

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación de la voladura controlada para incrementar
el avance lineal del bypass 9117-NE en la Minera
Aurífera Retamas S. A.**

Edward Luiggi Barrientos Curiñahui
Fernando Alfredo Pariona Peñaloza
Jesus Jersy Roca Torres

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Rafael Carrasco Soto
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 27 de Noviembre del 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117-NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

Autores:

1. Edward Luiggi Barrientos Curiñahui – EAP. Ingeniería de Minas
2. Fernando Alfredo Pariona Peñaloza – EAP. Ingeniería de Minas
3. Jesus Jersy Roca Torres – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de 10 palabras excluidas SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Rafael Carrasco Soto
Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

Ing. Rafael Carrasco Soto

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Continental. A los ingenieros docentes de la Escuela de Ingeniería de Minas por transmitiros sus amplios conocimientos.

DEDICATORIA

Yo, Edward, dedico esta tesis a mis amados padres: Celia Curiñahui Flores y Félix Barrientos Ávila, por su amor, apoyo incondicional y económico en cada paso de mi vida. A mi hermano Jhonatan Barrientos Curiñahui, por ser una fuente constante de inspiración. A mis queridas tías: Ligia Flores Curiñahui y Victoria Curiñahui Flores, por su sabiduría y aliento. A mi pareja: Izabela Flores de la Cruz, por su comprensión, amor y motivación en los momentos más desafiantes durante toda esta etapa.

Yo, Fernando, dedico esta tesis a Dios, por darme la fuerza, la sabiduría, y guiarme por todo este trayecto académico. A mis padres: Emilio Pariona Vásquez y Emilia Peñaloza León, por brindarme su apoyo incondicional en todo tiempo, que cada día se esfuerzan en inculcarme con enseñanzas y valores, para ser un buen profesional exitoso.

Yo, Jesús, dedico esta tesis, a Dios, por acompañarme en este gran viaje rebotante de conocimientos y enseñanzas. A mis padres: Rigoberto Roca Chávez y Ninfa Torres Tapia, quienes me moldearon como persona y me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| ASESOR | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| RESUMEN | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN | xiv |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO..... | 15 |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema | 15 |
| 1.1.1 Planteamiento del problema | 15 |
| 1.1.2 Formulación del problema..... | 16 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 1.2.1 Objetivo general | 16 |
| 1.2.2 Objetivo específicos | 16 |
| 1.3 Justificación e importancia..... | 16 |
| 1.4 Hipótesis..... | 17 |
| 1.4.1 Hipótesis general | 17 |
| 1.4.2 Hipótesis específicas..... | 17 |
| 1.5 Identificación de variables | 17 |
| 1.5.1 Variable independiente | 17 |
| 1.5.2 Variable dependiente | 17 |
| 1.5.3 Matriz de operacionalización de variables..... | 17 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 19 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 19 |
| 2.1.1 Antecedentes nacionales..... | 19 |
| 2.2. Generalidades de la Minera Aurífera Retamas S.A | 21 |
| 2.2.1 Ubicación y accesibilidad..... | 21 |
| 2.2.2 Geología regional | 22 |
| 2.2.3 Geología local..... | 23 |
| 2.3. Bases teóricas..... | 24 |
| 2.3.1 Aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A..... | 24 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA | 38 |

| | | |
|---|---|----|
| 3.1 | Método y alcances de la investigación..... | 38 |
| 3.1.1 | Métodos de la investigación | 38 |
| 3.1.2 | Alcances de la investigación..... | 38 |
| 3.2 | Diseño de la investigación | 38 |
| 3.3 | Población y muestra..... | 39 |
| 3.3.1 | Población | 39 |
| 3.3.2 | Muestra..... | 39 |
| 3.4 | Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 39 |
| 3.4.1 | Técnicas utilizadas en la recolección de datos..... | 39 |
| 3.4.2 | Instrumentos utilizados en la recolección de datos..... | 39 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 40 |
| 4.1 | Aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | 40 |
| 4.1.1 | Caracterización geomecánica del macizo rocoso | 41 |
| 4.1.2 | Diseño de la malla de perforación | 42 |
| 4.1.3 | Selección de explosivos..... | 43 |
| 4.1.4 | Control de los retardos de detonación | 45 |
| 4.1.5 | Monitoreo de vibraciones y control de sobrerotura..... | 45 |
| 4.1.6 | Evaluación posvoladura y ajuste continuo | 46 |
| 4.2 | Caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | 47 |
| 4.3 | Aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | 49 |
| 4.3.1 | Análisis situacional del diseño de malla de perforación y voladura de la Bypass 9117 – NE..... | 50 |
| 4.3.1.1. | Análisis situacional de los trabajos de desarrollo del Bypass 9117 – NE..... | 50 |
| 4.3.1.2. | Análisis situacional de los últimos 10 disparos con el Diseño de la malla de perforación y voladura Bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A..... | 52 |
| 4.3.1.3. | Análisis situacional del análisis de la sobrerotura tras el disparo con el diseño de la malla de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE..... | 54 |
| 4.3.1.4. | Análisis situacional de la fragmentación en el Bypass 9117 – NE | 55 |
| 4.3.1.5. | Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura Bypass 9117 – NE | 56 |
| 4.3.2 | Análisis de la mejora del diseño de malla de perforación y voladura de la Bypass 9117 – NE..... | 58 |
| 4.3.2.1. | Análisis de la mejora de los trabajos de desarrollo del Bypass 9117 – NE | 58 |

| | |
|---|----|
| 4.3.2.2. Análisis de mejora de los últimos 10 disparos con el Diseño de la malla de perforación y voladura Bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A..... | 60 |
| 4.3.2.3. Análisis de mejora de la sobrerotura tras el disparo con el Diseño de la malla de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE..... | 62 |
| 4.3.2.4. Análisis de mejora de la fragmentación en el Bypass 9117 – NE..... | 63 |
| 4.3.2.5. Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura Bypass 9117 – NE | 64 |
| 4.4 Prueba de hipótesis..... | 66 |
| 4.4.1. Prueba de hipótesis general | 66 |
| 4.4.2. Análisis de datos..... | 66 |
| CONCLUSIONES | 70 |
| RECOMENDACIONES..... | 71 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 72 |
| ANEXOS | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables..... | 18 |
| Tabla 2. Ubicación y accesibilidad a la Minera Aurífera Retamas S.A..... | 22 |
| Tabla 3. Formato de la caracterización geomecánica RMR para el bypass 9117 – NE..... | 26 |
| Tabla 4. Criterios de monitoreo de las vibraciones y control de sobrerotura del bypass 9117 – NE..... | 34 |
| Tabla 5. Evaluación posvoladura y ajuste continuo del bypass 9117 – NE..... | 35 |
| Tabla 6. Comparativa de la mejora del diseño de la malla de perforación en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. | 42 |
| Tabla 7. Comparativa de la mejora de la selección de explosivos en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A..... | 43 |
| Tabla 8. Comparativa de los retardos de detonación en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A. | 45 |
| Tabla 9. Comparativa del monitoreo de vibraciones y control de sobrerotura en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A. | 46 |
| Tabla 10. Comparativa de la evaluación posvoladura y ajuste continuo en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A. | 46 |
| Tabla 11. Caracterización geomecánica RMR del bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. | 48 |
| Tabla 12. Estado situacional de los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A. | 53 |
| Tabla 13. Análisis situacional de los parámetros del diseño de perforación y voladura del bypass 9117 – NE | 56 |
| Tabla 14. Estado de mejora de los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A..... | 61 |
| Tabla 15. Análisis de mejora de los parámetros del diseño de perforación y voladura del bypass 9117 – NE | 64 |
| Tabla 16. Comparación del escenario actual y el escenario de mejora en relación de los 10 disparos realizados en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas | 67 |
| Tabla 17. Estadísticas de muestras relacionadas..... | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A | 22 |
| Figura 2. Plano geológico de la Minera Aurífera Retamas S.A..... | 23 |
| Figura 3. Metodología para la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A..... | 25 |
| Figura 4. Metodología de mejora para la voladura controlada del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A | 41 |
| Figura 5. Mapeo geomecánico del frente de avance en el Bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. | 42 |
| Figura 6. Análisis situacional del diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A. | 51 |
| Figura 7. Análisis situacional del análisis de la sobrerotura del Bypass 9117 – NE | 54 |
| Figura 8. Análisis situacional de la fragmentación en el Bypass 9117 – NE..... | 55 |
| Figura 9. Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura bypass 9117 – NE..... | 57 |
| Figura 10. Análisis de la mejora del diseño de malla de perforación y voladura de la bypass 9117 – NE | 59 |
| Figura 11. Distribución de detonadores no eléctricos del diseño de la malla de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE..... | 60 |
| Figura 12. Análisis de mejora de la sobrerotura tras el disparo con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE | 62 |
| Figura 13. Análisis de mejora de la fragmentación en el bypass 9117 – NE..... | 63 |
| Figura 14. Análisis de mejora del costo del diseño de perforación y voladura bypass 9117 – NE..... | 65 |

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo con el propósito de realizar la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A. El método general empleado fue el método científico, mientras que el específico fue el experimental. La investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño experimental. La población abarca todos los trabajos de desarrollo (bypass) en la Minera Aurífera Retamas S.A. y la muestra específica corresponde al bypass 9117 – NE del Nivel 2950. La recolección de datos se realizó mediante técnicas observacionales en campo, enfocándose en los procesos actuales de perforación y voladura en la mencionada al bypass 9117 – NE del Nivel 2950. El análisis situacional del bypass 9117 – NE revela un rendimiento promedio de 1.22 metros por disparo y una eficiencia del 80 %, mostrando deficiencias en el diseño de la malla de perforación y voladura, lo que resultó en una sobrerotura significativa (11 % en hastiales y 10 % en la corona) y una fragmentación inadecuada con un P80 de 8.00". Tras implementar mejoras en el diseño y ejecución, el análisis de mejora muestra un incremento en el rendimiento promedio a 1.92 metros por disparo, con una eficiencia del 90 %, logrando reducir la sobrerotura a solo un 2 % en hastiales y corona, y mejorando la fragmentación con un P80 de 3.61".

Palabras clave: aplicación de la voladura controlada

ABSTRACT

This study was carried out with the purpose of carrying out the application of controlled blasting to increase the linear advance of the Bypass 9117 – NE at Minera Aurífera Retamas S.A. The general method used was the scientific method, while the specific method was the experimental method. The research is of applied type, of descriptive level and experimental design. The population covers all development works (bypass) at Minera Aurífera Retamas S.A., and the specific sample corresponds to Bypass 9117 – NE of Level 2950. Data collection was carried out using observational techniques in the field, focusing on the current drilling, and blasting processes in the aforementioned Bypass 9117 – NE of Level 2950. The situational analysis of Bypass 9117 – NE reveals an average yield of 1.22 meters per shot and an efficiency of 80%, showing deficiencies in the design of the drilling and blasting grid, which resulted in significant overbreaking (11% in the gables and 10% in the crown) and inadequate fragmentation with a P80 of 8.00". After implementing improvements in the design and execution, the improvement analysis shows an increase in the average yield to 1.92 meters per shot, with an efficiency of 90%, managing to reduce the overbreak to only 2% in gables and crown, and improving fragmentation with a P80 of 3.61".

Keywords: application of controlled blasting

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A. las **deficiencias en la fragmentación del material** están afectando considerablemente el rendimiento de las operaciones. La presencia de fragmentos de tamaño irregular, especialmente aquellos demasiado grandes, genera obstáculos en el manejo y transporte del material, provocando congestiones que retrasan el ciclo de extracción y dificultan el avance. Estos inconvenientes se ven exacerbados por parámetros inadecuados de perforación y voladura, que incluyen el diámetro incorrecto de los taladros, la cantidad subóptima de carga explosiva y una secuencia de detonación mal diseñada.

La combinación de estos factores no solo afecta la productividad, sino que también tiene un impacto directo en la seguridad operativa. Una fragmentación deficiente y una sobrerotura descontrolada pueden comprometer la estabilidad de los hastiales y la corona de la rampa, incrementando el riesgo de desprendimientos y de fallos estructurales. Este escenario implica la necesidad de aplicar sostenimiento adicional, lo que aumenta los costos y disminuye la eficiencia del proceso, además de limitar el avance lineal de la excavación. Estos retrasos aumentan los costos operativos de manera significativa, afectando el presupuesto global del proyecto.

Para solucionar estos problemas, es fundamental revisar exhaustivamente los parámetros de perforación y voladura actuales. Una optimización del diseño de la malla de perforación, que incluya ajustes en la distribución y profundidad de los taladros, es esencial para lograr una fragmentación más controlada y predecible. La carga explosiva debe ser cuidadosamente calculada para maximizar la eficiencia de la voladura sin generar una sobre rotura que afecte la estabilidad del macizo rocoso.

Adicionalmente, se debe realizar un análisis geomecánico del área del bypass 9117 – NE para adaptar los métodos de voladura a las características geológicas específicas. Comprender la composición del macizo rocoso permitirá afinar los parámetros de diseño y evitar problemas derivados de la sobre rotura o la inestabilidad.

Al implementar estas mejoras, se espera lograr una fragmentación más uniforme del material, lo que facilitará el manejo y transporte del mineral, optimizará el avance lineal y reducirá los costos operativos. Además, una voladura más controlada contribuirá a mejorar la seguridad de las operaciones, reduciendo el riesgo de accidentes y aumentando el rendimiento general del proyecto minero.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El enfoque mundial aborda los desafíos asociados con la optimización de la fragmentación de roca y la mejora de la eficiencia operativa en un contexto global altamente competitivo. A nivel mundial, la minería subterránea enfrenta la necesidad de mejorar el avance lineal de las rampas para reducir costos y maximizar la producción. La voladura controlada se presenta como una solución clave, ya que permite ajustar con precisión los parámetros de perforación, carga explosiva y detonación para obtener una fragmentación uniforme y adecuada. Sin embargo, implementar esta técnica de manera efectiva requiere superar obstáculos significativos como la adaptación a diversas condiciones geológicas, la integración de tecnologías avanzadas. Los problemas surgen de la necesidad de coordinar esfuerzos globales para desarrollar y aplicar prácticas óptimas que reduzcan la variabilidad en los resultados, que exige alta eficiencia y bajo costo.

En el enfoque nacional, la aplicación de la voladura controlada con el objetivo de incrementar el avance lineal de la rampa en minería subterránea se centra en los desafíos específicos que enfrenta cada país debido a sus condiciones geológicas, normativas y operativas particulares. A nivel nacional, las empresas mineras deben adaptar los métodos de voladura a las características zonas del macizo rocoso, así como cumplir con las regulaciones y estándares de seguridad específicos del país. Este enfoque enfrenta problemas como la necesidad de personal capacitado en técnicas avanzadas de voladura, la gestión eficiente de recursos como explosivos y equipos de perforación, y la aplicación efectiva de la voladura controlada requiere superar barreras relacionadas con la variabilidad geológica regional y los recursos limitados,

mientras se buscan soluciones que optimicen el avance lineal de las rampas y reduzcan costos operativos.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo se realizará la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S .A.?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se realizará la caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.?
- ¿Cómo se realizará la aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.

1.2.2 Objetivo específicos

- Realizar la caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.
- Realizar la aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.

1.3 Justificación e importancia

En la Minera Aurífera Retamas S. A. se viene desarrollando el bypass 9117 – NE que enfrenta serias deficiencias que impactan negativamente en el rendimiento general de la operación minera. La mala fragmentación del material, caracterizada por fragmentos de tamaño irregular puede provocar múltiples problemas operacionales. Fragmentos demasiado grandes pueden obstaculizar el manejo y transporte del material, causando congestiones y retrasos en el proceso de extracción. Además, los parámetros de perforación y voladura inadecuados como el diámetro de los taladros, la cantidad de carga explosiva y la secuencia de detonación, contribuyen a una fragmentación ineficiente y pueden afectar la estabilidad de las hastiales y

corona de la rampa. Esto puede llevar a problemas de seguridad y a un avance lineal menor, lo que retrasa la excavación y aumenta los costos operativos.

Para resolver estos problemas, es crucial llevar a cabo una revisión exhaustiva de los parámetros de perforación y voladura actuales. Esto incluye **ajustar el diseño de la malla de perforación, optimizar la carga explosiva y mejorar la sincronización de la detonación**. La **aplicación de técnicas de voladura controlada, que permiten una mayor precisión en la fragmentación**, puede ser una solución efectiva. Además, **realizar un análisis detallado de las características geológicas específicas** del bypass 9117 – NE es fundamental para adaptar los métodos de voladura a las condiciones reales del terreno. Implementar estas mejoras permitirá una fragmentación más uniforme, optimizará el avance lineal y aumentará la eficiencia general de la operación minera, reduciendo costos y mejorando la seguridad y el rendimiento.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La aplicación de la voladura controlada será factible y viable para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La caracterización del macizo rocoso será factible para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.
- La aplicación de la voladura controlada será factible y viable para disminuir el costo por metro lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S. A.

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

La aplicación de la voladura controlada

1.5.2 Variable dependiente

Incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

| Variable | Definición Conceptual | Dimensiones | Indicadores |
|---|---|--|--|
| <p>V.I.:</p> <p>La aplicación de la voladura controlada</p> | <p>La aplicación de la voladura controlada es una técnica avanzada que implica el diseño y ajuste precisos de parámetros como la malla de perforación, la carga explosiva y la secuencia de detonación para lograr una fragmentación óptima de la roca en minería. Su objetivo es obtener fragmentos de tamaño adecuado para facilitar el manejo y transporte del material, mejorar la eficiencia operativa, y minimizar los costos.</p> | <p>RMR (Sistema del macizo rocoso)</p> <p>Parámetros de perforación</p> <p>Parámetros de la voladura</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema del macizo rocoso • Tipo de roca • Burden (m) • Espaciamiento (m) • Longitud de perforación (m) • Metros perforados (m/p) • kg explosivo / m³ mineral (kg/m³) • kg explosivo / t mineral (kg/t) |
| <p>V.D.:</p> <p>Incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE</p> | <p>Es la mejora de la velocidad y eficiencia con la que se avanza en la rampa subterránea. Esto se logra mediante la aplicación de técnicas avanzadas de perforación y voladura, ajuste preciso de los parámetros de voladura para obtener una fragmentación adecuada, y la implementación de prácticas operativas que faciliten el manejo y transporte del material, maximizando la producción y reducir los costos por avance lineal (\$/ml).</p> | <p>Evaluación de la metodología del P80</p> <p>Análisis del costos por metro lineal (Rampa)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • tamaño de fragmentación (cm) • Costo total por metro lineal de avance (\$/m) |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: «*Reducción de la sobrerotura de la galería 270 SW mediante la aplicación de voladura controlada en la Unidad Minera Alpayana S.A.A Huarochiri – Lima 2022*» la finalidad de la presente investigación se centró en buscar y mejorar sus procesos a través de la investigación para superar deficiencias. Tiene como objetivo reducir la sobrerotura en las labores de desarrollo mediante la aplicación de técnicas de voladura controlada, que actualmente generan costos adicionales en acarreo, sostenimiento y horas hombre. La investigación se planteó con la pregunta: ¿cómo reducir la sobrerotura en las labores de desarrollo de la zona Cuerpos de Alpayana S.A.A.? La hipótesis formulada es que la aplicación de voladura controlada puede reducir la sobrerotura en estas labores. La investigación es de tipo científica, descriptiva y con diseño experimental, enfocada en la población del Nivel 19 de la zona Cuerpos, que incluye seis labores de avance: GAL 270 SW, XC 269 SE, GAL 333 NE, GAL 333 SW, XC 320 E y XC 320 W. La muestra se seleccionó aleatoriamente y se aplicó al avance GAL 270 SW. Los resultados confirmaron la hipótesis, demostrando que la aplicación de voladura controlada redujo la sobrerotura del 17.78 % al 4.12 % y disminuyó el costo por metro lineal de sostenimiento con pernos helicoidales a \$53.66/ml y de *shotcrete* a \$25.43/ml (1).

