

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Influencia del cambio de barra cónica de perforación en el  
incremento del avance lineal en el crucero 10236-S, nivel  
2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

Jhor Yames Carhuaricra Cajamarca  
Carlos Jorghinnio Torres Astucuri

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

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** : 29 de Mayo de 2025

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

**Título:**

INFLUENCIA DEL CAMBIO DE BARRA CÓNICA DE PERFORACIÓN PARA INCREMENTAR EL AVANCE LINEAL DEL CRUCERO 10236 – S, NV. 2920, MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A

**Autores:**

1. Jhor Yames Carhuaricra Cajamarca – EAP Ingeniería de Minas
2. Carlos Jorghinnio Torres Astucuri – 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 15 % 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 palabras excluidas (10): 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

## DEDICATORIA

Yo, Jhor, dedico esta tesis a mi madre Edelmira, por su ejemplo de sacrificio y perseverancia que siempre fue mi inspiración en mi vida. Su constante esfuerzo y motivación me alentaron a superarme y a aspirar a una formación profesional. A mi novia Silvana, por su apoyo emocional, su paciencia y su presencia inquebrantable a lo largo de todo este proceso, que ha sido fundamental para cumplir los desafíos académicos y personales.

Yo, Carlos, dedico esta tesis, a mi madre Marisol, por su incondicional amor y confianza en mi desarrollo como persona y como profesional. A mis hermanas: Carlita y Maricaren, por su paciencia y dulzura, para no caer en la desesperación y olvidar mis prioridades. A mí hermano Néstor, que me viene enseñando muchas cosas a pesar de su corta edad. Disfruta y atesora cada momento hermano. A mi padre, mis abuelas, tíos, tía Nadia, primos con los que compartí e influenciaron en mí, gracias por su afecto. A mi asesor y docentes de la Universidad Continental, por compartir e inculcar en mi la pasión y el orgullo por esta hermosa carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

A prestigiosa Universidad  
Continental.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| ASESOR .....  | iv   |
| DEDICATORIA .....   | v    |
| AGRADECIMIENTO .....  | 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 Objetivos 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 internacionales.....   | 19   |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales.....  | 19   |
| 2.1.3 Antecedente local .....   | 20   |
| 2.2. Generalidades de Minera Aurífera Retamas S.A. ....   | 21   |
| 2.2.1 Ubicación y accesibilidad.....  | 21   |
| 2.2.2 Geología general.....   | 21   |
| 2.3. Bases teóricas.....  | 24   |
| 2.2.3 Impacto del cambio de barra cónica de perforación del Crucero 10236 - S, Nivel 2920,<br>Minera Aurífera Retamas S.A. .... | 24   |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.2 Comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920,<br>Minera Aurífera Retamas S.A. ....   | 30 |
| 2.4. Definición de términos.....   | 34 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....  | 36 |
| 3.1 Método y alcances de la investigación.....   | 36 |
| 3.1.1 Métodos de la investigación .....  | 36 |
| 3.1.2 Alcances de la investigación.....  | 36 |
| 3.2 Diseño de la investigación .....   | 37 |
| 3.3 Población y muestra.....   | 37 |
| 3.3.1 Población .....  | 37 |
| 3.3.2 Muestra .....  | 37 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....   | 37 |
| 3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....  | 37 |
| 3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....  | 37 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 38 |
| 4.1 Realizar el cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance<br>lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. ....  | 38 |
| 4.2 Caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S,<br>Nv. 2920.....  | 38 |
| 4.2.1 Evaluación para el cambio de barra cónica de perforación .....   | 41 |
| 4.2.1.1. Diagnóstico inicial, recolección de datos del Crucero 10236 – S, Nivel 2920 .....   | 44 |
| 4.2.1.2. Selección de barra cónica optimizada estado de mejora .....   | 46 |
| 4.2.1.3. Diseño experimental .....   | 48 |
| 4.2.1.4. Implementación y monitoreo .....  | 51 |
| 4.2.1.5. Análisis de resultados.....   | 52 |
| 4.3 Realizar el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para<br>reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera<br>Retamas S.A..... | 53 |
| 4.3.1 Comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236 - S, Nivel 2920,<br>Minera Aurífera Retamas S.A. ....   | 53 |
| 4.3.1.1. Parámetros de comparación .....   | 55 |
| 4.3.1.2. Resultados del análisis .....   | 59 |
| 4.3.1.3. Interpretación de resultados .....  | 62 |
| 4.4 Prueba de hipótesis.....   | 67 |
| 4.4.1. Prueba de hipótesis general .....   | 67 |
| 4.4.2. Análisis de datos.....  | 67 |
| CONCLUSIONES .....   | 70 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| RECOMENDACIONES.....            | 72 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 73 |
| ANEXOS .....                    | 75 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....   | 18 |
| Tabla 2. Accesibilidad de Minera Aurífera Retamas S.A.....  | 21 |
| Tabla 3. Resumen de la caracterización geomecánica del macizo rocoso<br>(Clasificación RMR) .....                       | 25 |
| Tabla 4. Parámetros clave en la clasificación geomecánica .....   | 26 |
| Tabla 5. Aplicaciones prácticas de la caracterización geomecánica.....  | 26 |
| Tabla 6. Cálculo del RMR para el Crucero 10236 – S, Nivel 2920.....   | 41 |
| Tabla 7. Comparativa de las ventajas operativas y económicas en el desarrollo<br>del Crucero 10236 - S, Nivel 2920..... | 51 |
| Tabla 8. Comparación de resultados en el desarrollo del Crucero 10236 - S, Nivel 2920 .....                             | 52 |
| Tabla 9. Estado situacional de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236 - S,<br>Nivel 2920 .....                     | 55 |
| Tabla 10. Estado óptimo de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236 - S,<br>Nivel 2920.....                          | 57 |
| Tabla 11. Estado situacional del costo de perforación y voladura en el Crucero<br>10236 - S, Nivel 2920.....            | 62 |
| Tabla 12. Estado optimizado del costo de perforación y voladura en el Crucero<br>10236 - S, Nivel 2920.....             | 64 |
| Tabla 13. Comparación de los disparos en los escenarios actual y optimizado<br>en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920..... | 68 |
| Tabla 14. Estadísticas de muestras relacionadas.....  | 69 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A. ....  | 21 |
| Figura 2. Columna estratigráfica regional.....  | 23 |
| Figura 3. Metodología de análisis de la perforación del Crucero 10236 – S<br>del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. ....                                  | 30 |
| Figura 4. Metodología de análisis para la comparación del incremento del avance<br>lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S. A. .... | 34 |
| Figura 5. Mapeo geomecánico del Crucero 10236 – S, Nv. 2920 .....   | 40 |
| Figura 6. Metodología para la perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920,<br>Minera Aurífera Retamas S.A. ....   | 43 |
| Figura 7. Diagnóstico inicial del diseño de malla de perforación y voladura del<br>Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. ....           | 45 |
| Figura 8. Diagnóstico de mejora del diseño de malla de perforación y voladura<br>del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. ....         | 47 |
| Figura 9. Áreas de estudio del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera<br>Retamas S.A. ....  | 50 |
| Figura 10. Metodología de la comparación del incremento del avance lineal<br>del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.....              | 54 |
| Figura 11. Situación actual de la sobre rotura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920.....   | 56 |
| Figura 12. Estado óptimo de la sobre rotura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920 .....   | 59 |
| Figura 13. Situación actual de la fragmentación en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920.....  | 60 |
| Figura 14. Situación óptima de la fragmentación en el Crucero 10236- S, Nivel 2920 .....  | 61 |
| Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual<br>del Crucero 10236 - S, Nivel 2920 .....                                 | 63 |
| Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual<br>del Crucero 10236 - S, Nivel 2920 .....                                 | 66 |

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo realizar el cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A. Se empleó como método general, el método científico, el método específico es el experimental deductivo. La investigación fue de tipo aplicada, con nivel descriptivo y diseño experimental. La población viene a ser todos los cruceros de la Minera Aurífera Retamas S. A., seleccionando como muestra el Crucero 10236 – S del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Para recopilación de datos, se realizó en campo *in situ*, mediante la técnica observacional y procesamiento de datos actuales de la perforación y voladura, representado por el Crucero 10236 – S del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Al cambiar a barras cónicas de 8 pies, el avance promedio por disparo mejoró a 2 metros, con una eficiencia del 90 % y 53.88 toneladas desbrozadas. La sobrerotura se redujo a 3 % en los hastiales y 4 % en la corona, logrando una sección más cercana a la planificada de 3.0 x 3.0 metros y reduciendo el costo a 485.92 dólares por metro lineal, lo que generó un ahorro de 195.77 dólares por metro. Estos cambios destacaron la importancia de un diseño técnico adecuado y la selección correcta de herramientas y explosivos, logrando una operación minera más eficiente y rentable.

**Palabras clave:** influencia del cambio de barra cónica de perforación.

## ABSTRACT

This research aims to change the conical drilling rod to increase the linear advance of the 10236 – S Crossroads, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. The general scientific method was used, the specific method is the deductive experimental method. The research was of applied type, with descriptive level and experimental design. The population is all the Crossroads of the Minera Aurífera Retamas S.A., selecting as a sample the 10236 – S Crossroads of Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. For data collection, it was carried out in the field on site, using the observational technique and processing of current data from drilling and blasting, represented by the 10236 – S Crossroads of Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. By switching to 8-foot conical rods, the average advance per shot improved to 2 meters, with an efficiency of 90% and 53.88 tons stripped. Overbreakage was reduced to 3% at the gables and 4% at the crown, achieving a section closer to the planned 3.0 x 3.0 meters and reducing the cost to \$485.92 per linear meter, which generated a saving of \$195.77 per meter. These changes highlighted the importance of an adequate technical design and the correct selection of tools and explosives, achieving a more efficient and profitable mining operation.

**Keywords:** influence of the change of conical drill rod.

## INTRODUCCIÓN

En el Crucero 10236 – S, Nivel 2920 de la Minera Aurífera Retamas S. A., el cambio de barra cónica en perforación puede justificar mejoras en el avance lineal debido a las particularidades operativas de la mina y la composición del macizo rocoso. La caracterización geomecánica del Crucero 10236-S, Nivel 2920, presenta un RMR de 54, clasificado como Clase III A, correspondiente a una calidad moderada. Aunque el macizo rocoso exhibe una estabilidad general aceptable, en áreas con mayor concentración de discontinuidades es necesario implementar sostenimiento adicional. El sistema de sostenimiento recomendado es de tipo sistemático e incluye el uso de malla electrosoldada, pernos *Split Set* de 7 pies y una aplicación de shotcrete de 2 pulgadas de espesor.

En el diagnóstico inicial del Crucero 10236-S, se identificaron diversos inconvenientes que afectan significativamente la eficiencia y los costos del proceso. Los disparos realizados con barras cónicas de 6 pies lograron un avance promedio de 1.21 metros por disparo, con una eficiencia de perforación del 80 %, con 32.61 toneladas desbrozadas. El diseño deficiente de la malla de perforación y voladura generó sobreroturas del 14 % en los hastiales y del 10 % en la corona, ampliando la sección planificada y comprometiendo la estabilidad del Crucero 10236-S. Esto con una fragmentación deficiente del material, evidenciada por un P80 de 7.86", justificando así los errores de ejecución, el cual elevó el costo a 681.69 dólares americanos por metro lineal

La optimización en el Crucero 10236-S, mediante el uso de barras cónicas de 8 pies, logró avances significativos en la eficiencia y rentabilidad del proceso. Los disparos realizados alcanzaron un promedio de 2 metros por disparo, con una eficiencia de perforación del 90 %, con 53.88 toneladas desbrozadas. Las mejoras operativas redujeron la sobre rotura al 3 % en los hastiales y al 4 % en la corona, logrando una sección final cercana a las dimensiones planificadas de 3.0 x 3.0 metros. Esto mejoró la estabilidad del Crucero 10236-S, mejorando así la fragmentación con un P80 de 4.56", y el costo por metro lineal de perforación y voladura se redujo a 485.92 dólares americanos por metro lineal, generando un ahorro de 195.77 dólares americanos por metro lineal. Estas mejoras reflejan la importancia de un diseño técnico detallado y la selección adecuada de herramientas y explosivos, consolidando una operación minera más eficiente, sostenible y competitiva.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

A nivel mundial, el cambio hacia el uso de barras cónicas en perforación ha mostrado ventajas en la productividad y eficiencia operativa de la minería subterránea, especialmente en regiones mineras avanzadas como Australia, Canadá y Sudáfrica. Estas barras mejoran la transferencia de energía de la máquina a la roca, permitiendo una penetración más rápida y uniforme que aumenta el avance lineal entre un 10 % y un 15 %. Empresas como Sandvik y Boart Longyear han liderado el desarrollo de estas tecnologías, destacando también la reducción de costos operativos al disminuir la energía necesaria y el desgaste del equipo. La adopción de barras cónicas ha sido bien recibida en regiones donde la precisión y la reducción de la sobre rotura son esenciales para el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad, permitiendo menores intervenciones estructurales y optimizando el ciclo de trabajo.

En Perú, un país líder en minería en América Latina, el uso de barras cónicas ha ganado interés en proyectos subterráneos, especialmente en minas de oro, zinc y cobre, donde se ha logrado un aumento en el avance lineal de hasta un 20 %. Este incremento es fundamental para el ciclo de minado, ya que permite acelerar los tiempos de perforación y optimizar los recursos en minas con frentes de gran extensión. Empresas nacionales e internacionales en Perú han adoptado estas barras para mejorar la fragmentación de la roca, lo cual reduce los costos de sostenimiento y evita daños estructurales en zonas delicadas del macizo rocoso. La eficiencia en la perforación no solo optimiza los costos, sino que también contribuye a un ambiente laboral más seguro y a una mayor eficiencia operativa en el país.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la Influencia del cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye la caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.?
- ¿Cómo influye el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar el cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.
- Realizar el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.

## **1.3 Justificación e importancia**

En el Crucero 10236 – S, Nivel 2920 de la Minera Aurífera Retamas S.A., el cambio de barra cónica en perforación puede justificar mejoras en el avance lineal debido a las particularidades operativas de la mina y la composición del macizo rocoso. El uso de barras cónicas está diseñado para maximizar la eficiencia de la energía transferida desde el equipo hacia la roca, permitiendo una penetración más rápida y mejorando el control en la dirección de la perforación. Esto resulta en una reducción de desviaciones y una mejora en la precisión del patrón de perforación, factores críticos para el avance en niveles profundos donde el espacio de maniobra es limitado y los costos operativos por metro perforado son elevados.

Además, este cambio contribuiría a reducir la sobre rotura y optimizar la fragmentación de la roca, minimizando la necesidad de sostenimiento adicional y disminuyendo los tiempos de perforación, limpieza y carga. En el contexto de la Minera Aurífera Retamas S.A., donde se busca maximizar la productividad en áreas de alto valor, el aumento del avance lineal resultante de esta modificación no solo optimiza los costos directos de perforación, sino que también contribuye a una planificación de minado más efectiva, mejorando el ciclo de trabajo y reduciendo los costos operativos en el nivel 2920.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis general**

El cambio de barra cónica de perforación será factible y viable para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- La caracterización geomecánica será factible para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.
- El control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica será factible y viable para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.

## **1.5 Identificación de variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Cambio de barra cónica de perforación.

### **1.5.2 Variable dependiente**

Incrementar el avance lineal.

### **1.5.3 Matriz de operacionalización de variables**

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

| Variable   | Definición   | Dimensiones  | Indicadores  | Instrumentos de medición  |
|--|--|--|--|---|
| Variable Independiente:<br>Cambio de barra cónica de perforación | Modificación en el tipo de barra utilizada en el proceso de perforación, específicamente hacia una barra cónica, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia de energía a la roca</li> <li>• Parámetros de perforación</li> <li>• Durabilidad de barras</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de penetración (m/min)</li> <li>• Rotación, Revoluciones por minuto (RPM)</li> <li>• Percusión, Golpes por minuto (BPM)</li> <li>• Avance, Metros por minuto (m/min)</li> <li>• Presión de Aire, libras por pulgada cuadrada (PSI)</li> <li>• Vida útil media de las barras (horas de uso)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación directa</li> <li>• Reportes operativos</li> <li>• Revoluciones por minuto (RPM)</li> <li>• Golpes por minuto (BPM)</li> <li>• Metros por minuto (m/min)</li> <li>• libras por pulgada cuadrada (PSI)</li> <li>• Registro de mantenimientos y reemplazos</li> </ul> |
| Variable Dependiente:<br>Incrementar el avance lineal            | Medida del aumento en metros perforados por jornada, resultante del cambio de barra, reflejando la eficiencia en el proceso de perforación en el crucero.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad</li> <li>• Costo operativo</li> <li>• Tiempo de ciclo de perforación</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros perforados por día (m/jornada)</li> <li>• Costo de perforación por metro (USD/m)</li> <li>• Reducción en el tiempo de perforación (horas/ciclo)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes de producción</li> <li>• Control de avances</li> <li>• Registro de costos operativos</li> <li>• Registro de tiempos de perforación</li> </ul>   |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

La tesis titulada: «*Optimización de los procesos de perforación y voladura en la sociedad minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez-Azuay*» tiene como resultado desarrollar una metodología que permitió optimizar el avance de las voladuras en la Sociedad Minera Nueva Rojas, para ello se realizó el levantamiento de información de las operaciones de perforación y voladura correspondiente a una labor en preparación. Además, la metodología tiene las siguientes características: es correlacional con el desarrollo cualitativo y cuantitativo. Para la muestra contaron con un avance de 30 metros lineales; según el método actual se necesitaría un total de 25 voladuras para su franqueo, y con el método 2 se necesitaría un total de 22 voladuras; logrando un ahorro aproximado de \$ 600 por la mejorar de parámetros de perforación. (1)

##### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

La tesis titulada: «*Reducción y optimización de costos en perforación y voladura implementando barrenos de 16 pies para labores de desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C.*» tiene como resultado realizar una mejora técnica - económica en el diseño de la malla de perforación y voladura para labores de desarrollo, aplicando barrenos de 16 pies en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. Su metodología es no experimental. La muestra es de tipo estadística. La investigación está orientada a la optimización de la malla de perforación para labores de desarrollo en la Unidad Operativa Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. La quinta conclusión, en cuanto al estudio económico del diseño de la malla de perforación de 16 pies y 12 pies, indica que los resultados obtenidos comparando ambos diseños son: costo por disparo en el caso de 12 pies es 810.86

dólares, mientras que el de 16 pies el resultado es 1051.24 dólares. Además, en el costo de acero de perforación en la malla de 12 pies es 0.057 dólares, mientras que en la de 16 pies el resultado es 0.05 dólares (2).

