográficos para crear un modelo completo del área de voladura, permitiendo una mejor planificación de las cargas de explosivos y la configuración de las voladuras.

- **Evaluación de Riesgos:** Se evaluaron los riesgos asociados a la geología y la topografía, como la posibilidad de deslizamientos o la presencia de fallas geológicas, que podrían afectar la seguridad y la efectividad de las voladuras.

3. Entrevistas con el Personal Operativo

Proceso:

- **Selección de Personal:** Se identificaron y seleccionaron a miembros del personal operativo que tienen experiencia y conocimientos sobre las voladuras. Esto puede incluir ingenieros de minas, operadores de voladuras y supervisores.
- **Diseño de Cuestionarios:** Se diseñaron cuestionarios o guías de entrevistas que abordan temas como:
 - Experiencias previas con voladuras.
 - Dificultades enfrentadas durante las operaciones.
 - Sugerencias para mejorar el proceso de voladura.
- **Realización de Entrevistas:** Se llevaron a cabo las entrevistas, que pueden ser:
 - Individuales, para obtener opiniones detalladas.
 - Grupales, para fomentar la discusión y el intercambio de

ideas.

- **Análisis de Resultados:** Se registraron y analizaron las respuestas obtenidas, buscando patrones y temas comunes que pudieran indicar problemas sistémicos o áreas de mejora.
- **Documentación de Hallazgos:** Se documentaron los hallazgos de las entrevistas, que se utilizaron para complementar los datos obtenidos de los registros históricos y el análisis geológico, asegurando un enfoque integral en la identificación de problemas y oportunidades de mejora.

Este enfoque permite una comprensión más profunda de las prácticas actuales de voladura y ayuda a identificar áreas críticas que requieren atención, contribuyendo así a la implementación exitosa del modelo de voladura controlada. Si necesitas más detalles o información adicional, házmelo saber.

3.4.3. Planificación

Con base en el diagnóstico, se establecieron los siguientes objetivos:

- Optimizar la fragmentación del material mediante la implementación de voladuras controladas.
- Reducir los costos asociados a la operación minera.
- Aumentar la seguridad durante las voladuras.

Se diseñó una estrategia que incluía la aplicación del modelo matemático de Holmberg, que permitiría calcular de manera precisa las cargas explosivas necesarias para lograr los objetivos planteados.

De manera específica, se detalla a continuación:

Optimizar la Fragmentación del Material mediante la Implementación de Voladuras Controladas

Proceso:

- **Uso de Modelos Matemáticos:** Se aplicará el modelo matemático de Holmberg para calcular la carga óptima de explosivos y su distribución en el bloque a volar. Esto permite ajustar la cantidad de explosivo según las características del material y el objetivo de fragmentación deseado.
- **Diseño de Voladuras:** Se diseñarán voladuras específicas que consideren:
 - **Configuración de los Taladros:** La profundidad, inclinación y separación entre taladros se ajustarán para maximizar la fragmentación.
 - **Secuencia de Detonación:** Se implementará una secuencia de detonación controlada que minimice las ondas de choque y optimice la fragmentación, utilizando técnicas como la detonación retardada.
- **Selección de Explosivos:** Se elegirán explosivos adecuados que se adapten a las características del material a volar. La selección puede incluir:
 - Explosivos de alta energía para rocas duras.
 - Explosivos con propiedades específicas para mejorar la fragmentación.

- **Monitoreo y Evaluación:** Se establecerán sistemas de monitoreo para evaluar la fragmentación resultante de cada voladura. Esto puede incluir:
 - Análisis de tamaño de fragmentos mediante mallas o imágenes digitales.
 - Comparación de resultados con los objetivos de fragmentación establecidos.
- **Retroalimentación Continua:** Se implementará un sistema de retroalimentación donde los resultados de las voladuras se analicen y se utilicen para ajustar futuros diseños, asegurando una mejora continua en la fragmentación.

Reducir los Costos Asociados a la Operación Minera

Proceso:

- **Optimización del Uso de Explosivos:** Al implementar voladuras controladas y optimizar la fragmentación, se reducirá la cantidad de explosivos necesarios. Esto se traduce directamente en una disminución de los costos de materiales.
- **Mejora en la Recuperación de Mineral:** Una fragmentación más eficiente permite una mejor recuperación del mineral, lo que significa que se extraerá más mineral útil por cada voladura, aumentando la rentabilidad de la operación.
- **Reducción de Daños Colaterales:** Al controlar mejor las voladuras, se minimizarán los daños a la infraestructura circundante y a otras áreas no destinadas a ser voladas. Esto reduce los costos de

reparación y mantenimiento.

- **Eficiencia Operativa:** La implementación de un sistema de voladura controlada puede llevar a una reducción en el tiempo de inactividad de los equipos y personal, lo que mejora la eficiencia operativa general y reduce costos laborales.
- **Análisis de Costos:** Se realizará un análisis exhaustivo de los costos antes y después de la implementación de las voladuras controladas para identificar áreas específicas donde se han logrado ahorros.

Aumentar la Seguridad Durante las Voladuras

Proceso:

- **Evaluación de Riesgos:** Se llevará a cabo una evaluación de riesgos antes de cada voladura para identificar y mitigar posibles peligros.
Esto incluye:
 - Análisis de la geología del área.
 - Evaluación de la proximidad a infraestructuras y personal.
- **Capacitación del Personal:** Se proporcionará capacitación específica al personal sobre:
 - Procedimientos de seguridad durante las voladuras.
 - Uso adecuado de explosivos y equipos de detonación.
 - Respuesta ante emergencias y evacuación.
- **Implementación de Protocolos de Seguridad:** Se establecerán protocolos claros que incluyan:
 - Señalización adecuada de áreas de voladura.
 - Establecimiento de zonas de exclusión durante las

detonaciones.

- Monitoreo constante del ambiente antes y durante las voladuras.
- **Tecnología de Monitoreo:** Se implementarán tecnologías avanzadas, como sistemas de monitoreo en tiempo real, que permitirán:
 - Supervisar las condiciones de seguridad durante las voladuras.
 - Detectar y responder rápidamente a cualquier anomalía o incidente.
- **Revisión y Mejora Continua:** Después de cada voladura, se llevará a cabo una revisión de los procedimientos de seguridad y se harán ajustes según sea necesario, fomentando una cultura de mejora continua en la seguridad.

Estos procesos buscan no solo alcanzar los objetivos planteados, sino también establecer un marco de trabajo sostenible y seguro en la operación minera. Si necesitas más información o deseas profundizar en algún aspecto específico, házmelo saber.

3.4.4. Metodología y Herramientas Utilizadas

La metodología adoptada para el proyecto incluyó:

- **Modelado Matemático:**

Se utilizó el modelo de Holmberg para calcular las cargas explosivas y determinar el patrón de voladura más efectivo.

- **Simulaciones:**

Se realizaron simulaciones previas a las voladuras para prever los resultados y ajustar variables según fuera necesario.

- **Capacitación:**

Se llevó a cabo una capacitación integral del personal involucrado en la ejecución de las voladuras, asegurando el manejo adecuado de explosivos y la comprensión de los nuevos procedimientos.

