

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Control de desgaste de las herramientas de perforación
cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería
5240-S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus**

Jorge Luis Apolinario Rojas
Kevin Pedro Camarena Gavilan

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:

CONTROL DE DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN CÓNICA PARA DISMINUIR PÉRDIDAS PREMATURAS EN LA GALERÍA 5240 – S, NV. 230, UNIDAD MINERA VICUS

Autores:

1. Jorge Luis Apolinario Rojas – EAP Ingeniería de Minas
2. Kevin Pedro Camarena Gavilan – 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 14 % 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 SI ☐ NO ☒
Nº de palabras excluidas (00):
- 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, Jorge Luis, dedico esta tesis a mis padres y hermanos por el apoyo constante a lo largo de mi carrera profesional. Este trabajo es el fin de una etapa de esfuerzo y dedicación.

Yo, Kevin, dedico esta tesis, a los que me siguen dando lecciones aún ya no estando aquí con nosotros, los que siempre me dieron las fuerzas para continuar, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente. Gracias, seres amados; este triunfo es por ustedes: tío Vicente, a mi valiente mamá Margarita, papá Viji, tío Vicente, tío Lucho, tío Ricardo. Para mis hermanos y hermana: Juan CG, Shermy CG, Fabricio CG, Manuel HR; gracias por enseñarme que la vida es más divertida cuando hay compañía. Los amo. ¡Este logro es de ustedes también!

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Continental.

A la EAP de Ingeniería de Minas.

A cada una de nuestras madres, siempre nos han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos nuestros objetivos personales y académicos, con su cariño nos ha impulsado siempre a perseguir nuestras metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A nuestro asesor de tesis: Ing. Rafael Carrasco Soto, por la orientación y ayuda brindada para realizar esta tesis, por su apoyo que nos permitió aprender mucho, mucho más que lo estudiado en las aulas.

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	15
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.....	17
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	18
CAPÍTULO II	19
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 la Unidad Minera Vicus.....	21
2.2.1 Ubicación y accesibilidad	21
2.2.2 Geología general	22
2.3. Bases teóricas.....	22

2.3.1	Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	22
2.3.1.1.	Estudio geomecánico caracterización del macizo rocoso - RMR	22
2.3.1.2.	Selección de barra y broca cónica	24
2.3.1.3.	Medición de parámetros de perforación con Jackleg	26
2.3.1.4.	Monitoreo de la vida útil en metros perforados	28
2.3.1.5.	Descarte de la barra y broca cónica.....	30
2.3.1.6.	Análisis del costo por metro perforado	32
2.4.	Definición de términos.....	35
CAPÍTULO III.....		37
MÉTODOLOGÍA		37
3.1	Método y alcances de la investigación.....	37
3.1.1.	Métodos de la investigación.....	37
3.2	Alcances de la investigación	37
3.3	Diseño de la investigación	37
3.4	Población y muestra	38
3.3.1	Población.....	38
3.3.2	Muestra.....	38
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	38
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	38
CAPÍTULO IV		39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
4.1	Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	39
4.2	Caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónico en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.....	39
4.2.1	Evaluación para el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica	43
4.2.1.1.	Estudio geomecánico (caracterización del macizo rocoso - RMR)	46
4.2.1.2.	Selección de barra y broca cónica	46
4.2.1.3.	Medición de parámetros de perforación con Jackleg	50
4.2.1.4.	Monitoreo de la vida útil en metros perforados	53
4.2.1.5.	Descarte de la barra y broca cónica.....	56
4.2.1.6.	Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	60
4.3	Prueba de hipótesis.....	65
4.4.1.	Prueba de hipótesis general.....	65
4.4.2.	Análisis de datos	65
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES.....		69

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS	72
Anexo 1_Matriz de consistencia _Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir perdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	73
Anexo 2_Estado situación de medición de parámetros de perforación con Jackleg.....	74
Anexo 3_Estado óptimo de medición de parámetros de perforación con Jackleg.....	75
Anexo 4_Valorización del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230 del estado situacional	76
Anexo 5_Valorización del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230 del estado optimizado	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Cálculo del RMR de la galería 5240 – S, Nv. 230.....	23
Tabla 3. Criterios de selección de barra y broca cónica según el tipo de roca de la Galería 5240 – S, Nv. 230	25
Tabla 4. Medición de parámetros de perforación con Jackleg.....	27
Tabla 5. Parámetros de monitoreo	29
Tabla 6. Comparación de rendimiento.....	29
Tabla 7. Análisis de los costos de perforación y voladura en función al metro lineal de avance	32
Tabla 8. Cálculo del RMR para la galería 5240 – S, Nivel 230.....	42
Tabla 9. Situación actual de los costos de perforación y voladura en la galería 5240 – S, nivel 230°	61
Tabla 10. Estado optimizado del costo de perforación y voladura en la galería 5240 – S, Nv. 230	63
Tabla 11. Comparativa de los disparos en los escenarios actual y optimizado de la galería 5240 – S, Nivel 230, Unidad Minera Vicus.....	66
Tabla 12. Estadísticas de muestras relacionadas.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Unidad Minera Vicus	21
Figura 2. Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir perdidas prematuras en la galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.....	34
Figura 3. Mapeo geomecánico de la galería 5240 – S, nivel 230, de la Unidad Minera Vicus.	41
Figura 4. Metodología para el Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir perdidas prematuras en la galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	45
Figura 5. Estado inicial - diseño de la malla de perforación y voladura en la galería 5240 – S, Nivel 230	47
Figura 6. Estado óptimo - diseño de la malla de perforación y voladura en la galería 5240 – S, Nivel 230	49
Figura 7. Estado situacional de medición de parámetros de perforación con Jackleg en la galería 5240 – S	51
Figura 8. Estado óptimo medición de parámetros de perforación con Jackleg en la galería 5240 – S.....	52
Figura 9. Estado situacional del monitoreo de la vida útil en metros perforados de	54
Figura 10. Estado óptimo del monitoreo de la vida útil en metros perforados de la galería 5240 – S, Nivel 230.....	55
Figura 11. Estado situacional de los tipos de descarte de la broca cónica utilizadas en la galería 5240 – S, nivel 230.....	57
Figura 12. Estado situacional de los tipos de descarte de la barra cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230.....	57
Figura 13. Estado óptimo de los tipos de descarte de la broca cónica utilizadas en la galería 5240 – S, nivel 230.....	59
Figura 14. Estado óptimo de los tipos de descarte de la barra cónica utilizadas en la galería 5240 – S, nivel 230.....	59
Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual de la galería 5240 – S, nivel 230.....	62
Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación óptima de la galería 5240 – S, nivel 230.....	64