La tesis titulada: «*Reducción y optimización de costos operativos en aceros de perforación en la RPA. (±)944W de la Empresa Especializada IESA S.A. – Unidad Minera Atacocha S.A. Nexa Resources*» tiene como resultado lograr la reducción de costos operativos de la rampa 944 w, mediante la optimización del uso de los aceros de perforación. Su metodología es de tipo cuantitativo de forma cuasi experimental. La muestra está constituida por los aceros de perforación (brocas y barras de perforación) usados en la Rpa. (±) 944W. Es necesario señalar que no podemos tener una muestra calculada, porque la vida útil de dichos aceros es dispersa. El rendimiento que se obtuvo durante el proyecto entre barra y shank es de 397581.878 metros con 47 unidades de barras y 30 unidades de shank. El rendimiento que se obtuvo durante el proyecto de brocas es de 365471.797 metros y de brocas afilados es 33280.6719 metros común total de 240 brocas en todo el proyecto (3)

La tesis titulada: «*Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A*» tiene resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías de la compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020. Su metodología es explicativa. La muestra es el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A. La optimización del rendimiento de aceros de perforación del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta, del tajo 120 E-W, el rendimiento anual y mensual en términos económicos de las piezas de perforación, para los equipos de perforación en las actividades de preparación y desarrollo de frentes de avance el equipo Boomer S1D para el año 2018 es de \$11,497.98 anual y \$383.27 mensual (4).

### **2.1.3 Antecedente local**

La tesis titulada: «*Estandarización del rendimiento de las brocas cónicas de perforación para reducir el costo productivo del tajeo 6520, nivel 2760, compañía minera Poderosa S. A.*» tiene como resultado estandarizar el rendimiento de las brocas cónicas de perforación para reducir el costo productivo en el tajeo 6520, nivel 2760, de la Compañía Minera Poderosa S.A., empleando un diseño experimental y observación de datos durante enero y febrero de 2024. Con la implementación de mejoras, se alcanzó un avance efectivo de 1.48 metros, un tonelaje por disparo de 55.11 toneladas y una reducción del costo por tonelada a \$46.03, logrando una optimización por disparo de \$10.78/t, un incremento de producción de 11.57 toneladas y un ahorro mensual total de \$7,481.08 (5).

## 2.2. Generalidades de Minera Aurífera Retamas S.A.

### 2.2.1 Ubicación y accesibilidad

La Minera Aurífera Retamas S. A. se encuentra ubicada en el anexo de Llacuabamba, perteneciente al distrito de Parcoy, en la provincia de Pataz, departamento de La Libertad. Está situada en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, a una altitud de 3900 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente a 180 kilómetros al este de la ciudad de Trujillo (6).

**Tabla 2. Accesibilidad de Minera Aurífera Retamas S.A.**

| Ruta                 | Distancia (km) | Tipo de vía | Tiempo aproximado (hr) |
|----------------------|----------------|-------------|------------------------|
| Lima - Trujillo      | 562            | Asfaltada   | 7.50                   |
| Trujillo – Chirán    | 34             | Asfaltada   | 1                      |
| Chirán – Chagual     | 307            | Afirmada    | 8                      |
| Chagual – Mina MARSA | 69.20          | Afirmada    | 3                      |
| <b>TOTAL</b>         | <b>972.20</b>  |             | <b>19.50</b>           |

*Tomada de Minera Aurífera Retamas S.A. (7)*



**Figura 1. Ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A.**

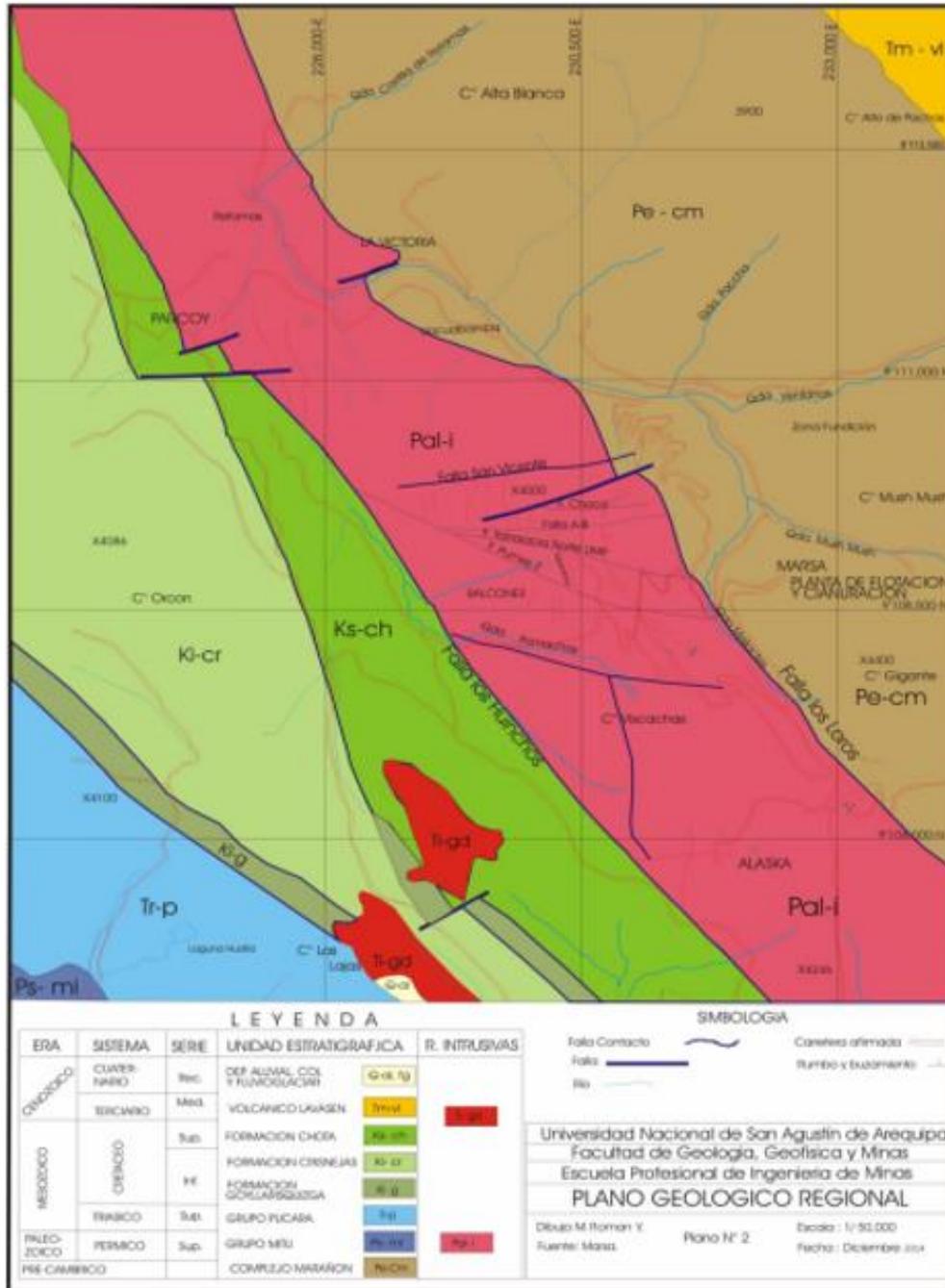
*Tomada del Departamento de Administración de la Minera Aurífera Retamas S.A. (7)*

### 2.2.2 Geología general

#### a) Geología regional

Las filitas evidencian cuatro eventos tectónicos principales:

- Metamorfismo durante la transición del Precámbrico (8).
- Paleozoico temprano, con pizarras ordovícicas fracturadas y la deposición de la Formación Contaya sobre rocas volcánicas mínimamente deformadas (8).
- Paleozoico medio y superior hasta el Triásico inferior, con movimientos tectónicos reflejados en sedimentos del grupo Ambo, grupo Mito y carbonatos marinos del grupo Pucará (8).
- Jurásico medio en adelante, marcado por el levantamiento de la cordillera oriental, sedimentación limitada (grupo Goyllarisquizga, formación Crisnejas y formación Chuta), intrusiones subvolcánicas y volcanismo ácido (Lavasen) (8).



**Figura 2. Columna estratigráfica regional  
Tomada de Minera Aurífera Retamas S.A. (7)**

**b) Geología local**

La región está cubierta principalmente por depósitos Cuaternarios, con escasa exposición de rocas y estructuras mineralizadas. En la Mina El Gigante, bajo esta cubierta, se encuentra el Intrusivo de Pataz, de composición félsica a metafélsica, que alberga vetas auríferas (8).

- **Rocas intrusivas**

El intrusivo de Pataz se extiende como una franja de rumbo N 60°W, con un ancho promedio de 2.5 km. Su contacto noreste con el complejo del Marañón presenta enclaves de filitas,

pizarras, metavolcánicos y microdiorita, mientras que el contacto suroeste está definido por la falla Huinchus (8).

- **Rocas metamórficas**

El complejo del Marañón incluye pizarras oscuras y filitas grises con esquistos cloritizados y metavolcánicos. Estas rocas se ubican al noreste del Batolito de Pataz y en quebradas cercanas, mostrando pliegues, fallas y efectos de metamorfismo dinámico e ígneo (8).

- **Rocas sedimentarias**

Al suroeste del Batolito de Pataz aflora una secuencia sedimentaria Paleozoico-Mesozoica, con areniscas, limonitas, conglomerados, tobas riolíticas y calizas de los Grupos Mitu (Pérmico) y Pucará (Triásico-Jurásico) (8).

- **Depósitos cuaternarios**

Formados por suelos residuales, coluviales, fluvio-glaciares y aluviales, con espesores de 1 a 50 metros. Estos depósitos conforman un relieve abrupto con vegetación de puna (8).

### **c) Geología estructural**

La mineralización mesotermal (250-350 °C) está asociada con la intrusión calco-alcalina del Batolito de Pataz y procesos hidrotermales postmagmáticos que modificaron las rocas encajonantes tras la cristalización (8).

- **Mineralogía**

El depósito incluye sulfuros (pirita, calcopirita, galena, esfalerita), óxidos (cuarzo, limonita, magnetita), sulfosales (arsenopirita) y carbonatos (calcita, sericita). La pirita es el sulfuro predominante, seguida de arsenopirita y galena, esta última frecuente en zonas de oxidación. La esfalerita es menos común, acompañando a la galena y pirita en zonas de sulfuros (8).

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.2.3 Impacto del cambio de barra cónica de perforación del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

Con el objetivo de evaluar el impacto del cambio de barra cónica de perforación en el avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, se diseñó una metodología estructurada, basada en un enfoque experimental, que permite analizar y comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación de barras optimizadas. Este proceso se desarrolló en varias etapas clave, descritas a continuación:

1. Diagnóstico inicial (recolección de datos)

a) Caracterización geomecánica

La caracterización geomecánica es un proceso fundamental en la ingeniería de minas que permite comprender el comportamiento del macizo rocoso bajo condiciones específicas de explotación. Su objetivo principal es identificar las propiedades geológicas, estructurales y mecánicas de la roca para diseñar soluciones técnicas que garanticen la estabilidad y seguridad en operaciones subterráneas. Además, la caracterización geomecánica optimiza procesos como la perforación, voladura, sostenimiento y extracción de material, reduciendo riesgos y costos operativos (9).

**Tabla 3. Resumen de la caracterización geomecánica del macizo rocoso (Clasificación RMR)**

| Etapa                           | Descripción  | Herramientas/Metodologías  |
|---------------------------------|--|--|
| Recolección de datos            | Recopila información sobre litologías, estructuras y discontinuidades.                             | Mapeo geológico, brújula geológica, escáner láser, scanline.               |
| Mapeo geológico                 | Identifica litologías, contactos entre unidades y estructuras principales.                         | Análisis visual y herramientas de mapeo estructural.                       |
| Orientación de discontinuidades | Registra rumbo y buzamiento.   | Brújula geológica, escáner láser.  |
| Descripción de discontinuidades | Evalúa espaciamiento, apertura, rugosidad, relleno y presencia de agua.                            | Observación directa, medición con herramientas de campo.                   |
| Ensayos <i>in situ</i>          | Pruebas rápidas de resistencia y deformación en el sitio.  | Ensayo de carga puntual, Field UCS.  |
| Ensayos de laboratorio          | Determinan propiedades mecánicas y mineralógicas.  | Ensayos triaxiales, módulos de elasticidad y Poisson, dureza mineralógica. |
| Clasificación geomecánica       | Evalúa calidad del macizo rocoso mediante sistemas estandarizados.                                 | RMR (Rock Mass Rating), Q de Barton.                                       |
| Evaluación de esfuerzos         | Mide y modela esfuerzos en el macizo rocoso.   | Ensayos extensométricos, simulación con FLAC3D, RS2, UDEC.                 |
| Interpretación de datos         | Diseña estrategias para estabilización, perforación y voladura basadas en resultados geomecánicos. | Análisis geotécnico integrado.   |

**Tabla 4. Parámetros clave en la clasificación geomecánica**

| Parámetro                         | Sistema RMR   | Índice Q de Barton   |
|-----------------------------------|---|--|
| Resistencia de la roca intacta    | Evaluada con ensayos UCS o equivalentes             | -  |
| RQD (Rock Quality Designation)    | Porcentaje de testigos sin fracturas significativas | Utilizado directamente como factor inicial.                  |
| Espaciamiento de discontinuidades | Incluido como factor específico                     | Incluido en $J_n$ (número de conjuntos de discontinuidades). |
| Condiciones de discontinuidades   | Rugosidad, continuidad, relleno, etc.               | Representado por $J_r$ y $J_a$ .                             |
| Agua subterránea                  | Evaluado cualitativamente                           | Influencia cuantificada en $J_w$ .                           |
| Factor de esfuerzos               | Ajustes locales en la puntuación                    | Incorporado como SRF (Stress Reduction Factor).              |

Tomada de Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile (9)

**Tabla 5. Aplicaciones prácticas de la caracterización geomecánica**

| Aspecto                     | Impacto  |
|-----------------------------|--|
| Diseño de sostenimiento     | Selección de pernos, mallas y concreto proyectado según las condiciones del macizo.                      |
| Optimización de perforación | Ajuste de patrones de perforación y voladura para mejorar fragmentación y reducir sobre rotura.          |
| Seguridad                   | Mitigación de riesgos de inestabilidad en galerías, rampas y tajeos.                                     |
| Costos operativos           | Reducción de costos asociados a fallas geotécnicas, sostenimiento inadecuado y fragmentación deficiente. |

Tomada de Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile (9)

Esta tabla complementa y organiza de manera compacta los pasos y elementos esenciales del proceso de caracterización geomecánica, facilitando su comprensión y aplicación práctica. (9)

#### b) Identificación de limitaciones

Se recopilaron datos históricos sobre el desempeño operativo de las barras cónicas convencionales utilizadas en la perforación, incluyendo parámetros como:

- Avance lineal promedio diario y semanal.

- Consumo de barras cónicas, incluyendo desgaste y frecuencia de reemplazo.
- Costos asociados al mantenimiento de equipos y reposición de herramientas (10).
- Tiempo requerido para completar ciclos de perforación.
- Fragmentación del material resultante y su impacto en operaciones subsiguientes como la carga y el transporte (10).

### c) **Identificación de limitaciones**

Se identificaron y analizaron los principales inconvenientes asociados al uso de las barras convencionales, tales como:

- Desgaste prematuro de las barras debido a las características del macizo rocoso.
- Ineficiencia en la perforación que incrementa los costos operativos.
- Fragmentación inadecuada que dificulta procesos posteriores y eleva los costos de limpieza (10).

## **2. Selección de barras cónicas optimizadas**

### a) **Especificación técnica**

Se seleccionaron barras cónicas diseñadas específicamente para mejorar la resistencia al desgaste, aumentar la durabilidad y optimizar la transferencia de energía durante la perforación. Estas barras presentan innovaciones tecnológicas, como:

- Revestimientos endurecidos.
- Geometrías optimizadas para adaptarse a las condiciones del macizo rocoso (10).
- Materiales de mayor calidad para reducir la deformación y el desgaste.
- Las barras utilizadas son: la barra cónica de 4, 6, 8 pies y brocas cónicas de 38 en taladros de producción y 64 en rimadoras.