3.4.5. Etapas de la investigación

La voladura controlada es una técnica esencial en la minería moderna, que busca maximizar la eficiencia y minimizar los impactos ambientales y operativos. Este proyecto se centra en la implementación de un sistema de voladura controlada utilizando el modelo matemático de Holmberg, que permite optimizar las operaciones en el bypass 2573 de la unidad minera Parcoy. La estrategia se fundamenta en la evaluación de las prácticas actuales y la incorporación de tecnologías avanzadas para mejorar la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad de las voladuras.

a. Objetivo del Proyecto

Abordar la problemática de la sobrerotura en toda la corona y hastiales, buscando reducir los costos asociados al sostenimiento con cimbras de dimensiones 2.4 m x 2.4 m en el bypass 2573 de la Unidad Minera Parcoy.

b. Metodología

La metodología del proyecto se divide en varias etapas clave:

Etapa 1: Diagnóstico Inicial

- **Recolección de Datos:** Se realizó un levantamiento de información sobre las voladuras previas, incluyendo:
 - Parámetros de voladura: tipo y cantidad de explosivos utilizados, configuración de las voladuras, tiempos de detonación.
 - Resultados de las voladuras: fragmentación del material, daños colaterales, costos asociados.
 - Condiciones geológicas y topográficas del bypass 2573.
- **Análisis de Eficiencia:** Se evaluaron las prácticas actuales para identificar ineficiencias, tales como:
 - Uso excesivo de explosivos.
 - Fragmentación inadecuada que afecta la recuperación del mineral.
 - Problemas de seguridad y cumplimiento normativo.

Etapa 2: Propuesta de Mejoras

- **Modelo Matemático de Holmberg:** Se utilizó este modelo para:
 - Calcular la carga óptima de explosivos.
 - Diseñar la configuración de las voladuras para maximizar la fragmentación y minimizar el daño

colateral.

- Diseño de Voladuras: Se desarrollaron diseños específicos para cada tipo de voladura, considerando:
 - Tipo de mineral.
 - Geología del terreno.
 - Objetivos de fragmentación.

Etapa 3: Planificación del Proyecto

- Cronograma: Se elaboró un cronograma detallado que incluye:
 - Fases de planificación.
 - Ejecución de voladuras.
 - Monitoreo y evaluación de resultados.
- Presupuesto: Se estimaron los costos del proyecto, incluyendo:
 - Insumos y materiales.
 - Capacitación del personal.
 - Herramientas y software de modelado.

Etapa 4: Ejecución del Proyecto

Implementación del Modelo de Holmberg

- Capacitación del Personal: Se llevó a cabo una capacitación exhaustiva para el equipo de trabajo sobre:
 - Teoría del modelo de Holmberg.
 - Técnicas de voladura controlada.
 - Uso de software de simulación y modelado.
- Ejecución de Voladuras: Se realizaron voladuras siguiendo los nuevos diseños, con un enfoque en:
 - Monitoreo en tiempo real de las condiciones de voladura.
 - Ajustes inmediatos basados en los resultados obtenidos.

Etapas 5: Monitoreo y Evaluación

- Monitoreo de Resultados: Se implementaron sistemas de monitoreo para evaluar:
 - Fragmentación del material.
 - Efectos colaterales en el área circundante.
 - Cumplimiento de los objetivos de seguridad.
- Análisis Comparativo: Se compararon los resultados de las nuevas voladuras con las anteriores para medir:
 - Mejora en la fragmentación.

- Reducción de costos operativos.
- Cambios en la seguridad laboral.

c. Desempeño del Proyecto

Resultados Obtenidos:

- Eficiencia en la Fragmentación: Se observó una mejora significativa en la fragmentación del mineral, lo que facilitó su posterior procesamiento.
- Reducción de Costos: Los costos operativos se redujeron en un porcentaje significativo debido a la optimización del uso de explosivos y la mejora en la recuperación del mineral.
- Seguridad Mejorada: Se registraron menos incidentes relacionados con las voladuras, gracias a la implementación de prácticas más seguras.

d. Cierre del Proyecto

Presentación de Resultados:

- Informe Final: Se elaboró un informe detallado que incluye:
 - Metodología utilizada.
 - Resultados obtenidos.
 - Comparaciones con voladuras previas.

- Presentación a las Partes Interesadas: Se presentó el informe a la dirección de la unidad minera y otros interesados, destacando los beneficios del proyecto.

e. Recomendaciones

- Mantenimiento del Modelo: Se recomendará la continuidad del uso del modelo de Holmberg para futuras voladuras.
- Capacitación Continua: Se sugiere implementar un programa de capacitación continua para el personal en técnicas de voladura controlada.
- Monitoreo a Largo Plazo: Se establecerán protocolos de monitoreo a largo plazo para asegurar la eficacia de las prácticas implementadas.

f. Impacto del Proyecto

La implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático de Holmberg en el bypass 2573 de la unidad minera Parcoy ha tenido un impacto positivo significativo, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo costos y garantizando un entorno de trabajo más seguro. Este enfoque integral ha establecido un precedente para futuras operaciones mineras, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes en la industria.

3.4.6. Implementación del proyecto

La implementación se llevó a cabo en varias etapas:

- **Primera Etapa:**

Ejecución de pruebas piloto de voladuras controladas, donde se aplicaron las técnicas y herramientas desarrolladas.

- **Segunda Etapa:**

Evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas piloto, ajustando las cargas y el patrón de voladura según los resultados observados.

- **Tercera Etapa:**

Implementación a gran escala de las voladuras controladas, con un monitoreo constante del impacto en la producción y la seguridad.

3.4.7. Consideraciones Éticas

Durante el desarrollo del proyecto, se siguieron varias consideraciones éticas:

- **Seguridad del Personal:**

Se priorizó la seguridad de todos los trabajadores involucrados, implementando protocolos rigurosos para el manejo de explosivos y la realización de voladuras.

- **Impacto Ambiental:**

Se evaluaron las implicaciones ambientales de las voladuras, buscando minimizar cualquier efecto negativo sobre el entorno.

- **Transparencia y Comunicación:**

Se mantuvo una comunicación abierta con todos los miembros del equipo y la alta dirección sobre los avances y desafíos del proyecto, promoviendo un ambiente de confianza y colaboración.

En conclusión, el proceso de ingreso, desarrollo y ejecución del proyecto de voladura controlada en la Unidad Minera Parcoy no solo permitió abordar eficientemente los problemas identificados, sino que también facilitó un crecimiento profesional significativo para los involucrados. Las lecciones aprendidas y las mejoras implementadas sentaron las bases para futuros proyectos en la minería.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

La voladura controlada es esencial en la minería, y en la unidad minera Parcoy, La Libertad, se ha identificado la necesidad de optimizar este proceso en el bypass 2573 debido a problemas como vibraciones excesivas y fragmentación inadecuada. La implementación del modelo matemático de Holmberg ofrece una solución efectiva, ya que permite predecir el comportamiento de las voladuras en función de diversas variables, mejorando así la precisión en la fragmentación y reduciendo impactos negativos como la contaminación acústica. Esta modelación no solo busca optimizar las operaciones, sino también promover prácticas mineras más sostenibles y responsables.

A continuación, se establece el diagnóstico situacional:

a. Sobre excavación: La sobre excavación se refiere a la extracción de más material del necesario, lo que puede resultar en un aumento de costos y la pérdida de mineral valioso. Este fenómeno puede ocurrir debido a una planificación inadecuada de las voladuras, donde la falta de precisión en la carga explosiva o el mal cálculo de las dimensiones del área a explotar lleva a excavar más allá de los límites establecidos.

b. Dilución del mineral: Es el fenómeno en el que se mezcla material no mineralizado con el mineral valioso, reduciendo su calidad. Esto puede suceder por una fragmentación irregular, donde las voladuras no logran separar adecuadamente el mineral de la roca estéril, lo que resulta en una mezcla indeseada que afecta la rentabilidad de la operación.

c. Bolonería Excesiva: Se refiere a la generación de fragmentos de roca de gran tamaño que son difíciles de manejar y procesar. Este problema puede surgir de una carga

explosiva mal calculada o de la falta de control en la ejecución de la voladura, lo que lleva a una fragmentación ineficiente y a la necesidad de realizar operaciones adicionales para reducir el tamaño de los fragmentos.