En la tesis titulada: «*Implementación de voladura controlada para la reducción de costos unitarios – caso de estudio*» surge del problema de sobreroturas en las coronas dentro de la minera KIWA, identificado como consecuencia de la falta de una malla de perforación optimizada. La causa principal era la ausencia de un diseño basado en métodos científicos para determinar la cantidad adecuada de taladros, el tipo y cantidad de explosivos a utilizar en

arranques, cuadradores, ayudas y arrastres de perforación. La colocación inadecuada de explosivos y taladros provocaba sobrerotura, lo que resultaba en tiempos adicionales de limpieza y sostenimiento, aumentando así los costos unitarios. La propuesta del estudio es diseñar un nuevo modelo de red perforada utilizando el método matemático de Holmberg, que aplicará principios de voladura controlada para minimizar los costos en la Unidad Minera Kiwa. Se recopilarán datos de campo sobre el tipo de roca, como el índice GSI, la densidad de la roca y el RQD, así como parámetros de las herramientas de perforación y voladura, como la longitud de las barras de perforación y el diámetro de las brocas, y tipos de explosivos. Esta información permitirá calcular el *burden* en el nuevo modelo de malla, lo que mejorará la distribución de la energía, reduciendo costos asociados con aceros de perforación, sostenimiento y limpieza, y optimizando los tiempos operativos y la granulometría, abordando así los problemas actuales de la unidad minera (2).

La tesis titulada: «*Aplicación de voladura controlada con recorte para reducir la sobrerotura en el cruce 2682 del nivel 1815 de la UM. acumulación Parcoy n°01, Consorcio Minero Horizonte – 2021*» tiene como problema la sobrerotura en las labores de desarrollo, como el CX 2682, que afecta el avance y explotación, y dificulta el cumplimiento del programa de avance en la zona norte Lurdes debido a parámetros de voladura inadecuados. El objetivo principal es demostrar cómo la reducción de la sobrerotura puede mejorar el avance del CX 2682, cumpliendo con el programa de avance y reduciendo los costos unitarios en la zona Lurdes. Los resultados fueron notablemente positivos, ya que la aplicación de retardos con mayores espaciamientos de tiempo permitió una disminución significativa de la sobrerotura, evidenciando que un mayor retardo en la voladura de contorno genera más caras libres. La investigación utilizó un enfoque metodológico cuantitativo y el nuevo diseño de la malla de perforación, calculado con el modelo matemático de Calvin J. Konya y el cálculo de presión en los taladros de recorte, permitió reducir el porcentaje de sobrerotura del 15.51% al 6.72% en un promedio de 30 disparos. Además, con el rediseño de la malla de perforación, se alcanzó una eficiencia de voladura del 92.6 %, incrementando el avance en el CX 2682 y logrando el cumplimiento del programa de avances, al mismo tiempo que se redujeron los tiempos y costos unitarios en las operaciones mineras en la zona norte – Lurdes nivel 1815 (3).

En la tesis titulada: «*Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - Minera Aurífera Retamas S.A.*» partió del problema: ¿cómo influye la perforación y voladura controlada en la mejora del avance y la reducción de la sobrerotura en la profundización de la rampa Patrick V? El objetivo fue determinar cómo estas técnicas pueden mejorar el avance y disminuir la sobrerotura en la rampa Patrick V de Minera Aurífera Retamas S.A. Se adoptó un enfoque científico, con un tipo de investigación

aplicada y un nivel descriptivo y explicativo. El diseño elegido fue descriptivo comparativo, utilizando la línea base establecida en el plan de minado anual. La población estudiada fue la Unidad Minera Retamas, con la muestra seleccionada siendo la rampa Patrick V, una rampa de profundización tipo zig-zag, desde el nivel 2195 hasta el nivel 2070 con una pendiente del -12%. Se diseñaron mallas de perforación y voladura controlada para la sección recta de la rampa (4,0m x 4,5m) y para la curvatura (4,5 m x 4,5 m). Los resultados mostraron que el avance/disparo en la línea base era de 3,10 m; con las nuevas mallas, se incrementó a 3,18 m en la sección recta (un aumento del 2,6 %) y a 3,15 m en la curvatura (un aumento del 1,6 %). En cuanto a la sobrerotura, que tenía un máximo del 10% en la línea base, se redujo al 6 % en la sección recta y al 5,5 % en la curvatura con las nuevas mallas (4).

En la tesis titulada: «*Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea*» se tiene como objetivo explorar los fundamentos del uso de la voladura controlada para mejorar los avances en las labores de minería subterránea. La investigación se originó a partir de la identificación de problemas en la voladura que afectaban el progreso en las labores mineras. Se trabajó con una muestra de cinco trabajadores con tres años de experiencia, aplicando un diseño de investigación cuantitativo y explicativo. Para la recopilación de datos, se emplearon métodos analíticos y técnicas de análisis documental, observación y entrevistas, utilizando guías específicas y el software SPSS para el procesamiento. La metodología aplicada proporciona solidez y rigor al informe. Los resultados indicaron que una voladura controlada implica diseñar mallas con burden y espaciamiento reducidos en comparación con las mallas convencionales, y utilizar explosivos de baja potencia. Estos hallazgos, presentados a través de gráficos estadísticos y análisis detallados, confirmaron la hipótesis de que conocer y aplicar los fundamentos de la voladura controlada puede significativamente reducir las deficiencias en los avances de las labores mineras subterráneas (5)

2.2. Generalidades de la Minera Aurífera Retamas S.A

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

Minera Aurífera Retamas S.A. se sitúa en el anexo de Llacuabamba, dentro del distrito de Parcoy, provincia de Pataz, en el departamento de La Libertad. Ubicada en la ladera occidental de la Cordillera Oriental, se encuentra a 180 km al este de Trujillo, a una altitud de 3,900 metros sobre el nivel del mar (6).



Figura 1. Ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A
Tomada del Departamento de Geología de la Minera Aurífera Retamas S.A (6)

La accesibilidad desde Lima hacia la Minera Aurífera Retamas S.A. se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. Ubicación y accesibilidad a la Minera Aurífera Retamas S.A

| Ruta | Distancia (km) | Tipo de vía | Tiempo Aproximado (h) |
|----------------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| Lima - Trujillo | 562 | Asfaltada | 7.5 horas |
| Trujillo - Chirán | 34 | Asfaltada | 1 hora |
| Chirán - Chagual | 307 | Carretera | 8 horas |
| Chagual - Mina MARSÁ | 69.2 | Carretera | 3 horas |
| TOTAL | 972.2 km | | 19.5 horas |

Tomada del Departamento de Geología de la Minera Aurífera Retamas S.A (6)

2.2.2 Geología regional

La geología regional abarca una variedad de rocas volcánicas, sedimentarias, plutónicas y metamórficas. Las más antiguas son filitas proterozoicas, que han sufrido cuatro eventos tectónicos importantes: un metamorfismo durante la transición del Precámbrico, la deposición de rocas volcánicas y pizarras del Ordovícico en el Paleozoico, sedimentos del Paleozoico medio y superior junto con el Triásico inferior (grupos Ambo, Mitú y Pucará), y finalmente, a partir del Jurásico medio, un levantamiento de la Cordillera Oriental, con depósitos como los grupos Goyllarisquizga, Crisnejas y Chota, acompañados de intrusiones subvolcánicas y actividad volcánica ácida.

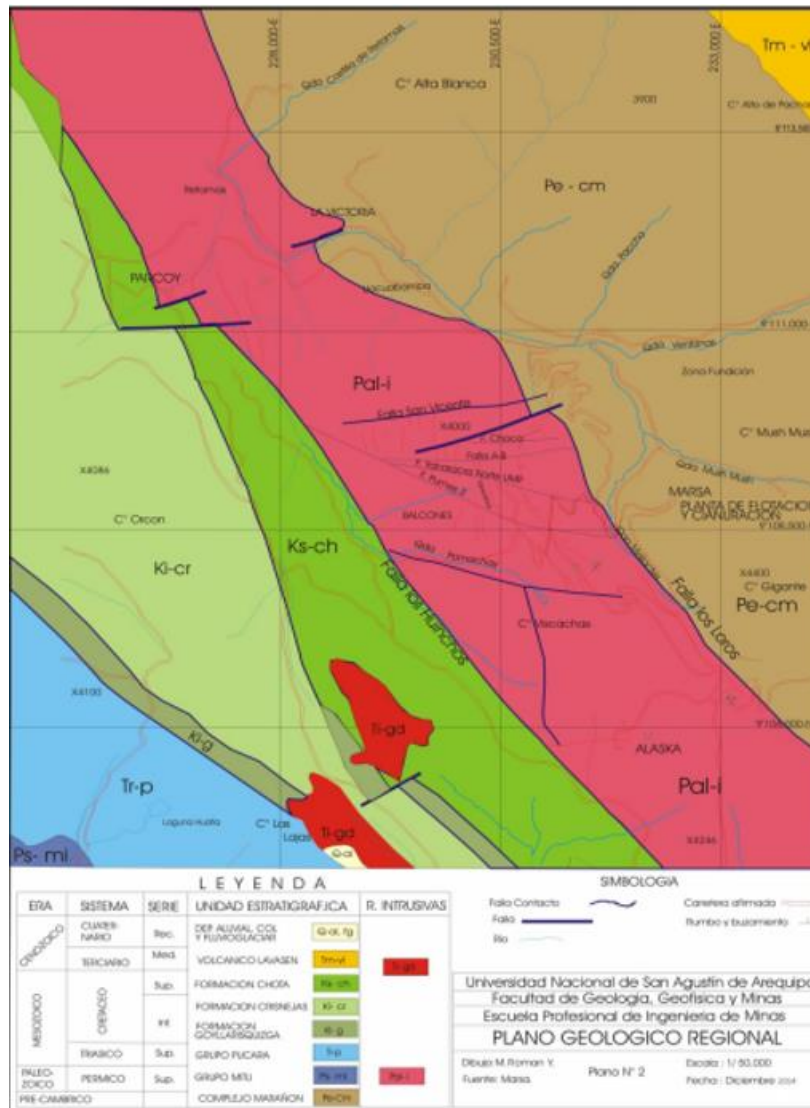


Figura 2. Plano geológico de la Minera Aurífera Retamas S.A. Tomada del Departamento de Geología de la Minera Aurífera Retamas S.A (6)

2.2.3 Geología local

La región está mayormente cubierta por depósitos cuaternarios, con las rocas y estructuras mineralizadas poco expuestas. Bajo esta capa, en la mina El Gigante, se encuentra el intrusivo de Pataz, de naturaleza félsica a metafélsica, que alberga vetas auríferas. Al noreste, cerca del campamento San Andrés, afloran rocas metamórficas del complejo del Marañón, mientras que al suroeste, en Tambo, se encuentran areniscas y limonitas del grupo Mitú. (7).

- Rocas intrusivas: el intrusivo de Pataz presenta dos facies: microdiorita-diorita, más favorable para la mineralización aurífera, y granodiorita-granito, menos propicia para la formación de vetas.

- Rocas metamórficas: del complejo del Marañón, incluyen pizarras, filitas y esquistos cloritizados, expuestas en quebradas como Ventanas y Mushmush, y contienen estructuras auríferas.
- Rocas sedimentarias: están compuestas por areniscas, limonitas y tobas del grupo Mitú (Pérmico), y calizas del grupo Pucará (Triásico-Jurásico), que afloran al suroeste del Batolito de Pataz.
- Depósitos cuaternarios: suelos residuales y aluviales cubren la mayor parte del área, con espesores de hasta 50 metros.
- Geología estructural: la región presenta mineralización aurífera mesotermal asociada a intrusiones calco-alcalinas, formadas por procesos hidrotermales postmagmáticos.
- Mineralogía: los minerales incluyen sulfuros como pirita y calcopirita, óxidos como cuarzo, y arsenopirita. El oro y electrum se hallan en microfracturas de pirita y cuarzo, siendo la pirita el sulfuro más abundante.

2.3. Bases teóricas

2.3.1 Aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

La voladura controlada es una técnica especializada en la minería subterránea que tiene como objetivo optimizar el proceso de excavación mediante la aplicación precisa de explosivos. Esta metodología es clave para lograr una fragmentación adecuada del macizo rocoso, controlando la energía liberada durante la detonación para evitar efectos no deseados como la sobre rotura (fracturas no intencionadas en las paredes de la excavación) y garantizando un avance lineal más eficiente. En el caso del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A., la voladura controlada ha sido implementada como una estrategia para mejorar tanto la productividad como la seguridad en las operaciones subterráneas.

La metodología incluye:

- Optimización de la fragmentación mediante un diseño preciso de la malla de perforación y la selección de explosivos, logrando una fragmentación uniforme y reduciendo el daño estructural.
- Minimización de la sobre rotura, lo que disminuye la necesidad de sostenimiento adicional y mejora la estabilidad de la excavación.

- Maximización del avance lineal a través de un diseño eficiente de perforación y sincronización de detonaciones, lo que permite un avance más rápido y continuo.
- Mejora de la eficiencia operativa, reduciendo tiempos de ciclo, aumentando el rendimiento de los equipos y disminuyendo costos operativos.
- Aumento de la seguridad, controlando las vibraciones y garantizando la estabilidad del macizo rocoso.

En el caso del bypass 9117 – NE, la aplicación de voladuras controladas ha permitido avanzar de manera eficiente, adaptándose a las condiciones geotécnicas de la zona y seleccionando explosivos adecuados como EMULEX 65%, SEMEXSA 65% y Pentacord 4gr. Esto ha resultado en mejoras operativas significativas, reduciendo costos y aumentando la seguridad.

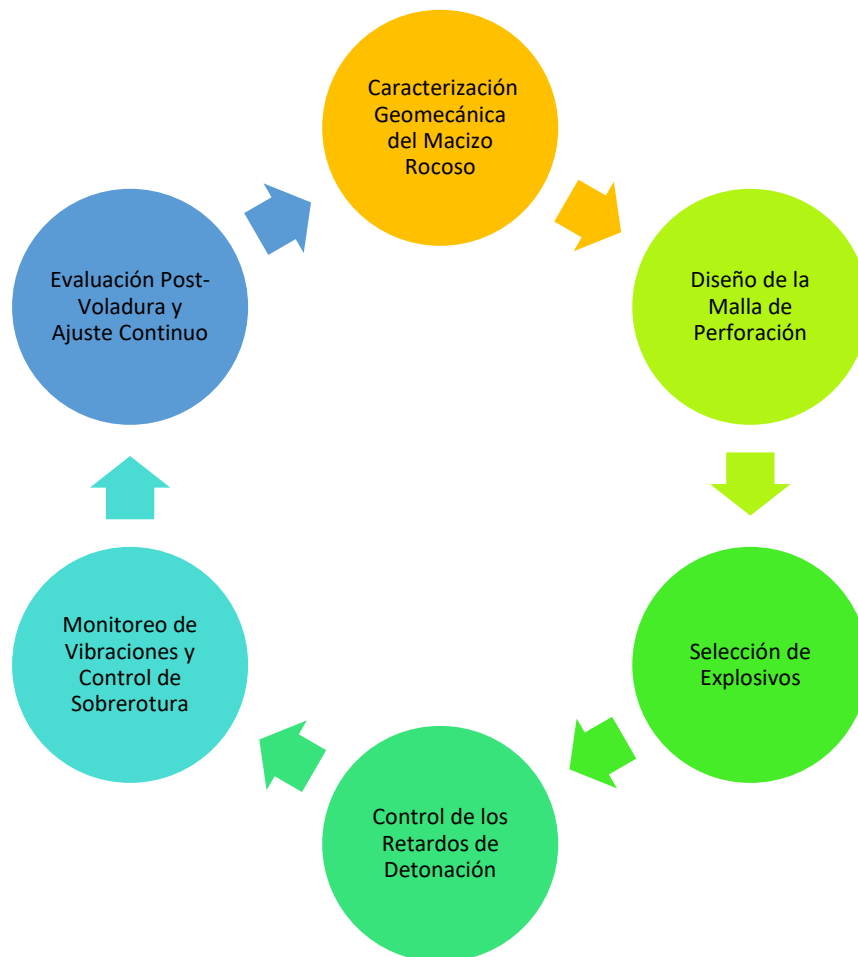


Figura 3. Metodología para la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A

La voladura controlada es una técnica aplicada en minería subterránea para optimizar la fragmentación del macizo rocoso, minimizar la sobre rotura y maximizar el avance lineal en las excavaciones. En el contexto del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A., esta metodología se enfoca en mejorar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad durante el desarrollo de las labores subterráneas.

➤ **Caracterización geotécnica y geomecánica del macizo rocoso**

Concepto: la primera fase de la voladura controlada implica un estudio detallado del macizo rocoso. Es fundamental identificar las propiedades mecánicas y estructurales para adaptar el diseño de la voladura a las condiciones específicas del terreno.

Evaluaciones clave: resistencia de la roca, fracturamiento, presencia de discontinuidades, cohesión del material.

Clasificaciones geomecánicas utilizadas: RMR (Rock Mass Rating), que permiten categorizar el macizo y diseñar una voladura adecuada.