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica para reducir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, de la Unidad Minera Vicus. Se utilizó el método científico como enfoque general, y el método específico fue el experimental deductivo. La investigación es de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y diseño experimental. La población está compuesta por todas las galerías de la veta Valeria, en la Unidad Minera Vicus, seleccionándose como muestra la Galería 5240 – S, Nv. 230. Para la recopilación de datos, se empleó la técnica observacional en campo in situ, procesando datos actuales de la perforación y voladura, representados por la Galería 5240 – S, Nv. 230, en la misma unidad minera. El estudio buscó controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus, para reducir pérdidas prematuras. Se utilizó un enfoque científico y deductivo, con investigación aplicada, descriptiva y diseño experimental. La muestra fue la mencionada galería de la veta Valeria. En el estado inicial, el avance fue de 1.20 metros por disparo y el volumen extraído fue de 6.05 m³, debido a fallas en el diseño de perforación. Se registraron 11 descartes de brocas cónicas y 6 de barras cónicas, lo que reflejó un mal desempeño, especialmente en las barras. Tras la optimización de los parámetros, el avance aumentó a 2.0 metros por disparo y el volumen extraído a 10.07 m³, mejorando la eficiencia, reduciendo costos y asegurando un avance más controlado. Aunque los descartes de brocas permanecieron en 11, los de barras cónicas se redujeron a 5, reflejando una mejora en la durabilidad de estas. El costo inicial de perforación y voladura era de \$684.80 por metro lineal, pero después de la optimización se redujo a \$485.92, logrando un ahorro de \$198.88 por metro lineal. Esto permitió una operación más eficiente y productiva.

Palabras clave: control de desgaste de las herramientas de perforación cónica

ABSTRACT

The objective of this research is to control the wear of conical drilling tools to reduce premature losses in Gallery 5240 – S, Lv. 230, of the Vicus Mining Unit. The scientific method was used as a general approach, and the specific method was the deductive experimental method. The research is of an applied type, with a descriptive level and experimental design. The population is composed of all the galleries of the Valeria vein, in the Vicus Mining Unit, selecting Gallery 5240 – S, Lv. 230 as a sample. For data collection, the in-situ field observational technique was used, processing current data from drilling and blasting, represented by Gallery 5240 – S, Lv. 230, in the same mining unit. The study sought to control the wear of conical drilling tools in Gallery 5240 – S, Lv. 230, Vicus Mining Unit, to reduce premature losses. A scientific and deductive approach was used, with applied, descriptive research and experimental design. The sample was the aforementioned gallery of the Valeria vein. In the initial state, the advance was 1.20 meters per shot and the extracted volume was 6.05 m³, due to flaws in the drilling design. 11 discards of conical bits and 6 of conical rods were recorded, which reflected a poor performance, especially in the rods. After the optimization of the parameters, the advance increased to 2.0 meters per shot and the extracted volume to 10.07 m³, improving efficiency, reducing costs and ensuring a more controlled advance. Although the discards of bits remained at 11, those of conical rods were reduced to 5, reflecting an improvement in the durability of these. The initial cost of drilling and blasting was \$684.80 per linear meter, but after optimization it was reduced to \$485.92, achieving a savings of \$198.88 per linear meter. This allowed for a more efficient and productive operation.

Keywords: wear control of conical drilling tools

INTRODUCCIÓN

Las herramientas de perforación, particularmente las barras y brocas cónicas, son elementos clave para garantizar un rendimiento óptimo en este proceso. Sin embargo, en la Galería 5240 – S, Nivel 230, de la Unidad Minera Vicus, se enfrenta un problema recurrente de desgaste prematuro de estas herramientas, lo que genera interrupciones operativas, incrementa los costos de reposición y afecta la productividad global.