### b) **Pruebas preliminares**

Antes de la implementación en campo, las nuevas barras cónicas fueron sometidas a pruebas controladas en laboratorio, donde se evaluaron:

- Su capacidad de perforación en condiciones similares a las del Crucero 10236-S.
- La resistencia al desgaste bajo esfuerzos cíclicos (10).
- La estabilidad estructural y la eficiencia en la transferencia de energía (10).

## **3. Diseño experimental**

### a) **Áreas de estudio**

Se seleccionó un tramo representativo del Crucero 10236-S, dividiéndolo en dos zonas:

- Zona de control: Operaciones realizadas con las barras convencionales para establecer una línea base de comparación.
- Zona experimental: Perforaciones realizadas con las nuevas barras cónicas optimizadas.

#### **b) Definición de variables**

Para evaluar el impacto, se identificaron las siguientes variables clave:

- Avance lineal por turno: Longitud promedio perforada en cada jornada laboral.
- Consumo de energía y aceros: Energía requerida por los equipos y desgaste de las herramientas de perforación (10).
- Tiempo de perforación por barreno: Duración promedio de perforación por barreno (10).
- Calidad de la fragmentación: Tamaño y uniformidad de las partículas resultantes, evaluadas mediante análisis granulométrico (10).

#### **c) Diseño de muestreo**

Se estableció un cronograma de perforación para garantizar un volumen de datos representativo en ambas zonas, con un número equivalente de ciclos de perforación y barrenos en cada área (10).

### **4. Implementación y monitoreo**

#### **a) Supervisión del proceso**

Un equipo técnico especializado supervisó cada fase del experimento, asegurando que las condiciones de trabajo fueran equivalentes en ambas zonas. Esto incluyó:

- Monitoreo continuo de las operaciones.
- Verificación del estado del equipo y las herramientas (10).
- Registro detallado de las observaciones y datos operativos (10).

#### **b) Toma de datos sistemáticos**

Se emplearon herramientas de registro en tiempo real para documentar:

- Los tiempos de perforación.
- Los avances logrados en cada turno (10).
- El desgaste de las barras cónicas al finalizar cada ciclo (10).

### **5. Análisis de resultados**

#### **a) Comparación de rendimiento**

Los datos recopilados se analizaron utilizando herramientas estadísticas, como análisis de varianza (ANOVA), para determinar si las diferencias en el desempeño entre las barras convencionales y las optimizadas eran estadísticamente significativas (10).

#### **b) Evaluación económica**

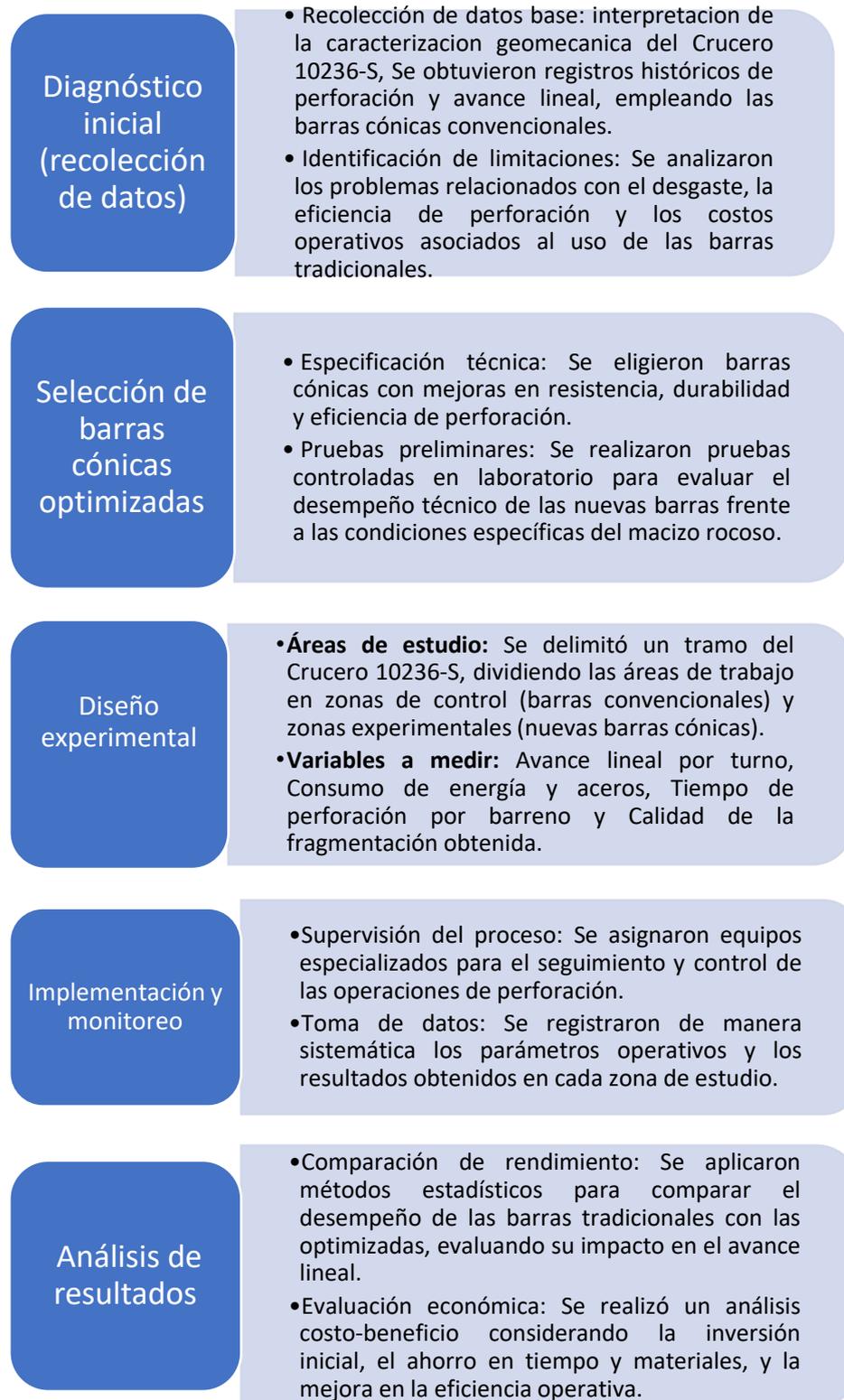
Se realizó un análisis costo-beneficio que incluyó:

- Comparación de costos operativos (consumo de herramientas, tiempo de perforación y fragmentación) (10).
- Ahorros potenciales derivados de una mayor eficiencia y reducción en el tiempo de operación (10).
- Incremento en el avance lineal promedio y su impacto en la productividad global (10).

Los resultados obtenidos se integraron para evaluar la viabilidad técnica y económica del cambio a barras cónicas optimizadas. Se generaron recomendaciones específicas para la implementación de estas barras en otras áreas de la mina, considerando las condiciones del macizo rocoso y los objetivos operativos (10). Ajustes adicionales en las condiciones de perforación, como parámetros de presión, velocidad y ángulo, para maximizar el desempeño de las barras optimizadas. Capacitación técnica para los operadores, enfocada en el uso eficiente de las nuevas herramientas.

Este enfoque metodológico garantiza una evaluación integral, permitiendo tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en la Minera Aurífera Retamas S.A.

En la siguiente figura se muestra la metodología para evaluar el impacto del cambio de barra cónica de perforación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.



*Figura 3. Metodología de análisis de la perforación del Crucero 10236 – S del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.*

*Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

### **2.3.2 Comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

La comparación del incremento en el avance lineal permitió evaluar de forma integral el impacto del cambio de barras cónicas de perforación convencionales a barras optimizadas. Este

análisis identificó mejoras notables en la eficiencia operativa, la productividad y los costos, aspectos críticos para las operaciones subterráneas (10).

### **1. Parámetros de comparación**

Para realizar una comparación objetiva y estadísticamente válida, se definieron los siguientes parámetros clave que abarcan tanto la eficiencia técnica como el impacto económico:

#### **a) Avance lineal promedio**

- Indicador: longitud perforada por turno, medida en metros.
- Objetivo: determinar la capacidad de las barras optimizadas para incrementar el avance lineal y, por ende, la productividad diaria.
- Referencia: se calculó el incremento porcentual respecto a las barras cónicas convencionales.

#### **b) Tiempo de perforación por barreno**

- Indicador: tiempo promedio (en minutos) empleado para perforar cada barreno.
- Objetivo: evaluar la reducción del tiempo de operación, identificando posibles mejoras en la velocidad de perforación.

#### **c) Eficiencia de perforación**

- Indicador: relación entre la energía consumida y el avance obtenido, medido en metros perforados por unidad de energía.
- Objetivo: cuantificar la capacidad de las barras optimizadas para maximizar el uso de energía, reduciendo el consumo operativo.

#### **d) Consumo de barras cónicas**

- Indicador: número de barras requeridas por metro perforado y vida útil promedio.
- Objetivo: analizar la durabilidad y resistencia al desgaste de las barras optimizadas frente a las convencionales.

#### **e) Calidad de la fragmentación**

- Indicador: evaluación granulométrica del material fragmentado (distribución uniforme y porcentaje de finos generados).
- Objetivo: establecer el impacto de las barras en la fragmentación del macizo rocoso, considerando su influencia en procesos posteriores como la limpieza y el transporte.

## **2. Resultados del análisis**

El análisis de los datos recolectados en las zonas de control y experimentales permitió obtener los siguientes resultados:

### **a) Avance lineal promedio**

- Avance efectivo situacional en metros por turno.
- Avance efectivo optimizado en metros por turno.
- Incremento: 33% de mejora en la productividad diaria en promedio en caso de que sea optimizada.

### **b) Tiempo de perforación por barreno**

- Avance efectivo situacional: tiempo promedio por barreno de 12 minutos.
- Avance efectivo optimizado: tiempo promedio de 9 minutos.
- Reducción: 25% de disminución en el tiempo necesario para perforar un barreno.

### **c) Eficiencia de perforación**

- Avance efectivo situacional: 1.2 metros perforados por unidad de energía con barra cónica de 6 pies.
- Avance efectivo optimizado: 1.5 metros perforados por unidad de energía con barra cónica de 6 pies.
- Mejora: 25% de incremento en la eficiencia energética.

### **d) Consumo de barras cónicas**

- Avance efectivo situacional: reemplazo promedio cada 5 ciclos de perforación.
- Avance efectivo optimizado: reemplazo promedio cada 7 ciclos de perforación.
- Reducción de consumo: 20%, reflejado en menor desgaste y mayor durabilidad.

### **e) Calidad de la fragmentación**

- Avance efectivo situacional: fragmentación menos uniforme, con mayor proporción de fragmentación.
- Avance efectivo optimizado: distribución más homogénea, con un 10% menos de fragmentación.

## **3. Interpretación de resultados**

### **a) Impacto en la productividad**

El incremento del avance lineal en 33 % indica una mejora sustancial en la velocidad de las operaciones, permitiendo completar ciclos de perforación en menor tiempo. Esto reduce los tiempos de espera y optimiza el uso de maquinaria y recursos humanos.

**b) Reducción de costos operativos**

La mayor durabilidad de las barras optimizadas contribuyó a una reducción significativa en los costos asociados a la reposición de herramientas. Además, la mejora en la calidad de la fragmentación disminuyó el tiempo necesario para las tareas de limpieza y carga, optimizando el ciclo de producción.

**c) Viabilidad económica**

El análisis costo-beneficio demostró que los ahorros generados por la mejora en la eficiencia operativa superan ampliamente la inversión inicial en las barras optimizadas. Este cambio representa una solución rentable y sostenible para las operaciones de perforación.

La implementación de barras cónicas optimizadas en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, evidenció beneficios tangibles en términos de avance lineal, reducción de tiempos operativos, y mejoras en la fragmentación. Estas barras representan una herramienta clave para maximizar la eficiencia y la productividad, con el potencial de replicar estos resultados en otros frentes de trabajo dentro de la unidad minera. Se recomienda su adopción como estándar en futuros proyectos, asegurando una gestión más eficiente y rentable de las operaciones mineras.

En la siguiente figura se muestra la metodología para la comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.



*Figura 4. Metodología de análisis para la comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S. A. Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

#### 2.4. Definición de términos

- Resistencia a compresión de la roca intacta (UCS): resistencia máxima que puede soportar una muestra de roca intacta antes de fracturarse bajo carga uniaxial (9).
- RMR (Rock Mass Rating): sistema de clasificación geomecánica utilizado para evaluar la calidad del macizo rocoso basado en propiedades como la resistencia de la roca, la orientación de discontinuidades y las condiciones del agua subterránea (9).
- Barra cónica de perforación: herramienta utilizada en minería subterránea para la perforación de rocas, diseñada con una forma cónica para optimizar la transferencia de

energía desde el equipo de perforación hacia la roca, aumentando la eficiencia y reduciendo el desgaste (10).

- Avance lineal: distancia medida en metros que una perforación o excavación avanza en una dirección específica dentro de un turno de trabajo (10).
- Caracterización geomecánica: proceso de evaluación de las propiedades geológicas, estructurales y mecánicas del macizo rocoso con el objetivo de diseñar operaciones mineras seguras y eficientes (10).
- Fragmentación del material: grado de desintegración del material rocoso después de la voladura o perforación, influenciado por los parámetros de operación y la naturaleza del macizo rocoso (10).
- Perforación y voladura: conjunto de procesos empleados para perforar barrenos en la roca y utilizar explosivos para fragmentarla y facilitar su extracción (10).
- Desgaste de barras: reducción de las propiedades funcionales de las barras de perforación debido al contacto con la roca, estrés repetido y abrasión durante su uso (10).
- Anova (análisis de varianza): método estadístico utilizado para analizar las diferencias significativas entre medias de grupos de datos, en este caso, aplicado al rendimiento de diferentes barras de perforación (10).
- Zona de control: área donde se utilizan herramientas y técnicas tradicionales como referencia para comparar resultados con zonas experimentales (10).
- Zona experimental: área de trabajo donde se implementan nuevas herramientas, técnicas o materiales con el propósito de evaluar su impacto en la operación minera (10).
- Tiempo de perforación por barreno: duración promedio empleada para perforar un barreno, desde la colocación de la barra hasta la extracción del material perforado (10).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODOLÓGIA**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Métodos de la investigación**

###### **a) Método general**

La investigación emplea el método científico para analizar sistemáticamente los efectos del cambio de barra cónica de perforación en el avance lineal del Crucero 10236 – S. Este enfoque permite formular hipótesis, realizar experimentos y obtener conclusiones basadas en datos observacionales y experimentales.

###### **b) Método específico**

Se utiliza el método experimental deductivo, ya que la investigación se basa en experimentos controlados para evaluar cómo el cambio de barra cónica influye en el avance lineal. Este método permite analizar los efectos de una intervención en un contexto específico, partiendo de principios generales.

##### **3.1.2 Alcances de la investigación**

###### **a) Tipo de investigación**

Es aplicativo, ya que se enfoca en resolver un problema práctico, en este caso, la mejora del avance lineal del Crucero 10236 – S, en Minera Aurífera Retamas S. A.

###### **b) Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo, ya que busca caracterizar y detallar los efectos del cambio de barra cónica en el avance lineal del Crucero 10236 – S.

## **3.2 Diseño de la investigación**

Es experimental, ya que se implementaron cambios específicos (como el cambio de barra cónica de perforación) para evaluar su impacto en el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

Son todos los Cruceros de Minera Aurífera Retamas S.A.

### **3.3.2 Muestra**

El Crucero 10236 – S del Nv. 2920, de 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 realizará la recolección de datos en campo *in situ*, mediante la técnica observacional y procesamiento de datos actuales de la perforación y voladura, representado por el Crucero 10236 – S del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

Recopilación: la recolección de datos de la perforación, factores y parámetros, control de uso y consumo utilizando programa Excel y hacer uso de tesis, libros y laptop para el procesamiento de los datos.

### **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 Realizar el cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

En el Crucero 10236 – S, Nivel 2920 de la Minera Aurífera Retamas S. A., se ha identificado la necesidad de mejorar el avance lineal para cumplir con los objetivos de desarrollo y extracción. Uno de los factores críticos en este contexto es el uso de barras cónicas de perforación, las cuales influyen significativamente en la eficiencia del proceso. Este trabajo propone realizar un cambio en las barras cónicas de perforación actuales, evaluando su desempeño en términos de avance lineal, reducción de tiempos de ciclo y optimización de costos. El estudio busca implementar una solución técnica que permita no solo incrementar la productividad, sino también mejorar la calidad del proceso de perforación, reduciendo la fatiga de los equipos y asegurando un uso más eficiente de los recursos disponibles.

#### **4.2 Caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920**

La caracterización geomecánica es esencial para optimizar las operaciones de perforación y voladura en el caso del Crucero 10236 – S, Nivel 2920, este análisis fue clave para diseñar estrategias que incrementen el avance lineal y mejoren la productividad operativa.