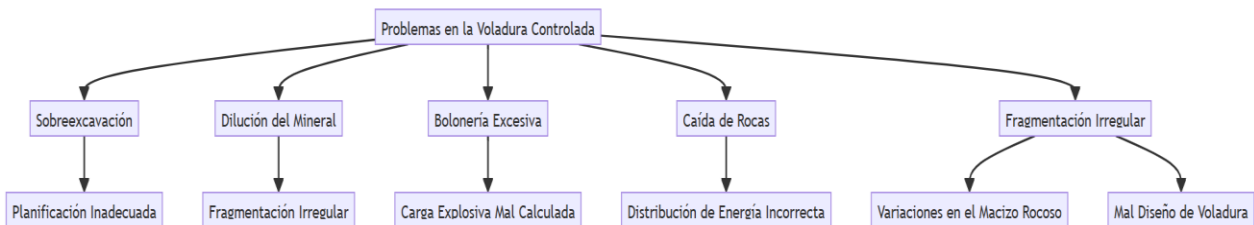
d. Caída de rocas: La caída de rocas representa un riesgo significativo tanto para la seguridad de los trabajadores como para la estabilidad de las estructuras mineras. Este problema puede ser causado por una inadecuada planificación de la voladura, donde la energía liberada no se distribuye correctamente, resultando en desprendimientos peligrosos de material.

e. Fragmentación irregular: Se presenta cuando los tamaños de los fragmentos resultantes de la voladura no son homogéneos. Esto puede deberse a variaciones en la composición del macizo rocoso o a un mal diseño de la voladura, lo que afecta la eficiencia del proceso de extracción y el posterior procesamiento del mineral.

De manera gráfica se puede expresar de la siguiente forma:

Figura 2

Problemas diagnosticados en la voladura controladas

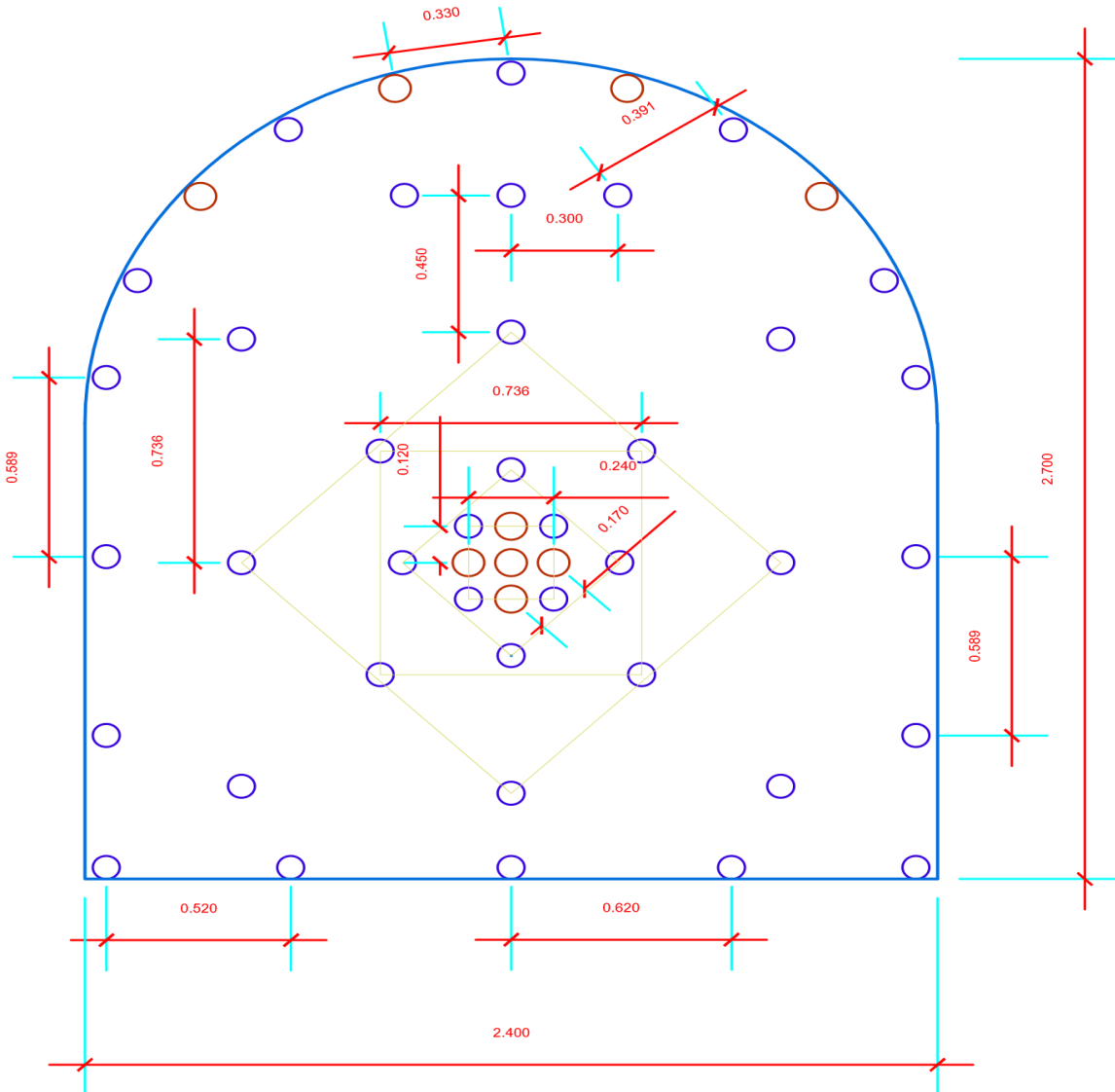


Nota. Problemas evidenciados en el Bypass 2573 unidad minera Parcoy La Libertad, 2024.

Para la implementación se realizó el siguiente diseño en la malla de perforación y voladura controlada; teniendo en cuenta el modelo matemático de Holmberg:

Figura 3

Diseño en la malla de perforación y voladura controlada



Nota. Por medio de AutoCad se diseñó la malla de perforación y voladura controlada de 2,4 m x 2,7 m, siguiendo los parámetros en metros del modelo matemático de R. Holmberg.

De tal forma, el diseño de la malla de perforación y voladura controlada a través de AutoCAD ofrece múltiples ventajas que impactan positivamente en la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras. En primer lugar, el uso de AutoCAD permite una precisión excepcional en la creación de los planos de perforación. Cada taladro se puede ubicar con exactitud, asegurando que se sigan las especificaciones del modelo matemático de R. Holmberg. Esta precisión es crucial para garantizar que las voladuras se realicen de manera efectiva, optimizando la fragmentación del material.

Además, al seguir los parámetros establecidos por Holmberg, se logra una distribución adecuada de los explosivos y la carga en cada taladro. Esto no solo mejora la fragmentación, sino que también asegura que el tamaño de los fragmentos sea el adecuado para su procesamiento posterior. La malla de perforación de 2,4 m x 2,7 m se adapta a las características geológicas específicas del terreno, lo que maximiza la recuperación de mineral y reduce la generación de fragmentos no deseados.

Otro beneficio significativo es la reducción de costos. Un diseño bien planificado permite disminuir la cantidad de explosivos necesarios, lo que se traduce en un ahorro considerable en los costos operativos. Además, una fragmentación más eficiente facilita el proceso de carga y transporte del mineral, mejorando la productividad general de la operación.

Finalmente, la utilización de herramientas de visualización en AutoCAD también contribuye a la identificación temprana de posibles problemas en el diseño. Esto permite realizar ajustes antes de la implementación, minimizando riesgos y asegurando que las operaciones se realicen de manera segura y eficiente. En resumen, el diseño de la malla de perforación y voladura controlada mediante AutoCAD no solo optimiza la

fragmentación y reduce costos, sino que también mejora la seguridad y la efectividad de las operaciones mineras.

También es importante mencionar que los resultados del modelo matemático R. Holmberg, fueron:

Tabla 1

Cálculos mediante el algoritmo de Holmberg

Sección	Burden (B)	Espaciamiento (S)	Unidad
Arranque	0,13	0,24	m
1er ayuda arranque (IC)	0,19	0,43	m
2da ayuda arranque (IIC)	0,29	0,72	m
3er ayuda arranque (IIIC)	0,40	1,07	m
4ta ayuda arranque (IV C)	0,51	1,47	m
Ayuda de Corona (Tajeo C)	0,38	0,49	m
Hastiales	0,31	0,59	m
Corona	0,51	0,63	m
Arrastres	0,32	0,66 & 0,54	m

Nota. Se explica el burden y espaciamiento de las secciones que ha permitido diseñar la malla de perforación.