El desgaste acelerado de las herramientas de perforación cónicas se debe a una combinación de factores internos y externos. Entre los factores internos destacan las propiedades del macizo rocoso, como la dureza, abrasividad y fracturamiento, que ejercen un impacto directo en el nivel de fricción y erosión al que están sometidas las herramientas. Por otro lado, los factores externos incluyen el diseño y calidad de los materiales de las herramientas, los parámetros operativos (velocidad de avance, presión de aire y torque aplicado), y las condiciones de mantenimiento y monitoreo. La falta de una adecuada planificación para controlar estos factores ha llevado a una reducción significativa en la vida útil de las herramientas, generando costos adicionales y menor avance lineal en la galería.

Este problema no solo afecta los aspectos económicos de la operación, sino que también representa un desafío técnico al limitar la capacidad de alcanzar los objetivos de desarrollo en los plazos establecidos. Adicionalmente, la falta de un enfoque preventivo para monitorear y gestionar el desgaste limita las posibilidades de implementar soluciones prácticas y efectivas que incrementen la durabilidad de las herramientas.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito principal evaluar los factores que influyen en el desgaste de las herramientas de perforación cónicas, tanto barras como brocas, utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230. A partir de este análisis, se busca identificar oportunidades de mejora en los parámetros de perforación, la selección de materiales y el mantenimiento preventivo, con el fin de proponer estrategias que incrementen su vida útil y mejoren la eficiencia operativa en la Unidad Minera Vicus.

Esta investigación pretende contribuir al desarrollo de prácticas más eficientes en la gestión de herramientas de perforación, promoviendo la sostenibilidad económica y técnica en las operaciones mineras subterráneas. Asimismo, se espera que los resultados obtenidos sirvan como referencia para optimizar procesos similares en otras unidades mineras con características geológicas y operativas comparables.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

A nivel global, la industria minera enfrenta desafíos relacionados con el desgaste prematuro de las herramientas de perforación debido a la explotación de depósitos minerales en condiciones cada vez más complejas. Las herramientas de perforación como barras y brocas cónicas, están sometidas a altos niveles de estrés por las características del macizo rocoso, como la dureza y abrasividad, así como por el uso intensivo en operaciones continuas. Estudios internacionales han demostrado que este desgaste representa hasta el 30 % de los costos operativos directos en actividades de desarrollo y explotación minera.

Además, el desgaste acelerado genera interrupciones operativas, disminuye la eficiencia del avance lineal y aumenta los costos asociados con la reposición y el mantenimiento de herramientas. Estas problemáticas son comunes tanto en operaciones mecanizadas como convencionales, lo que ha llevado a un enfoque global en la investigación y desarrollo de nuevos materiales y tecnologías para herramientas de perforación más resistentes, así como en la optimización de los parámetros de operación. Sin embargo, la implementación de estas soluciones sigue siendo un desafío en muchas regiones debido a la falta de acceso a tecnología avanzada o recursos económicos.

En el Perú, como uno de los principales países mineros del mundo, las operaciones subterráneas representan un porcentaje significativo de la producción de metales. Sin embargo, el desgaste de las herramientas de perforación es un problema recurrente que afecta la productividad de estas operaciones. En muchas unidades mineras del país, los altos costos

asociados al reemplazo frecuente de barras y brocas cónicas representan un desafío económico, especialmente en minas que operan con presupuestos ajustados.

La minería subterránea peruana enfrenta además condiciones geológicas adversas como la presencia de macizos rocosos altamente abrasivos y heterogéneos, que aceleran el desgaste de las herramientas. En algunos casos, la falta de un monitoreo adecuado y de planes de mantenimiento predictivo agrava esta situación. Las operaciones que dependen de herramientas convencionales no siempre cuentan con acceso a nuevas tecnologías o materiales avanzados, lo que limita las posibilidades de implementar mejoras significativas.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?
- ¿Cómo influye el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.
- Realizar el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

1.3 Justificación e importancia

En la Unidad Minera Vicus, ubicada en la región donde se desarrolla esta investigación, se ha identificado que el desgaste prematuro de las barras y brocas cónicas es uno de los principales factores que afecta el desarrollo de la galería 5240 – S, nivel 230. Las herramientas muestran una vida útil reducida, lo que incrementa los costos por reposición y genera demoras en los avances lineales planificados.

Este problema local está asociado a factores como las propiedades geológicas del macizo rocoso, caracterizado por su alta dureza y abrasividad, que aceleran el deterioro de las herramientas. Además, los parámetros de perforación utilizados actualmente no están optimizados para minimizar el desgaste, y las prácticas de mantenimiento no permiten un monitoreo eficiente del estado de las herramientas. Estas limitaciones generan interrupciones frecuentes en el ciclo de minado, afectando no solo la productividad, sino también los costos operativos y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo de la mina.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible para disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

1.4.2 Hipótesis específicas

- La caracterización geomecánica será factible para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónico en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus
- El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible y viable para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica.