Tabla 3. Formato de la caracterización geomecánica RMR para el bypass 9117 – NE

| Parámetro | Valor medido | Puntuación | Comentarios |
|--|---|------------|-------------|
| 1. Resistencia de la roca intacta (UCS) | 25 - 50 MPa | - | - |
| 2. Espaciamiento de las discontinuidades | 0.3 – 0.6 metros | - | - |
| 3. Condición de las discontinuidades | Rugosidad media, apertura < 1 mm, relleno arcilloso | - | - |
| 4. Condiciones de agua subterránea | Húmedo, ligera infiltración | - | - |
| 5. Orientación de las discontinuidades | Desfavorable | - | - |
| 6. Tipo de roca | Andesita | - | - |
| 7. Alteración | Moderada | - | - |
| 8. Presencia de fallas | Ninguna | - | - |
| Puntuación acumulada | | Valor | |
| RMR total = | Si es de Calidad moderada, Clase III | | |

Tomada del Departamento de Geomecánica del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas

S.A (8)

El RMR corresponde a un macizo rocoso de calidad moderada (Clase III), lo que indica que el terreno tiene una estabilidad razonable, pero requiere medidas de sostenimiento para prevenir desprendimientos o inestabilidad.

La orientación de las discontinuidades desfavorable requiere atención en el diseño del sostenimiento y voladura controlada para evitar sobre rotura.

Condiciones de agua subterránea leve, aunque no crítica, es un factor por monitorear durante la excavación.

➤ **Recomendaciones de sostenimiento:**

Barras de anclaje (pernos) de longitud media (2-3 m) con una densidad adecuada (2-3 por metro cuadrado).

Mallas metálicas para proteger contra pequeños desprendimientos en zonas críticas.

En caso de encontrar zonas más débiles o con mayor fracturamiento, puede ser necesario el uso de shotcrete (concreto proyectado) para reforzar las paredes.

Esta caracterización proporciona una base sólida para el diseño de voladuras controladas en el Bypass 9117 – NE, mejorando la seguridad y eficiencia en el avance de la excavación.

➤ **Diseño de la malla de perforación**

Concepto: El diseño de la malla de perforación es clave para controlar la fragmentación, evitar sobre rotura y maximizar el avance lineal. Se debe ajustar en función de la caracterización del terreno y los objetivos del proyecto.

- Variables principales: diámetro, longitud e inclinación de los taladros.
- Tipos de taladros:
- Taladros de contorno: controlan la sobre rotura y definen el perfil de la excavación.
- Taladros de alivio: facilitan el desprendimiento del material para optimizar la fragmentación.
- Taladros de fondo: aseguran el avance profundo en cada ciclo de perforación.

➤ **Parámetros generales para el diseño de malla**

Diámetro de los barrenos: generalmente se utilizan barrenos de entre 45 mm a 64 mm de diámetro dependiendo del equipo disponible y la configuración del frente.

- Espaciamiento y burden (B):
- ✓ Burden (B): debería estar entre 1.2 a 2.0 veces el diámetro del barreno (D). Para un diámetro de 64 mm, el burden óptimo podría ser de 1.5 a 1.8 metros.
- ✓ Espaciamiento (S): generalmente se establece entre 1.0 a 1.5 veces el burden. Un valor típico podría estar en el rango de 1.5 metros para optimizar la fragmentación y minimizar la sobre rotura.
- Profundidad de los barrenos: dependerá del avance requerido. En general, se busca una profundidad de barreno entre 3.5 y 4.5 metros para frentes de galería en minería subterránea.
- Tipo de malla: la malla de perforación puede ser de tipo abanico o paralela, dependiendo de la geometría del frente de avance y las características del macizo rocoso.

Este enfoque busca optimizar la perforación y voladura para maximizar el avance lineal, controlar la fragmentación y reducir costos operativos en el Bypass 9117 – NE.

➤ **Selección de explosivos**

Para el bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A., se ha seleccionado una combinación de explosivos y accesorios que garantizan un buen rendimiento en la voladura, considerando las características del terreno y los objetivos operativos. A continuación, se detalla la selección de explosivos y sus aplicaciones:

➤ **Explosivos seleccionados**

- EMULEX 45%

Tipo: emulsión explosiva de baja densidad.

Aplicación: ideal para zonas donde el control de la sobre rotura es crítico, como en las cercanías de hastiales o coronas, o en áreas con condiciones geológicas más frágiles. Al ser un explosivo de menor potencia, es adecuado para proteger estructuras críticas y reducir el impacto en las zonas de contorno.

- EMULEX 65%

Tipo: emulsión de densidad media.

Aplicación: este explosivo ofrece un balance entre potencia y control, por lo que es versátil para el uso en frentes de producción. Su capacidad de generar buena fragmentación lo hace útil en zonas de roca moderadamente dura, asegurando un buen desplazamiento del material sin causar una fragmentación excesiva o descontrolada.

- EMULEX 80%

Tipo: emulsión de alta energía.

Aplicación: ideal para condiciones de roca dura donde se necesita una mayor energía explosiva para lograr una fragmentación eficiente. Se debe utilizar en frentes de producción o zonas de alto avance donde la roca es compacta y difícil de romper.

- Emulnor 1000

Tipo: explosivo de emulsión de alta potencia.

Aplicación: utilizado para voladuras de producción en rocas duras, Emulnor 1000 es altamente efectivo para lograr una fragmentación adecuada en ambientes con alta resistencia a la compresión. Su mayor energía explosiva permite un avance eficiente en las voladuras.

- Emulnor 3000

Tipo: emulsión de potencia superior.

Aplicación: este explosivo es adecuado para zonas donde se requiere una fragmentación rápida y eficiente, ideal para áreas con roca extremadamente dura. Se puede emplear en las voladuras principales o en zonas donde el avance debe ser maximizado sin comprometer la estabilidad de la roca circundante.

➤ **Accesorios seleccionados**

- Guías de seguridad 8 pies

Función: aseguran que la voladura sea controlada y dirigida, minimizando los riesgos de sobre rotura y mejorando la precisión en la voladura de contorno. Son esenciales para mantener la estabilidad de las estructuras en el frente de trabajo.

- Exsaneles 4.2 m de período largo

Función: estos detonadores permiten realizar voladuras secuenciales, lo que mejora el control sobre el desplazamiento del material y reduce los riesgos de vibración excesiva. Su uso es crucial para evitar daños a las estructuras circundantes y asegurar que los explosivos detonen de manera controlada y segura.

- Mecha rápida de ignición

Función: facilita el encendido de las voladuras con tiempos precisos, permitiendo una iniciación rápida y segura. Es esencial en frentes de voladura donde se requiere sincronización exacta para maximizar el rendimiento del disparo.

- **Cordón detonante 5P**

Función: es utilizado para transferir la energía de detonación a los barrenos de forma confiable. El cordón 5P es adecuado para aplicaciones en las que se requiere una detonación simultánea o en secuencia de varios barrenos, garantizando un buen control de la voladura.

- **Fanel LP**

Función: este detonador no eléctrico de baja presión es ideal para asegurar una detonación controlada de los explosivos en secuencias predeterminadas. Se utiliza para minimizar los riesgos de sobrecarga y mejorar el control del disparo.

- **Carmex 7 pies**

Función: dispositivo de ignición utilizado para iniciar la secuencia de voladuras de manera segura y controlada. Es parte esencial del sistema de iniciación, asegurando que la detonación ocurra en los tiempos precisos para evitar problemas de sobrepresión o mala fragmentación.

➤ **Aplicación y ventajas**

Control de sobre rotura: el uso de EMULEX 45% y accesorios como las guías de seguridad y los exsaneles permiten un control eficiente de la sobre rotura, protegiendo las estructuras críticas en el frente de trabajo.

Fragmentación optimizada: con explosivos como el EMULEX 65% y 80%, junto con el Emulnor 1000 y 3000, se busca una fragmentación adecuada que facilite la carga y transporte del material, optimizando la eficiencia operativa.

Seguridad y precisión: la combinación de accesorios como el cordón detonante 5P, fanel LP y mecha rápida de ignición asegura una voladura controlada, reduciendo riesgos y mejorando la precisión en la secuencia de disparo.

Este diseño integral de selección de explosivos y accesorios busca maximizar la productividad y seguridad en el Bypass 9117 – NE mientras minimiza el impacto negativo de la voladura en las estructuras circundantes.

➤ **Control de los retardos de detonación**

La sincronización adecuada de las detonaciones es fundamental para optimizar la fragmentación, evitar vibraciones excesivas y mejorar el desplazamiento del material.

Uso de sistemas de detonación no eléctricos como Nonel, o detonadores electrónicos para controlar los retardos.

Secuencia de detonación: diseñada para mejorar la fragmentación y evitar la concentración de energía en áreas críticas.

El control de los retardos de detonación en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. es fundamental para garantizar una voladura eficiente, controlada y segura. Los retardos de detonación permiten que los barrenos exploten en una secuencia planificada, lo que optimiza la fragmentación del material, reduce las vibraciones, minimiza la sobre rotura y mejora la seguridad en la operación. A continuación, se detalla cómo implementar un sistema de retardos adecuado para este proyecto:

➤ **Objetivos del control de retardos**

- Mejora de la fragmentación: al detonar los barrenos en secuencia, se facilita el colapso del material en un orden que maximiza la fragmentación y optimiza la extracción.
- Minimización de vibraciones: un buen control de los retardos permite minimizar las vibraciones y el impacto sobre las estructuras circundantes, algo crítico en minería subterránea.
- Reducción de la sobre rotura: al espaciar adecuadamente los tiempos de detonación, se puede evitar que la energía de los barrenos cause daños a los hastiales o al contorno de la excavación.
- Control del desplazamiento de material: los retardos controlan cómo y dónde se desplaza el material volado, evitando bloqueos y facilitando el posterior proceso de carga y transporte.

➤ **Selección de retardos para el bypass 9117 – NE**

- Exsaneles 4.2 m de período largo

Descripción: los exsaneles son detonadores no eléctricos diseñados para controlar el tiempo entre las detonaciones de cada barreno. Los de período largo proporcionan una mayor flexibilidad en la programación de los tiempos de detonación.

Aplicación: utilizando exsaneles de período largo, se puede espaciar la secuencia de detonaciones en un rango de milisegundos (ms) entre barrenos consecutivos, logrando un control más preciso sobre la progresión de la voladura.

Ventajas: estos exsaneles permiten mejorar la fragmentación al asegurar que cada fila de barrenos tenga tiempo suficiente para liberar el material antes de la siguiente detonación, evitando una acumulación excesiva de energía en el macizo rocoso.

- **Mecha rápida de ignición**

Descripción: la mecha rápida proporciona una iniciación rápida y precisa de los barrenos.

Aplicación: es utilizada para iniciar la voladura en secuencia con los exsaneles y otros sistemas de retardo.

Ventajas: asegura que la iniciación se haga de manera controlada y sin retrasos imprevistos, lo que garantiza la precisión del disparo.

- **Cordón detonante 5P**

Descripción: el cordón detonante es usado para conectar los barrenos y garantizar que la secuencia de detonación siga el orden establecido.

Aplicación: en combinación con los exsaneles y otros retardos, el cordón detonante asegura que la energía explosiva se transfiera a lo largo de la voladura de manera rápida y efectiva.

Ventajas: facilita una sincronización precisa entre los barrenos, asegurando una buena progresión de la voladura.

➤ **Configuración de retardos**

Para optimizar el control de los retardos en el bypass 9117 – NE, la secuencia de detonación debe seguir estos principios:

- **Detonación en abanico:** empezar la voladura en el centro y expandir hacia los extremos, permitiendo que el material se desplace de manera controlada hacia las zonas de extracción.
- **Secuencia de avance:** utilizar retardos de 25 a 50 milisegundos (ms) entre filas de barrenos, para evitar la acumulación de vibraciones y maximizar la fragmentación.
- **Retardos intermedios:** usar retardos de 8 a 25 ms entre barrenos de una misma fila, para asegurar que el material de la fila anterior se haya desplazado antes de la detonación del siguiente barreno, evitando interferencias entre detonaciones.

➤ **Simulación y monitoreo**

Simulación de voladuras: antes de implementar la secuencia de detonación, se recomienda realizar simulaciones para prever los efectos de los retardos seleccionados y ajustar los tiempos si es necesario. Esto ayuda a anticipar problemas de fragmentación, sobre rotura o desplazamiento de material.

Monitoreo de vibraciones: durante las voladuras, se debe monitorear la magnitud de las vibraciones generadas para asegurarse de que los retardos están funcionando como se espera y evitar problemas en las estructuras cercanas o zonas sensibles.

➤ **Consideraciones finales**

Optimización del tiempo de retardo: el ajuste preciso de los tiempos de retardo dependerá de la dureza de la roca, la orientación de las discontinuidades y la geometría del frente de voladura. Un control eficaz de los retardos puede reducir la sobre rotura y mejorar tanto la seguridad como el rendimiento.

Sincronización perfecta: la coordinación entre la mecha rápida, los exsaneles y el cordón detonante es crucial para que la voladura ocurra según lo planificado. Cualquier falla en la secuencia de retardos puede generar problemas de fragmentación o aumentar el riesgo de accidentes.

Este enfoque en el control de los retardos de detonación asegura que el proceso de voladura en el bypass 9117 – NE sea eficiente y seguro, optimizando tanto la fragmentación como el desplazamiento del material, mientras se minimizan las vibraciones y la sobre rotura.

➤ **Monitoreo de vibraciones y control de sobrerotura**

- Concepto: el monitoreo constante de las vibraciones generadas por las detonaciones es crucial para garantizar la seguridad del macizo y evitar sobre rotura.
- Herramientas: uso de sismógrafos para medir las vibraciones y su impacto en las estructuras cercanas.
- Voladura perimetral: utilizada para minimizar el daño en los hastiales y la corona, protegiendo la integridad estructural de la excavación.

El monitoreo de vibraciones y el control de la sobrerotura son aspectos críticos para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación minera en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S. A. Implementar un sistema adecuado de monitoreo y control permite minimizar los impactos negativos de las voladuras en las estructuras circundantes, evitar la sobrerotura en los hastiales y coronas, y mantener un entorno seguro para los trabajadores y equipos.

Tabla 4. Criterios de monitoreo de las vibraciones y control de sobrerotura del bypass 9117 – NE

| Aspecto | Descripción |
|----------------------------------|---|
| Monitoreo de vibraciones | |
| Objetivos | <ul style="list-style-type: none"> - Proteger estructuras críticas: Minimizar el impacto de las vibraciones en galerías, rampas, pilares, etc. - Cumplir normativas de seguridad. - Optimizar la eficiencia de las voladuras. |
| Instrumentos | <ul style="list-style-type: none"> - Sismógrafos: miden la intensidad de vibraciones. - Geófonos: registran ondas sísmicas en tiempo real. - Estaciones remotas: monitoreo en tiempo real. |
| Método de evaluación | <ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de partícula pico (PPV): mide las vibraciones en mm/s. - Frecuencia de vibración: las vibraciones de baja frecuencia pueden causar más daño. |
| Acciones correctivas | <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el número de barrenos detonados simultáneamente. - Aumentar los retardos entre barrenos. - Disminuir la carga de explosivos por barreno. |
| Control de la sobrerotura | |
| Causas | <ul style="list-style-type: none"> - Exceso de energía en las voladuras. - Retardos inadecuados entre barrenos. - Malla de perforación mal diseñada. |
| Estrategias de control | <ul style="list-style-type: none"> - Ajustar el diseño de la malla de perforación (espaciado y profundidad). - Seleccionar explosivos de menor potencia (EMULEX 45%). - Optimización de los retardos con exsaneles de período largo. |
| Monitoreo | <ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual después de cada voladura. - Análisis de vibraciones y evaluación de fragmentación. |
| Acciones correctivas | <ul style="list-style-type: none"> - Rediseñar la malla de perforación. - Cambiar el tipo de explosivo o reducir la carga por barreno. - Reevaluar tiempos de retardo. |

| Beneficios del monitoreo y control efectivo | |
|---|--|
| Reducción de costos | Menor necesidad de sostenimiento adicional, menos reparaciones de estructuras y reducción de la pérdida de material. |
| Mejora de la seguridad | Reducción del riesgo de accidentes por derrumbes o fracturas inesperadas. |
| Optimización del rendimiento | Mejor fragmentación del material, aumentando la eficiencia en carga, transporte y procesamiento. |

Tomada del Departamento de operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

Esta tabla resume los puntos clave, lo que facilita la comprensión de las acciones necesarias para garantizar la seguridad y eficiencia operativa en el proyecto.

➤ Evaluación posvoladura y ajuste continuo

La evaluación posvoladura y el ajuste continuo son procesos fundamentales en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A., ya que permiten mejorar continuamente la eficiencia de las voladuras y garantizar que se minimicen los impactos negativos en las operaciones y la seguridad.

Tabla 5. Evaluación posvoladura y ajuste continuo del bypass 9117 – NE

| Aspecto | Descripción |
|-------------------------------|--|
| Evaluación posvoladura | |
| Fragmentación del material | Objetivo: evaluar si la voladura produjo fragmentos de tamaño adecuado para carga, transporte y procesamiento. Método: Inspección visual y análisis de imágenes para medir tamaños. |
| Sobrerotura | Objetivo: verificar si la voladura causó daños en hastiales, coronas o zonas no deseadas. Método: inspección visual para detectar fracturas, caídas de roca o sobreexcavación. |
| Efectos sobre las estructuras | Objetivo: determinar si las vibraciones afectaron estructuras permanentes o áreas sensibles. Método: monitoreo con sismógrafos y geófonos |

instalados para registrar la intensidad de vibraciones.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Estabilidad del frente | Objetivo: asegurar que el frente de trabajo permanece estable y seguro. Método: inspecciones visuales y medición de posibles movimientos de bloques. |
| Ajuste continuo | |
| Diseño de la Malla de Perforación | Acción: ajustar espaciado entre barrenos y profundidad según resultados. Mallas más abiertas pueden reducir concentración de energía en áreas sensibles. |
| Selección y cantidad de explosivos | Acción: reconsiderar tipo y cantidad de explosivos si hay sobrerotura o vibraciones excesivas. Usar explosivos de menor potencia como EMULEX 45% cerca de estructuras críticas. |
| Ajuste de carga por barreno | Acción: disminuir carga de explosivo por barreno para reducir propagación de energía no deseada. |
| Secuencia de retardos | Acción: optimizar tiempos de retardo para una liberación controlada de energía. Usar exsaneles de período largo para controlar secuencia de detonación. |
| Herramientas para el ajuste continuo | |
| Simulaciones Predictivas | Descripción: modelos numéricos para predecir resultados de voladuras y ajustar variables como carga, espaciado y retardos. |
| Monitoreo de datos históricos | Descripción: análisis de voladuras anteriores para identificar patrones y mejorar fragmentación, vibraciones y sobrerotura. |
| Capacitación continua | Descripción: formación continua del personal en mejores prácticas y ajustes basados en resultados de evaluaciones. |
| Acciones correctivas posvoladura | Acción: ajustar diseño de perforación, cambiar tipos de explosivos y reevaluar esquema de retardos según resultados obtenidos. |
| Beneficios del ajuste continuo | |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Optimización del proceso de voladura | Mejora de fragmentación, reducción de sobrerotura y disminución de costos operativos. |
| Mejora en la seguridad | Asegura estabilidad del macizo rocoso y protección de estructuras permanentes. |
| Mayor control sobre los costos | Reducción de necesidad de sostenimiento adicional y optimización de recursos invertidos en explosivos. |

Tomada del Departamento de operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

En resumen, la evaluación posvoladura y el ajuste continuo son herramientas indispensables para perfeccionar el rendimiento en la operación del bypass 9117 – NE. Un enfoque basado en la retroalimentación constante permite mejorar la eficiencia, seguridad y costo en cada ciclo de voladura.