Tabla 2

Distribución de taladros

Secuencia de Salida	Ubicación	Taladros	
		Cargados	Alivios
1	Arranque	4	5
2	1er ayuda arranque (IC)	4	
3	2da ayuda arranque (IIC)	4	
4	3er ayuda arranque (IIIC)	4	
5	4ta ayuda arranque (IV C)	4	
6	Ayuda de hastiales (Tajeo B)	0	
7	Ayuda de Corona (Tajeo C)	3	
8	Ayuda de Arrastre	0	
9	Hastiales	6	
10	Corona	5	4
11	Arrastres	5	
Total		48	

Nota. Se especifica la cantidad de los taladros cargados y vacíos teniendo en cuenta la ubicación en la malla de perforación.

Por otro lado, es preciso indicar que para la implementación se tuvo en cuenta la cantidad de explosivos. Conocer la cantidad de explosivos utilizados en la implementación de voladuras controladas es crucial para garantizar la eficiencia y seguridad del proceso minero. Una carga explosiva adecuada permite optimizar la fragmentación de la roca, minimizando problemas como la sobre excavación y la dilución

del mineral. Además, un cálculo preciso de los explosivos ayuda a reducir los efectos negativos asociados, como la vibración y el ruido, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la seguridad de los trabajadores. A continuación, se detalla ello:

Tabla 3

Numero de explosivos encartuchados y usados en la malla de perforación

Distribución taladros	N° taladros cargados	Explosivos				Cantidad de cartuchos	Masa de Explosivo (Kg)
		Semexa 65%		Exadit 45%			
		7/8" x 7"		7/8" x 7"			
		N°	Masa	N°	Masa		
		Cart/Tal	(kg)/Tal	Cart/Tal	(kg)/Tal		
Arranque	4	10	0,771			40	3,084
1 ayuda arranque	4	10	0,771			40	3,084
2 ayuda arranque	4	9	0,694			36	2,776
3 ayuda arranque	4	9	0,694			36	2,776
4 ayuda arranque	4	9	0,694			36	2,776
Ayuda de Corona	3	1	0,077	8	0.5616	27	1,916
Hastiales	6	9	0,694			54	4,163
Corona	5	1	0,077	5	0.351	30	2,141
Arrastres	5	9	0,694			45	3,470
TOTAL	39					344	26,184

Nota. Representa el resumen de los explosivos, la cantidad de cartuchos y la masa explosiva usados en la voladura.

Tabla 4

Consumo de explosivos y accesorios de voladura por disparo

Explosivo y Accesorio de Voladura	Cantidad	Unidad
Semexa 65% 7/8" x 7"	287	cartuchos
Exadit 45% 7/8" x 7"	57	cartuchos
Fanel	39	unidades
Cordon Detonante (Pentacord 5P)	15	m
Carmex	2	unidades
Mecha rápida	2	m

Nota. Accesorios de voladura y carga explosiva utilizados en la malla propuesta según el modelo Holmberg.

Análisis de Accesorios de Voladura y Carga Explosiva

1. Semexa 65% 7/8" x 7" (287 cartuchos):

- Descripción:**

Este es un explosivo de alta energía que se utiliza comúnmente en aplicaciones mineras. Su composición (65% de nitrato de amonio) le proporciona una buena capacidad de fragmentación y es adecuado para la voladura de rocas duras.

- Función:**

La cantidad de 287 cartuchos indica un diseño de voladura que busca maximizar la fragmentación del material. Este explosivo es ideal

para lograr un tamaño de fragmento óptimo, lo que facilita el proceso de carga y transporte.

2. **Exadit 45% 7/8" x 7" (57 cartuchos):**

- **Descripción:**

Este explosivo tiene una menor concentración de nitrato de amonio (45%), lo que sugiere que se utilizará en situaciones donde se requiera menos energía, posiblemente para voladuras en materiales más blandos o para ajustar la fragmentación.

- **Función:**

La inclusión de 57 cartuchos de Exadit permite un control más fino de la energía liberada durante la voladura, lo que puede ser útil para evitar daños colaterales en áreas circundantes o para lograr una fragmentación específica en zonas críticas.

3. **Fanel (39 unidades):**

- **Descripción:**

Fanel se refiere a un accesorio de voladura, que puede ser un dispositivo de iniciación o un explosivo en forma de bloque.

- **Función:**

La cantidad de 39 unidades puede indicar su uso en puntos estratégicos de la voladura, permitiendo un inicio controlado y

sincronizado de la explosión, lo que mejora la fragmentación y reduce el riesgo de voladuras descontroladas.

4. **Cordon Detonante (Pentacord 5P) (15 m):**

- **Descripción:**

Este es un tipo de cordón detonante que se utiliza para transmitir la señal de detonación a los explosivos. Es esencial para asegurar que la voladura se realice de manera sincronizada.

- **Función:**

La cantidad de 15 metros sugiere que se está planificando una voladura que requiere un control preciso del tiempo de detonación, lo cual es crucial para optimizar la fragmentación y minimizar el efecto de onda de choque en áreas no deseadas.

5. **Carmex (2 unidades):**

- **Descripción:**

Carmex es un tipo de iniciador que se utiliza para iniciar la detonación de los explosivos.

- **Función:**

La inclusión de 2 unidades de Carmex indica que se prevé un inicio seguro y controlado de la voladura, lo que es importante para garantizar la seguridad del personal y la infraestructura circundante.

6. Mecha rápida (2 m):

- **Descripción:**

La mecha rápida es un dispositivo que permite iniciar la detonación de manera inmediata.

- **Función:**

Con 2 metros de mecha rápida, se puede utilizar para iniciar explosivos en situaciones donde se requiera una detonación rápida. Aunque su uso debe ser controlado para evitar detonaciones no deseadas, puede ser útil en ciertas fases de la operación.

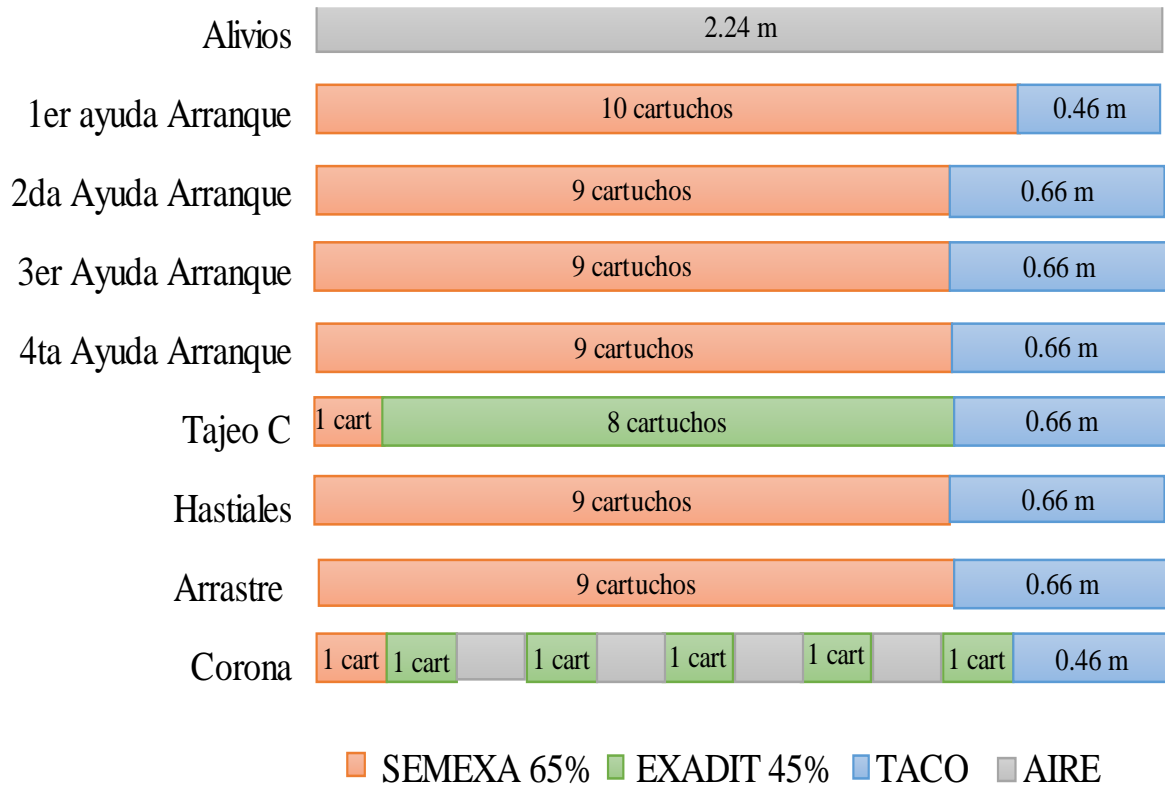
El conjunto de explosivos y accesorios de voladura seleccionados para la malla propuesta muestra un enfoque cuidadoso en la optimización de la fragmentación y la seguridad. La combinación de Semexa y Exadit permite ajustar la energía de la voladura según las características del material, mientras que los accesorios como el cordón detonante y los iniciadores aseguran un control preciso sobre el proceso de detonación.