1.5.2 Variable dependiente

Disminuir las pérdidas prematuras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis titulada: «Diseño de malla de perforación y voladura para el control de dilución en el subnivel de producción “Los Gemelos”, en la explotación minera subterránea de la mina “Pique”, compañía Oroconcent S.A., Portovelo – Ecuador» el objetivo fue diseñar una malla de perforación y voladura que reduzca la dilución operativa en el subnivel Gemelos de la mina subterránea El Pique, en Portovelo, El Oro. Se realizó un muestreo tipo *chip sample* a escala 1:200, con análisis a fuego para determinar la ley mineral de la veta Centenario. Además, se controlaron los tiempos de las operaciones unitarias y se analizó la condición de la dilución planificada y operativa. A través de técnicas geomecánicas, se estimaron las condiciones del macizo rocoso, aplicando la metodología de Holmberg para diseñar la malla de perforación y voladura. Los resultados obtenidos mostraron que la ley mineral de la veta fue de 3.75 gramos/tonelada, con una dilución operativa del 63.3% y una ley de minado de 1.38 gramos/tonelada para un ancho de minado de 1.3 metros. Se diseñaron dos tipos de malla: convencional y con precorte. La malla con precorte demostró ser más eficiente, logrando un ancho de minado de 1.2 metros, reduciendo la dilución a 60 % y aumentando la ley de minado a 1.5 gramos/tonelada. Se recomienda utilizar los métodos de circado y precorte para optimizar los resultados operativos (1).

2.1.2 Antecedentes nacionales

La tesis titulada: «Mejoramiento del rendimiento de pies perforados y su influencia en el alto consumo de brocas en la Rampa Sandra de U.P Santa María – CIA. Minera Poderosa – La Libertad» se realizó en la Compañía Minera Poderosa, dedicada a la extracción aurífera, opera en Patate, La Libertad, a alturas entre 1250 y 3000 m s. n. m. Utiliza métodos

tradicionales y tecnología trackless para la extracción, complementando con winches eléctricos para el traslado de mineral a cámaras de acopio, desde donde es transportado por equipos de bajo perfil. Los métodos de explotación incluyen corte y relleno ascendente, y lonja vertical combinada con cámara y pilares, con una relación mineral-ganga de 1:1, utilizando roca estéril y materiales cuaternarios como relleno hidráulico. El sostenimiento se adapta a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso mediante pernos, mallas, cimbras, cuadros de madera y shotcrete. Las labores subterráneas, de dimensiones 2.5 m x 2.7 m, emplean perforadoras Jackleg con brocas de 32 mm y 36 mm. En el nivel 2635, con un RMR de 60-80, se evidenció una mejora en el rendimiento de perforación al implementar brocas Sandvik de 36 mm, en comparación con las de Boart Longyear, lo que constituye el objetivo principal de este estudio (2).

La tesis titulada: «Accesorios de la perforación convencional y mecanizado, en la Empresa AESA - Compañía Minera Minsur S.A – Mina San Rafael» tuvo como objetivo evaluar, a nivel piloto, el desempeño de estos equipos en diversas labores mineras, utilizando perforadoras manuales y mecanizadas. El estudio de diseño no experimental y enfoque aplicado se llevó a cabo en la galería 730 (Nivel 300), crucero 882 (Nivel 200), y los tajos 860 (Nivel 380) y 679 Flor de Loto. Los resultados mostraron que en los equipos mecanizados el rendimiento promedio de accesorios como brocas, barras y shanks osciló entre 990 y 22,401.50 pies, mientras que en los equipos convencionales los rendimientos de brocas y barras variaron entre 517.07 y 2,116.0 pies. Se concluye que los rendimientos obtenidos cumplen con los estándares de la empresa y las recomendaciones de los fabricantes, demostrando que el desempeño de los accesorios es adecuado y satisfactorio (3).

2.1.3 Antecedente local

En la tesis titulada: «Estandarización del rendimiento de las brocas cónicas de perforación para reducir el costo productivo del tajo 6520, nivel 2760, compañía minera Poderosa S. A.» el objetivo fue estandarizar el rendimiento de las brocas cónicas de perforación para reducir los costos de producción en el tajo 6520, nivel 2760, de la Compañía Minera Poderosa S.A., utilizando un diseño experimental y la observación de datos durante enero y febrero de 2024. Con la implementación de las mejoras, se logró 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. Esto resultó en una optimización por disparo de \$10.78/t, un aumento en la producción de 11.57 toneladas y un ahorro mensual total de \$7,481.08 (4).

La tesis titulada: «Evaluación técnica económica de la perforación con barra cónica, para incrementar el avance lineal en la minera Vicus S. A. C.» se enfocó en optimizar el avance

lineal de perforación mediante el método *cut and fill stoping*, buscando aumentar la producción para alimentar la planta. Se identificó que la desviación de los taladros, causada por la longitud excesiva de los mismos, genera desgaste en las piezas de perforación como brocas y barras cónicas, lo que impacta negativamente en el avance programado y la eficiencia operativa, produciendo pérdidas económicas a largo plazo. El análisis comparativo de los rendimientos de las brocas y barras cónicas en 2020 y 2021 mostró mejoras notables. En 2020, se perdió un promedio de 62.55 metros perforados por debajo de la vida útil de las brocas, mientras que en 2021 se logró un aumento de 51 metros por encima de su vida útil. Asimismo, las barras cónicas presentaron un aumento de 131 metros perforados en 2021, en comparación con una pérdida de 226.40 metros en 2020. Esta optimización redujo los costos de perforación en 2021, pasando de S/1908.16 a S/1569.65 por metro lineal, resultando en una optimización total de S/216,693 soles para el proyecto (5).