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Métodos de la investigación

a) Método general

En forma general se empleará el método científico, porque la aplicación de la voladura controlada lograra el incremento en el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

b) Método específico

El método específico a emplear es el método experimental inductivo – deductivo. Se deduce que tras la aplicación de la voladura controlada se podrá incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.1.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

Es de diseño no experimental, porque el objetivo de la investigación es desarrollar la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

b) Nivel de investigación

Es descriptivo, porque trata de explicar de qué manera la aplicación de la voladura controlada ayudara a incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.2 Diseño de la investigación

Es experimental.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Todos los trabajos de desarrollo (bypass) en la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.3.2 Muestra

El bypass 9117 – NE del Nivel 2950 de la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- **Observación:** se llevará a cabo una recolección de datos en el campo utilizando técnicas de observación y revisando la información existente sobre perforación y voladura del bypass 9117 – NE del Nivel 2950 de la Minera Aurífera Retamas S.A. Para ello, se utilizarán herramientas como un cuaderno de notas, planos, vernier, flexómetro y otros instrumentos de gestión específicos de la unidad minera.
- **Recopilación:** durante la recopilación de datos se detallarán aspectos relacionados con la perforación, los factores y parámetros involucrados, así como el control del uso y consumo de explosivos e accesorios de perforación. Los datos se organizarán en un programa Excel y se complementarán con consultas a tesis, libros y procesamiento de información en una laptop.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Informes
- ✓ Publicaciones
- ✓ Tesis
- ✓ Planos
- ✓ Fichas
- ✓ Libros
- ✓ Internet
- ✓ PC

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

La voladura controlada en la minería subterránea se enfoca en optimizar el proceso de excavación mediante una aplicación precisa de explosivos, buscando una fragmentación adecuada del macizo rocoso y evitando efectos no deseados como la sobre rotura. En el bypass 9117 – NE de Minera Aurífera Retamas S. A. esta técnica ha mejorado la productividad y seguridad al reducir la necesidad de sostenimiento adicional, aumentar el avance lineal mediante un diseño eficiente de perforación y sincronización de detonaciones, y optimizar la eficiencia operativa. Utilizando explosivos adecuados, se ha logrado una fragmentación uniforme, mayor estabilidad y control de vibraciones, resultando en una significativa reducción de costos y una mejora en la seguridad.

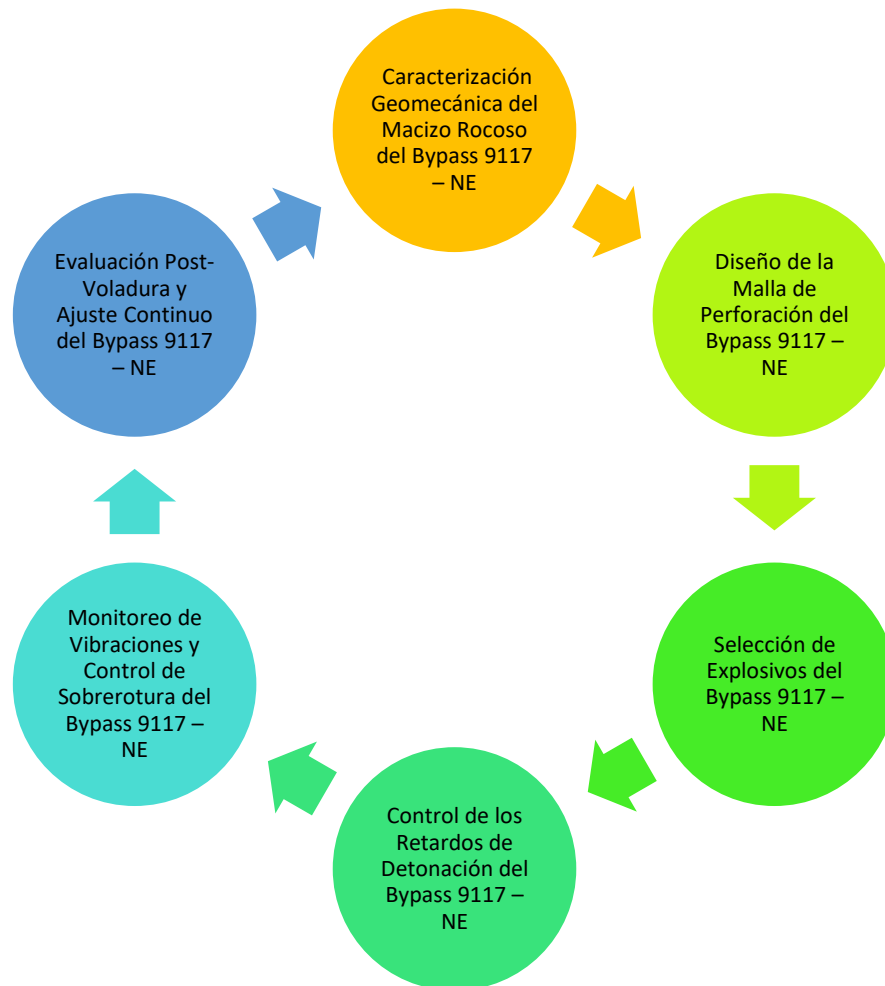


Figura 4. Metodología de mejora para la voladura controlada del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A

4.1.1 Caracterización geomecánica del macizo rocoso

- Objetivo: evaluar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso para diseñar adecuadamente las voladuras y asegurar la estabilidad de la excavación.
- Propiedades del macizo rocoso: incluye la resistencia a la compresión, la fracturación natural y la presencia de planos de debilidad.
- Métodos de evaluación: ensayos de laboratorio, perfiles geofísicos y estudios de campo para determinar la calidad del macizo y su comportamiento bajo carga.

La figura presenta el mapeo geomecánico del frente de avance en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S. A.

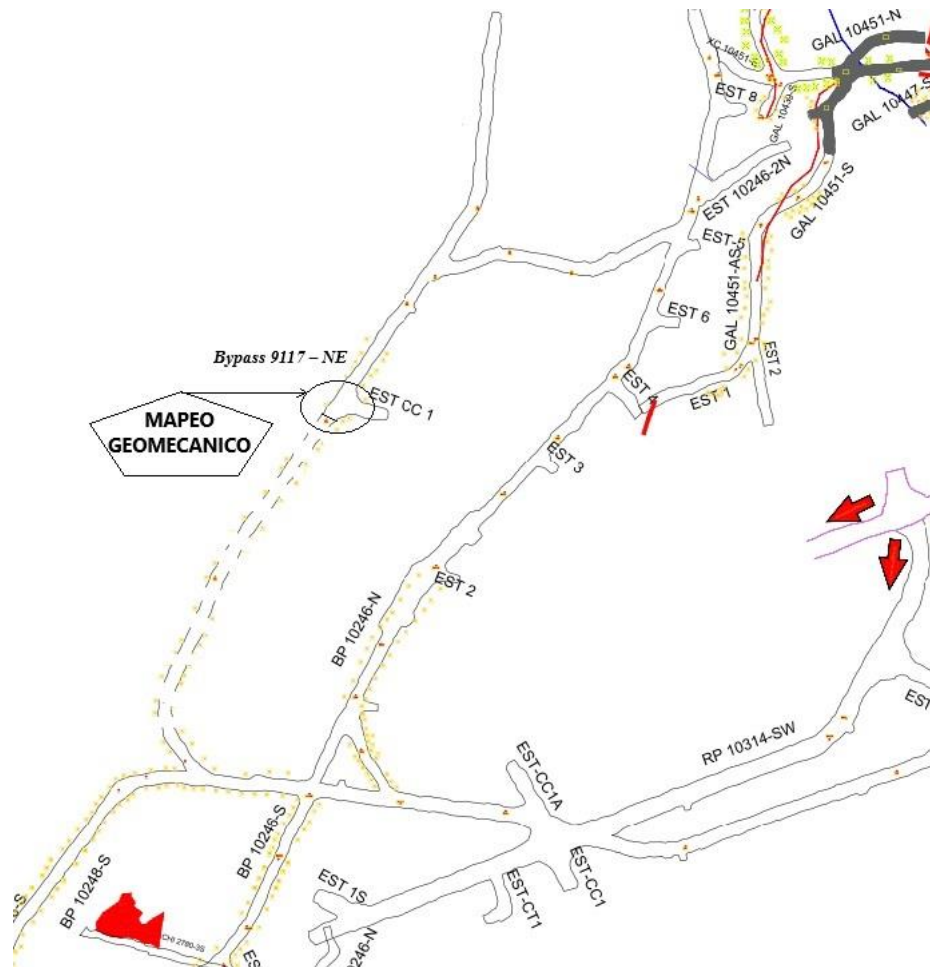


Figura 5. Mapeo geomecánico del frente de avance en el Bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A.

4.1.2 Diseño de la malla de perforación

El diseño de la malla de perforación del antes y después de la mejora para incrementar el avance lineal en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6. Comparativa de la mejora del diseño de la malla de perforación en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A.

| Aspecto | Antes de la mejora | Después de la mejora |
|--------------------------------------|---|---|
| Espaciado y distribución de barrenos | Espaciado estándar sin ajustes de específicos. Fragmentación irregular, con fragmentos grandes y finos. | Espaciado ajustado según geomecánica. Fragmentación más uniforme, facilitando carga y transporte. |
| Profundidad de perforación | Uniforme sin ajustes para variaciones en dureza. | Ajustada según dureza y condiciones del terreno. Fragmentación más |

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| | Fragmentación insuficiente o excesiva en algunas áreas. | consistente, mejorando el avance lineal. |
| Carga explosiva y tipo de explosivos | Carga fija sin ajustes según tipo de roca. Liberación subóptima de energía, problemas de sobrerotura. | Explosivos seleccionados según tipo de roca. Liberación optimizada de energía, reduciendo sobrerotura. |
| Secuencia de detonación | Secuencia estática con retardos fijos. Variaciones en liberación de energía, afectando la uniformidad del avance. | Secuencia ajustada con retardos optimizados. Liberación controlada de energía, mejorando el avance lineal. |

➤ Beneficios de la mejora

- Avance lineal incrementado: diseño optimizado permite un avance más rápido y continuo.
- Mejora en la fragmentación: fragmentación uniforme facilita manejo y eficiencia operativa.
- Reducción de costos: menor necesidad de sostenimiento adicional y reducción de costos operativos.
- Mayor seguridad: mejor control de vibraciones y fragmentación, aumentando la seguridad.

Esta tabla ilustra claramente cómo los ajustes en el diseño de la malla de perforación han llevado a mejoras significativas en el rendimiento y la eficiencia operativa en el Bypass 9117 – NE.

4.1.3 Selección de explosivos

En la siguiente tabla se muestra la compara de la selección de explosivos en el bypass 9117 – NE del antes y después de la mejora:

Tabla 7. Comparativa de la mejora de la selección de explosivos en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Aspecto | Antes de la mejora | Después de la mejora |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| Tipo de explosivos | - EMULEX 45%, 65%, 80% | - Emulnor 1000 y 3000 |
| | - Otros de características estándar | - Explosivos ajustados a las condiciones geológicas |

| | | |
|--------------------------|--|---|
| Carga explosiva | Fija, sin ajustes específicos según tipo de roca | Ajustada según características del macizo rocoso y condiciones geológicas |
| Fragmentación | Irregular, con zonas de fragmentos grandes y finos | Uniforme, facilitando carga y transporte del material |
| Control de energía | Liberación de energía subóptima, con problemas de sobre rotura | Liberación de energía optimizada, reduciendo sobrerotura |
| Impacto en avance lineal | Avance menos eficiente, con obstrucciones y necesidad de sostenimiento adicional | Avance más rápido y continuo, con mejor control de la fragmentación |
| Seguridad | Mayor riesgo de fracturas no deseadas y problemas de estabilidad | Mejor control de vibraciones y estabilidad del macizo rocoso |

➤ **Beneficios de la mejora en la selección de explosivos**

- Fragmentación mejorada: selección adecuada de explosivos mejora la fragmentación y facilita la carga y el transporte del material.
- Reducción de sobrerotura: menor incidencia de fracturas no deseadas, reduciendo la necesidad de sostenimiento adicional y mejorando la estabilidad.
- Avance lineal incrementado: mejor control de la liberación de energía permite un avance más rápido y continuo.
- Mayor seguridad: optimización de explosivos reduce riesgos asociados con la voladura, mejorando la seguridad en el frente de trabajo.

En resumen, la mejora en la selección de explosivos ha tenido un impacto significativo en la eficiencia operativa y la seguridad en el Bypass 9117 – NE, resultando en una fragmentación más uniforme, una reducción de la sobrerotura y un avance lineal más efectivo.

4.1.4 Control de los retardos de detonación

En la siguiente tabla compara el control de los retardos de detonación en el bypass 9117 – NE antes y después de la mejora.

Tabla 8. Comparativa de los retardos de detonación en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Aspecto | Antes de la mejora | Después de la mejora |
|----------------------------------|--|--|
| Secuencia de retardos | Estática, con retardos fijos entre barrenos | Optimizada, con retardos ajustados para cada sección del frente |
| Control de energía | Variaciones en la liberación de energía, causando sobre rotura y fragmentación irregular | Liberación de energía más controlada y uniforme |
| Uniformidad del avance | Avance irregular debido a la acumulación de energía no controlada | Avance más uniforme y continuo con mejor sincronización de detonaciones |
| Reducción de sobrerotura | Alta sobrerotura debido a la falta de ajuste en los retardos | Menor sobrerotura, con control más preciso de la expansión de fracturas |
| Optimización del tiempo de ciclo | Tiempos muertos frecuentes debido a variaciones en la liberación de energía | Reducción de tiempos muertos y mejora en la eficiencia del ciclo de voladura |
| Impacto en la seguridad | Riesgo elevado de fracturas y colapsos no deseados | Mayor seguridad, con un frente de trabajo más estable y controlado |

Esta tabla ilustra cómo el ajuste en el control de los retardos de detonación ha resultado en un mejor manejo de la energía explosiva, una mayor uniformidad en el avance, y una reducción en los problemas de seguridad y costos operativos en el bypass 9117 – NE.

4.1.5 Monitoreo de vibraciones y control de sobrerotura

En la siguiente tabla que compara el monitoreo de vibraciones y el control de sobrerotura en el bypass 9117 – NE antes y después de la mejora.

Tabla 9. Comparativa del monitoreo de vibraciones y control de sobrerotura en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Aspecto | Antes de la mejora | Después de la mejora |
|---------------------------|---|--|
| Monitoreo de vibraciones | Monitoreo básico con instrumentos estándar | Monitoreo avanzado con sismógrafos y geófonos específicos |
| Precisión en la medición | Medición menos precisa, con posibles fallos en la detección de vibraciones críticas | Medición precisa y en tiempo real, permitiendo ajustes rápidos |
| Control de sobrerotura | Alta sobrerotura debido a falta de ajustes precisos en el monitoreo | Sobrerotura controlada mediante ajustes basados en datos precisos |
| Impacto en la estabilidad | Mayor riesgo de inestabilidad y fallos estructurales | Mayor estabilidad del frente de trabajo y menor riesgo de colapsos |

Esta tabla refleja cómo la mejora en el monitoreo de vibraciones y el control de sobrerotura ha llevado a una mayor precisión en la medición, un mejor control de la estabilidad del frente de trabajo, y una reducción en los costos asociados en el bypass 9117 – NE.

4.1.6 Evaluación posvoladura y ajuste continuo

En la siguiente tabla compara la evaluación posvoladura y el ajuste continuo en el bypass 9117 – NE antes y después de la mejora

Tabla 10. Comparativa de la evaluación posvoladura y ajuste continuo en el bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Aspecto | Antes de la mejora | Después de la mejora |
|---------------------------|---|---|
| Evaluación posvoladura | Evaluación básica con inspecciones visuales limitadas | Evaluación detallada utilizando tecnologías avanzadas y análisis de datos |
| Análisis de fragmentación | Fragmentación evaluada de manera general, sin herramientas precisas | Análisis preciso de fragmentación con tecnología de imágenes y medición |

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| Control de sobrerotura | Inspección visual para detectar sobrerotura, con intervención tardía | Monitoreo y análisis en tiempo real para un control más efectivo de la sobrerotura |
| Estabilidad del frente | Inspección visual con limitaciones en la detección de problemas estructurales | Evaluación detallada con mediciones y análisis para garantizar la estabilidad |
| Ajustes en el Diseño de voladura | Ajustes mínimos basados en observaciones generales | Ajustes continuos basados en análisis detallado y datos precisos |
| Implementación de cambios | Implementación lenta de cambios con base en observaciones generales | Implementación rápida de cambios basados en datos y análisis detallado |
| Costos de operación | Costos más altos debido a ineficiencias y ajustes reactivos | Reducción de costos mediante ajustes proactivos y optimización continua |
| Eficiencia operativa | Eficiencia limitada por la falta de ajustes precisos y rápidos | Mayor eficiencia operativa gracias a ajustes continuos y precisos |

Esta tabla ilustra cómo la mejora en la evaluación posvoladura y el ajuste continuo ha llevado a una evaluación más detallada, un mejor control de la fragmentación y la sobrerotura, una mayor estabilidad del frente de trabajo, y una reducción en los costos operativos en el bypass 9117 – NE.