Este diseño, alineado con el modelo de R. Holmberg, busca maximizar la eficiencia de la voladura, reducir los costos operativos y aumentar la seguridad durante las operaciones mineras. La planificación detallada y la selección adecuada de materiales son fundamentales para lograr estos objetivos.

Así también, es importante indicar que se tuvo en cuenta la siguiente cantidad y tipo de explosivo:

Figura 4

Distribución de la carga explosiva de la malla de perforación



Nota. En la figura se evidencia el tipo y cantidad de explosivo usado en los taladros para realizar una correcta voladura controlada.

A modo de interpretación se puede indicar lo siguiente:

El tipo y la cantidad de explosivo utilizado en los taladros son factores cruciales para lograr una voladura controlada efectiva. A continuación, se presentan las razones que destacan su importancia:

1. Fragmentación Óptima del Material

- **Tipo de Explosivo:**

Diferentes explosivos tienen distintas velocidades de detonación, densidades y energías. Elegir el tipo adecuado permite lograr una fragmentación que se adapte a las características del material a volar.

Por ejemplo, explosivos de alta energía son ideales para rocas duras, mientras que explosivos de menor energía son más adecuados para materiales más blandos.

- **Cantidad de Explosivo:**

La cantidad de explosivo determina la energía total liberada durante la detonación. Un exceso puede resultar en fragmentos demasiado pequeños, mientras que una cantidad insuficiente puede dejar grandes bloques de material no fragmentado.

Una correcta calibración asegura que el tamaño de los fragmentos sea el adecuado para su posterior procesamiento.

2. Control de la Onda de Choque

- **Reducción de Daños Colaterales:**

Una voladura controlada busca minimizar el impacto en las áreas circundantes. El tipo de explosivo y su cantidad influyen directamente en la magnitud de la onda de choque generada.

Utilizar explosivos apropiados y en cantidades adecuadas ayuda a reducir el riesgo de daños a infraestructuras cercanas y minimiza el efecto sobre el medio ambiente.

- **Minimización de Vibraciones:**

La correcta elección de explosivos y su cantidad permite controlar las vibraciones generadas por la explosión. Esto es esencial para prevenir daños a estructuras cercanas y garantizar la seguridad de los trabajadores.

3. Sincronización de la Detonación

- **Efecto de la Secuencia de Voladura:**

La cantidad de explosivo y el tipo seleccionado afectan la sincronización de la detonación. Un diseño adecuado permite que los explosivos se activen en secuencia, lo que mejora la eficiencia de la voladura y optimiza la fragmentación.

Esto es crucial para lograr una voladura en capas o en fases, que puede ser necesaria en terrenos complicados.

- **Control del Tiempo de Detonación:**

La elección de explosivos permite establecer un control preciso del tiempo de inicio y duración de la voladura, lo que es vital para maximizar la eficiencia del proceso.

4. Seguridad en la Operación

- **Riesgos Asociados:**

Un mal cálculo en la cantidad o tipo de explosivo puede llevar a situaciones peligrosas, como explosiones descontroladas o accidentes. La selección adecuada minimiza estos riesgos y asegura un entorno de trabajo más seguro.

- **Manejo y Almacenamiento:**

Diferentes explosivos tienen distintos requisitos de manejo y almacenamiento. Conocer el tipo y cantidad de explosivo permite implementar medidas de seguridad adecuadas, garantizando la protección del personal y del entorno.

5. Eficiencia Económica

- **Reducción de Costos:**

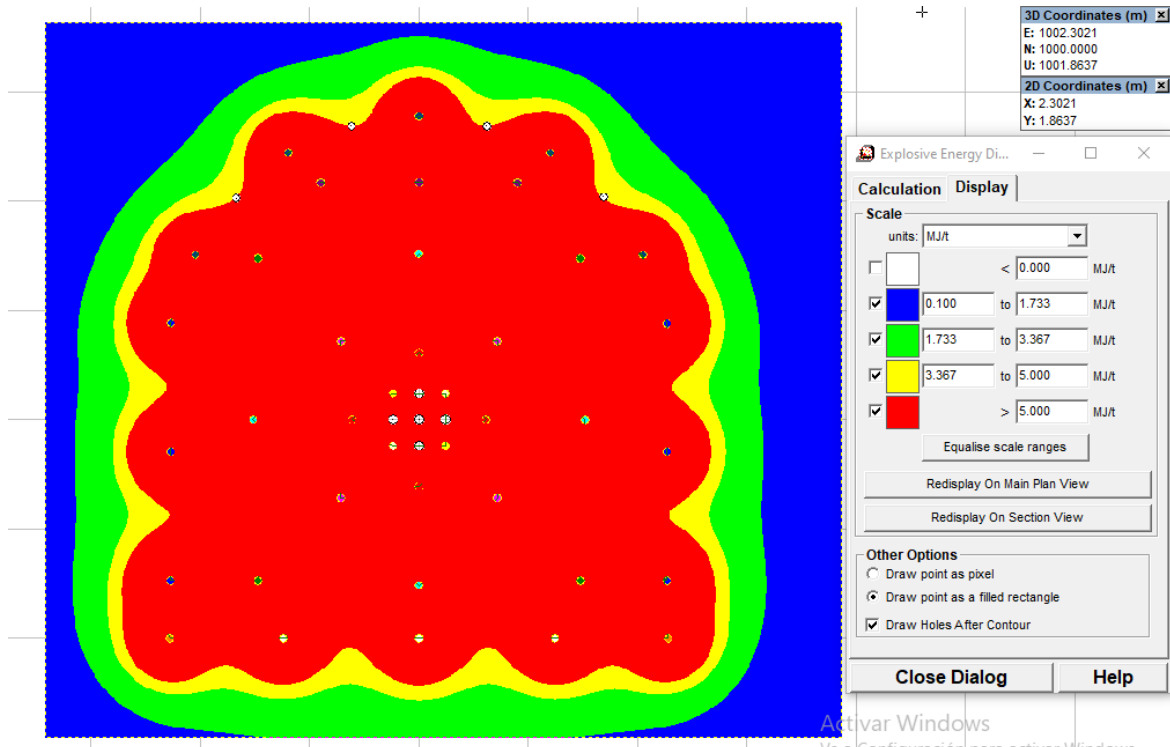
Un diseño de voladura bien planificado, que considere el tipo y la cantidad de explosivo, puede reducir significativamente los costos operativos. Esto se logra al minimizar el uso de explosivos innecesarios, optimizar la fragmentación y facilitar el proceso de carga y transporte del material extraído.