La caracterización geomecánica mediante mapeo geomecánico 1 y 2 es un proceso esencial en el Crucero 10236 – S, Nivel 2920 para evaluar las condiciones del macizo rocoso y su comportamiento ante actividades desarrollo del Crucero 10236 – S, Nivel 2920. El mapeo geomecánico 1 se enfoca en una inspección general del frente, recolectando información preliminar sobre las discontinuidades, la resistencia del material y las condiciones estructurales. Por otro lado, el mapeo geomecánico 2 implica un análisis detallado, midiendo parámetros

específicos como espaciamiento de fracturas, rugosidad, apertura, llenado y persistencia, que son fundamentales para calcular el índice de calidad del macizo rocoso (RMR o Q). Estos estudios permiten diseñar sostenimientos adecuados, optimizar la perforación y voladura, y garantizar la estabilidad estructural de las labores mineras.

En la siguiente figura se muestra el mapeo geomecánico del Crucero 10236 – S, del Nv. 2920.



En la siguiente figura se muestra el cálculo del RMR para el Crucero 10236 – S, Nivel 2920

**Tabla 6. Cálculo del RMR para el Crucero 10236 – S, Nivel 2920**

| Parámetro                               | Descripción / Condición evaluada  | Rango de valor | Valor asignado |
|---|---|----------------|----------------|
| 1. Resistencia de la roca intacta (MPa) | Resistencia a compresión uniaxial (UCS): 25 – 50 MPa. Clasificación basada en ensayos UCS y datos históricos. | 4 – 7          | 5              |
| 2. RQD (%)                              | Rock Quality Designation: 50% – 70%. Basado en mapeo geológico y testigos de perforación.                     | 13 – 17        | 15             |
| 3. Espaciamiento de discontinuidades    | Espaciamiento promedio entre discontinuidades: 0.2 – 0.6 m. Determinado mediante escaneo estructural.         | 10 – 15        | 12             |
| 4. Condición de las discontinuidades    | Rugosidad media, relleno blando ( $\leq 5$ mm), sin alteración significativa. Observación directa y scanline. | 15 – 20        | 18             |
| 5. Presencia de agua subterránea        | Ligeramente húmedo. Sin flujo significativo de agua en las discontinuidades principales.                      | 4 – 10         | 4              |
| <b>RMR</b>                              |   |                | <b>54</b>      |

*Tomada del Departamento de Geomecánica (11)*

- **Interpretación:**

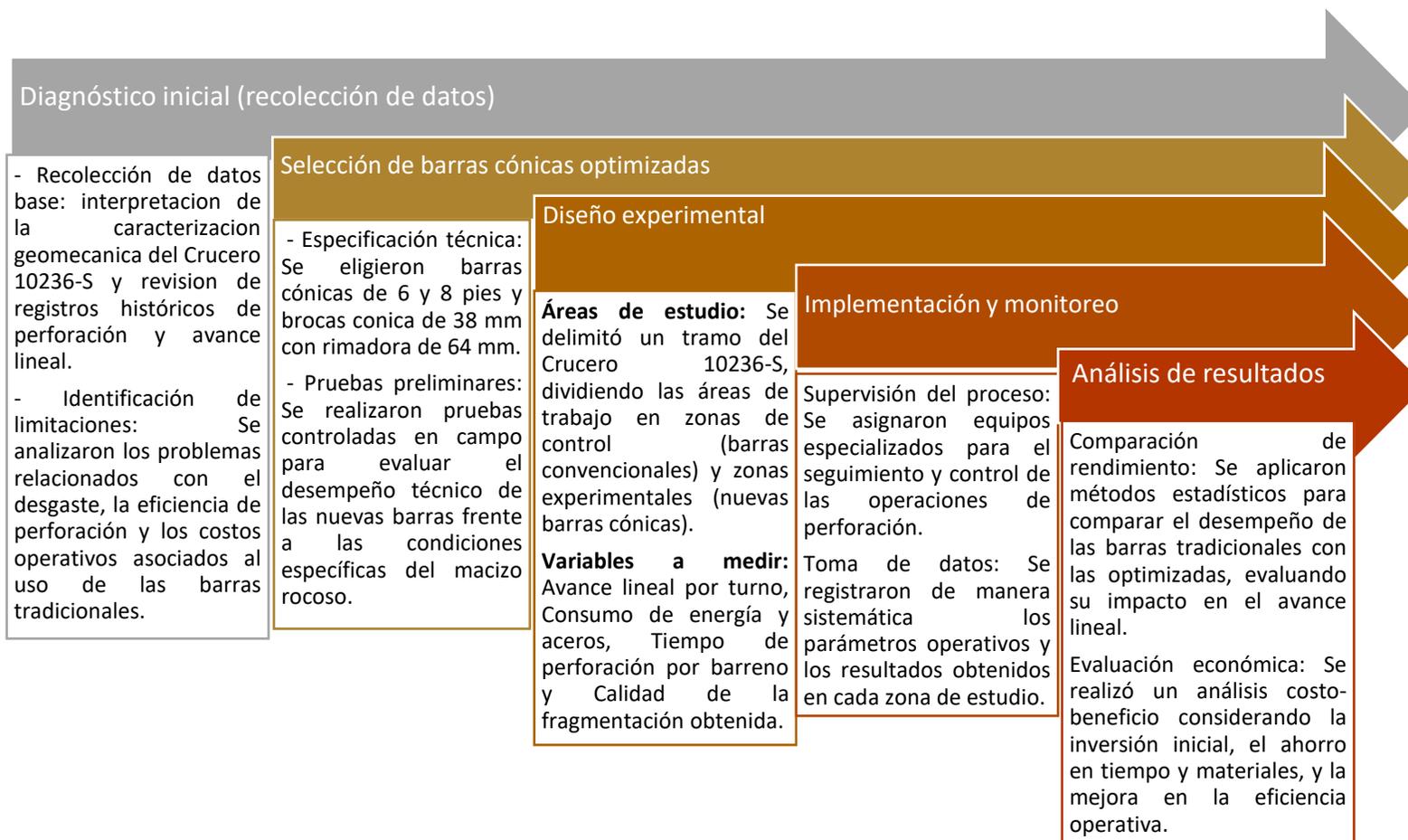
El Crucero 10236 – S, Nivel 2920, cuenta con un RMR de 54, de clase III A, calidad moderada. El macizo presenta estabilidad moderada, pero requiere sostenimiento adicional en zonas específicas con mayor presencia de discontinuidades. El tipo de sostenimiento a emplearse es el sistemático el cual consta de malla electrosoldada, perno *split set* de 7 pies y *shotcrete* de 2 pulgadas.

#### 4.2.1 Evaluación para el cambio de barra cónica de perforación

Optimizar la perforación en el Crucero 10236-S, incluye cinco etapas clave: diagnóstico inicial, donde se analizan datos históricos y limitaciones del uso de barras tradicionales;

selección de barras optimizadas, mediante .especificaciones técnicas y pruebas preliminares con brocas cónicas de mayor resistencia y eficiencia; diseño experimental, que delimita áreas de control y experimentales para medir variables como avance lineal, consumo de energía y calidad de fragmentación; implementación y monitoreo, con supervisión especializada y recolección sistemática de datos; y análisis de resultados, comparando el rendimiento mediante análisis estadísticos y evaluaciones costo-beneficio que destacan mejoras en eficiencia y reducción de costos operativos.

En la siguiente figura se detalla la metodología de la perforación del Crucero 10236 – S del Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.



*Figura 6. Metodología para la perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

Con el objetivo de evaluar el impacto del cambio de barra cónica de perforación en el avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, se diseñó una metodología estructurada, basada en un enfoque experimental, que permite analizar y comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación de barras optimizadas.

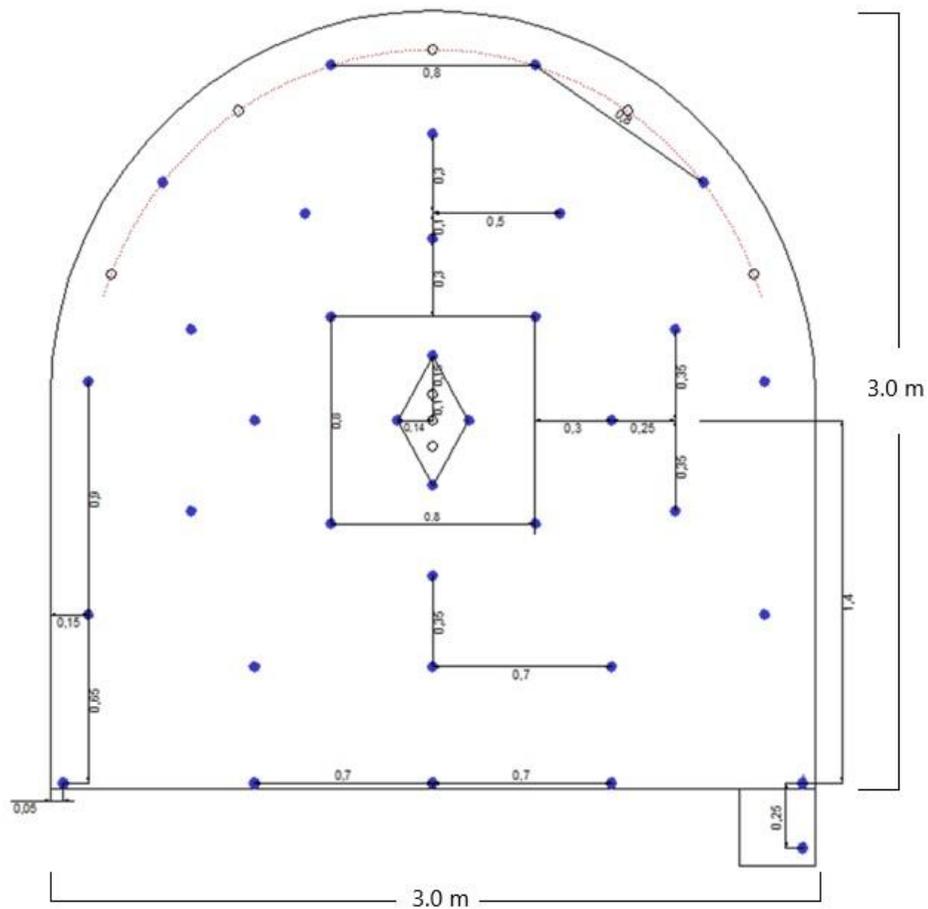
#### **4.2.1.1. Diagnóstico inicial, recolección de datos del Crucero 10236 – S, Nivel 2920**

##### **a) Caracterización geomecánica**

El cálculo del índice de calidad del macizo rocoso (RMR) en el Crucero 10236 – S, Nivel 2920, de la Minera Aurífera Retamas S.A. arrojó un valor de 54, clasificado como Clase III A, indicando una calidad moderada del macizo rocoso. Los parámetros evaluados incluyen la resistencia de la roca intacta, el RQD, el espaciamiento y la condición de las discontinuidades, y la presencia de agua subterránea. Aunque el macizo presenta estabilidad moderada, se requiere sostenimiento adicional en zonas con mayor presencia de discontinuidades. El sostenimiento sistemático recomendado consta de malla electrosoldada, pernos Split Set de 7 pies y *shotcrete* de 2 pulgadas, asegurando la estabilidad necesaria para las operaciones subterráneas.

##### **b) Identificación de limitaciones diagnóstico inicial**

El análisis de perforación y voladura del Crucero 10236 – S permite identificar problemas operativos anticipadamente, optimizando diseños y recursos para mejorar seguridad, eficiencia y reducir costos. Los ajustes continuos garantizan un avance controlado y efectivo según el diseño de la malla.



| DISTRIBUCIÓN DE CARGA      | N° TAL. | CEBO |      | COLUMNA |      | CANTIDAD DE CARTUCHOS |          |        |
|----------------------------|---------|------|------|---------|------|-----------------------|----------|--------|
|                            |         | N°   | TIPO | N°      | TIPO | SEMEXSA               | GELATINA | EXADIT |
| ALIVIO EN EL ARRANQUE      | 3       |      |      |         |      |                       |          |        |
| ALIVIO EN LA CORONA        | 5       |      |      |         |      |                       |          |        |
| ARRANQUE                   | 4       | 1    | G    | 7       | G    | 0                     | 32       | 0      |
| AYUD. ARRANQUE             | 4       | 1    | G    | 7       | S    | 28                    | 4        | 0      |
| PRODUCCION                 | 8       | 1    | S    | 6       | E    | 8                     | 0        | 48     |
| CUADRADORES                | 4       | 1    | S    | 6       | E    | 4                     | 0        | 24     |
| AYUD. ARRASTRES            | 3       | 1    | S    | 6       | S    | 21                    | 0        | 0      |
| ARRASTRES                  | 5       | 1    | G    | 7       | S    | 35                    | 5        | 0      |
| AYUD. CORONAS              | 3       | 1    | S    | 7       | E    | 3                     | 0        | 21     |
| CORONAS                    | 4       | 1    | E    | 6       | E    | 0                     | 0        | 28     |
| CUNETETA                   | 1       | 1    | G    | 6       | S    | 6                     | 1        | 0      |
| TOTAL DE CARTUCHOS (UNID.) |         |      |      |         |      | 105                   | 42       | 121    |
| TOTAL DE EXPLOSIVO (KG)    |         |      |      |         |      | 8.505                 | 3.696    | 9.196  |

| DATOS GENERALES                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| SECCIÓN :                        | 3.0 x 3.0     |
| TIPO                             | REGULAR III A |
| LONG. PERF :                     | 6             |
| AVANCE EFECTIVO (90%)            | 1.4           |
| FACTOR DE CARGA LINEAL (Kg/m)    | 15.60         |
| N° TALADROS :                    | 44            |
| TAL. CARGADOS :                  | 36            |
| ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS          |               |
| IGNITER CORD                     | 15 m          |
| MECHA RAPIDA                     | 2 Unid.       |
| CORDON DETONANTE                 | 30 m          |
| NONEL                            | 36 uni.       |
| GELATINA 7/8 X 7                 | 42 cart.      |
| SEMEXSA 7/8 X 7                  | 105 cart.     |
| EXADIT 7/8 X 7                   | 121 cart.     |
| NUMERO DE CARTUCHOS              | 268 cart.     |
| TOTAL DE KILOGRAMOS POR DISPAROS | 21.397        |

Figura 7. Diagnóstico inicial del diseño de malla de perforación y voladura del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)

### **c) Principales inconvenientes identificados en el diagnóstico inicial**

En el Crucero 10236-S, Nivel 2920, se ha detectado una deficiencia en el avance lineal atribuida al diseño de la malla de perforación y voladura. Esta situación surge debido a una insuficiente densidad de taladros, profundidad inadecuada de perforación, y mala distribución de taladros de voladura, lo que genera una fragmentación deficiente y ciclos de limpieza más prolongados. Estas limitaciones afectan la productividad y aumentan los costos operativos. Para solucionar esta deficiencia, es crucial ajustar el diseño de la malla optimizando parámetros como el espaciamiento, la carga explosiva y la secuencia de salida de los taladros, considerando las condiciones geomecánicas del macizo.

#### **• Análisis del avance deficiente en el Crucero 10236-S, Nivel 2920**

La voladura realizada en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, arrojó los siguientes resultados:

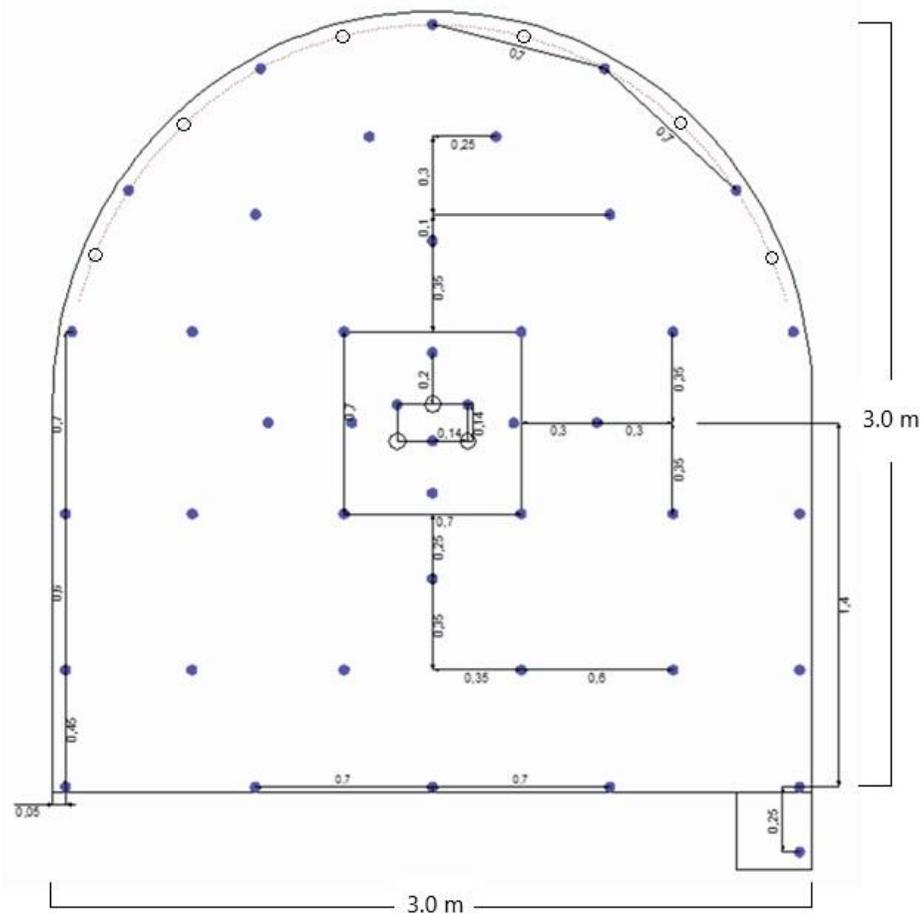
- ✓ Tipo de material: Desmonte.
- ✓ Volumen extraído: 10.87 m<sup>3</sup>.
- ✓ Avance alcanzado por disparo: 1.20 metros.
- ✓ Cantidad de explosivos empleados: 21.397 kg.
- ✓ Factor de carga lineal: 15.60 kg/m.