4.2 Caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

La caracterización geomecánica utilizando el sistema RMR para la identificación del bypass 9117 – NE. Se muestra en la siguiente tabla

Tabla 11. Caracterización geomecánica RMR del bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A.

| Parámetro | Descripción | Valor medido | Puntuación | Comentarios |
|--|---|---|------------|--|
| 1. Resistencia de la roca intacta (UCS) | Resistencia uniaxial de compresión | 50 - 100 MPa | 12 puntos | Roca con alta resistencia, típica de andesitas no alteradas. |
| 2. Espaciamiento de las discontinuidades | Distancia entre fracturas o discontinuidades | 0.6 – 2 metros | 15 puntos | Fracturas moderadamente espaciadas, favoreciendo estabilidad general del túnel. |
| 3. Condición de las discontinuidades | Rugosidad, apertura, y relleno | Rugosas, apertura < 1 mm, sin relleno significativo o | 20 puntos | Fracturas con rugosidad favorable y sin relleno, favoreciendo estabilidad. |
| 4. Condiciones de agua subterránea | Infiltración o presencia de agua | Seco | 10 puntos | No se observa infiltración de agua en la zona, lo que mejora la estabilidad. |
| 5. Orientación de las discontinuidades | Orientación de fracturas respecto a la excavación | Desfavorable | -5 puntos | Fracturas con orientación ligeramente desfavorable respecto al frente de excavación. |
| 6. Tipo de roca | Litología del macizo rocoso | Andesita | - | Andesita sin alteración significativa, favoreciendo buena calidad del macizo. |

| | | | | |
|------------------------|---|--|---|---|
| 7. Alteración | Grado de alteración de la roca | Baja | - | Baja alteración mineralógica, favoreciendo resistencia y estabilidad. |
| 8. Presencia de fallas | Identificación de zonas de falla o zonas de cizalla | Ninguna | - | No se identifican zonas de falla importantes en la zona de estudio. |
| Puntuación acumulada | | Valor | | |
| RMR total = | | 52 puntos (regular calidad, Clase III) | | |

Interpretación:

El macizo rocoso del bypass 9117 – NE, con un RMR de 52, se clasifica como de regular calidad (Clase III), indicando estabilidad adecuada para la excavación, aunque algunas áreas pueden necesitar sostenimiento moderado. La orientación desfavorable de las discontinuidades y el terreno seco sugieren la aplicación de medidas adicionales para garantizar la seguridad. Se recomienda el uso de pernos de anclaje de 2-2.5 m (7pies), *shotcrete* y malla metálica para prevenir desprendimientos. El diseño de sostenimiento propuesto incluye pernos *split set* de 7 pies, malla electrosoldada y *shotcrete* de 2 pulgadas, con una distribución de pernos en cocada, lo que asegura soporte inmediato y control del movimiento de bloques de roca, con monitoreo continuo para ajustes según sea necesario.

4.3 Aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

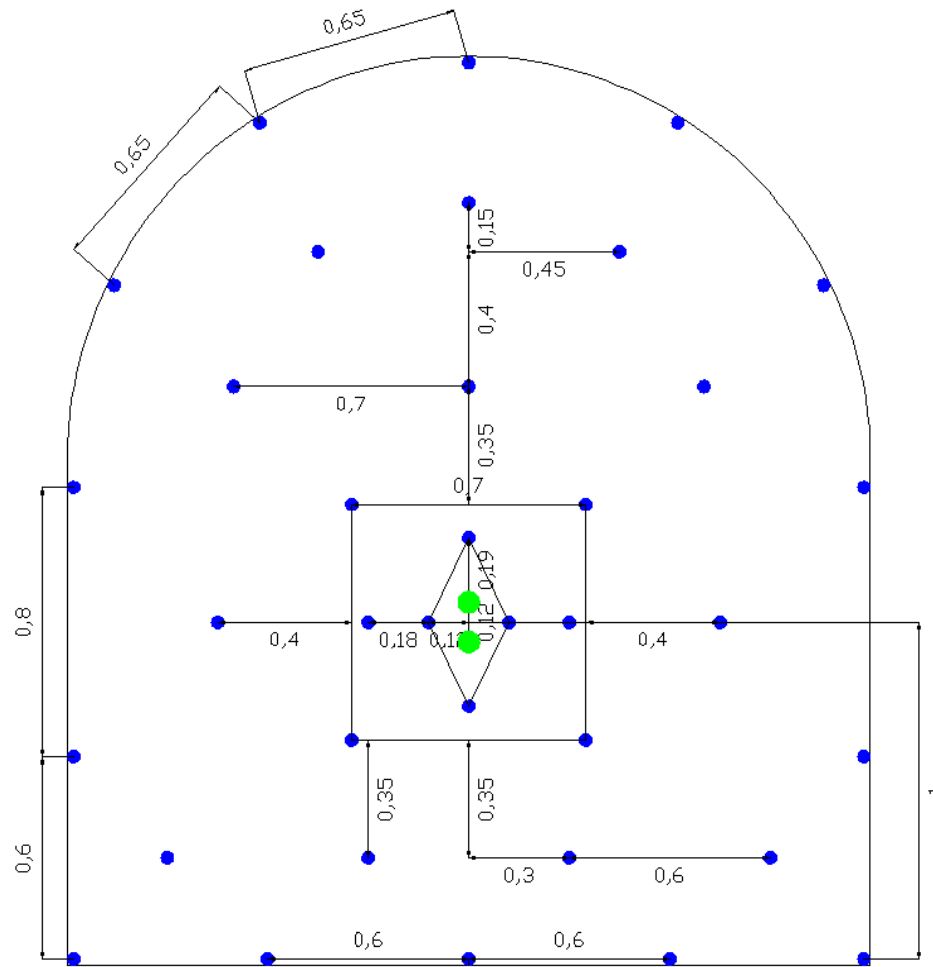
Para optimizar los costos y mejorar la productividad, especialmente en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A., que enfrenta el reto de reducir el costo por metro lineal de avance. La voladura controlada se presenta como una solución clave para este desafío, permitiendo una fragmentación más eficiente y un avance más económico y mejorar el rendimiento de los equipos de carga y transporte. Implementar técnicas avanzadas en el diseño de la malla de perforación, seleccionar los explosivos adecuados, controlar los retardos de detonación y realizar un monitoreo riguroso de las vibraciones y ajustes posvoladura son cruciales para mantener la estabilidad del terreno y controlar los costos operativos. Así, la voladura controlada no solo disminuye significativamente los costos, sino que también incrementa la seguridad y eficiencia en la excavación, contribuyendo a una operación minera más rentable y sostenible.

4.3.1 Análisis situacional del diseño de malla de perforación y voladura de la bypass 9117 – NE

En el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A., los problemas de sobrerotura y mala fragmentación están afectando la eficiencia de la excavación, los costos operativos y la seguridad. La sobrerotura se manifiesta en fracturas no deseadas en las paredes de la excavación, mientras que una fragmentación inadecuada produce fragmentos irregulares. Este análisis situacional se centra en identificar las deficiencias en el diseño de la malla de perforación, la selección de explosivos y los parámetros de voladura. El objetivo es desarrollar soluciones que optimicen estos aspectos, mejoren la fragmentación y controlen la sobrerotura para aumentar la eficiencia y reducir los costos operativos.

4.3.1.1. Análisis situacional de los trabajos de desarrollo del Bypass 9117 – NE

En la siguiente figura se muestra el análisis situacional del diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.



| Parametro de perforacion y voladura | |
|-------------------------------------|------------|
| SECCIÓN : | 2.4 x 2.7 |
| Tipo de roca (RMR) | 52 - III A |
| Densidad (kg/m3) | 3 |
| Longitud de perforacion(pies) | 6 |
| Avance efectivo (80%) | 1.22 |
| Numero de taladros (unid.) | 38 |
| Numero de taladros cargados | 36 |
| m3 rotos por disparo | 7.90 |
| Tonejale por disparo | 23.70 |
| Factor de potencia Kg/ton | 0.93 |
| Factor de carga Kg/m3 | 2.79 |

| ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS | |
|-------------------------|-----------|
| IGNITER CORD | 15 m. |
| CARMEX | 36 uni. |
| G = GELATINA 7/8 X 7 | 150 cart. |
| S = SEMEXSA 7/8 X 7 | 109 cart. |
| Numero de cartuchos | 259 cart. |
| Kilogramos de explosivo | 22.029 |

| DISTRIBUCIÓN DE CARGA | N° TAL. | CEBO | | COLUMNA | |
|-----------------------|---------|------|------|---------|------|
| | | N° | TIPO | N° | TIPO |
| ARRANQUE | 4 | 1 | G | 10 | G |
| AYUD.ARRANQUE | 2 | 1 | G | 8 | G |
| SUB-AYUDAS | 4 | 1 | G | 7 | G |
| AYUD. CORONAS | 5 | 1 | G | 5 | S |
| CORONAS | 5 | 1 | S | 4 | S |
| CUADRADORES | 4 | 1 | G | 5 | S |
| DE ROTURA | 3 | 1 | G | 5 | S |
| AYUD ARRASTRES | 4 | 1 | G | 6 | S |
| ARRASTRES | 5 | 1 | G | 7 | G |

Figura 6. Análisis situacional del diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

Interpretación:

El análisis de la operación de voladura en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. reveló un avance limitado de 1.22 metros por disparo y un volumen removido de 7.90 m³, lo que sugiere oportunidades de mejora en los parámetros de perforación y voladura. El uso de 22.029 kg de explosivos con un factor de potencia de 0.93 kg/t con este valor puede estar afectando la eficiencia de la voladura y la fragmentación del material.

El diseño de la malla de perforación, la selección de explosivos y la secuencia de detonación deben ser ajustados para mejorar el avance, controlar la sobrerotura y optimizar la fragmentación. Entre las recomendaciones se encuentran la optimización del diseño de perforación, el incremento del factor de potencia y un control más riguroso de los retardos. Además, el monitoreo continuo de los resultados posvoladura permitirá identificar áreas específicas de mejora.

En conclusión, la implementación de estos ajustes puede incrementar el avance por disparo, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia general en la operación minera.

4.3.1.2. Análisis situacional de los últimos 10 disparos con el Diseño de la malla de perforación y voladura Bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A

La tabla a continuación presenta los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A

Tabla 12. Estado situacional de los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Labor | Bypass 9117 – NE | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Seccion | 2.4 x 2.7 m | | | | | | | | | |
| Densidad | 3 kg/m ³ | | | | | | | | | |
| Numero de disparos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Longitud de barra 6 pies (m) | 1.52 | 1.58 | 1.60 | 1.48 | 1.52 | 1.58 | 1.48 | 1.48 | 1.52 | 1.52 |
| Avance efectiva (m) | 1.22 | 1.30 | 1.30 | 1.20 | 1.22 | 1.25 | 1.20 | 1.20 | 1.22 | 1.22 |
| Eficiencia de perforacion (%) | 80% | 80% | 80% | 75% | 80% | 85% | 80% | 85% | 80% | 75% |
| Volumen (m ³) | 7.86 | 8.17 | 8.29 | 7.65 | 7.86 | 8.17 | 7.65 | 7.65 | 7.86 | 7.86 |
| Tonelaje (ton) | 23.58 | 24.51 | 24.88 | 22.95 | 23.58 | 24.51 | 22.95 | 22.95 | 23.58 | 23.58 |

Interpretación

El rendimiento observado en los disparos del bypass 9117 – NE, con un avance promedio de 1.22 metros con una barra de 6 pies, una eficiencia de perforación del 80 % y un tonelaje de 23.70 toneladas es insuficiente para cumplir con los objetivos del proyecto minero. Estas deficiencias se deben a problemas en el diseño de la malla de perforación, la selección y cantidad de explosivos, y el control de la secuencia de detonación, lo que ha generado una fragmentación deficiente y sobrerotura. Para mejorar el avance y la productividad, es necesario optimizar la malla de perforación, aumentar el factor de potencia, revisar la secuencia de detonación y realizar un monitoreo constante de las voladuras.

4.3.1.3. Análisis situacional del análisis de la sobrerotura tras el disparo con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

En el estudio de la sobrerotura posterior a la voladura en el bypass 9117 – NE, tal como se ilustra en la figura siguiente.



Figura 7. Análisis situacional del análisis de la sobrerotura del Bypass 9117 – NE

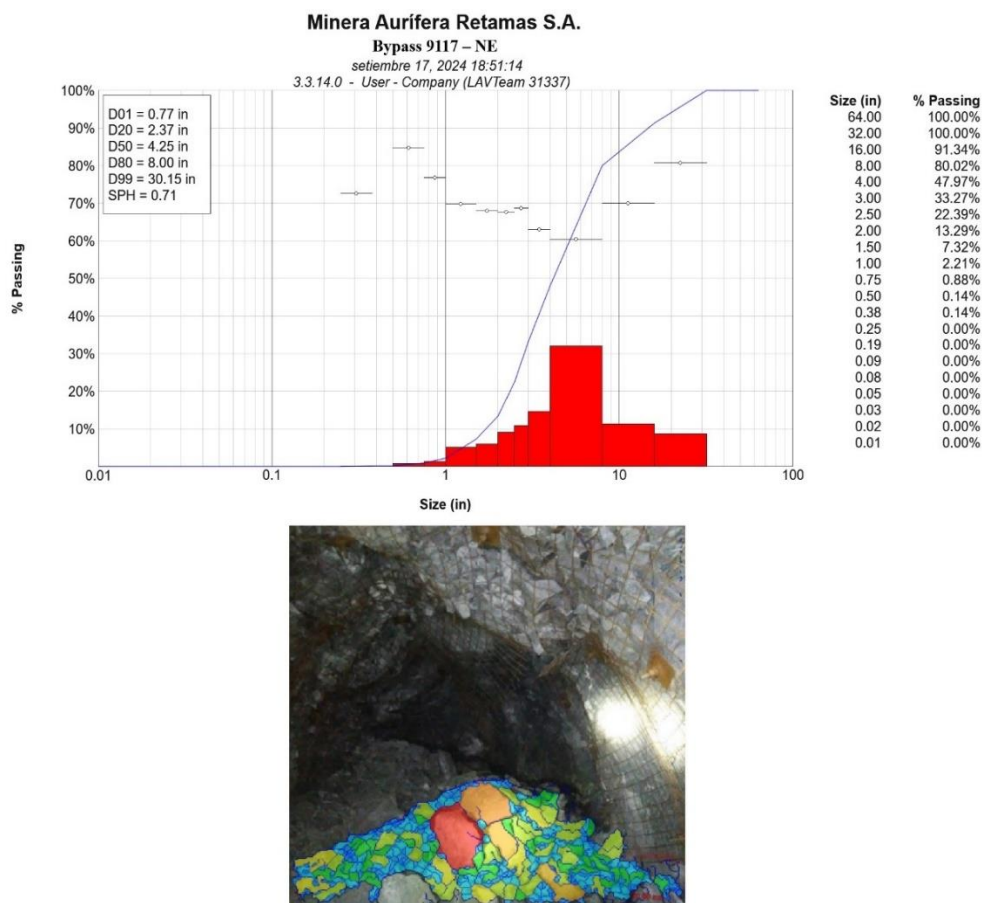
Interpretación

El marcado incorrecto de la malla de perforación y voladura en el bypass 9117 – NE provocó una distribución desorganizada de los taladros, lo que afectó negativamente los parámetros de perforación y voladura, que no se ajustaron adecuadamente a las condiciones del frente de trabajo. Esta falta de precisión en el diseño y la ejecución resultó en una sobrerotura considerable, con un 11 % en los hastiales y un 10 % en la corona, comprometiendo la

estabilidad de la excavación. Como consecuencia, la sección planificada de 2.40 x 2.70 metros se amplió a 2.70 x 3.00 metros, generando costos operativos adicionales y un mayor consumo de recursos.

4.3.1.4. Análisis situacional de la fragmentación en el bypass 9117 – NE

Después del disparo, se llevó a cabo un análisis de la fragmentación en el Bypass 9117 – NE, tal como se observa en la figura a continuación.



Interpretación:

La curva granulométrica resultante del disparo en el bypass 9117 – NE revela una fragmentación deficiente del material, con un 50 % del material pasando por una malla de 4.25" y un P80 de 8.00". Esto genera retrasos y mayores costos, además de un mayor desgaste de los equipos. Las causas de esta deficiencia incluyen un diseño de malla inadecuado, mala distribución de taladros y uso subóptimo de explosivos. Se recomienda ajustar la malla, revisar los explosivos y mejorar la secuencia de detonación para optimizar la distribución de energía y mejorar la fragmentación.

4.3.1.5. Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura Bypass 9117 – NE

A continuación, se detallan los parámetros actuales de perforación y voladura en una tabla para su revisión y análisis. Estos datos reflejan las configuraciones empleadas en el escenario actual, incluyendo los aspectos clave que afectan la eficiencia y precisión del proceso.

Tabla 13. Análisis situacional de los parámetros del diseño de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

| ESTRUCTURA DE COSTOS: GAL, 2.4 x 2.7 (Bypass 9117 – NE) | | |
|--|-----------|----------------|
| Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35 | | |
| Datos Técnicos: | | |
| Parámetros de perforacion | | |
| Tipo de roca: | III A | |
| Seccion | 2.4 X 2.7 | m |
| Longitud de la Barra (pie) | 6.0 | pie |
| Numero de taladros del frente | 38 | tal |
| Numero de taladros cargados | 36.0 | tal |
| Eficiencia de perforacion | 80% | |
| Longitud de avance de perforación | 1.30 | mts |
| Parámetros de voladura | | |
| Eficiencia de disparo | 83% | |
| Longitud de Carga | 0.87 | m |
| Avance efectivo | 1.22 | m |
| Volumen disparado | 7.90 | m ³ |
| Consumo de kilogramos por taladro | 0.61 | kg/tal |
| Factor de carga: | 18.06 | Kg/m |
| kg explosivo | 22.03 | Kg |

El Anexo 2, se detalla la evaluación detallado de los costos de perforación y voladura del bypass 9117 – NE. La valorización del proyecto ayuda a identificar las áreas de mayor costo y posibles mejoras para optimizar la operación y reducir gastos sin afectar la seguridad o eficiencia.