En resumen, el tipo y la cantidad de explosivo son determinantes para el éxito de una voladura controlada. Aseguran una fragmentación adecuada, controlan los efectos de la explosión, mejoran la seguridad operativa y optimizan los costos. Por lo tanto, una planificación cuidadosa y un análisis detallado de estos factores son esenciales para lograr los objetivos en las operaciones mineras.

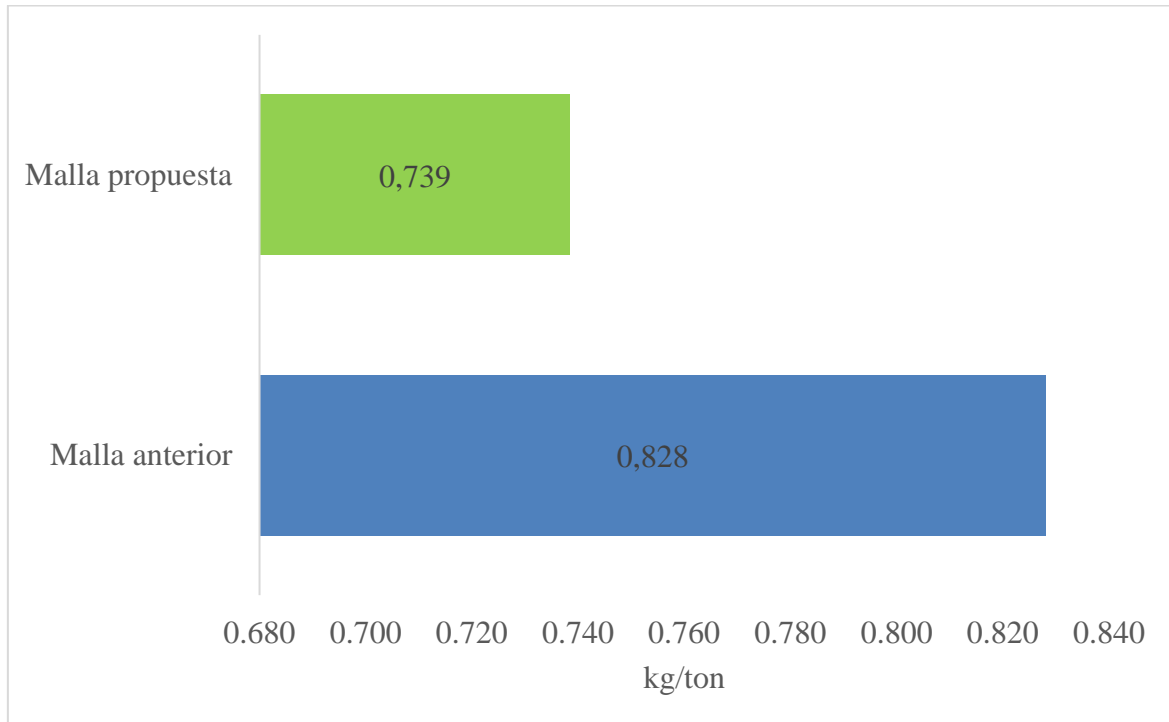
Finalmente, al realizarse la implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático Holmberg en el bypass 2573 unidad minera Parcoy La Libertad. Se tuvo el siguiente resultado:

Figura 5

Distribución de energía usando el Jk Simblast 2D Face.



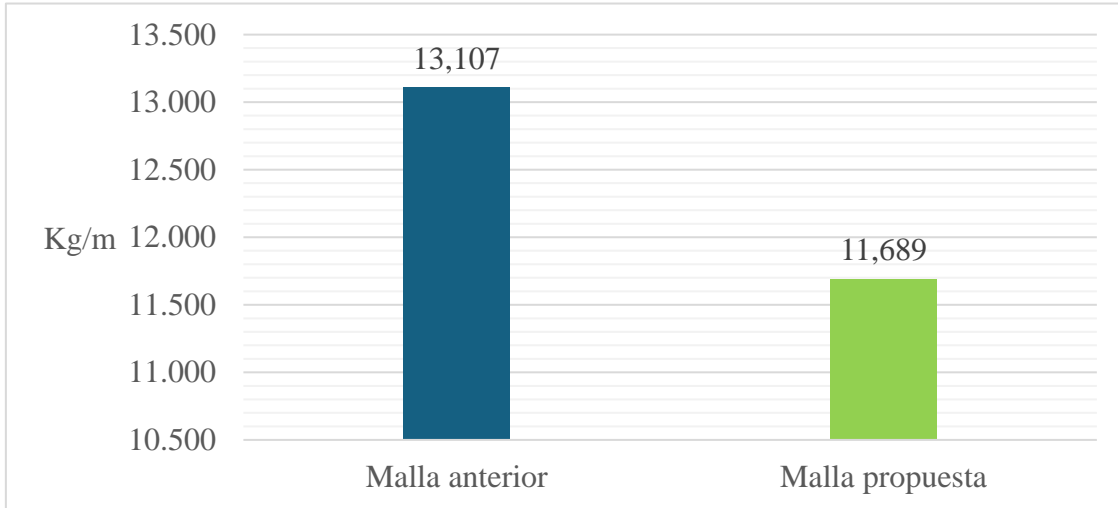
Nota. A través de este programa se pudo calcular la sobrerotura de la labor en base a la nueva sección arrojada, al implementar el modelo matemático Holmberg.

Figura 6*Factor de potencia calculado (kg/ton)*

Nota. Comparación de la cantidad de explosivo usado por cada tonelada rota (factor de potencia), en malla anterior y en malla propuesta (implementación del modelo matemático Holmberg).

Figura 7

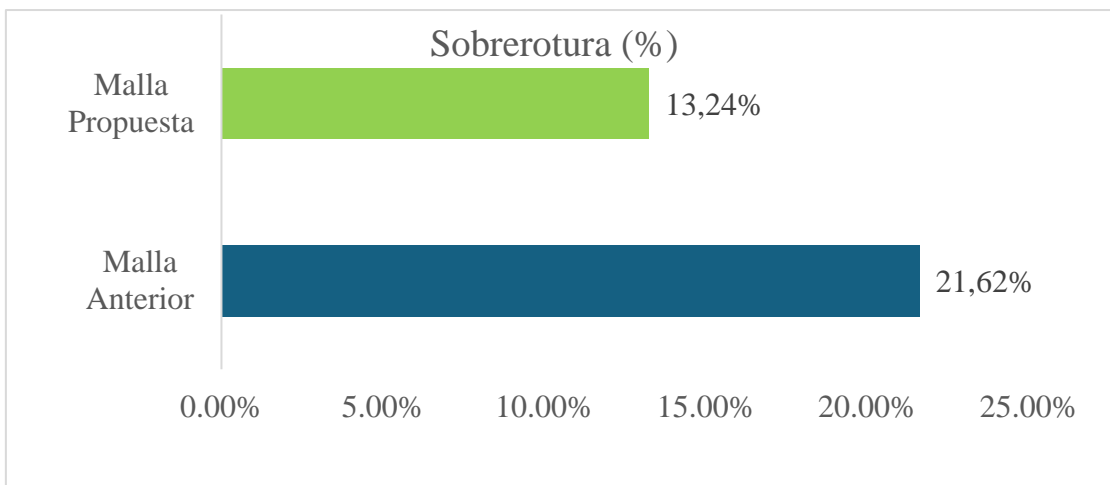
Factor de carga lineal (Kg/m)



Nota. Presenta el factor de carga lineal determinado a partir del progreso de la labor y la cantidad de explosivo empleado en ambas mallas.