A pesar de haberse realizado la voladura conforme a los parámetros establecidos, el avance alcanzado es significativamente menor al esperado, evidenciando una deficiencia en el rendimiento del diseño y ejecución del proceso de perforación y voladura. Este resultado subóptimo tiene implicaciones directas en la productividad de las operaciones, el consumo de recursos y los costos operativos.

### **4.2.1.2. Selección de barra cónica optimizada estado de mejora**

#### **a) Especificación técnica**

El cambio de barras cónicas de 6 pies a 8 pies representa una estrategia clave para optimizar el proceso de perforación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920. Esta modificación se fundamenta en la necesidad de mejorar el avance lineal, reducir los tiempos operativos y maximizar la eficiencia del equipo de perforación, ajustándose a las características del macizo rocoso y las exigencias operativas.



| DISTRIBUCIÓN DE CARGA      | N° TAL. | CEBO |      | COLUMNA |      | CANTIDAD DE CARTUCHOS |          |        |
|----------------------------|---------|------|------|---------|------|-----------------------|----------|--------|
|                            |         | N°   | TIPO | N°      | TIPO | SEMEXSA               | GELATINA | EXADIT |
| ALIVIO EN EL ARRANQUE      | 3       |      |      |         |      |                       |          |        |
| ALIVIO EN LA CORONA        | 6       |      |      |         |      |                       |          |        |
| ARRANQUE                   | 7       | 1    | G    | 10      | G    | 0                     | 77       | 0      |
| AYUD.ARRANQUE              | 4       | 1    | G    | 9       | G    | 0                     | 40       | 0      |
| PRODUCCION                 | 8       | 1    | G    | 7       | G    | 0                     | 64       | 0      |
| CUADRADORES                | 4       | 1    | G    | 7       | S    | 28                    | 4        | 0      |
| AYUD. CORONAS              | 4       | 1    | G    | 7       | S    | 28                    | 4        | 0      |
| CORONAS                    | 7       | 1    | G    | 6       | S    | 42                    | 7        | 0      |
| AYUD ARRASTRES             | 4       | 1    | G    | 7       | S    | 28                    | 4        | 0      |
| ARRASTRES                  | 5       | 1    | G    | 8       | S    | 40                    | 5        | 0      |
| CUNETETA                   | 1       | 1    | G    | 6       | S    | 6                     | 1        | 0      |
| TOTAL DE CARTUCHOS (UNID.) |         |      |      |         |      | 172                   | 206      | 0      |
| TOTAL DE EXPLOSIVO (KG)    |         |      |      |         |      | 13.932                | 18.128   | 0      |

| DATOS GENERALES                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| SECCIÓN :                           | 3.0 x 3.0     |
| TIPO                                | REGULAR III A |
| LONG. PERF :                        | 8             |
| Diametro taladro de alivio (mm)     | 38            |
| Diametro taladro de produccion (mm) | 64            |
| AVANCE EFECTIVO (90%)               | 2.0           |
| FACTOR DE CARGA LINEAL (Kg/m)       | 16.33         |
| N° TALADROS :                       | 53            |
| TAL. CARGADOS :                     | 44            |

| ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS          |           |
|----------------------------------|-----------|
| IGNITER CORD                     | 15 m      |
| MECHA RAPIDA                     | 2 Unid.   |
| CORDON DETONANTE                 | 30 m      |
| NONEL                            | 44 uni.   |
| GELATINA 7/8 X 7                 | 206 cart. |
| SEMEXSA 7/8 X 7                  | 172 cart. |
| EXADIT 7/8 X 7                   | 0 cart.   |
| NUMERO DE CARTUCHOS              | 378 cart. |
| TOTAL DE KILOGRAMOS POR DISPAROS | 32.06     |

Figura 8. Diagnóstico de mejora del diseño de malla de perforación y voladura del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)

- **Interpretación**

Como resultado de la voladura efectuada en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, se registraron los siguientes datos:

- Tipo de material: desmante.
- Volumen extraído: 17.96 m<sup>3</sup>.
- Avance logrado por disparo: 2.0 metros.
- Cantidad de explosivos utilizados: 32.06 kg.
- Factor de carga lineal: 16.33 kg/m.

El avance obtenido se considera eficiente, lo que refleja una mejora significativa en los parámetros de perforación y voladura. Este resultado resalta la optimización del proceso y garantiza una mayor efectividad en las futuras operaciones.

#### **4.2.1.3.Diseño experimental**

##### **a) Áreas de estudio**

- **Zona de control del estado situacional**

En la zona de control del Crucero 10236-S, Nivel 2920, el uso de barras cónicas de 6 pies resultó en un avance lineal limitado de 1.2 metros por disparo, lo que representó una eficiencia de avance del 80 %. Esta baja eficiencia puede atribuirse a la profundidad insuficiente alcanzada por las perforaciones, lo que afectó directamente la efectividad de la voladura.

El diseño de la malla de perforación no logró optimizar la distribución de energía explosiva, lo que resultó en una fragmentación menos uniforme. Además, la menor profundidad de perforación condujo a un uso ineficiente de los explosivos, ya que no se alcanzó la máxima capacidad de carga explosiva en la voladura. Todo esto generó tiempos improductivos en las operaciones y aumentando los costos operativos debido a la menor productividad y la necesidad de un mayor esfuerzo en la carga y transporte del material fragmentado.

- **Zona experimental del estado de mejora**

En la zona experimental, se implementó el cambio a barras cónicas de 8 pies, lo que permitió realizar perforaciones más profundas y alcanzar una mayor longitud en cada disparo. Esto resultó en un avance lineal de 2 metros por disparo, alcanzando una eficiencia de avance del 90%. Este cambio no solo incrementó el avance en comparación con las barras de 6 pies, sino que también mejoró significativamente la calidad de la fragmentación.

Al aumentar la profundidad de perforación, la carga explosiva se distribuyó de manera más eficiente, generando una fragmentación más uniforme y adecuada para los siguientes procesos de carga y transporte. Los ciclos de limpieza se redujeron considerablemente, lo que permitió un avance más rápido y menos interrupciones operativas. Además, la optimización en el uso de explosivos contribuyó a una reducción en los costos, ya que se logró una mayor eficiencia en el consumo de explosivos y otros insumos. La mejora en la eficiencia del proceso también se traduce en una reducción de los tiempos de inactividad, lo que mejora la productividad general de la operación.



#### 4.2.1.4. Implementación y monitoreo

Las mejoras realizadas en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, se llevaron a cabo mediante una evaluación comparativa entre dos escenarios de perforación: una con barra cónica de 6 pies en el estado situacional y otra con barra cónica de 8 pies en el estado de mejora.

Se identificaron las ventajas operativas y económicas derivadas de la implementación de las barras de mayor longitud, con un enfoque especial en la optimización de parámetros de perforación y voladura. Para ello, se utilizó un enfoque estructurado en la supervisión del proceso, medición sistemática de datos clave y análisis detallado de resultados.

La siguiente tabla se resume la comparativa de las ventajas operativas y económicas en el desarrollo del Crucero 10236-S, Nivel 2920

**Tabla 7. Comparativa de las ventajas operativas y económicas en el desarrollo del Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| Aspecto                    | Zona de control estado situacional (barra cónica de 6 pies)         | Zona experimental estado de mejora (barra cónica de 8 pies) |
|----------------------------|---|---|
| Supervisión del proceso    | Supervisión básica de parámetros estándar.                          | Enfoque estructurado con inspecciones regulares.            |
| Medición del avance lineal | Avance limitado: 1.2 metros por disparo.                            | Avance mejorado: 2.0 metros por disparo.                    |
| Consumo de explosivos      | Uso ineficiente: no se alcanzó máxima capacidad de carga explosiva. | Uso optimizado: mejor distribución de energía explosiva.    |
| Fragmentación del material | Fragmentación irregular y no uniforme.                              | Fragmentación uniforme y adecuada.                          |
| Tiempos operativos         | Ciclos prolongados de limpieza y transporte.                        | Reducción de tiempos improductivos.                         |
| Costos operativos          | Altos costos por menor productividad.                               | Reducción de costos y mayor eficiencia.                     |
| Impacto del monitoreo      | Limitado, con escasa identificación de problemas.                   | Identificación temprana y corrección de desviaciones.       |
| Análisis de resultados     | Datos insuficientes para optimizaciones futuras.                    | Datos detallados que respaldan mejoras repetibles.          |

*Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

- **Interpretación**

La comparación entre el escenario situacional con barras cónicas de 6 pies y el escenario de mejora con barra cónica de 8 pies, demuestra mejoras significativas en la zona experimental, incluyendo un mayor avance lineal de 2.0 m por disparo, optimización en el uso de explosivos, fragmentación uniforme y reducción de tiempos y costos operativos. Además, un monitoreo más efectivo permitió identificar y corregir desviaciones, generando datos detallados para futuras optimizaciones. Estos resultados destacan la eficiencia y beneficios operativos de implementar barras de mayor longitud.

#### 4.2.1.5. Análisis de resultados

Este análisis tiene como objetivo evaluar el impacto de las barras de mayor longitud en aspectos clave del proceso, como el volumen extraído, el avance por disparo, el consumo de explosivos y la eficiencia general. Los resultados reflejan mejoras significativas en la zona experimental, destacando la optimización de recursos, un avance lineal superior y una fragmentación más uniforme del material, lo que subraya la efectividad de las barras cónicas de 8 pies en operaciones mineras subterráneas.

**Tabla 8. Comparación de resultados en el desarrollo del Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| Aspecto                            | Zona de control estado situacional (barra cónica de 6 pies)     | Zona experimental estado de mejora (barra cónica de 8 pies) |
|------------------------------------|---|---|
| Tipo de material                   | Desmante  | Desmante  |
| Volumen extraído (m <sup>3</sup> ) | 10.87   | 17.96   |
| Avance por disparo (m)             | 1.20  | 2.0   |
| Cantidad de explosivos (kg)        | 21.397  | 32.06   |
| Factor de carga lineal (kg/m)      | 15.60   | 16.33   |
| Eficiencia general                 | Menor avance, fragmentación irregular y mayor consumo relativo. | Mejor avance, optimización de recursos y mayor efectividad. |

*Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

- **Interpretación**

La implementación de barras cónicas de 8 pies en el estado de mejora mostró mejoras significativas en comparación con el estado situacional. Se logró un mayor avance por disparo de 2.0 m a comparación con el escenario actual de 1.20 m y un incremento en el volumen

extraído de 17.66 m<sup>3</sup> a comparación con el escenario actual de 10.80 m<sup>3</sup>, optimizando el uso de explosivos y reduciendo costos operativos.

### **4.3 Realizar el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

#### **4.3.1 Comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.**

El análisis del avance lineal en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 se centra en comparar parámetros clave como el avance lineal promedio, tiempo de perforación por barreno, eficiencia de perforación, consumo de barras cónicas y calidad de fragmentación. Los resultados del análisis evalúan el impacto en la productividad, reducción de costos operativos y viabilidad económica, proporcionando una interpretación integral que vincula el desempeño técnico con los beneficios económicos para optimizar la perforación en minería subterránea.

En la siguiente figura se detalla la metodología para la comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236-S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S. A.



**Figura 10. Metodología de la comparación del incremento del avance lineal del Crucero 10236 - S, Nivel 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)**

La comparación del incremento en el avance lineal permitió evaluar de forma integral el impacto del cambio de barras cónicas de perforación convencionales a barras optimizadas. Este análisis identificó mejoras notables en la eficiencia operativa, la productividad y los costos, aspectos críticos para las operaciones subterráneas.

#### 4.3.1.1. Parámetros de comparación

a) Parámetros de comparación de la situación actual del Crucero 10236 - S, Nivel 2920

- Situación actual de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236-S, Nivel 2920

A continuación, se presenta una tabla que detalla la información de los 25 disparos efectuados en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, antes de implementar las mejoras sugeridas.

**Tabla 9. Estado situacional de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| Longitud de barra (m)        |                           | 6 pies              |                           |              |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|
| Densidad (t/m <sup>3</sup> ) |                           | 3                   |                           |              |
| Nº de disparos               | Eficiencia de disparo (%) | Avance efectivo (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Tonelaje (t) |
| 1                            | 75%                       | 1.23                | 11.07                     | 33.21        |
| 2                            | 80%                       | 1.22                | 10.98                     | 32.94        |
| 3                            | 75%                       | 1.25                | 11.25                     | 33.75        |
| 4                            | 80%                       | 1.18                | 10.62                     | 31.86        |
| 5                            | 75%                       | 1.25                | 11.25                     | 33.75        |
| 6                            | 85%                       | 1.18                | 10.62                     | 31.86        |
| 7                            | 80%                       | 1.18                | 10.62                     | 31.86        |
| 8                            | 75%                       | 1.21                | 10.89                     | 32.67        |
| 9                            | 80%                       | 1.21                | 10.89                     | 32.67        |
| 10                           | 75%                       | 1.20                | 10.80                     | 32.40        |
| 11                           | 80%                       | 1.19                | 10.71                     | 32.13        |
| 12                           | 85%                       | 1.16                | 10.44                     | 31.32        |
| 13                           | 75%                       | 1.21                | 10.89                     | 32.67        |
| 14                           | 75%                       | 1.23                | 11.07                     | 33.21        |
| 15                           | 80%                       | 1.25                | 11.25                     | 33.75        |
| 16                           | 85%                       | 1.19                | 10.71                     | 32.13        |
| 17                           | 75%                       | 1.18                | 10.62                     | 31.86        |
| 18                           | 80%                       | 1.23                | 11.07                     | 33.21        |
| 19                           | 85%                       | 1.22                | 10.98                     | 32.94        |
| 20                           | 80%                       | 1.17                | 10.53                     | 31.59        |
| 21                           | 80%                       | 1.16                | 10.44                     | 31.32        |
| 22                           | 80%                       | 1.24                | 11.16                     | 33.48        |
| 23                           | 85%                       | 1.20                | 10.80                     | 32.40        |
| 24                           | 85%                       | 1.22                | 10.98                     | 32.94        |
| 25                           | 80%                       | 1.23                | 11.07                     | 33.21        |
| Total                        | 80%                       | 1.21                | 10.87                     | 32.61        |

- **Interpretación**

Los 25 disparos realizados con barras cónicas de 6 pies muestran un rendimiento promedio que evidencia limitaciones significativas en el proceso de avance. Con un avance efectivo de 1.21 metros por disparo, se observó una eficiencia de perforación del 80 %, lo que sugiere que una parte considerable de la energía aplicada durante el proceso no fue aprovechada de manera óptima. Además, el tonelaje extraído se limitó a 32.61 toneladas, lo que indica una fragmentación subóptima del material y posibles inconsistencias en la distribución de la energía explosiva.

Esto evidencia la necesidad de implementar mejoras operativas de perforación, como el uso de barras cónicas de mayor longitud, para maximizar la eficiencia operativa y garantizar un proceso más rentable y efectivo.

- **Situación actual del análisis de la sobre rotura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

El análisis de la sobre rotura observado tras los disparos en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, se presenta a continuación. La figura correspondiente resalta las zonas impactadas y los parámetros clave considerados durante la evaluación.



*Figura 11. Situación actual de la sobre rotura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920  
Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

- **Interpretación**

Un diseño inadecuado de la malla de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, resultó en una disposición desorganizada de los taladros. Esto generó sobreroturas considerables: un 14 % en los hastiales y un 10 % en la corona. Estas desviaciones

incrementaron las dimensiones de la sección planificada de 3.0 x 3.0 metros a 3.4 x 3.35 metros, comprometiendo la estabilidad estructural y aumentando los costos operativos debido al mayor consumo de explosivos y recursos. En consecuencia, la eficiencia del proceso se vio significativamente afectada.

**b) Estado óptimo del análisis de la sobre rotura en el Crucero 10236 -S, Nivel 2920**

El análisis optimizado en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, evidenció una reducción significativa de la sobre rotura, mejorando la estabilidad estructural y disminuyendo costos operativos. Esto destaca la relevancia de una planificación y ejecución precisa en perforación y voladura para lograr mayor eficiencia.

- **Situación óptimo de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236 -S, Nivel 2920**

A continuación, se presenta una tabla que detalla la información de los 25 disparos efectuados en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, después de implementar las mejoras sugeridas.