2.2. Generalidades de la Unidad Minera Vicus

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

La Unidad Minera Vicus se localiza en la región norte del Perú, a 138 km al sureste de la provincia de Barranca, en el departamento de Lima. Políticamente, pertenece al centro poblado Las Minas, dentro del distrito de Supe, provincia de Barranca.

En la figura adjunta, se puede observar la localización de la Unidad Minera Vicus



2.2.2 Geología general

a) Geología regional

El yacimiento aurífero de la Unidad Minera Vicus está sobre una terraza fluvial del río Supe, en depósitos aluviales y colinas que se extienden en dirección NE-SW. Predominan depósitos cuaternarios de origen fluvial, aluvial, lacustre y eólico, con intrusiones de dioritas de grano medio en granodioritas de grano grueso alteradas, lo que genera potencial para optimizar la fracturación y extracción (6).

b) Geología local

El yacimiento, de tipo epitermal y filoniano, contiene vetas con cuarzo, pirita y sulfuros (galena, esfalerita, calcopirita, entre otros), distribuidas en pliegues y ramificaciones. Las vetas principales se orientan NE-SW y NW-SE, alojadas en rocas granodioríticas y dioríticas con contactos movilizados en forma de fanglomerados (6).

c) Geología estructural

El yacimiento está afectado por fallas con rumbo NE-SW y buzamientos subverticales, asociadas con intrusiones granodioríticas y dioríticas. Las tensiones tectónicas han generado pliegues con cuarzo lechoso y sulfuros, relacionados con procesos de subducción (6).

2.3. Bases teóricas

2.3.1 Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

2.3.1.1. Estudio geomecánico caracterización del macizo rocoso - RMR

El estudio busca determinar las propiedades del macizo rocoso para optimizar la selección de herramientas y los parámetros de perforación, reduciendo el desgaste prematuro de las barras y brocas.

a) Levantamiento de datos geomecánicas

- Recolección de información sobre las propiedades mecánicas y físicas del macizo rocoso.
- Evaluación de las discontinuidades presentes, su espaciado, persistencia y apertura.
- Identificación de la presencia de agua y su impacto en la estabilidad del macizo.

b) Cálculo del RMR (Rock Mass Rating)

Consideración de cinco parámetros principales: resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, calidad de las discontinuidades, espaciado de las discontinuidades, estado de las discontinuidades y condiciones de las aguas subterráneas.

Asignación de valores ponderados para obtener un RMR general.

c) Interpretación de resultados

- Correlación de los valores de RMR con el rendimiento y desgaste de las herramientas.
- Identificación de sectores críticos donde la abrasividad, dureza o fracturamiento elevado puedan generar mayor desgaste.
- Una base de datos detallada del macizo rocoso que permita seleccionar herramientas más adecuadas y ajustar los parámetros de perforación para minimizar el desgaste.
- Propuestas de reforzamiento o ajustes en la operación según las condiciones geomecánicas.

A continuación, se presenta un ejemplo de una tabla típica para la caracterización del macizo rocoso (RMR), basada en los cinco parámetros principales según el sistema de clasificación de Bieniawski (1989). Esta tabla se puede ajustar según los valores específicos obtenidos en el campo (7).

Tabla 2. Cálculo del RMR de la Galería 5240 – S, Nv. 230

Parámetro	Rango/Valores	Puntuación	Observaciones
1. Resistencia de la roca intacta (MPa)	<1, 1–5, 5–25, 25–50, >50	1–15	Se determina con martillo Schmidt, pruebas de laboratorio o correlaciones empíricas.
2. RQD (Rock Quality Designation) (%)	<25, 25–50, 50–75, 75–90, 90–100	3–20	Calculado en base al porcentaje de recuperación de testigos de perforación mayores a 10 cm.
3. Espaciamiento de discontinuidades (cm)	<5, 5–30, 30–100, 100–300, >300	5–20	Mide la distancia promedio entre discontinuidades observadas en el macizo rocoso.
4. Estado de las discontinuidades	Muy pobre, Pobre, Regular,	0–30	Evaluación cualitativa de apertura, rugosidad, llenado,

	Buena, Muy buena		continuidad y alteración de las discontinuidades.
5. Condiciones de agua en el macizo	Flujo abundante, Flujo moderado, Mojado, Húmedo, Seco	0–15	Observación del nivel freático y condiciones de humedad en el frente de avance o zona de interés.
Cálculo preliminar del RMR	Suma de puntuaciones anteriores	RMR	

Tomada de Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile (7).

- **Categorías del RMR**

El valor calculado se clasifica en una de las siguientes categorías:

- ✓ RMR 81–100: Muy bueno
- ✓ RMR 61–80: Bueno
- ✓ RMR 41–60: Regular
- ✓ RMR 21–40: Pobre
- ✓ RMR <20: Muy pobre

Si necesitas ayuda para personalizar la tabla con valores específicos de la Galería 5240 – S, Nivel 230, puedo asistirte.

2.3.1.2. Selección de barra y broca cónica

La selección de herramientas de perforación como las barras y brocas cónicas está basada en las características geomecánicas del macizo rocoso y en las condiciones operativas del entorno subterráneo. Estas herramientas son críticas para garantizar una perforación eficiente, segura y con costos optimizados (8).