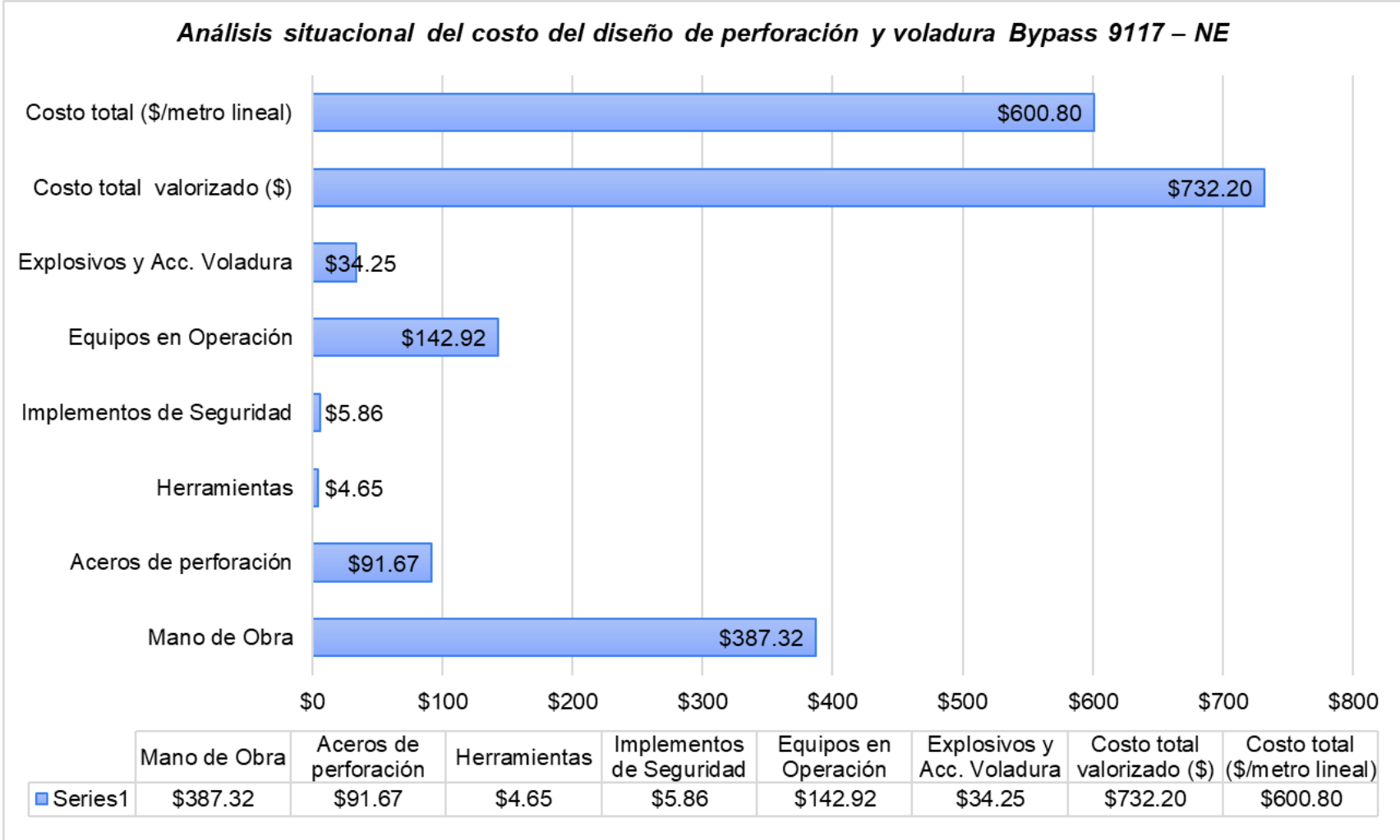


Figura 9. Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura bypass 9117 – NE

Interpretación

El costo valorizado de \$600.80 dólares por metro lineal de avance en el desarrollo del bypass 9117 – NE refleja una evaluación detallada de los costos operativos, que incluyen mano de obra, explosivos, equipos y medidas de seguridad. Este valor es clave para medir la eficiencia de la perforación y voladura, para ser optimizado a través de mejoras en la malla de perforación y la elección de explosivos, lo que ayudaría a reducir costos sin afectar la calidad ni la seguridad del proyecto.

4.3.2 Análisis de la mejora del diseño de malla de perforación y voladura de la Bypass 9117 – NE

Para mejorar la fragmentación y controlar la sobrerotura en el desarrollo del bypass 9117 – NE, se perfeccionó el diseño de la malla de perforación y voladura mediante el ajuste del espaciado entre barrenos y la profundidad la adaptación a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. la selección y el ajuste adecuadamente de los explosivos, eligiendo aquellos con el factor de potencia y velocidad de detonación apropiados, y regulando su cantidad y distribución para evitar concentraciones que causen sobrerotura del tercero, ajustar los parámetros de voladura, optimizando la secuencia de detonación y estableciendo un sistema de monitoreo continuo para ajustar los parámetros según las condiciones del terreno y los resultados obtenidos. La implementación de estas medidas mejorará significativamente la fragmentación y controlará la sobrerotura, optimizando la eficiencia de la excavación, reduciendo costos operativos y mejorando la seguridad.

4.3.2.1. Análisis de la mejora de los trabajos de desarrollo del bypass 9117 – NE

En la siguiente figura se muestra el análisis situacional del diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

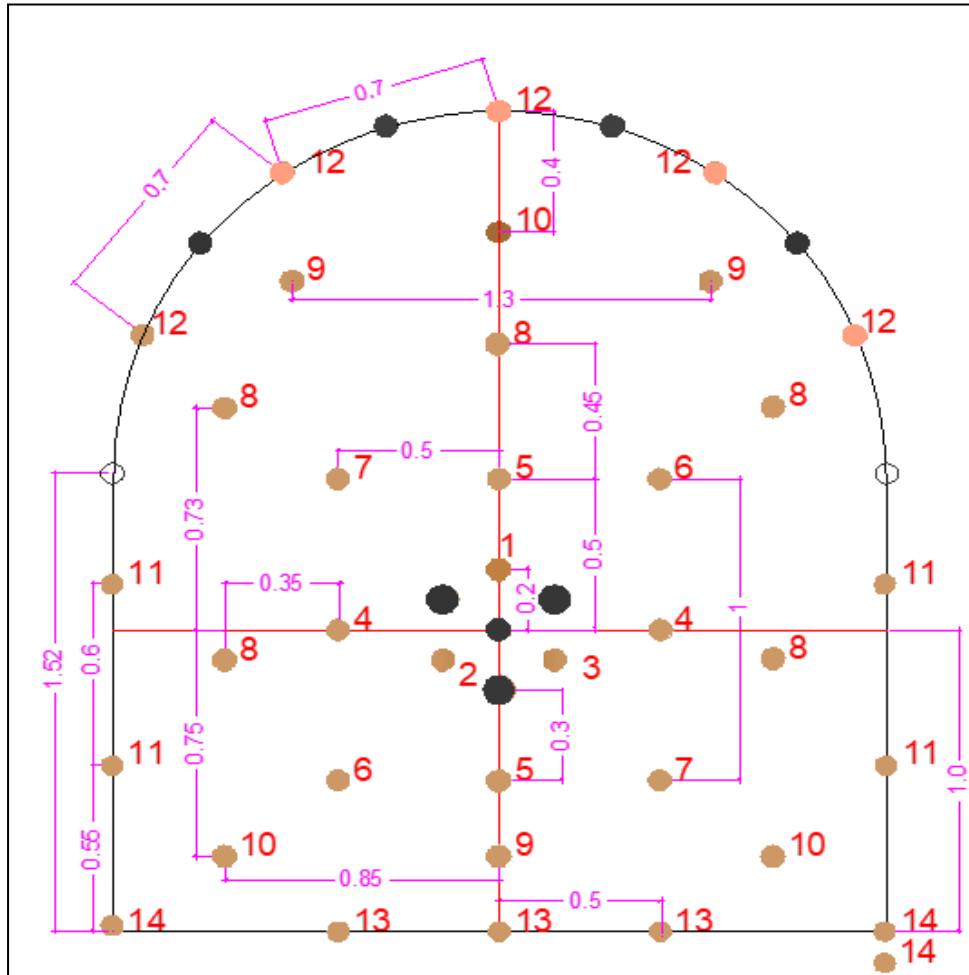


Figura 10. Análisis de la mejora del diseño de malla de perforación y voladura de la bypass 9117 – NE

| Distribución de Taladros | N° TAL | EXPLOSIVOS | | | | TOTAL | PESO / CARTUCHO | PESO TOTAL |
|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|--------------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|
| | | CARTUCHOS POR TALADRO | GELATINA 75% 1 1/8X8 | SEMEXSA 65% 7/8X7" | EXADIT45% 7/8X7" | | | |
| Arranque | 3 | 10 | 30 | 0 | 0 | 30 | 0.174 | 5.22 |
| 1ª Ayud. Arranque | 4 | 10 | 40 | 0 | 0 | 40 | 0.174 | 6.96 |
| 2ª Ayud. Arranque | 4 | 9 | 0 | 36 | 0 | 36 | 0.081 | 2.92 |
| Ayud. Cuadrador | 4 | 9 | 0 | 36 | 0 | 36 | 0.081 | 2.92 |
| Cuadradores | 4 | 8 | 0 | 32 | 0 | 32 | 0.081 | 2.59 |
| 1ª Ayud. Corona | 3 | 9 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0.081 | 2.19 |
| 2ª Ayud. Corona | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0.081 | 0.73 |
| Corona | 5 | 6 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0.081 | 2.43 |
| Ayud. Arrastre | 3 | 9 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0.081 | 2.19 |
| Arrastre | 5 | 10 | 50 | 0 | 0 | 50 | 0.081 | 8.70 |
| Cuneta | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.081 | 1.74 |
| TOTAL | 37 | | 130 | 197 | 0 | 267.00 | | 38.58 |

| Parametro de perforacion y voladura | ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS | | |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------|
| SECCIÓN : | 2.4 x 2.7 | IGNITER CORD | 15 m. |
| Tipo de roca (RMR) | 52 - III A | CARMEX | 37 uni. |
| Densidad (kg/m3) | 3 | Mecha rapida (m) | 2 |
| Longitud de perforacion(pies) | 8 | Cordon detonante (m) | 9 |
| Avance efectivo (90%) | 1.92 | G = GELATINA 7/8 X 7 (cart.) | 130 |
| Numero de taladros (unid.) | 47 | S = SEMEXSA 7/8 X 7 (cart.) | 197 |
| Numero de taladros de alivio(unid.) | 4 | Numero de cartuchos | 327 |
| Numero de taladros cargados (unid.) | 37 | Kilogramos de explosivo | 27.87 |
| m3 rotos por disparo | 12.45 | Factor de potencia Kg/ton | 0.75 |
| Tonejale por disparo | 37.34 | Factor de carga Kg/m3 | 2.24 |

| DISTRIBUCION DE DETONADORES NO ELECTRICOS | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| SERIE DNE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Arranque | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1° Ayud. Arranque | | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | |
| 2° Ayud. Arranque | | | | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| Ayud. Cuadrador | | | | | | | | 4 | | | | | | | |
| Cuadradores | | | | | | | | | | | 4 | | | | |
| 1° Ayud. Corona | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 2° Ayud. Corona | | | | | | | | | 2 | 1 | | | | | |
| Corona | | | | | | | | | | | | 5 | | | |
| Ayud. Arrastre | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | |
| Arrastre | | | | | | | | | | | | | 3 | 2 | |
| Cuneta | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| TOTAL | 37 | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 11. Distribución de detonadores no eléctricos del diseño de la malla de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE

Interpretación:

El análisis de la voladura en el bypass 9117 – NE reveló un avance limitado de 1.92 metros por disparo y 12.45 m³ de material removido, destacando la necesidad de mejorar los parámetros de perforación y voladura. El uso de 27.87 kg de explosivos, con un factor de potencia de 0.75 kg/ton, afectó la eficiencia y la fragmentación del material. Sin embargo, el rediseño de la malla, la correcta selección de explosivos y la optimización de la secuencia de detonación mejoraron el avance, controlaron la sobrerotura y optimizaron la fragmentación, abriendo paso a nuevas oportunidades de mejora.

4.3.2.2. Análisis de mejora de los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A

La tabla a continuación presenta los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

Tabla 14. Estado de mejora de los últimos 10 disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Labor | Bypass 9117 – NE | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Seccion | 2.4 x 2.7 m | | | | | | | | | |
| Densidad | 3 kg/m3 | | | | | | | | | |
| Numero de disparos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Longitud de barra 8 pies (m) | 2.13 | 2.12 | 2.13 | 2.14 | 2.14 | 2.12 | 2.13 | 2.16 | 2.10 | 2.13 |
| Avance efectiva (m) | 1.87 | 1.86 | 1.93 | 1.93 | 1.93 | 1.79 | 2.00 | 2.00 | 1.97 | 1.92 |
| Eficiencia de perforacion (%) | 90% | 90% | 90% | 95% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% |
| Volumen (m3) | 12.14 | 12.08 | 12.53 | 12.51 | 12.51 | 11.58 | 12.96 | 12.98 | 12.77 | 12.43 |
| Tonelaje (ton) | 36.42 | 36.23 | 37.59 | 37.52 | 37.52 | 34.75 | 38.88 | 38.95 | 38.30 | 37.28 |

Interpretación

En el desarrollo del bypass 9117 – NE, los diez disparos realizados con barras de perforación de 8 pies lograron un avance promedio de 1.92 metros y una eficiencia del 90 %, moviendo 37.34 toneladas. La mejora se debió al uso de barras de 8 pies, lo que permitió mayor avance lineal y reducción de ciclos. Además, se optimizaron los parámetros de perforación, se rediseñó la malla y se seleccionaron explosivos adecuados, lo que mejoró la fragmentación y controló la sobrerotura. Estas medidas incrementaron la eficiencia, redujeron costos y mejoraron la estabilidad del frente.

4.3.2.3. Análisis de mejora de la sobrerotura tras el disparo con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

En el estudio de la sobrerotura posterior a la voladura en el bypass 9117 – NE, tal como se ilustra en la figura siguiente.

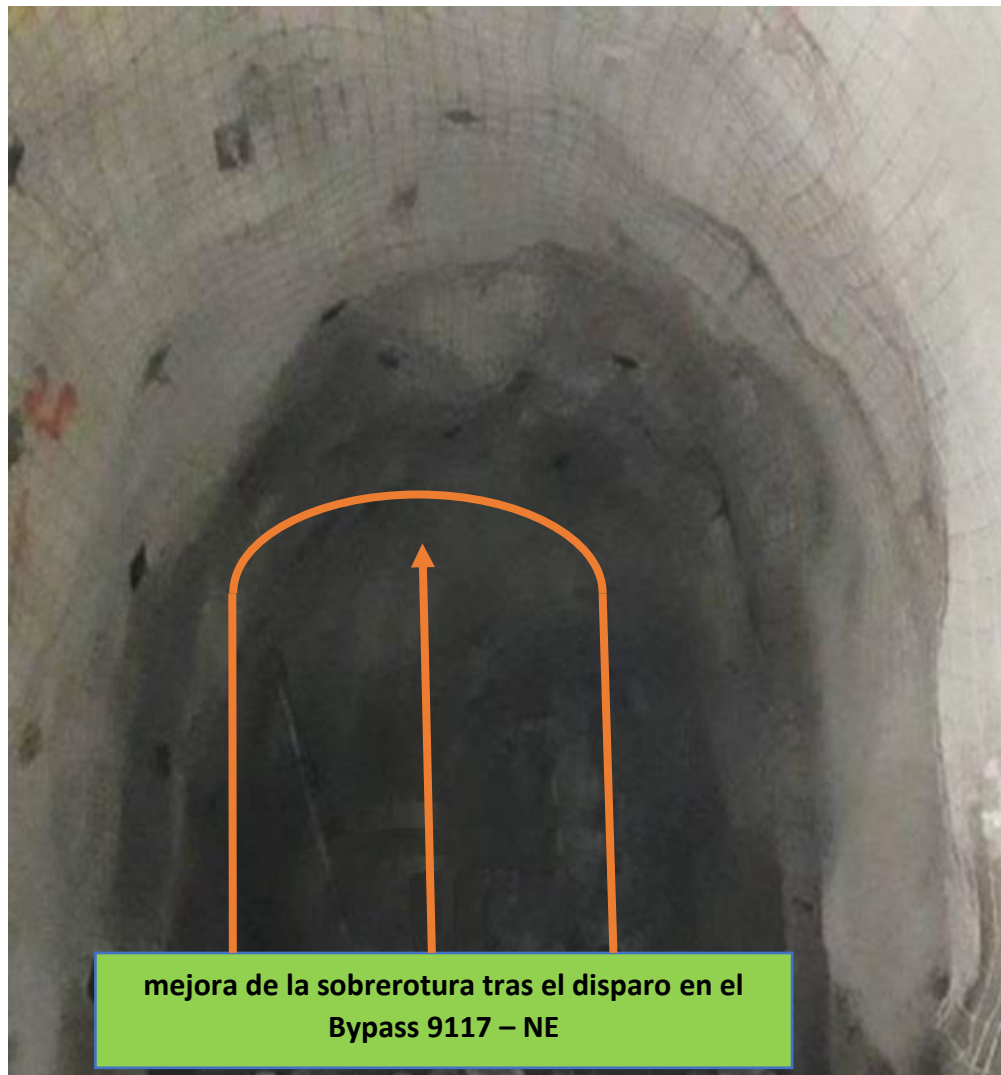


Figura 12. Análisis de mejora de la sobrerotura tras el disparo con el diseño de la malla de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

Interpretación

Las mejoras implementadas en el diseño de la malla de perforación y voladura en el bypass 9117 – NE resultaron en una distribución optimizada de los taladros, lo que impactó positivamente en los parámetros operativos. Estos ajustes permitieron una mayor precisión en el diseño y ejecución de las voladuras, reduciendo la sobrerotura a un 2 % en los hastiales y un 2 % en la corona, mejorando la estabilidad de la excavación. Gracias a estas mejoras, la sección planificada de 2.40 x 2.70 metros se mantuvo cercana a 2.45 x 2.75 metros, lo que contribuyó a la reducción de costos operativos adicionales y a un menor consumo de recursos.

4.3.2.4. Análisis de mejora de la fragmentación en el bypass 9117 – NE

Después del disparo, se llevó a cabo un análisis de la fragmentación en el Bypass 9117 – NE, tal como se observa en la figura a continuación.