**Tabla 10. Estado óptimo de los últimos 25 disparos en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| Longitud de barra (m)        |                           | 8 pies              |                           |              |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|
| Densidad (t/m <sup>3</sup> ) |                           | 3                   |                           |              |
| Nº de disparos               | Eficiencia de disparo (%) | Avance efectivo (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Tonelaje (t) |
| 1                            | 90%                       | 2.01                | 18.05                     | 54.14        |
| 2                            | 90%                       | 1.90                | 17.10                     | 51.30        |
| 3                            | 85%                       | 2.02                | 18.14                     | 54.41        |
| 4                            | 90%                       | 2.00                | 18.00                     | 54.00        |
| 5                            | 90%                       | 1.90                | 17.10                     | 51.30        |
| 6                            | 85%                       | 2.04                | 18.32                     | 54.95        |
| 7                            | 88%                       | 2.00                | 18.00                     | 54.00        |
| 8                            | 90%                       | 1.95                | 17.51                     | 52.52        |
| 9                            | 88%                       | 1.94                | 17.42                     | 52.25        |
| 10                           | 90%                       | 2.04                | 18.32                     | 54.95        |
| 11                           | 85%                       | 1.95                | 17.55                     | 52.65        |
| 12                           | 90%                       | 1.95                | 17.51                     | 52.52        |
| 13                           | 92%                       | 2.01                | 18.05                     | 54.14        |
| 14                           | 90%                       | 2.00                | 17.96                     | 53.87        |
| 15                           | 90%                       | 1.90                | 17.10                     | 51.30        |
| 16                           | 90%                       | 2.10                | 18.90                     | 56.70        |
| 17                           | 90%                       | 2.01                | 18.05                     | 54.14        |
| 18                           | 92%                       | 1.96                | 17.60                     | 52.79        |
| 19                           | 92%                       | 1.95                | 17.51                     | 52.52        |
| 20                           | 92%                       | 2.01                | 18.05                     | 54.14        |
| 21                           | 92%                       | 2.10                | 18.90                     | 56.70        |
| 22                           | 92%                       | 2.02                | 18.14                     | 54.41        |

|       |     |      |       |       |
|-------|-----|------|-------|-------|
| 23    | 90% | 2.10 | 18.90 | 56.70 |
| 24    | 92% | 2.10 | 18.90 | 56.70 |
| 25    | 92% | 2.00 | 18.00 | 54.00 |
| Total | 90% | 2.00 | 17.96 | 53.88 |

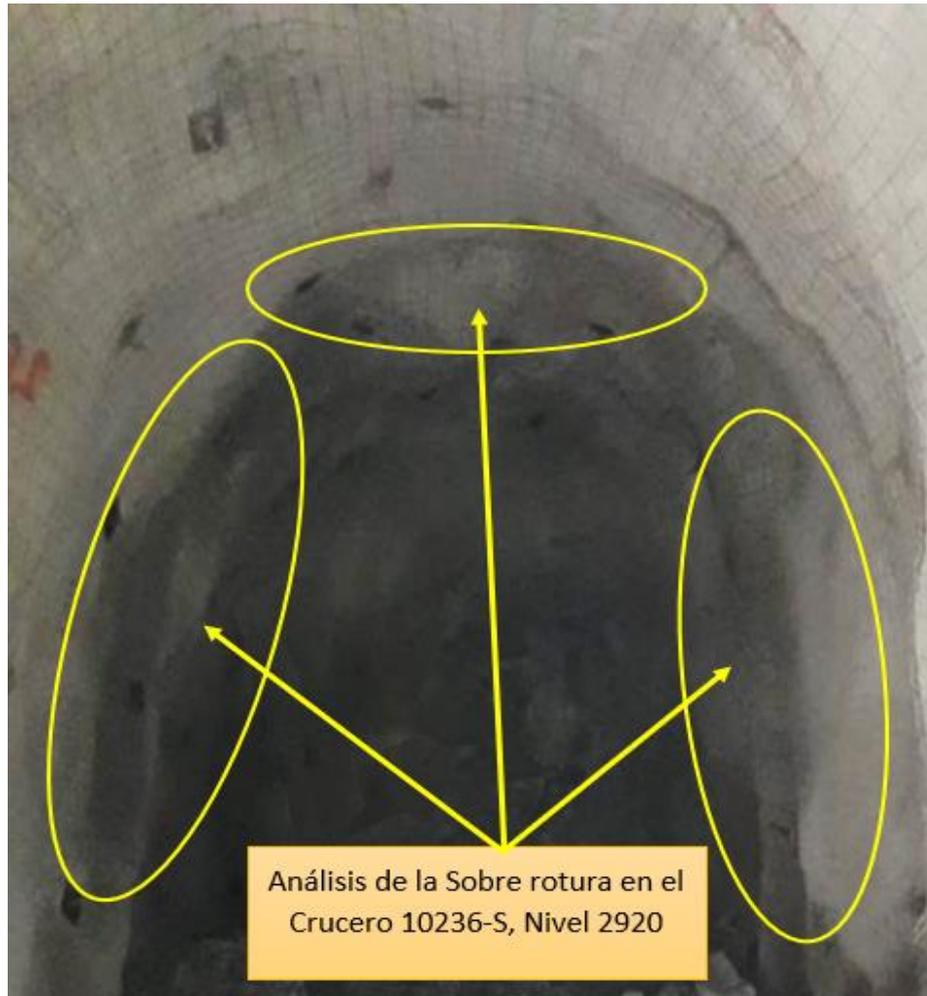
- **Interpretación**

En promedio, los quince disparos realizados utilizando barras de 8 pies evidenciaron un avance efectivo de 2 metros, lo que representa una mejora significativa en comparación con las condiciones previas. Esta configuración alcanzó una eficiencia de perforación del 90 %, optimizando el proceso al movilizar un tonelaje total de 53.88 toneladas.

Este incremento en el rendimiento no solo responde a las necesidades técnicas del desarrollo del Crucero 10236-S, Nivel 2920, sino que también contribuye a mejorar la planificación operativa al reducir el tiempo necesario para completar el avance. Además, los resultados obtenidos reflejan la eficacia de los ajustes implementados en los parámetros de perforación y voladura, permitiendo un uso más racional de recursos y una mayor estabilidad estructural, lo que fortalece tanto la productividad como la sostenibilidad operativa.

- **Situación óptima del análisis de la sobre rotura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920**

Tras el disparo, se llevó a cabo un análisis detallado de la fragmentación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, cuyos resultados se detallan en la figura siguiente:



*Figura 12. Estado óptimo de la sobre rotura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920  
Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

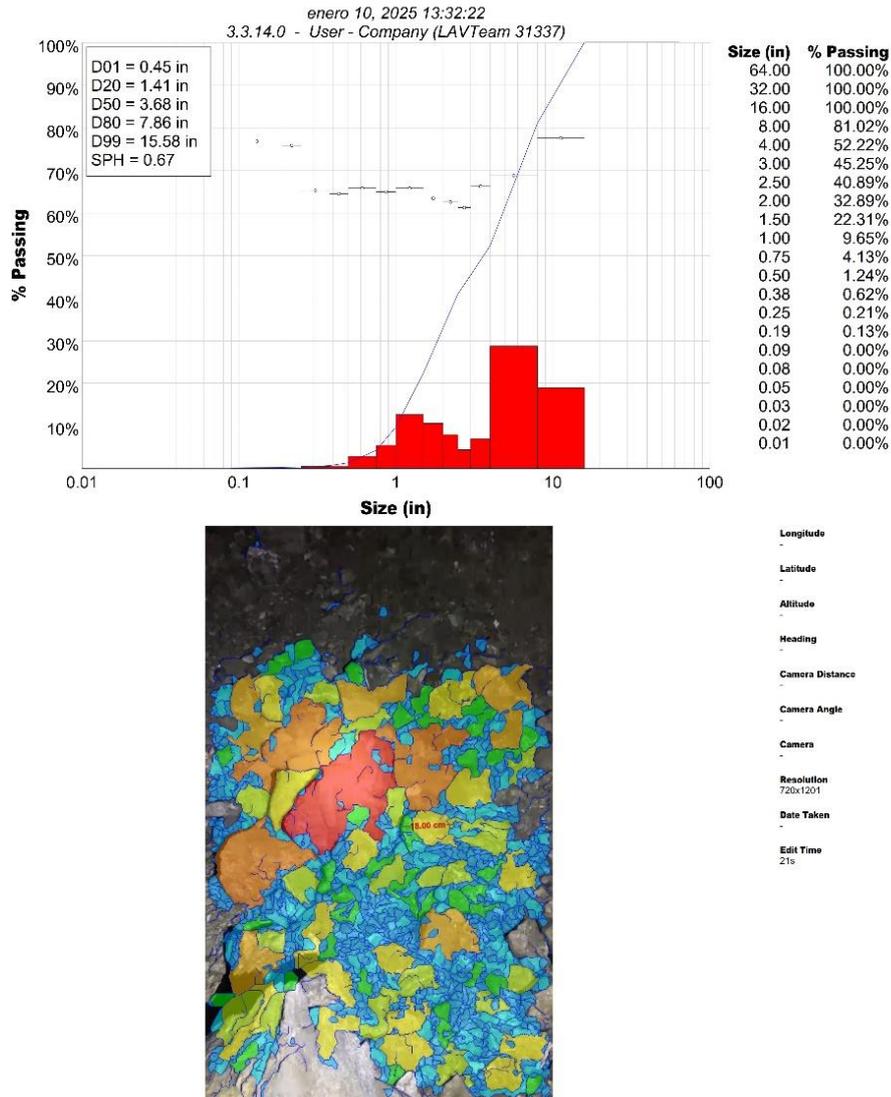
- **Interpretación**

La correcta marcación de la malla de perforación y voladura y los taladros de recorte en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 permitió una distribución optimizada de los taladros, logrando una reducción significativa de la sobrerotura a un 3 % en los hastiales y un 4 % en la corona. Esto resultó en una sección final de 3.10 x 3.12 metros, cercana a las dimensiones planificadas de 3.0 x 3.0 metros. Estas mejoras contribuyeron a una mayor estabilidad estructural de la labor, al tiempo que disminuyeron los costos operativos gracias a un menor consumo de explosivos por metro lineal, generando un impacto positivo en la eficiencia del proceso.

#### **4.3.1.2.Resultados del análisis**

a) Situación actual del análisis de la fragmentación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920

Posterior al disparo, se realizó un análisis exhaustivo de la fragmentación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920. Los resultados obtenidos se muestran en la figura correspondiente.



**Figura 13. Situación actual de la fragmentación en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

**• Interpretación**

La curva granulométrica revela una fragmentación deficiente, donde el 50 % del material pasa por una malla de 3.68" y el P80 corresponde a una malla de 7.86". Esto evidencia una distribución ineficaz de la energía explosiva, resultando en fragmentos de gran tamaño que dificultan las operaciones en el Crucero 10236-S, Nivel 2920.

**b) Situación óptima del análisis de la fragmentación en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

Tras el disparo, se llevó a cabo un análisis detallado de la fragmentación en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, cuyos resultados se detallan en la figura siguiente.

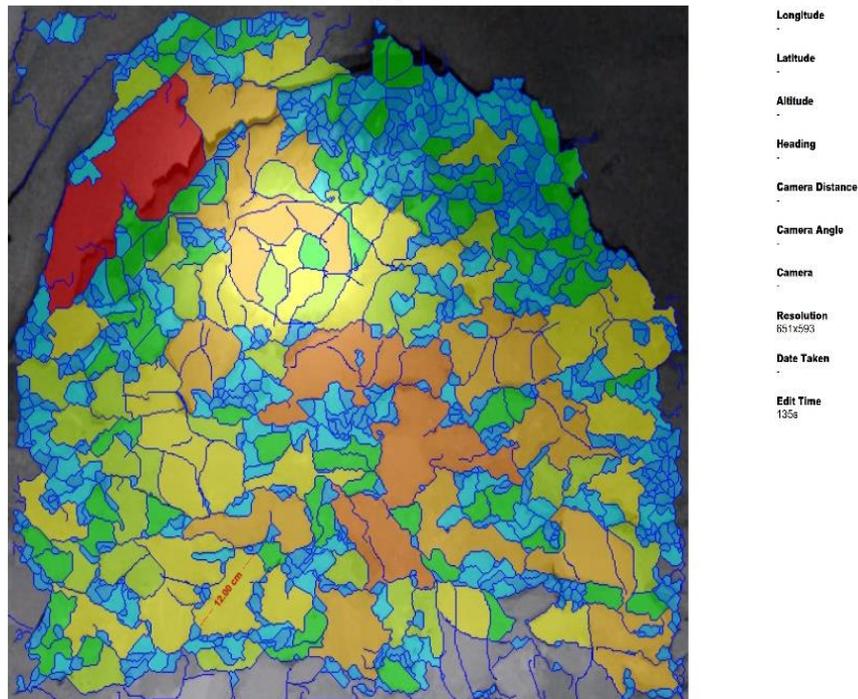
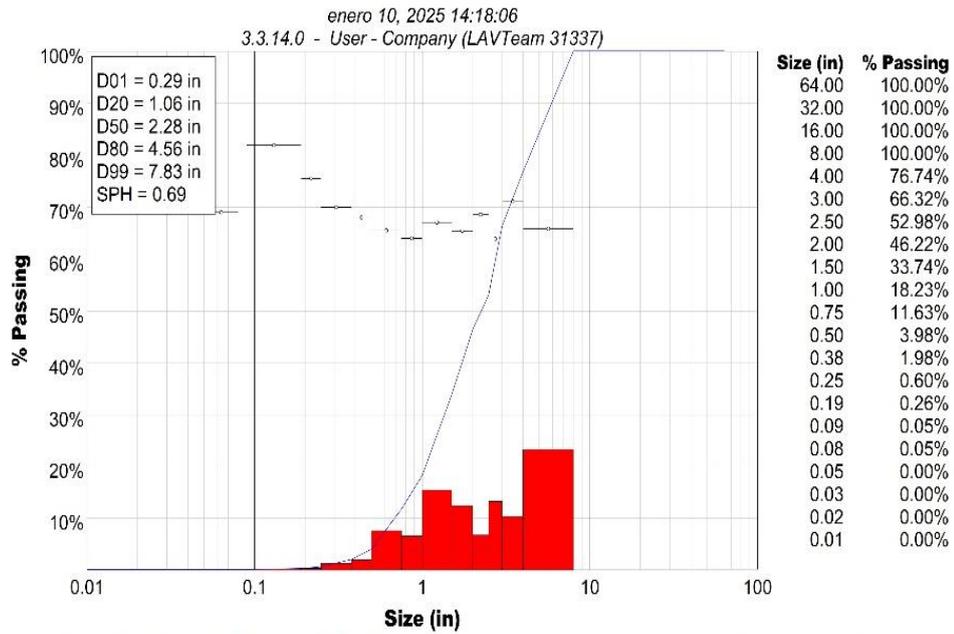


Figura 14. Situación óptima de la fragmentación en el Crucero 10236- S, Nivel 2920

- **Interpretación**

La curva granulométrica refleja una fragmentación adecuada, con un 50 % del material pasando por una malla de 2.28" y un P80 cruzando una malla de 4.56". Estos resultados evidencian una distribución efectiva de la energía de los explosivos, produciendo fragmentos con dimensiones óptimas para las operaciones de carguío y transporte del material extraído en el Crucero 10236-S, Nivel 2920.

### 4.3.1.3. Interpretación de resultados

- a) Evaluación del costo actual de perforación y voladura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920
- A continuación, se describen los parámetros vigentes de perforación y voladura en el escenario actual.

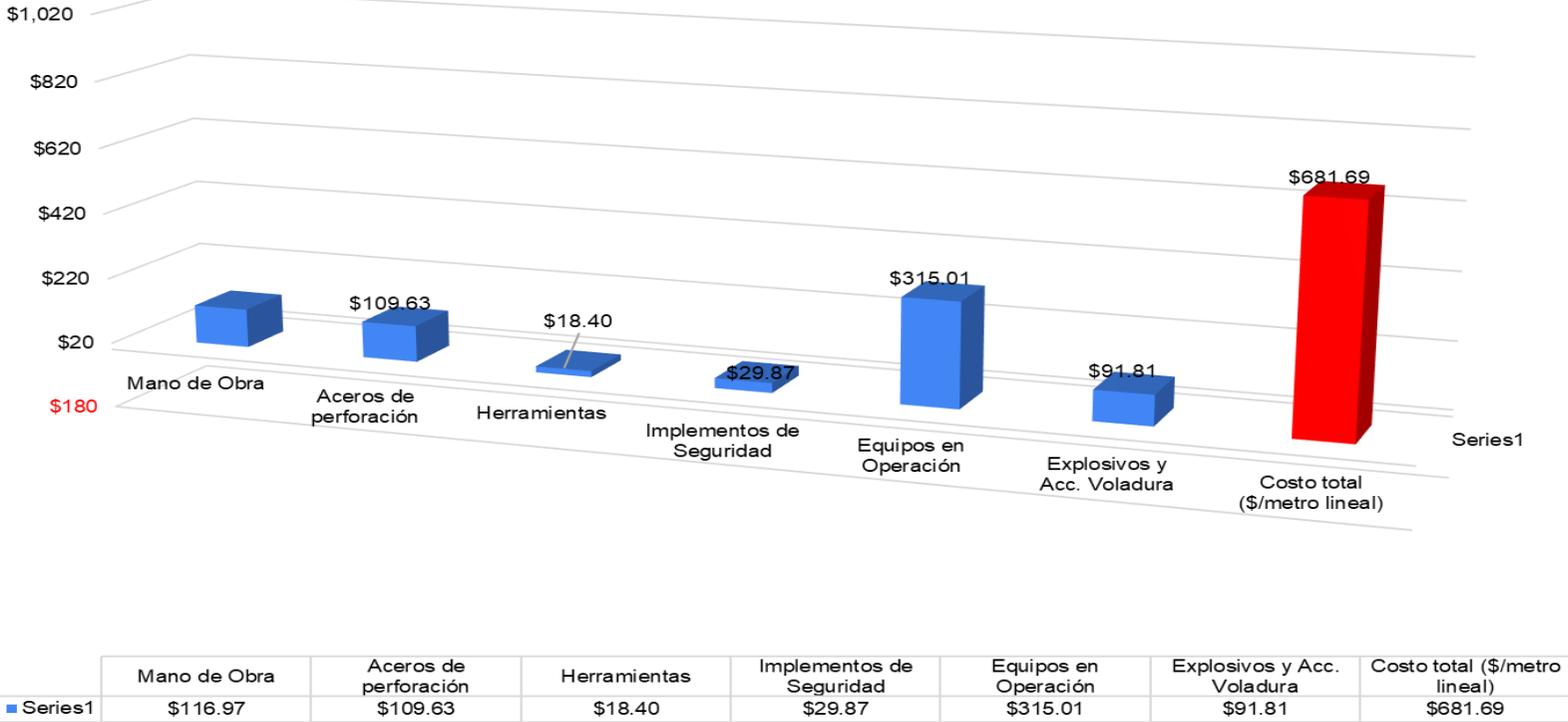
**Tabla 11. Estado situacional del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| <b>Labores 3.0 m x 3.0 m</b>  |            |      |
|---|------------|------|
| <b>Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35</b> |            |      |
| <b>Datos Técnicos:</b>  |            |      |
| Tipo de roca  | Media      |      |
| Ancho labor   | 3.0        | m    |
| Alto labor:   | 3.0        | m    |
| Longitud Barra (pie)  | 6.0        | pies |
| Nº Taladro Frente   | 44         | tal  |
| Nº Taladro Cargados   | 36         | tal  |
| Factor de carga:  | 15.6       | Kg/m |
| kg explosivo  | 21.397     | Kg   |
| Eficiencia de Perforacion   | 80%        |      |
| Eficiencia de disparo   | 80%        |      |
| Longitud de carga   | 0.98       | m    |
| Avance efectivo   | <b>1.2</b> | m    |
| m³ / Disparado  | 10.53      | m3   |
| Longitud de avance de perforación   | 1.5        | mts  |
| kilogramos/ taladro   | 0.59       |      |

En el Anexo 3 se logra apreciar el detallado del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 del estado situacional.