Figura 8

Sobrerotura calculada en el Software Jk Simblast 2D Face



Nota. El gráfico ilustra el porcentaje de sobrerotura calculado a partir del análisis de energía y el PPV-Holmberg utilizando el software Jk Simblast 2D Face.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La investigación sobre la "Implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático Holmberg en el bypass 2573, Unidad Minera Parcoy, La Libertad, 2024" ha sido un proceso enriquecedor que ha permitido explorar y aplicar metodologías innovadoras en el ámbito de la minería. A lo largo del estudio, hemos enfrentado desafíos significativos que han puesto a prueba nuestras habilidades y conocimientos, al mismo tiempo que hemos buscado soluciones efectivas para optimizar la producción y mejorar la seguridad en las operaciones mineras.

Este trabajo no solo ha contribuido al entendimiento técnico de la voladura controlada, sino que también ha fortalecido nuestra experiencia como investigadores. A continuación, se presentan las conclusiones que reflejan cómo esta experiencia ha impactado nuestro desarrollo profesional y nuestras competencias en el campo de la minería:

a. **Desarrollo de Habilidades Analíticas:**

- La investigación sobre la implementación de voladura controlada bajo el modelo matemático de Holmberg en el bypass 2573 ha permitido fortalecer nuestras habilidades analíticas.

Al evaluar datos y resultados, hemos aprendido a identificar patrones y correlaciones, lo que es esencial para optimizar procesos en la minería. Esta experiencia nos ha preparado para abordar problemas complejos en futuras investigaciones y

proyectos.

b. Aplicación Práctica de Teoría:

- La experiencia adquirida al aplicar el modelo matemático de Holmberg en un entorno real ha sido invaluable. Nos ha permitido traducir conocimientos teóricos en soluciones prácticas, mejorando nuestra capacidad para diseñar y ejecutar estudios que impactan positivamente en la productividad y seguridad de las operaciones mineras.

Este enfoque práctico refuerza nuestra competencia en investigación aplicada.

c. Trabajo en equipo y colaboración:

- La naturaleza del estudio ha fomentado el trabajo en equipo, fortaleciendo nuestras habilidades de colaboración y comunicación.

La interacción con otros profesionales y expertos en el área ha enriquecido nuestra perspectiva y nos ha permitido aprender de diferentes enfoques y experiencias, lo que es fundamental en cualquier investigación.

d. Innovación y adaptabilidad:

- La implementación de voladura controlada ha requerido un enfoque innovador y la capacidad de adaptarse a condiciones

cambiantes.

Esta experiencia ha fortalecido nuestra habilidad para pensar creativamente y desarrollar soluciones efectivas ante desafíos imprevistos, una competencia clave en el campo de la minería y la investigación.

e. Mejora continua y evaluación de resultados:

- La experiencia de evaluar los resultados de la implementación de voladuras controladas ha reforzado nuestra comprensión de la importancia de la mejora continua.

Al analizar el impacto de nuestras decisiones en la productividad y la seguridad, hemos aprendido a establecer métricas de éxito y a realizar ajustes necesarios, lo que es esencial para cualquier investigador comprometido con la excelencia.

f. Contribución al conocimiento del sector:

- Finalmente, el estudio ha permitido contribuir al conocimiento en el sector minero, proporcionando información valiosa sobre la efectividad del modelo de Holmberg en la voladura controlada.

Esta contribución no solo fortalece nuestro perfil profesional, sino que también beneficia a la comunidad minera al ofrecer nuevas perspectivas y metodologías que pueden ser adoptadas en otras operaciones.

Además, entre las lecciones aprendidas, se pudo concluir lo siguiente:

a. Diagnóstico situacional:

- La identificación de problemas como la sobrerotura y la dilución del mineral en la voladura convencional de la Unidad Minera Candelaria evidencia la aplicación de competencias en análisis crítico y diagnóstico.

Al evaluar cómo estos problemas afectan la productividad y la seguridad, se ha podido proponer la implementación de voladuras controladas, lo que demuestra la capacidad de formular soluciones efectivas basadas en la situación actual del proceso productivo.

b. Diseño de malla de perforación:

- La utilización del modelo matemático de Holmberg para diseñar la nueva malla de perforación refleja habilidades en modelado y optimización.

La reducción del factor de potencia de explosivos de 0,83 kg/ton a 0,74 kg/ton, con una disminución del 10,88% en el uso de explosivos, muestra cómo se aplicaron competencias en ingeniería y gestión de recursos para mejorar la estabilidad de las rocas y reducir costos. Esto no solo mejora la operatividad, sino que también permite un entorno de trabajo más seguro.

c. Carga óptima de explosivo:

- La determinación de la carga óptima de explosivos, alcanzando un factor de carga lineal de 11,69 kg/m en comparación con 13,11 kg/m en la malla anterior, destaca la competencia en análisis

cuantitativo y gestión de explosivos.

Utilizando explosivos específicos, se logró un control más efectivo de la voladura, lo que se traduce en una menor dilución del mineral. Esta capacidad de análisis y ajuste en la carga explosiva es fundamental para maximizar la productividad en la unidad minera.

d. Simulaciones de sobrerotura:

- Las simulaciones realizadas con el software Jk Simblast 2D Face, que mostraron una reducción de la sobrerotura del 21,62% al 13,24% (una disminución del 39%), reflejan competencias en el uso de herramientas tecnológicas y simulación.

La capacidad de interpretar y aplicar los resultados de estas simulaciones para optimizar el diseño de la malla de perforación demuestra un enfoque proactivo hacia la mejora continua. Esta experiencia resalta la importancia de la innovación y el uso de tecnología avanzada en la minería para lograr un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

5.2. Recomendaciones

Las lecciones aprendidas durante la reciente experiencia profesional brindan una base sólida para desarrollar recomendaciones que contribuyan al éxito en futuros proyectos. Estas sugerencias están dirigidas a fomentar el desarrollo de habilidades, la colaboración y la innovación, elementos esenciales para avanzar en nuestras carreras y contribuir de manera significativa a la industria minera. Al implementar estas recomendaciones, no solo mejoraremos nuestra propia trayectoria profesional, sino que también fortaleceremos el impacto positivo que podemos tener en nuestras

organizaciones y en el sector en general:

1. Fomentar la capacitación continua:

- Es fundamental implementar programas de capacitación regular para el personal involucrado en la planificación y ejecución de voladuras. Esto asegurará que todos estén actualizados sobre las mejores prácticas y las innovaciones en técnicas de voladura controlada.

2. Promover la colaboración interdisciplinaria:

- La interacción entre diferentes disciplinas (ingeniería, geología, seguridad) es crucial para optimizar los procesos mineros. Fomentar un ambiente de trabajo colaborativo puede llevar a soluciones más integrales y efectivas.

3. Implementar un sistema de monitoreo y evaluación:

- Establecer un sistema robusto para monitorear y evaluar continuamente los resultados de las voladuras controladas. Esto permitirá realizar ajustes en tiempo real y mejorar la toma de decisiones basadas en datos concretos.

4. Realizar simulaciones previas:

- Antes de llevar a cabo voladuras en el campo, se recomienda realizar simulaciones utilizando software especializado. Esto puede ayudar a prever resultados y ajustar las variables para minimizar riesgos y maximizar la eficiencia.

5. Establecer protocolos de seguridad rigurosos:

- La seguridad debe ser una prioridad en todas las operaciones mineras. Desarrollar y seguir protocolos de seguridad estrictos para la

manipulación y uso de explosivos ayudará a prevenir accidentes y proteger al personal.

6. Incentivar la innovación:

- Fomentar un ambiente donde se valore la innovación y se permitan pruebas de nuevas técnicas y tecnologías en voladuras. Esto puede conducir a mejoras significativas en la eficiencia y seguridad de las operaciones.

7. Documentar y compartir experiencias:

- Es importante documentar todas las lecciones aprendidas durante el proceso de investigación y ejecución de voladuras. Compartir estas experiencias con otros equipos y profesionales del sector puede contribuir al avance del conocimiento en la minería.