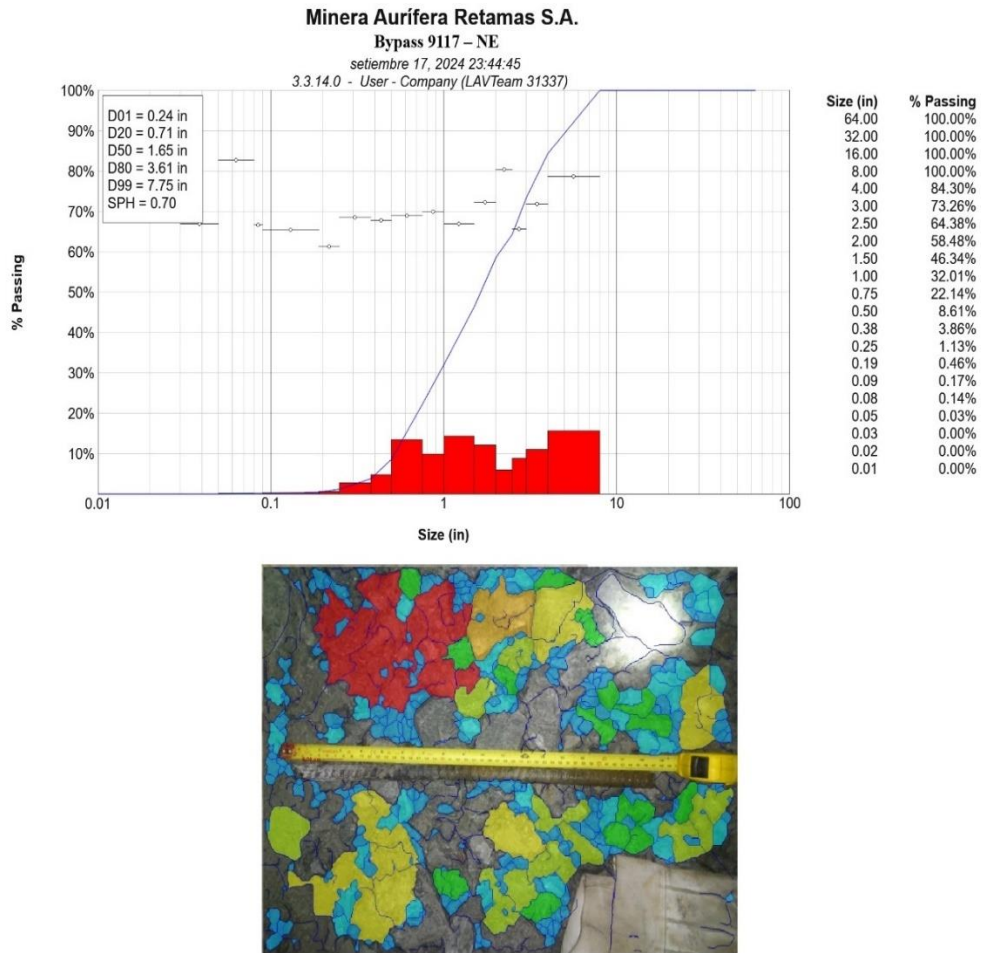


Figura 13. Análisis de mejora de la fragmentación en el bypass 9117 – NE

Interpretación:

La curva granulométrica obtenida en el bypass 9117 – NE muestra una fragmentación eficiente, el 50 % del material pasa por una malla de 1.65” y el P80 pasa por una malla de 3.61”.

Para mejorar estos aspectos, es clave optimizar el diseño de la malla de perforación, la cantidad de explosivos y los tiempos de retardo, lo que permitirá una fragmentación más controlada y eficiente, reduciendo costos y mejorando la seguridad y estabilidad.

4.3.2.5. Análisis situacional del costo del diseño de perforación y voladura bypass 9117 – NE

A continuación se detallan los parámetros mejorados de la perforación y voladura implementados en el desarrollo del bypass 9117 – NE. Se optimizó la profundidad de los taladros, lo que permitió un mayor avance por disparo y una mejor fracturación del macizo rocoso. El rediseño de la malla de perforación mejoró la distribución de los taladros, optimizando la fragmentación del material y reduciendo la sobrerotura en hastiales y coronas. Además, se ajustaron los tiempos de retardo en la secuencia de detonación para asegurar una distribución más uniforme de la energía explosiva, y se seleccionaron explosivos de mayor eficiencia, lo que permitió un uso más racional de los mismos y un mejor control de la voladura. Estos ajustes no solo mejoraron el control de los disparos, sino que también redujeron costos y aumentaron la productividad general del avance.

Tabla 15. Análisis de mejora de los parámetros del diseño de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

| ESTRUCTURA DE COSTOS: GAL, 2.4 x 2.7 (Bypass 9117 – NE) | | |
|--|-------------|----------------|
| Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35 | | |
| Datos Técnicos: | | |
| Parámetros de perforación | | |
| Tipo de roca: | III A | |
| Sección | 2.4 X 2.7 | m |
| Longitud de la Barra (pie) | 8.0 | pie |
| Numero de taladros del frente | 47 | tal |
| Numero de taladros cargados | 37.0 | tal |
| Eficiencia de perforación | 90% | % |
| Longitud de avance de perforación | 2.04 | mts |
| Parámetros de voladura | | |
| Eficiencia de disparo | 88% | % |
| Longitud de Carga | 1.36 | m |
| Avance efectivo | 1.92 | m |
| Volumen disparado | 12.45 | m ³ |
| Consumo de kilogramos por taladro | 0.75 | kg/tal |
| Factor de carga: | 14.55 | Kg/m |
| kg explosivo | 27.87 | Kg |

El anexo 3 ofrece una evaluación detallada de los costos de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE, resaltando las mejoras en la fragmentación y la reducción de sobrerotura.

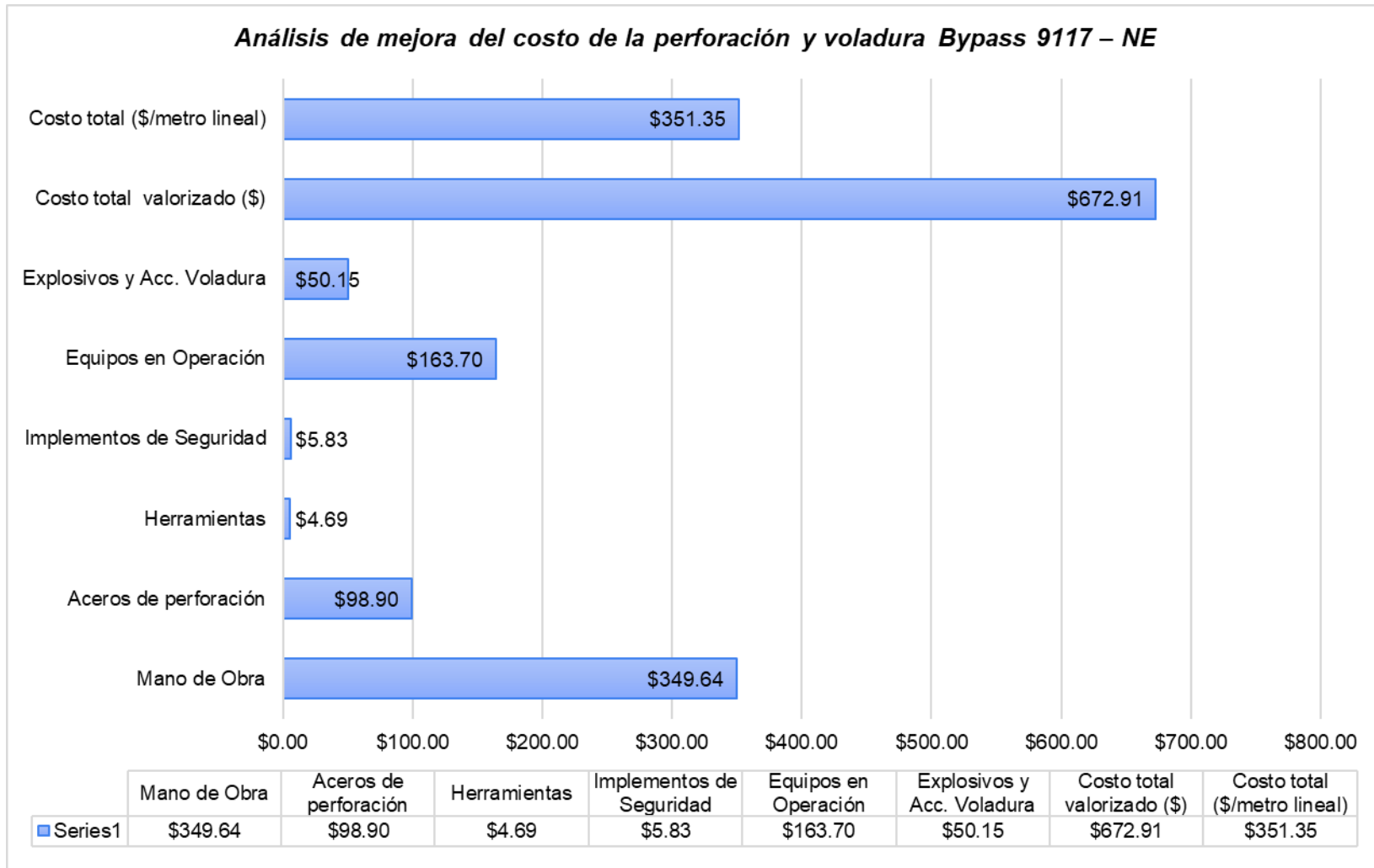


Figura 14. Análisis de mejora del costo del diseño de perforación y voladura bypass 9117 – NE

Interpretación

El costo valorizado en el desarrollo del bypass 9117 – NE es de \$351.35 por metro lineal de avance, se refleja una evaluación integral de los costos operativos que abarca aspectos como mano de obra, explosivos, desgaste de equipos y medidas de seguridad necesarias. Este análisis es clave para mejorar la eficiencia del proceso de perforación y voladura. A través de la optimización de la malla de perforación y voladura, la selección adecuada de explosivos es posible reducir estos costos sin comprometer la calidad ni la seguridad del proyecto, lo que contribuye a una operación más rentable y segura.

4.4 Prueba de hipótesis

4.4.1. Prueba de hipótesis general

En esta investigación se plantea una hipótesis nula, acompañada de una hipótesis alternativa general, que se describen de la siguiente manera:

a) Hipótesis nula

- Ho: La aplicación de la voladura controlada no será factible ni viable para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

b) Hipótesis alternativa

- Ha: La aplicación de la voladura controlada será factible y viable para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

4.4.2. Análisis de datos

La hipótesis de esta investigación propone que existe una relación significativa entre la aplicación de la voladuras controladas y la factibilidad e viabilidad para incrementar el avance lineal en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas S.A. Esto se evalúa comparando los resultados obtenidos en los 10 disparos realizados antes y después de la optimización del diseño de malla de la perforación y voladura.

- **Criterios de decisión:**

- Si $P \geq 0.5$, aceptamos la Ha y rechazamos la Ho.
- Si $P < 0.5$, aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

La tabla a continuación muestra la comparación entre el escenario actual y el escenario optimizado de los 10 disparos ejecutados en el bypass 9117 – NE.

Tabla 16. Comparación del escenario actual y el escenario de mejora en relación de los 10 disparos realizados en el bypass 9117 – NE de la Minera Aurífera Retamas

| Numero de Disparos | 1 er. Disparo | 2 er. Disparo | 3 er. Disparo | 4 er. Disparo | 5 er. Disparo | 6 er. Disparo | 7 er. Disparo | 8 er. Disparo | 9 er. Disparo | 10 er. Disparo |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Análisis actual (barra de 6") | 1,22 | 1,30 | 1,31 | 1,20 | 1,22 | 1,25 | 1,2 | 1,2 | 1,22 | 1,22 |
| Análisis de mejora (barra de 8") | 1,87 | 1,86 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,79 | 2,0 | 2,0 | 1,97 | 1,92 |

a) Prueba de t para muestras relacionada

Tabla 17. Estadísticas de muestras relacionadas

| | | Statistic | Bootstrap ^a | | | | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------|------------------------|---|------------|-------------------------------|------------------|----------|
| | | | Sesgo | Típ. Error | Intervalo de confianza al 95% | | | | |
| | | | | | Inferior | Superior | | | |
| Par 1 | Análisis actual (barra de 6") | Media | 1,2340 | -,0003 | ,0122 | 1,2110 | 1,2600 | | |
| | | N | 10 | | | | | | |
| | | Desviación típ. | ,04033 | -,00360 | ,00992 | ,01033 | ,05120 | | |
| | | Error típ. de la media | ,01275 | | | | | | |
| | Análisis de mejora (barra de 8") | Media | 1,9200 | ,0004 | ,0193 | 1,8810 | 1,9570 | | |
| | | N | 10 | | | | | | |
| | | Desviación típ. | ,06549 | -,00472 | ,01382 | ,03178 | ,08553 | | |
| | | Error típ. de la media | ,02071 | | | | | | |
| Correlaciones de muestras relacionadas | | | | | | | | | |
| | | N | Correlación | Sig. | Bootstrap para Correlación ^b | | | | |
| | | | | | Sesgo | Típ. Error | Intervalo de confianza al 95% | | |
| | | | | | | | Inferior | Superior | |
| Par 1 | Análisis actual (barra de 6")y Análisis de mejora (barra de 8") | 10 | -,471 | ,169 | -,055 | ,220 | -,925 | -,064 | |
| Prueba de muestras relacionadas | | | | | | | | | |
| | | Diferencias relacionadas | | | | t | gl | Sig. (bilateral) | |
| | | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | | | | |
| | | | | | Inferior | | | | Superior |
| Par 1 | Análisis actual (barra de 6")y Análisis de mejora (barra de 8") | -,68600 | ,09168 | ,02899 | -,75158 | -,62042 | -23,663 | 9 | ,000 |

Interpretación:

Dado que el valor de P es 0.000, menor a 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0). En consecuencia, se concluye que la aplicación de la voladura controlada será factible y viable para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

CONCLUSIONES

1. Según la identificación del tipo de roca, en el bypass 9117 – NE se cuenta con un RMR de 52 (Clase III), presenta estabilidad adecuada, pero requerir sostenimiento moderado, con pernos *split set* de 7 pies, malla metálica y *shotcrete* de 2 pulgadas, con monitoreo continuo para ajustar el sostenimiento.
2. En el análisis situacional, el rendimiento de los disparos en el bypass 9117 – NE es en promedio de 1.22 metros y una eficiencia del 80 %, esto muestra deficiencias debido a problemas en el diseño de la malla de perforación y voladura. Esta falta de precisión en el diseño y la ejecución resultó en una sobrerotura considerable, con un 11 % en los hastiales y un 10 % en la corona. La curva granulométrica indica una fragmentación inadecuada con un P80 de 8.00".
3. En el análisis de mejora el rendimiento de los disparos, en el bypass 9117 – NE es en promedio de 1.92 metros y una eficiencia del 90 %, esto muestra eficiencias debido a las mejoras realizadas en el diseño de la malla de perforación y voladura. La precisión en el diseño y la ejecución resultó en una sobrerotura mínima de un 2 % en los hastiales y un 2 % en la corona. La curva granulométrica indica una fragmentación adecuada con un P80 de 3.61".
4. En el análisis situacional, el costo valorizado es de \$600.80 por metro lineal de avance en el desarrollo del Bypass 9117 – NE, el cual es muy elevado debido al menor avance lineal, a la mala fragmentación y a la sobrerotura excesiva de la labor.
5. En el análisis de mejora el costo valorizado es de \$351.35 por metro lineal de avance en el desarrollo del bypass 9117 – NE, el cual es eficiente debido al mayor avance lineal, a la buena fragmentación y a la minimización de la sobrerotura en la labor.
6. En la prueba de hipótesis, el valor de P es 0.000, por el cual se acepta la hipótesis alternativa, en consecuencia, se concluye que la aplicación de la voladura controlada será factible y viable para incrementar el avance lineal del bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.

RECOMENDACIONES

1. Para Una buena fragmentación se recomienda optimizar la malla de perforación con el ajustar del espaciamiento y la longitud de los taladros, realizar simulaciones para ajustar el diseño de la malla, seleccionar explosivos adecuados utilizando explosivos con un factor de potencia óptimo, controlar la secuencia de detonación optimizando los tiempos de retardo para distribución uniforme.
2. Para minimizar la sobrerotura se debe minimizar la expansión de fracturas producidas por los explosivos utilizados, utilizar técnicas para controlar la propagación de fracturas y reducir sobrerotura, ajustar y monitorear la precisión en el marcado de la malla de perforación y voladura para evitar distribución desorganizada.
3. Los costos de perforación y voladura, se reduce por el control de los parámetros de perforación y voladura a fin de evitar trabajos secundarios en el sostenimiento, voladuras secundarias, entre otros que hacen que este costo se eleve y no sea factible ni rentable a lo largo del desarrollo de la labor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CESAR, Jhonatan y FERNANDEZ, Yamil. Reducción de la sobrerotura de la galería 270 SW mediante la aplicación de voladura controlada en la Unidad Minera Alpayana S.A.A Huarochiri – Lima 2022. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2023.
2. ROJAS, Frank. Implementación de voladura controlada para la reducción de costos unitarios – caso de estudio. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Tecnológica del Peru, 2022, 127 pp.
3. CASTILLO, Efrain y AYMARA, Indu. Aplicación de voladura controlada con recorte para reducir la sobrerotura en el crucero 2682 del nivel 1815 de la UM. acumulación Parcoy n°01, consorcio minero horizonte – 2021. P Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Abancay : Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, 2022.
4. MARIN, Jhoni. Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - Minera Aurífera Retamas S.A. P. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2021.
5. ESTELA, Jimy y ESTELA, Kenji. Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2020.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA . *Informe de geológico*. Pataz : Minera Aurífera Retamas S.A, 2020.
7. BERROA, Edward. Optimización de las operaciones mineras mediante la profundización de la rampa negativa entre los niveles 2900-2650 VANKAR EIRL SAC Minera Aurífera Retamas S.A. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, 2016, 130 pp.
8. DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA. *Modelo de la caracterizacion geomecanica*. Pataz : Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A, 2024.
9. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES. *Desarrollo de la Bypass 9117 – NE*. Pataz : Minera Aurífera Retamas S.A. , 2023.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

| Problema general | Objetivo general | Hipótesis general |
|--|---|---|
| ¿Cómo se realizará la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.? | Realizar la aplicación de la voladura controlada para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | La aplicación de la voladura controlada será factible y viable para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. |
| Problemas específicos | Objetivos específicos | Hipótesis específicas |
| ¿Cómo se realizará la caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.? | Realizar la caracterización del macizo rocoso para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | La caracterización del macizo rocoso será factible para incrementar el avance lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. |
| ¿Cómo se realizará la aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A.? | Realizar la aplicación de la voladura controlada para disminuir el costo por metro lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. | La aplicación de la voladura controlada será factible y viable para disminuir el costo por metro lineal del Bypass 9117 – NE en la Minera Aurífera Retamas S.A. |