La figura siguiente muestra el resumen de los costos totales de perforación y voladura de la situación actual.

**Escenario situacional del costo Crucero 10236-S, Nivel 2920**



**Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual del Crucero 10236 - S, Nivel 2920 Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)**

- **Interpretación**

El costo de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, asciende a 681.69 dólares americanos por metro lineal, considerando mano de obra, equipos, explosivos y otros insumos necesarios. Este monto evidencia importantes ineficiencias en el proceso, tales como un diseño inadecuado de la malla de perforación, la elección inapropiada de explosivos y errores en la ejecución, lo que ocasiona sobre roturas, una fragmentación ineficaz y un mayor consumo de recursos.

**b) Evaluación del costo optimizado de la perforación y voladura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

A continuación, se describen los parámetros vigentes de perforación y voladura en el escenario optimizado.

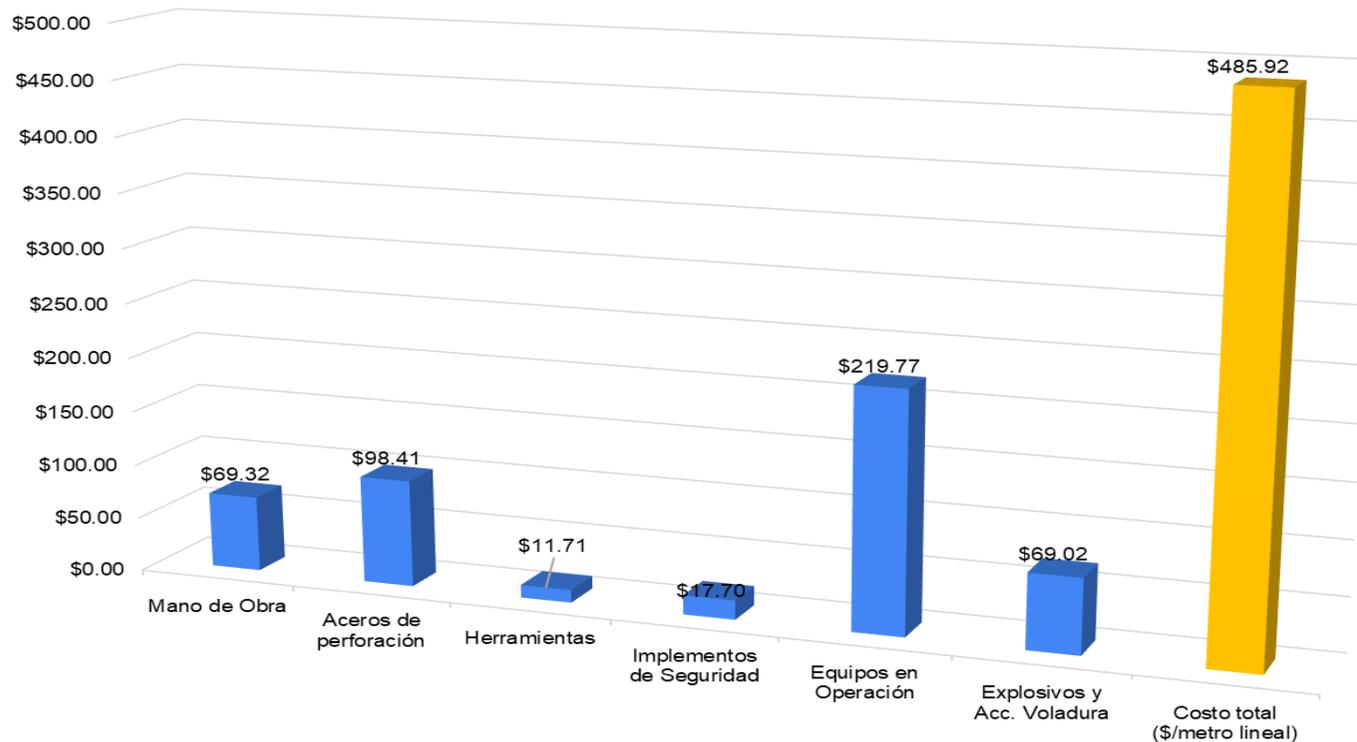
**Tabla 12. Estado optimizado del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| Labores 3.0 m x 3.0 m  |        |      |
|--|--------|------|
| Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35 |        |      |
| <b>Datos Técnicos:</b>   |        |      |
| Tipo de roca   | Media  |      |
| Ancho labor  | 3.0    | m    |
| Alto labor:  | 3.0    | m    |
| Longitud Barra (pie)   | 8.0    | pies |
| Nº Taladro Frente  | 53     | tal  |
| Nº Taladro Cargados  | 44     | tal  |
| Factor de carga:   | 16.3   | Kg/m |
| kg explosivo   | 32.060 | Kg   |
| Eficiencia de Perforacion  | 90%    |      |
| Eficiencia de disparo  | 90%    |      |
| Longitud de carga  | 1.46   | m    |
| Avance efectivo  | 2.0    | m    |
| m³ / Dispirado   | 17.78  | m3   |
| Longitud de avance de perforación  | 2.2    | mts  |
| kilogramos/ taladro  | 0.73   |      |

En el Anexo 4 se logra apreciar el detallado del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 del estado optimizado.

La figura siguiente muestra el resumen de los costos totales de perforación y voladura de la situación optimizado.

**Escenario optimo del costo Crucero 10236-S, Nivel 2920**



|         | Mano de Obra | Aceros de perforación | Herramientas | Implementos de Seguridad | Equipos en Operación | Explosivos y Acc. Voladura | Costo total (\$/metro lineal) |
|---------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Series1 | \$69.32      | \$98.41               | \$11.71      | \$17.70                  | \$219.77             | \$69.02                    | \$485.92                      |

**Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual del Crucero 10236 - S, Nivel 2920 Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)**

- **Interpretación**

La optimización del Crucero 10236-S, Nivel 2920, se redujo el costo de perforación y voladura a 485.92 dólares americanos por metro lineal, logrando un ahorro significativo de 195.77 dólares americanos por metro lineal. Este resultado mejora la rentabilidad del proyecto al aumentar el avance lineal, las mejoras técnicas, como un diseño de malla eficiente y la selección adecuada de explosivos, optimizaron la fragmentación, se redujeron las sobre roturas. Además, el aumento en la productividad operativa permitió un avance más rápido, menores tiempos muertos y reducción de costos indirectos, destacando la importancia de una planificación técnica y económica detallada para una operación minera sostenible y competitiva.

#### **4.4 Prueba de hipótesis**

##### **4.4.1. Prueba de hipótesis general**

En esta investigación se establecieron dos hipótesis generales, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, descritas de la siguiente manera:

a) Hipótesis nula

- Ho: El cambio de barra cónica de perforación no será factible ni viable para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

b) Hipótesis alternativa

- Ha: El cambio de barra cónica de perforación será factible y viable para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

##### **4.4.2. Análisis de datos**

La hipótesis formulada en esta investigación propone que existe una relación significativa que respalda la factibilidad y viabilidad del cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.. Esta hipótesis se verificó al analizar y comparar los resultados obtenidos en 25 disparos realizados antes y después de implementar las optimizaciones.

- **Criterios de decisión:**

- Si  $P \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).
- Si  $P < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alternativa (Ha).

A continuación, se presenta la tabla con la comparación de los resultados de quince disparos realizados bajo las condiciones actuales y optimizadas en el Crucero 10236-S, Nivel 2920.

**Tabla 13. Comparación de los disparos en los escenarios actual y optimizado en el Crucero 10236 - S, Nivel 2920**

| <i>Numero de disparo</i> | <i>ESCENARIO ACTUAL " barra de 6 pies"</i> | <i>ESCENARIO OPTIMO "barra de 8 pies"</i> |
|--------------------------|--|---|
| 1                        | 1.23                                       | 2.01                                      |
| 2                        | 1.22                                       | 1.90                                      |
| 3                        | 1.25                                       | 2.02                                      |
| 4                        | 1.18                                       | 2.00                                      |
| 5                        | 1.25                                       | 1.90                                      |
| 6                        | 1.18                                       | 2.04                                      |
| 7                        | 1.18                                       | 2.00                                      |
| 8                        | 1.21                                       | 1.95                                      |
| 9                        | 1.21                                       | 1.94                                      |
| 10                       | 1.20                                       | 2.04                                      |
| 11                       | 1.19                                       | 1.95                                      |
| 12                       | 1.16                                       | 1.95                                      |
| 13                       | 1.21                                       | 2.01                                      |
| 14                       | 1.23                                       | 2.00                                      |
| 15                       | 1.25                                       | 1.90                                      |
| 16                       | 1.19                                       | 2.10                                      |
| 17                       | 1.18                                       | 2.01                                      |
| 18                       | 1.23                                       | 1.96                                      |
| 19                       | 1.22                                       | 1.95                                      |
| 20                       | 1.17                                       | 2.01                                      |
| 21                       | 1.16                                       | 2.10                                      |
| 22                       | 1.24                                       | 2.02                                      |
| 23                       | 1.20                                       | 2.10                                      |
| 24                       | 1.22                                       | 2.10                                      |
| 25                       | 1.23                                       | 2.00                                      |

**a) Prueba de t para muestras relacionada**

**Tabla 14. Estadísticas de muestras relacionadas**

| Estadísticos de muestras relacionadas  |  |         |                 |                           |  |          |         |    |                  |
|--|--|---------|-----------------|---------------------------|--|----------|---------|----|------------------|
|  |  | Media   | N               | Desviación<br>típ.        | Error tít. de la<br>media                        |          |         |    |                  |
| Par 1                                  | Situación actual                       | 1,2076  | 25              | ,02788                    | ,00558   |          |         |    |                  |
|  | Situación óptima                       | 1,9956  | 25              | ,06136                    | ,01227   |          |         |    |                  |
| Correlaciones de muestras relacionadas |  |         |                 |                           |  |          |         |    |                  |
|  |  | N       | Correlación     | Sig.                      |  |          |         |    |                  |
| Par 1                                  | Situación actual y<br>Situación óptima | 25      | -,357           | ,080                      |  |          |         |    |                  |
| Prueba de muestras relacionadas        |  |         |                 |                           |  |          |         |    |                  |
| Diferencias relacionadas               |  |         |                 |                           |  |          | t       | gl | Sig. (bilateral) |
|  |  | Media   | Desviación típ. | Error tít. de la<br>media | 95% Intervalo de confianza para<br>la diferencia |          |         |    |                  |
|  |  |         |                 |                           | Inferior   | Superior |         |    |                  |
| Par 1                                  | Situación actual – Situación<br>óptima | -,78800 | ,07592          | ,01518                    | -,81934  | -,75666  | -51,893 | 24 | ,000             |

### Interpretación

El análisis realizado arrojó un valor de P de 0.000, que del valor de 0.05, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa (Ha) y rechazar la hipótesis nula (Ho). Esto confirma que el cambio de barra cónica de perforación es factible y viable para aumentar el avance lineal en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, de la Minera Aurífera Retamas S. A. Los resultados obtenidos resaltan la efectividad de las estrategias implementadas, evidenciando un impacto positivo en la eficiencia y desempeño de las operaciones mineras.

## CONCLUSIONES

1. La caracterización geomecánica del Crucero 10236-S, Nivel 2920 presenta un RMR de 54, clasificado como Clase III A, correspondiente a una calidad moderada. Aunque el macizo rocoso exhibe una estabilidad general aceptable, en áreas con mayor concentración de discontinuidades es necesario implementar sostenimiento adicional. El sistema de sostenimiento recomendado es de tipo sistemático e incluye el uso de malla electrosoldada, pernos *Split Set* de 7 pies y una aplicación de *shotcrete* de 2 pulgadas de espesor.
2. En el diagnóstico inicial del Crucero 10236-S se identificaron diversos inconvenientes que afectan significativamente la eficiencia y los costos del proceso. Los disparos realizados con barras cónicas de 6 pies lograron un avance promedio de 1.21 metros por disparo, con una eficiencia de perforación del 80 %, con 32.61 toneladas desbrozadas.
3. El diseño deficiente de la malla de perforación y voladura generó sobreroturas del 14 % en los hastiales y del 10 % en la corona, ampliando la sección planificada y comprometiendo la estabilidad del Crucero 10236-S. Esto con una fragmentación deficiente del material, evidenciada por un P80 de 7.86", justificando así los errores de ejecución, el cual elevó el costo a 681.69 dólares americanos por metro lineal.
4. La optimización en el Crucero 10236-S, mediante el uso de barras cónicas de 8 pies, logró avances significativos en la eficiencia y rentabilidad del proceso. Los disparos realizados alcanzaron un promedio de 2 metros por disparo, con una eficiencia de perforación del 90 %, con 53.88 toneladas desbrozadas. Las mejoras operativas redujeron la sobrerotura al 3 % en los hastiales y al 4 % en la corona, logrando una sección final cercana a las dimensiones planificadas de 3.0 x 3.0 metros.
5. Esto mejoró la estabilidad del Crucero 10236-S, incrementando así la fragmentación con un P80 de 4.56", además, el costo por metro lineal de perforación y voladura se redujo a 485.92 dólares americanos por metro lineal, generando un ahorro de 195.77 dólares americanos por metro lineal. Estas mejoras reflejan la importancia de un diseño técnico detallado y la selección adecuada de herramientas y explosivos, consolidando una operación minera más eficiente, sostenible y competitiva.
6. El análisis realizado mostró un valor de P de 0.000, inferior al valor de 0.05, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) y rechazar la nula ( $H_0$ ). Esto confirma que la

implementación del cambio de barra cónica de perforación es viable y factible para incrementar el avance lineal en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, de la Minera Aurífera Retamas S.A.

## RECOMENDACIONES

1. Para optimizar las operaciones mineras en el Crucero 10236-S, Nivel 2920, se debe continuar utilizando el sistema de sostenimiento recomendado (malla electrosoldada, pernos *Split Set* de 7 pies y *shotcrete* de 2 pulgadas), complementado con inspecciones regulares en zonas críticas con alta concentración de discontinuidades. Esto permitirá ajustar el sostenimiento según la evolución del macizo rocoso y garantizar la estabilidad de las operaciones.
2. Se recomienda implementar un programa de monitoreo geotécnico para evaluar la estabilidad del macizo rocoso después de cada disparo, utilizando tecnologías avanzadas como piezómetros y sistemas de monitoreo remoto. Esto permitirá detectar cualquier signo de inestabilidad y ajustar dinámicamente las estrategias de sostenimiento para mantener un entorno seguro y eficiente.
3. Se deben realizar evaluaciones periódicas del rendimiento de las barras cónicas de perforación, considerando su desgaste y adaptando las técnicas de perforación a las condiciones geológicas cambiantes. La capacitación continua de los operadores en técnicas avanzadas de perforación y voladura es clave para asegurar que se mantenga una alta eficiencia y seguridad, ajustando las prácticas según las características del macizo rocoso.
4. Se recomienda gestionar eficientemente los costos de perforación y voladura mediante el mantenimiento de registros detallados de todos los gastos asociados, esto permitirá identificar áreas de mejora y optimizar los recursos. Además, contribuirá a la reducción de costos operativos y una mayor competitividad.
5. Finalmente, un análisis económico detallado del impacto de las mejoras implementadas, considerando tanto los beneficios inmediatos como los de largo plazo, asegurará la sostenibilidad de las inversiones y permitirá tomar decisiones informadas sobre futuras mejoras tecnológicas y ajustes operativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FEIJO, Ernesto y GONZALEZ, Brayan. Optimización de los procesos de perforación y voladura en la sociedad minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez-Azuay. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cuenca : Universidad del Azuay, 2022.
2. CONCHA, Randal y TARIFA, Edwin . Reducción y Optimización de Costos en Perforación y Voladura Implementando Barrenos de 16 Pies para Labores de Desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Tecnológica del Perú, 2021.
3. ANASTARES, Richard y ZENTENO, Floro. Reducción y optimización de costos operativos en aceros de perforación en la RPA. (±)944W de la Empresa Especializada IESA S.A. – Unidad Minera Atacocha S.A. Nexa Resources. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2023.
4. QUITO, Juan y BABILONIA, Ratmi . Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Continental, 2020.
5. MUÑOZ, Jorge. Estandarización del rendimiento de las brocas cónicas de perforación para reducir el costo productivo del tajeo 6520, nivel 2760, compañía minera Poderosa S. A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Continental, 2024.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA. *Informe de estudio de las reservas y recursos minerales*. Pataz : Minera Aurífera Retamas S.A, 2020.
7. DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO . *Informe de ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A*. Pataz - Peru : Minera Aurífera Retamas S.A, 2022.
8. BERROA SUAREZ, Edward Alexander. 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 (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2016.