La barra cónica y la broca cónica deben ser seleccionadas con base en parámetros como la dureza de la roca, abrasividad, diseño del frente de perforación, y los requerimientos de profundidad y diámetro del barreno (8).

Tabla 3. Criterios de selección de barra y broca cónica según el tipo de roca de la Galería 5240 – S, Nv. 230

Tipo de roca	Columna de perforación	Broca cónica (diámetro: 38 mm)	Barra cónica (longitud: 6 y 8 pies)
Roca blanda	- Menor esfuerzo de impacto. - Alta velocidad de penetración.	- Botones balísticos para máxima velocidad. - Configuración abierta para evacuación eficiente de detritos.	- Barra de 6 pies para mayor control y precisión en espacios reducidos. - Acero de menor dureza para evitar sobrecarga en zonas menos exigentes.
Roca media (moderadamente dura)	- Balance entre impacto y velocidad. - Velocidades de penetración medias.	- Botones combinados (balísticos y esféricos) para equilibrio entre velocidad y durabilidad. - Diseño compacto para soportar impactos moderados.	- Barra de 6 pies para frentes cortos o en espacios confinados. - Barra de 8 pies para mayor alcance en frentes profundos.
Roca dura	- Impacto alto y velocidad reducida. - Mayor esfuerzo para romper la roca.	- Botones esféricos para máxima resistencia al desgaste. - Alta densidad de botones para optimizar la durabilidad.	- Barra de 8 pies para trabajos de mayor profundidad y menor necesidad de cambio. - Acero de alta resistencia al impacto y al desgaste.
Roca abrasiva	- Mayor desgaste debido a la abrasividad. - Impacto medio-alto.	- Botones esféricos con mayor densidad. - Configuración diseñada para minimizar el desgaste prematuro.	- Barra tratada térmicamente para mayor resistencia al desgaste. - Longitud de 8 pies para frentes más amplios, asegurando mayor vida útil en condiciones exigentes.

Tomada de Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile (7)

- **Columna de perforación**

Seleccionar la longitud de la barra en función del espacio disponible en el frente de trabajo y la profundidad requerida del barreno. Para terrenos más duros, barras de mayor longitud y dureza minimizan los cambios frecuentes.

- **Broca cónica**

El diámetro de 38 mm es adecuado para barrenos de mediano diámetro en frentes subterráneos. Considerar botones balísticos para roca más suave y esféricos para condiciones duras o abrasivas.

- **Barra cónica**

La barra cónica de 6 y 8 pies es ideal para espacios reducidos y frentes cortos, ofreciendo mayor control y precisión, con acero de menor dureza para evitar sobrecarga. La barra de 8 pies es adecuada para frentes profundos, reduciendo la necesidad de cambios frecuentes gracias a su mayor alcance, y está construida con acero de alta resistencia al impacto y al desgaste, tratada térmicamente para asegurar su durabilidad en condiciones exigentes.

- **Durabilidad**

Monitorear el desgaste para decidir sobre el reemplazo o reutilización. Asegurarse de la correcta lubricación y limpieza durante las operaciones para prolongar la vida útil.

2.3.1.3. Medición de parámetros de perforación con Jackleg

La medición de parámetros de perforación con Jackleg es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo, prolongar la vida útil de las herramientas y maximizar la eficiencia de las operaciones en minería subterránea. Los parámetros clave de este proceso son:

a) Presión

La presión del aire o agua utilizada en la perforación es un factor crítico para mantener un rendimiento constante. Si la presión es demasiado baja, puede reducir la velocidad de perforación, lo que lleva a una mayor duración del proceso y a un mayor consumo de energía. Por el contrario, si la presión es demasiado alta, puede causar un desgaste excesivo de las herramientas y el equipo. Controlar este parámetro asegura que la perforación se realice de manera eficiente, optimizando tanto el tiempo como los recursos. Además, una presión adecuada ayuda a evitar problemas de estabilidad en el proceso de perforación, especialmente en rocas más duras (9).

b) Empuje

El empuje es la fuerza aplicada por el operador sobre la barra de perforación. Es esencial ajustar el empuje según las características del macizo rocoso para evitar aplicar demasiada presión, lo cual podría sobrecargar la herramienta y generar daños prematuros. Un empuje insuficiente puede resultar en una perforación ineficiente, prolongando el tiempo necesario para completar el barreno. Un control adecuado del empuje garantiza que las herramientas de perforación se utilicen de manera efectiva, mejorando su vida útil y evitando paradas innecesarias debido a daños por sobrecarga (9).

c) Rotación

La rotación de la barra es otro parámetro importante que debe ajustarse en función de las condiciones geomecánicas de la roca. Una rotación muy alta puede generar un desgaste prematuro de los componentes, especialmente si la roca es dura o abrasiva. Por otro lado, una rotación baja podría reducir la tasa de penetración, aumentando el tiempo de perforación. Ajustar correctamente la velocidad de rotación en función del tipo de roca permite una perforación más eficiente, optimizando la relación entre velocidad de penetración y desgaste de las herramientas (9).

d) Barrido

El barrido es la acción de limpiar el taladro mediante aire o agua para evitar la acumulación de material dentro del barreno. Este parámetro es crucial para garantizar que los detritos generados durante la perforación se eliminen rápidamente, lo que mejora la eficiencia del proceso. La acumulación de material dentro del taladro puede obstaculizar la perforación y aumentar la fricción, lo que a su vez incrementa el desgaste de la broca y de la barra de perforación. Un barrido eficiente también ayuda a mantener una mayor precisión en la perforación y evita la obstrucción del equipo de perforación (9).