8. Establecer indicadores de éxito:

- Definir claramente los indicadores de éxito para cada proyecto de voladura controlada. Esto permitirá evaluar el impacto de las decisiones tomadas y facilitará la identificación de áreas de mejora.

9. Evaluar el impacto ambiental:

- Considerar el impacto ambiental de las voladuras y trabajar en estrategias para mitigar cualquier efecto negativo. La sostenibilidad es cada vez más importante en la minería, y adoptar prácticas responsables beneficiará a la comunidad y al entorno.

10. Fomentar la retroalimentación:

- Crear mecanismos para recibir retroalimentación del personal que ejecuta las voladuras. Su experiencia práctica es invaluable y puede

proporcionar información crucial para la mejora continua de los
procesos.

REFERENCIAS

- Bhandari, M., et al. (2020). Risk Management in Mining Operations. *Mining Engineering*, 72(6), 45-51.
- Bhandari, R. (2020). *Principles of Rock Fragmentation and Blasting*. New York: Springer.
- Bishop, J., Smith, R., & Jones, A. (2019). *Environmental Impact of Blasting Operations*. *Journal of Mining Science*, 55(4), 567-578.
- Chadwick, A. J., & Smith, R. (2019). *Mining Operations: A Practical Guide*. London: Wiley-Blackwell.
- Coulter, D. (2020). *Mining Cycle Optimization: A Comprehensive Guide*. *Mining Engineering Journal*, 72(1), 45-53.
- Decreto Supremo N.º 006-2017-PCM. (2017). Presidencia del Consejo de Ministros.
- Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM. (2017). Ministerio del Ambiente.
- Decreto Supremo N.º 024-2016-EM. (2016). Ministerio de Energía y Minas.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2018). *Rock Mechanics: Theory and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- González, J., et al. (2021). Training and Safety in Mining Operations. *Journal of Safety Research*, 78, 123-130.
- Holmberg, R., et al. (1996). *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC Press.
- Holmberg, R., & Persson, P. (1979). *The Holmberg Model for Controlled Blasting*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 16(1), 1-12.

Hustrulid, W. A., & Bullock, R. L. (2018). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

IRMA. (2020). *Código de Ética de la Minería Responsable*.

ISO. (2015). *ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, ISO 31000:2018*. International Organization for Standardization.

Kaiser, P. K., & Gertsch, R. E. (2017). *Controlled Blasting: A Practical Guide to the Use of Explosives in Mining*. Toronto: CIM Publications.

Kanchan, P., Kumar, S., & Gupta, R. (2018). *Controlled Blasting Techniques in Mining*. Mining Engineering, 70(5), 22-30.

Kanchan, S., et al. (2017). Optimization of Blast Design for Open Pit Mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(5), 755-761.

Ley N.º 29338. (2009). Congreso de la República del Perú.

Ley N.º 28611. (2006). Congreso de la República del Perú.

Ley N.º 27446. (2001). Congreso de la República del Perú.

López, F. J. (2021). *Técnicas de Perforación y Voladura en Minería*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Meyer, W. (2016). *Vibration Control in Mining Operations*. Journal of Environmental Engineering, 142(3), 45-57.

Resolución Ministerial N.º 139-2017-MEM/DM. (2017). Ministerio de Energía y Minas.

Singh, A., & Singh, R. (2019). Controlled Blasting in Mining: A Review. *Journal of Sustainable Mining*, 18(2), 91-99.

Singh, R., & Singh, M. (2017). *Optimization of Blasting Parameters in Open Pit Mines*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 31(2), 119-134.

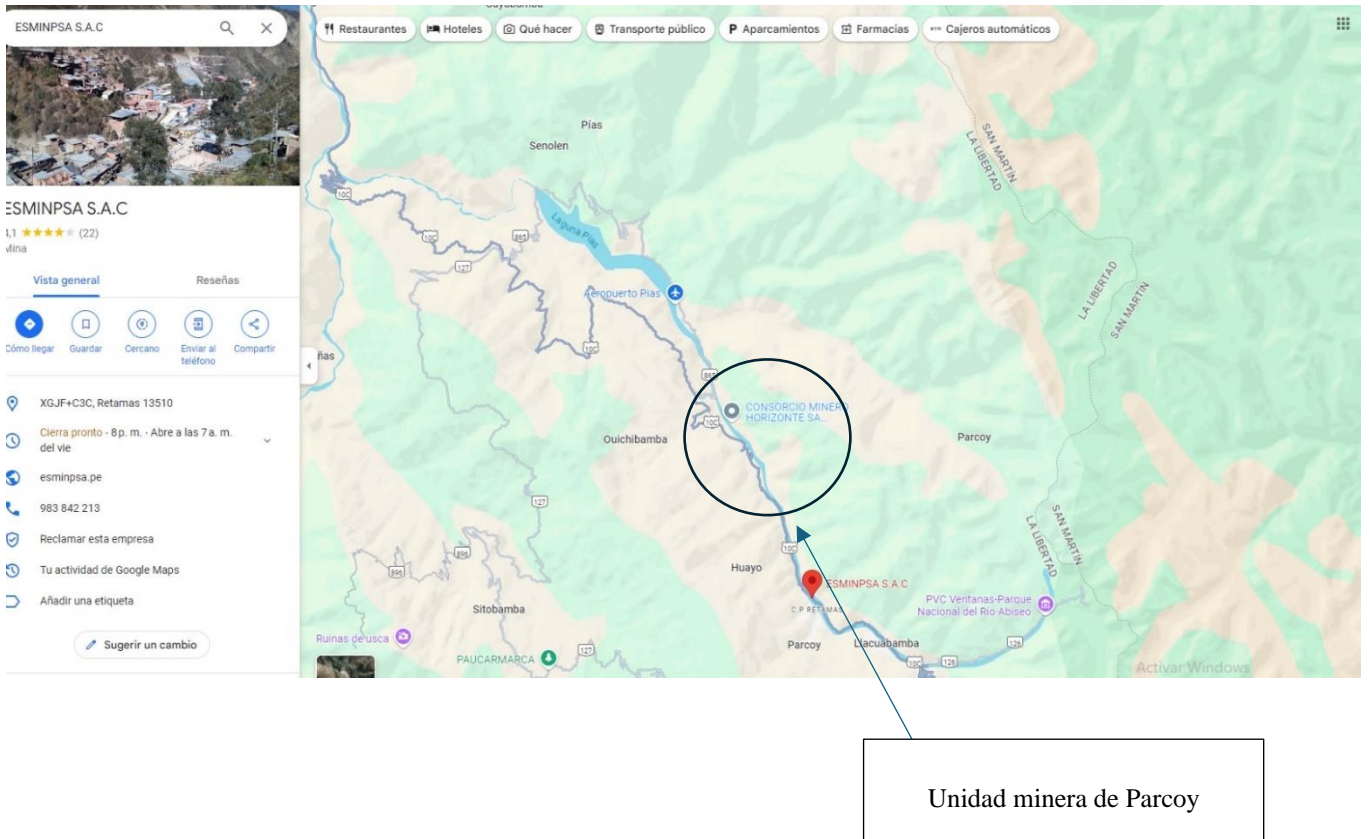
Smith, J., & Johnson, L. (2021). *Mining Equipment and Technology: Innovations and Trends*. Journal of Mining Technology, 14(3), 234-245.

Sullivan, D. J. (2019). *Mining Equipment: A Guide to the Latest Innovations*. Denver: Mining Engineering Press.

Wagner, H., & Ziegler, M. (2020). *Blasting Principles for Open Pit Mining*. Berlin: Springer.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Ubicación de la unidad minera



ANEXO N° 2. Fotos



*Frente de la labor de avance BP 2573 con elemento de sostenimiento pasivo
con arco de acero – cimbras*



Sistema de ventilación para la labor de avance BP2573



Inspección de barretillas para la labor de avance BP2573