9. BARBOSA y Gabriela. Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Valparaíso : Universidad Tecnica Federico Santa Maria, 2021.
  
10. LÓPEZ, C., LÓPEZ, E. Y GARCIA, P. *Manual de Perforacion y voladura de Rocas*. 2003.
  
11. EPIROC S.A. *Factores y parámetros de perforación de rocas* . Tesis para optar el titulo de ingeniero de minas . Lima : Rock Drilling Tools, 2021.

## **ANEXOS**

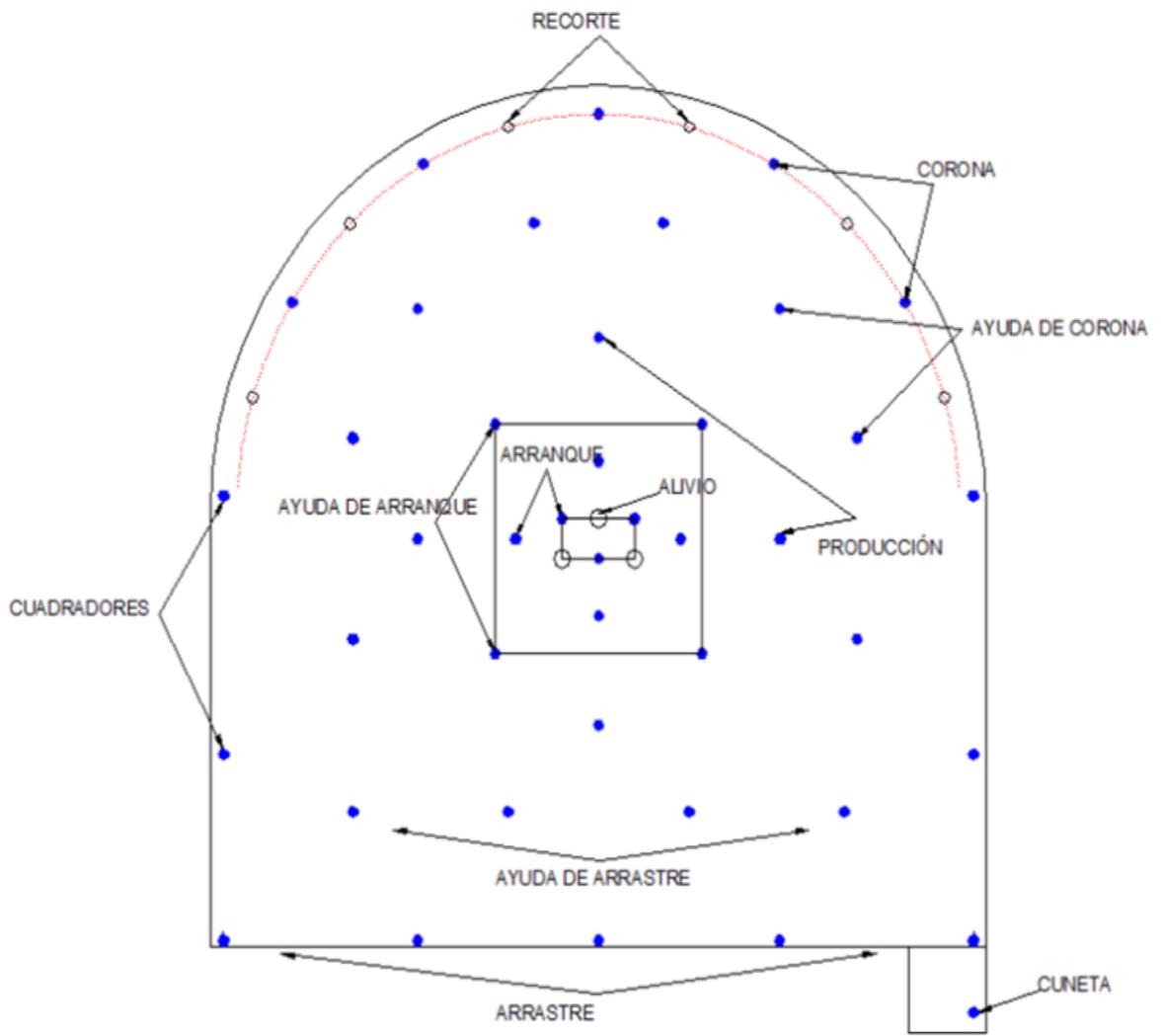
## Anexo 1

### Matriz de consistencia

Influencia del cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.

| Problema general   | Objetivo general   | Hipótesis general  |
|--|--|--|
| ¿Cuál es la Influencia del cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.?                              | Realizar el cambio de barra cónica de perforación para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.  | El cambio de barra cónica de perforación será factible y viable para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.  |
| Problemas específicos  | Objetivos específicos  | Hipótesis específica   |
| ¿Cómo influye la caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.?  | Realizar la caracterización geomecánica para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.  | La caracterización geomecánica será factible para incrementar el avance lineal del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.   |
| ¿Cómo influye el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A.? | Realizar el control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. | El control de los factores de rendimientos de perforación de la broca cónica será factible y viable para reducir el costo de perforación del Crucero 10236 – S, Nv. 2920, Minera Aurífera Retamas S.A. |

**Anexo 2**  
**Distribución de taladros**



*Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)*

### Anexo 3

## Valorización del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 del estado situacional

#### ESTRUCTURA DE COSTOS: CX, 3.0 x 3.0 (JACKLEG)

|                                |             |                                   |             |
|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| Taladros Perforados /disparo   | <b>44.0</b> | Longitud efectiva Perforación mts | <b>1.5</b>  |
| Taládros cargados              | <b>36.0</b> | Eficiencia perforación            | <b>80%</b>  |
| Factor de carga (Kg/taladro) : | <b>0.6</b>  | Rendimiento (m/disparo):          | <b>1.17</b> |

| DESCRIPCIÓN                                    | UNIDAD | CANT.  | INCIDENCIA | P.U.        | Total \$/. | Total         |
|--|--------|--------|------------|-------------|------------|---------------|
|  |        |        |            | \$/ Unid    | \$/.       | \$/ .MET.     |
| <b>1 Mano de Obra</b>                          |        |        |            |             |            | <b>116.97</b> |
| Capataz  | tarea  | 1      | 25%        | 37.04       | 9.26       |               |
| Bodeguero                                      | tarea  | 1      | 25%        | 26.46       | 6.61       |               |
| Mecánico                                       | tarea  | 1      | 25%        | 37.04       | 9.26       |               |
| electricista Mina                              | tarea  | 1      | 15%        | 39.68       | 5.95       |               |
| Operador locomotora y carros mimero            | tarea  | 1      | 100%       | 37.04       | 37.04      |               |
| Maestro Perforista                             | tarea  | 1      | 100%       | 37.04       | 37.04      |               |
| Ayudante                                       | tarea  | 1      | 100%       | 31.75       | 31.75      |               |
| <b>1 Aceros de perforación</b>                 |        |        |            |             |            | <b>109.63</b> |
| Aceite de Perforación                          | Gln    | 0.35   | 100%       | 21.91       | 7.67       |               |
| Barras de Perforación conicas 6 pies           | pp     | 301.20 | 100%       | 0.20        | 60.24      |               |
| Brocas de perforación conica 38 mm             | pp     | 301.20 | 100%       | 0.18        | 54.22      |               |
| Broca con rimadora piloto 38 mm                | pp     | 34.40  | 100%       | 0.18        | 6.19       |               |
| <b>1 Herramientas</b>                          |        |        |            |             |            | <b>18.40</b>  |
| Lampa  | pieza  | 2.00   | 100%       | 0.53        | 1.06       |               |
| Pico   | pieza  | 2.00   | 100%       | 0.59        | 1.18       |               |
| Combo 6 Lbs                                    | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.39        | 0.39       |               |
| Llave Stilson de 8"                            | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.27        | 0.27       |               |
| LLave Francesa 8"                              | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.24        | 0.24       |               |
| Barretilla de 4'                               | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.99        | 0.99       |               |
| Barretilla de 6'                               | pieza  | 1.00   | 100%       | 1.17        | 1.17       |               |
| Barretilla de 8'                               | pieza  | 1.00   | 100%       | 1.30        | 1.30       |               |
| Disco de jebe                                  | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.20        | 0.20       |               |
| Taco de Arcilla                                | pieza  | 36.00  | 100%       | 0.20        | 7.20       |               |
| Ocre Polvo Rojo                                | kg     | 0.13   | 100%       | 10.00       | 1.30       |               |
| Escaleras telescopicas                         | pieza  | 1.00   | 100%       | 5.59        | 5.59       |               |
| Arco de sierra + hoja                          | pieza  | 1.00   | 100%       | 0.65        | 0.65       |               |
| <b>1 Implementos de Seguridad</b>              |        |        |            |             |            | <b>29.87</b>  |
| Tareas sin ropa de agua                        | tareas | 1.30   | 100%       | 8.59        | 11.17      |               |
| Tareas con ropa de agua                        | tareas | 2.60   | 100%       | 9.15        | 23.79      |               |
| <b>2 Equipos en Operación</b>                  |        |        |            |             |            | <b>315.01</b> |
| Perforadora                                    | pp     | 301.20 | 100%       | 0.38        | 115.54     |               |
| 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                           | H m    | 1.00   | 100%       |             | 92.90      |               |
| Carro minero U 35                              | H m    | 6.00   | 100%       | 6.8100      | 156.09     |               |
| <b>A) Total Costo Directo</b>                  |        |        |            |             |            | <b>589.88</b> |
| <b>B) Explosivos y Acc. Voladura</b>           |        |        |            |             |            | <b>91.81</b>  |
| GELATINA 7/8 X 7                               | kg     | 3.70   | 100%       | <b>1.76</b> | 6.50       |               |
| SEMEXSA 7/8 X 7                                | kg     | 8.51   | 100%       | <b>1.62</b> | 13.79      |               |
| EXADIT 7/8 X 7                                 | kg     | 9.20   | 100%       | <b>1.50</b> | 13.82      |               |
| IGNITER CORD                                   | m      | 15.00  | 100%       | 0.96        | 14.40      |               |
| MECHA RAPIDA                                   | Unid.  | 2.00   | 100%       | 0.40        | 0.79       |               |
| CORDON DETONANTE                               | m      | 30.00  | 100%       | 0.66        | 19.84      |               |
| NONEL  | uni.   | 36.00  | 100%       | 1.06        | 38.30      |               |
| <b>COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B)</b> |        |        |            |             |            | <b>681.69</b> |

Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)

## Anexo 4

### Valorización del costo de perforación y voladura en el Crucero 10236-S, Nivel 2920 del estado optimizado

| ESTRUCTURA DE COSTOS: CX, 3.0 x 3.0 (JACKLEG)  |        |                                   |            |                  |                  |                  |
|--|--------|-----------------------------------|------------|------------------|------------------|------------------|
| Taladros Perforados /disparo                   | 53.0   | Longitud efectiva Perforación mts | 2.2        |                  |                  |                  |
| Taládros cargados                              | 44.0   | Eficiencia perforación            | 90%        |                  |                  |                  |
| Factor de carga (Kg/taladro) :                 | 0.7    | Rendimiento (m/disparo):          | 1.98       |                  |                  |                  |
| DESCRIPCIÓN                                    | UNIDAD | CANT.                             | INCIDENCIA | P.U.<br>\$/ Unid | Total \$/<br>\$. | Total<br>\$/MET. |
| <b>1 Mano de Obra</b>                          |        |                                   |            |                  |                  | <b>69.32</b>     |
| Capataz  | tarea  | 1                                 | 25%        | 37.04            | 9.26             |                  |
| Bodeguero                                      | tarea  | 1                                 | 25%        | 26.46            | 6.61             |                  |
| Mecánico                                       | tarea  | 1                                 | 25%        | 37.04            | 9.26             |                  |
| electricista Mina                              | tarea  | 1                                 | 15%        | 39.68            | 5.95             |                  |
| Operador locomotora y carros mimero            | tarea  | 1                                 | 100%       | 37.04            | 37.04            |                  |
| Maestro Perforista                             | tarea  | 1                                 | 100%       | 37.04            | 37.04            |                  |
| Ayudante                                       | tarea  | 1                                 | 100%       | 31.75            | 31.75            |                  |
| <b>1 Aceros de perforación</b>                 |        |                                   |            |                  |                  | <b>98.41</b>     |
| Aceite de Perforación                          | Gln    | 0.35                              | 100%       | 21.91            | 7.67             |                  |
| Barras de Perforación conicas 6 pies           | pp     | 471.60                            | 100%       | 0.20             | 94.32            |                  |
| Brocas de perforación conica 38 mm             | pp     | 471.60                            | 100%       | 0.18             | 84.89            |                  |
| Broca con rimadora piloto 38 mm                | pp     | 41.60                             | 100%       | 0.18             | 7.49             |                  |
| <b>1 Herramientas</b>                          |        |                                   |            |                  |                  | <b>11.71</b>     |
| Lampa  | pieza  | 2.00                              | 100%       | 0.53             | 1.06             |                  |
| Pico   | pieza  | 2.00                              | 100%       | 0.59             | 1.18             |                  |
| Combo 6 Lbs                                    | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.39             | 0.39             |                  |
| Llave Stilson de 8"                            | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.27             | 0.27             |                  |
| LLave Francesa 8"                              | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.24             | 0.24             |                  |
| Barretilla de 4"                               | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.99             | 0.99             |                  |
| Barretilla de 6"                               | pieza  | 1.00                              | 100%       | 1.17             | 1.17             |                  |
| Barretilla de 8"                               | pieza  | 1.00                              | 100%       | 1.30             | 1.30             |                  |
| Disco de jebe                                  | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.20             | 0.20             |                  |
| Taco de Arcilla                                | pieza  | 44.00                             | 100%       | 0.20             | 8.80             |                  |
| Ocre Polvo Rojo                                | kg     | 0.13                              | 100%       | 10.00            | 1.30             |                  |
| Escaleras telescopicas                         | pieza  | 1.00                              | 100%       | 5.59             | 5.59             |                  |
| Arco de sierra + hoja                          | pieza  | 1.00                              | 100%       | 0.65             | 0.65             |                  |
| <b>1 Implementos de Seguridad</b>              |        |                                   |            |                  |                  | <b>17.70</b>     |
| Tareas sin ropa de agua                        | tareas | 1.30                              | 100%       | 8.59             | 11.17            |                  |
| Tareas con ropa de agua                        | tareas | 2.60                              | 100%       | 9.15             | 23.79            |                  |
| <b>2 Equipos en Operación</b>                  |        |                                   |            |                  |                  | <b>219.77</b>    |
| Perforadora                                    | pp     | 471.60                            | 100%       | 0.38             | 180.91           |                  |
| 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                           | H m    | 1.00                              | 100%       |                  | 92.90            |                  |
| Carro minero U 35                              | H m    | 6.00                              | 100%       | 6.81             | 156.09           |                  |
| <b>(A) Total Costo Directo</b>                 |        |                                   |            |                  |                  | <b>416.90</b>    |
| <b>(B) Explosivos y Acc. Voladura</b>          |        |                                   |            |                  |                  | <b>69.02</b>     |
| GELATINA 7/8 X 7                               | kg     | 18.13                             | 100%       | 1.76             | 31.86            |                  |
| SEMEXSA 7/8 X 7                                | kg     | 13.93                             | 100%       | 1.62             | 22.60            |                  |
| EXADIT 7/8 X 7                                 | kg     | 0.00                              | 100%       | 1.50             | 0.00             |                  |
| IGNITER CORD                                   | m      | 15.00                             | 100%       | 0.96             | 14.40            |                  |
| MECHA RAPIDA                                   | Unid.  | 2.00                              | 100%       | 0.40             | 0.79             |                  |
| CORDON DETONANTE                               | m      | 30.00                             | 100%       | 0.66             | 19.84            |                  |
| NONEL  | uni.   | 44.00                             | 100%       | 1.06             | 46.82            |                  |
| <b>COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B)</b> |        |                                   |            |                  |                  | <b>485.92</b>    |

Tomada del Departamento de Perforación y Voladura (12)