Tabla 4. Medición de parámetros de perforación con Jackleg

Parámetro	Descripción	Importancia
Presión	Control de la presión del aire o agua durante la perforación.	Mantener un rendimiento constante, evitando baja eficiencia o desgaste prematuro.
Empuje	Fuerza aplicada por el operador sobre la barra de perforación.	Evitar sobrecarga de las herramientas, garantizando su durabilidad.

Rotación	Velocidad de rotación ajustada según las condiciones del macizo rocoso.	Asegura una penetración eficiente y optimiza la relación entre velocidad y desgaste.
Barrido	Limpieza del taladro con aire o agua para evitar acumulación de material.	Mejora la eficiencia, evitando obstrucciones y reduciendo la fricción.

Tomada del Manual de Perforación y Voladura de Rocas (9)

Este conjunto de parámetros clave es esencial para optimizar el proceso de perforación con Jackleg, garantizando un rendimiento eficiente, prolongando la vida útil de las herramientas y reduciendo los costos operativos en minería subterránea.

El control y monitoreo de estos parámetros no solo contribuyen a una perforación más eficiente, sino que también reducen los costos operativos. La correcta combinación de presión, empuje, rotación y barrido asegura que el equipo de perforación funcione dentro de los límites más óptimos, evitando sobrecargas o desgaste innecesario. Además, permite ajustar el proceso en tiempo real para adaptarse a las variaciones en las condiciones del macizo rocoso, lo que maximiza el rendimiento del equipo y minimiza el riesgo de paradas operativas inesperadas.

2.3.1.4. Monitoreo de la vida útil en metros perforados

El monitoreo de la vida útil en metros perforados es esencial para evaluar el rendimiento y la durabilidad de las herramientas de perforación en distintos contextos operativos. Esto incluye el seguimiento de los metros perforados en diversos escenarios, como por contrato y en campo, lo que permite obtener una visión completa de su desempeño.

Tabla 5. Parámetros de monitoreo

Aspecto	Descripción	Importancia
Metros perforados por herramienta	Seguimiento del número de metros perforados por cada herramienta antes de que se observe un desgaste significativo.	Permite determinar la vida útil de las herramientas y programar el reemplazo oportuno.
Metros perforados por contrato	Total de metros perforados según lo estipulado en el contrato de minería, comparado con el rendimiento real.	Ayuda a evaluar la eficiencia y el cumplimiento de los compromisos contractuales.
Metros perforados en campo	Registra los metros perforados en condiciones de trabajo reales, con variaciones en el macizo rocoso y otros factores.	Permite evaluar cómo las condiciones de campo afectan la eficiencia de perforación y la vida útil de las herramientas.

Tomada del: Manual de Perforación y Voladura de Rocas (9)

Tabla 6. Comparación de rendimiento

Parámetro de comparación	Descripción	Objetivo
Desempeño de herramientas por marca	Comparación de la cantidad de metros perforados antes de que se observe desgaste significativo en herramientas de distintas marcas.	Determinar la opción más rentable y duradera, considerando costos de reemplazo y mantenimiento.
Rendimiento entre contratos	Comparación de los metros perforados por contrato, observando si las herramientas cumplen o exceden los estándares establecidos.	Evaluar la eficiencia del proceso y ajustar parámetros operativos para mejorar el rendimiento en contratos futuros.
Rendimiento en condiciones de campo	Comparación del rendimiento de perforación en campo bajo diferentes condiciones geomecánicas (roca blanda, media, dura).	Identificar la mejor estrategia y herramientas para cada tipo de terreno, optimizando la operación en el campo.

Tomada del Manual de Perforación y Voladura de Rocas (9)

- **Beneficios del monitoreo y comparación de rendimiento**

Optimización de costos: permite identificar herramientas más eficientes, evitando reemplazos prematuros y asegurando que se cumplan los objetivos de perforación dentro del presupuesto.

Mejor toma de decisiones: ofrece información valiosa para tomar decisiones sobre la compra de herramientas, mantenimiento y programación de perforaciones según las condiciones específicas del terreno.

Eficiencia operativa: el análisis del desempeño permite ajustar parámetros y técnicas de perforación, incrementando la eficiencia general de la operación minera.

Este enfoque integral de monitoreo y comparación de rendimiento garantiza un control más efectivo sobre la vida útil de las herramientas, ayudando a mejorar la eficiencia, reducir costos y maximizar la productividad.

2.3.1.5.Descarte de la barra y broca cónica

El análisis destaca las principales causas del desgaste y descarte de brocas y barras cónicas, como el desgaste diametral (30%) en brocas y el desgaste de hexagonales (50%) en barras, además de fracturas, rajaduras y problemas con los insertos. Estas situaciones se atribuyen a tensiones durante el uso, malas prácticas operativas y condiciones extremas de trabajo.