Anexo 2

Análisis situacional de los costos de perforación y voladura del bypass 9117 – NE

| ESTRUCTURA DE COSTOS: GAL. 2.4 x 2.7 (JACKLEG) | | | | | | |
|---|--------|-----------------------------------|------------|------------------|---------------|--------------------|
| Taladros Perforados /disparo | ## | Longitud efectiva Perforación mts | | | 1.3 | |
| Taládros cargados | ## | Eficiencia perforación | | | 80% | |
| Factor de carga (Kg/taladro): | 0.6 | Rendimiento (m/disparo): | | | 1.22 | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANT. | INCIDENCIA | P.U. \$/ Unid | Total \$/. | Total \$/ .MET. |
| 1 Mano de Obra | | | | | | 387.32 |
| Capataz | tarea | 1 | 30% | 14.47 | 60.73 | |
| Bodeguero | tarea | 1 | 30% | 14.47 | 43.00 | |
| Mecánico | tarea | 1 | 30% | 14.47 | 270.74 | |
| electricista Mina | tarea | 1 | 30% | 14.47 | 53.78 | |
| Operador locomotora y carros m. | tarea | 1 | 30% | 15.79 | 6.16 | |
| Maestro Perforista | tarea | 1 | 100% | 15.79 | 20.53 | |
| Ayudante | tarea | 1 | 100% | 13.16 | 17.11 | |
| 1 Aceros de perforación | | | | | | 91.67 |
| Aceite de Perforación | Gln | 0.35 | 100% | 5.77 | 2.02 | |
| Barras de Perforación conicas 6 pies | pp | 272.40 | 100% | 0.20 | 54.48 | |
| Brocas de perforación conica 32 mm | pp | 272.40 | 100% | 0.18 | 49.03 | |
| Broca con rimadora piloto 64 mm | pp | 34.40 | 100% | 0.18 | 6.19 | |
| 1 Herramientas | | | | | | 4.65 |
| Lampa | pieza | 2.00 | 100% | 0.14 | 0.28 | |
| Pico | pieza | 2.00 | 100% | 0.16 | 0.31 | |
| Combo 6 Lbs | pieza | 1.00 | 100% | 0.10 | 0.10 | |
| Llave Stilson de 8" | pieza | 1.00 | 100% | 0.07 | 0.07 | |
| LLave Francesa 8" | pieza | 1.00 | 100% | 0.06 | 0.06 | |
| Barretilla de 4' | pieza | 1.00 | 100% | 0.26 | 0.26 | |
| Barretilla de 6' | pieza | 1.00 | 100% | 0.31 | 0.31 | |
| Barretilla de 8' | pieza | 1.00 | 100% | 0.34 | 0.34 | |
| Disco de jebe | pieza | 1.00 | 100% | 0.05 | 0.05 | |
| Taco de Arcilla | pieza | 36.00 | 100% | 0.05 | 1.89 | |
| Ocre Polvo Rojo | kg | 0.13 | 100% | 2.63 | 0.34 | |
| Escaleras telescopicas | pieza | 1.00 | 100% | 1.47 | 1.47 | |
| Arco de sierra + hoja | pieza | 1.00 | 100% | 0.17 | 0.17 | |
| 1 Implementos de Seguridad | | | | | | 5.86 |
| Tareas sin ropa de agua | tareas | 0.39 | 100% | 2.26 | 0.88 | |
| Tareas con ropa de agua | tareas | 2.60 | 100% | 2.41 | 6.26 | |
| 2 Equipos en Operación | | | | | | 142.92 |
| Perforadora | pp | 272.40 | 100% | 0.38 | 104.49 | |
| Manguera de jebe de 1" | m | 30.00 | 100% | 0.10 | 2.91 | |
| Manguera de jebe de 1/2" | m | 30.00 | 100% | 0.04 | 1.26 | |
| Locomotora a bateria | Hm | 1.00 | 100% | | 24.45 | |
| Carro minero U 35 | Hm | 6.00 | 100% | | 41.08 | |
| A) Total Costo Directo | | | | | | 697.95 |
| B) Explosivos y Acc. Voladura | | | | | | 34.25 |
| Gelatina 75% 7/8" x 7" | kg | 13.20 | 100% | 1.64 | 21.66 | |
| Dinamita Semexa 65% 7/8" x 7" | kg | 8.83 | 100% | 1.75 | 15.47 | |
| Carmex | und | 36.00 | 0% | 0.28 | 0.00 | |
| Cordon detonante | m | 15.00 | 100% | 0.23 | 3.43 | |
| Mecha rapida | m | 2.00 | 200% | 0.29 | 1.18 | |
| COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B) | | | | | 732.20 | |
| COSTO POR METRO LINEAL DE AVANCE (\$/ml) | | | | | 600.80 | |

Tomada del Departamento de Operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

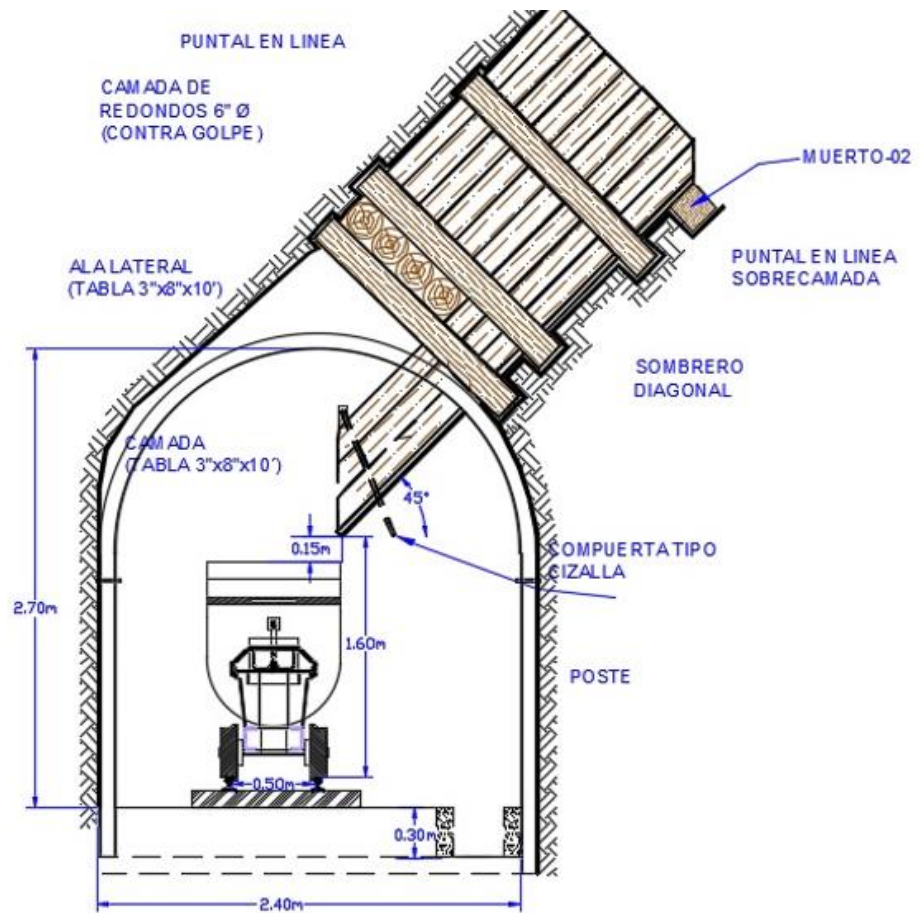
Anexo 3

Análisis de mejora de los costos de perforación y voladura del Bypass 9117 – NE

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANT. | INCIDENCIA | P.U. | Total \$/l. | Total \$/l./MET. |
|---|--------|--------|------------|----------|-------------|------------------|
| | | | | \$/ Unid | | |
| 1 Mano de Obra | | | | | | 349.64 |
| Capataz | tarea | 1 | 90% | 14.47 | 54.17 | |
| Bodeguero | tarea | 1 | 25% | 14.47 | 38.35 | |
| Mecánico | tarea | 1 | 35% | 14.47 | 241.50 | |
| electricista Mina | tarea | 1 | 35% | 14.47 | 47.97 | |
| Operador Scoop | tarea | 1 | 50% | 15.79 | 10.26 | |
| Maestro Perforista | tarea | 1 | 90% | 15.79 | 18.47 | |
| Ayudante | tarea | 1 | 90% | 13.16 | 15.39 | |
| 1 Aceros de perforación | | | | | | 98.90 |
| Aceite de Perforación | Gln | 0.25 | 90% | 5.77 | 1.30 | |
| Barras de Perforación conicas 8 pies | pp | 338.40 | 90% | 0.20 | 60.91 | |
| Brocas de perforación 64 mm | pp | 338.40 | 90% | 0.18 | 54.82 | |
| Broca con rimadora piloto 62 mm | pp | 21.60 | 90% | 0.18 | 3.50 | |
| 1 Herramientas | | | | | | 4.69 |
| Lampa | pieza | 2.00 | 100% | 0.14 | 0.28 | |
| Pico | pieza | 2.00 | 100% | 0.16 | 0.31 | |
| Combo 6 Lbs | pieza | 1.00 | 100% | 0.10 | 0.10 | |
| Llave Stilson de 8" | pieza | 1.00 | 100% | 0.07 | 0.07 | |
| LLave Francesa 8" | pieza | 1.00 | 100% | 0.06 | 0.06 | |
| Barretilla de 4' | pieza | 1.00 | 100% | 0.26 | 0.26 | |
| Barretilla de 6' | pieza | 1.00 | 100% | 0.31 | 0.31 | |
| Barretilla de 8' | pieza | 1.00 | 100% | 0.34 | 0.34 | |
| Disco de jebe | pieza | 1.00 | 100% | 0.05 | 0.05 | |
| Taco de Arcilla | pieza | 37.00 | 100% | 0.05 | 1.95 | |
| Ocre Polvo Rojo | kg | 0.13 | 100% | 2.63 | 0.34 | |
| Escaleras telescópicas | pieza | 1.00 | 100% | 1.47 | 1.47 | |
| Aro de sierra + hoja | pieza | 1.00 | 100% | 0.17 | 0.17 | |
| 1 Implementos de Seguridad | | | | | | 5.83 |
| Tareas sin ropa de agua | tareas | 0.65 | 100% | 2.26 | 1.47 | |
| Tareas con ropa de agua | tareas | 2.34 | 100% | 2.41 | 5.63 | |
| 2 Equipos en Operación | | | | | | 163.70 |
| Perforadora | pp | 338.40 | 100% | 0.38 | 129.81 | |
| Manguera de jebe de 1" | m | 30.00 | 100% | 0.10 | 2.91 | |
| Manguera de jebe de 1/2" | m | 30.00 | 100% | 0.04 | 1.26 | |
| Locomotora a batería | Hm | 1.00 | 100% | | 24.45 | |
| Carro minero U35 | Hm | 6.00 | 100% | | 41.08 | |
| A) Total Costo Directo | | | | | | 622.76 |
| B) Explosivos y Acc. Voladura | | | | | | 50.15 |
| Gelatina 75% 7/8" x 7" | kg | 11.44 | 100% | 1.64 | 18.77 | |
| Dinamita Semexa 65% 7/8" x 7" | kg | 15.96 | 100% | 1.75 | 27.95 | |
| Carmex | und | 37.00 | 100% | 0.28 | 10.36 | |
| Mecha rapida | m | 2.00 | 100% | 0.29 | 0.58 | |
| Cordon detonante EXSACORD | m | 15.00 | 100% | 0.23 | 3.45 | |
| COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B) | | | | | | 672.91 |
| COSTO POR METRO LINEAL DE AVANCE (\$/ml) | | | | | | 351.35 |

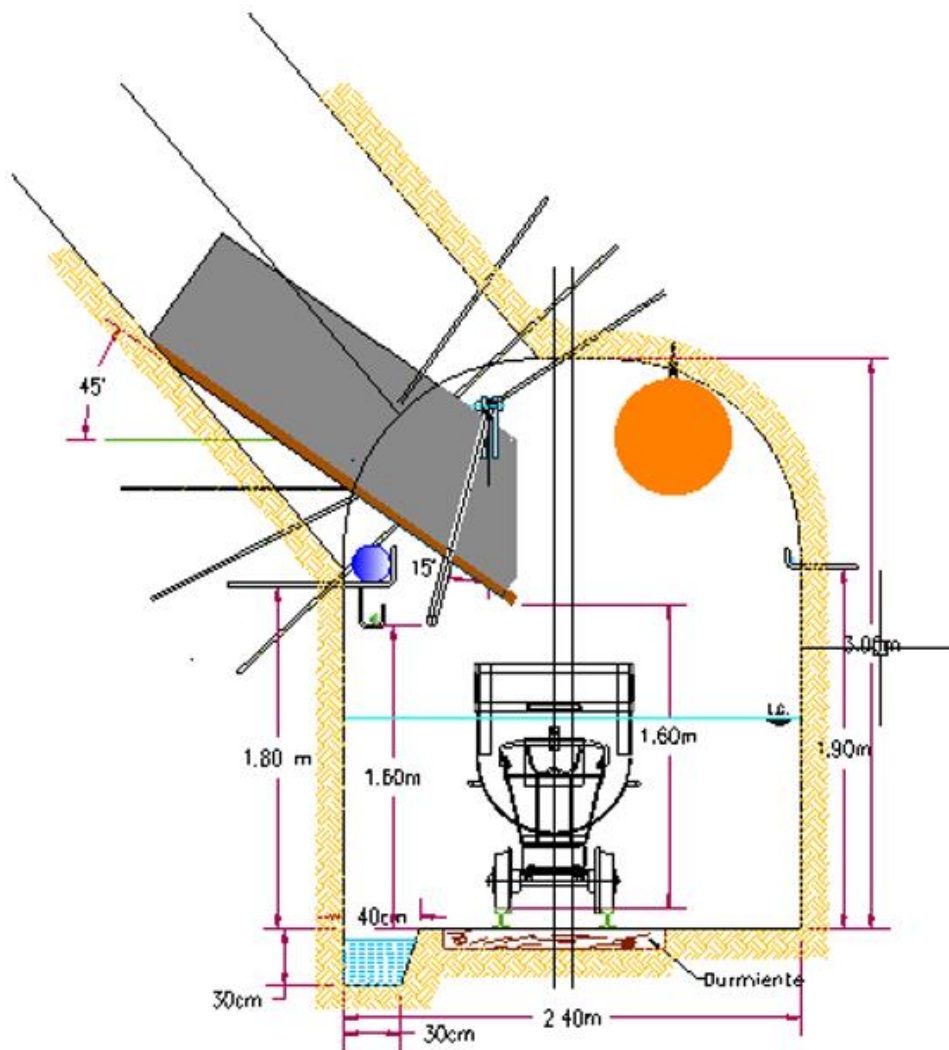
Tomada del Departamento de Operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

Anexo 4
Diseño de la tolva de madera



Tomada del Departamento de Operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

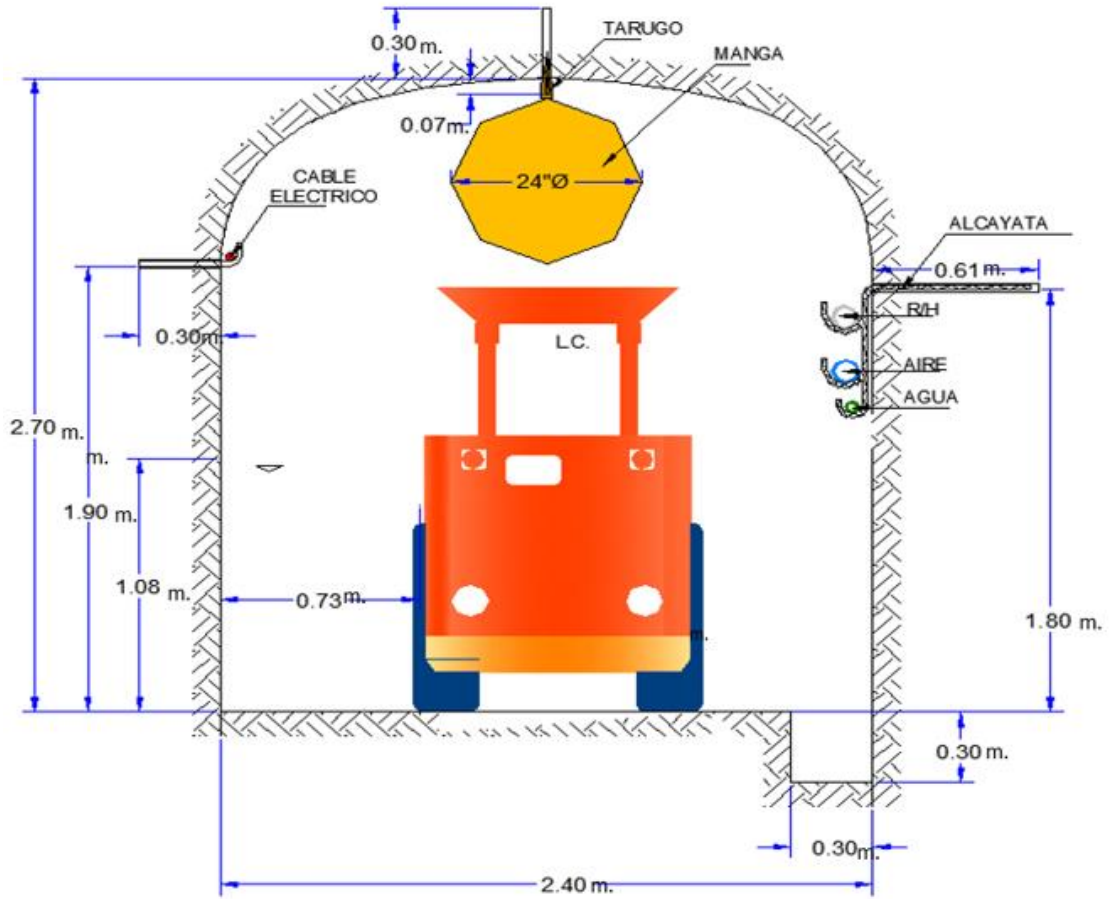
Anexo 5
Diseño de la tolva metálica



Tomada del Departamento de Operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)

Anexo 6

Diseño de carguío con Scooptram de 2.5 yd³



Tomada del Departamento de operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (9)