Se proponen recomendaciones clave para reducir el descarte: capacitación del personal, monitoreo continuo, selección adecuada de materiales, mantenimiento preventivo y optimización de parámetros de perforación. Estas acciones buscan mejorar la eficiencia operativa, prolongar la vida útil de las herramientas y reducir los costos de reemplazo, contribuyendo a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

a) Tipos de descarte de brocas cónicas

Los siguientes tipos de descarte de brocas cónicas son:

- Desgaste diametral
- Insertos rotos
- Insertos diametrales expulsados
- Insertos centrales expulsados
- Insertos fuera de la matriz
- Pérdida total de insertos

- Fractura transversal
- Fractura longitudinal
- Rajadura de brocas
- Obstrucción de orificios de barrido
- Pérdida en frente de trabajo
- Desgaste de matriz

El desgaste diametral representa la causa más común, abarcando el 30 % del total de descartes. Los problemas relacionados con los insertos (rotos, expulsados o fuera de la matriz) contribuyen con un 30 %, lo que sugiere la necesidad de monitorear y mejorar la calidad del material.

Las fracturas y rajaduras suman un 20%, probablemente asociadas a tensiones durante el uso.

b) Tipos de descarte de barras cónicas

Los siguientes tipos de descarte de barras cónicas son:

- Desgaste de hexagonales
- Torcedura de barras
- Daño en la cara de impacto
- Fractura en la parte del cono
- Fractura en la parte del culatín
- Plantado en frente de trabajo
- Fractura en zona intermedia
- Rajadura de barras

El desgaste de hexagonales es el principal motivo de descarte, representando el 50%, posiblemente debido al uso prolongado o inadecuado. Las torceduras y rajaduras constituyen el otro 50%, lo que podría estar relacionado con malas prácticas operativas o condiciones extremas de trabajo.

c) Recomendaciones para reducir el descarte

- **Capacitación del personal**

Entrenar a los operadores para evitar esfuerzos excesivos que puedan causar fracturas, rajaduras o torceduras. Reforzar el conocimiento sobre buenas prácticas de operación y manejo de herramientas en condiciones exigentes.

- **Monitoreo continuo**

Implementar controles periódicos en brocas y barras para detectar signos tempranos de desgaste. Utilizar herramientas de inspección rápida en campo para minimizar interrupciones operativas.

- **Mantenimiento preventivo**

Inspeccionar las herramientas después de cada turno para identificar daños menores antes de que escalen a problemas mayores. Programar rutinas de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de las herramientas.

d) Optimización de parámetros de perforación

Ajustar la presión, el empuje y la rotación para reducir el estrés en las herramientas. Utilizar sistemas de monitoreo automático para ajustar los parámetros en tiempo real según las condiciones del terreno.

Este análisis permite abordar las causas principales del desgaste de herramientas, promoviendo soluciones que mejoran la eficiencia operativa, prolongan la vida útil de los equipos, y disminuyen los costos de reemplazo. La implementación de estas recomendaciones no solo optimiza los procesos, sino que también contribuye a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

2.3.1.6. Análisis del costo por metro perforado

A continuación, se presenta la tabla del análisis de los costos de perforación y voladura en función al metro lineal de avance:

Tabla 7. Análisis de los costos de perforación y voladura en función al metro lineal de avance

Ítem	Detalle	Costo unitario (\$)	Costo total (\$/ml)
1. Mano de obra			
Operador	Costo por turno	-	-
Ayudante	Costo por turno	-	-
2. Aceros de perforación-			
Broca cónica	Vida útil promedio (10 ml por unidad)	-	-
Barra cónica	Vida útil promedio (150 ml por unidad)	-	-
3. Herramientas	Herramientas de	-	-

soporte y repuestos			
4. Implementos de seguridad	EPP (cascos, guantes, gafas, etc.)	-	-
5. Equipos en operación		-	-
Perforadora	Depreciación, mantenimiento y operación	-	-
Sistema de ventilación	Costos de funcionamiento	-	-
6. Explosivos y accesorios		-	-
Emulsión explosiva	Costo promedio por carga	-	-
Accesorios de voladura	Cordón detonante, retardos, etc.	-	-
Total costo por metro lineal-			-

Tomada del: Manual de Perforación y Voladura de Rocas (9)

De la tabla, en resumen, las áreas clave de los costos de perforación y voladura en función al metro lineal de avance se muestra a continuación:

- **Mano de obra:** la mano de obra representa una proporción significativa del costo total, lo que resalta la importancia de optimizar los tiempos operativos y evitar paradas innecesarias.
- **Aceros de perforación:** el uso adecuado de brocas y barras cónicas es clave para reducir los costos asociados al desgaste prematuro y maximizar la vida útil.
- **Herramientas y EPP:** aunque estos son costos menores, mantener una dotación adecuada asegura la continuidad operativa y contribuye a la seguridad de los trabajadores.
- **Equipos en operación:** la eficiencia de los equipos, especialmente las perforadoras y sistemas de ventilación, impacta directamente en los costos de operación. Un adecuado mantenimiento puede evitar costos elevados de reparaciones.
- **Explosivos y accesorios:** el costo asociado a explosivos y accesorios depende en gran medida de la calidad del diseño de las voladuras. Una optimización de los diseños de voladura puede reducir significativamente el costo por metro perforado y mejorar la calidad de la fragmentación.

En la siguiente figura se muestra el control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.

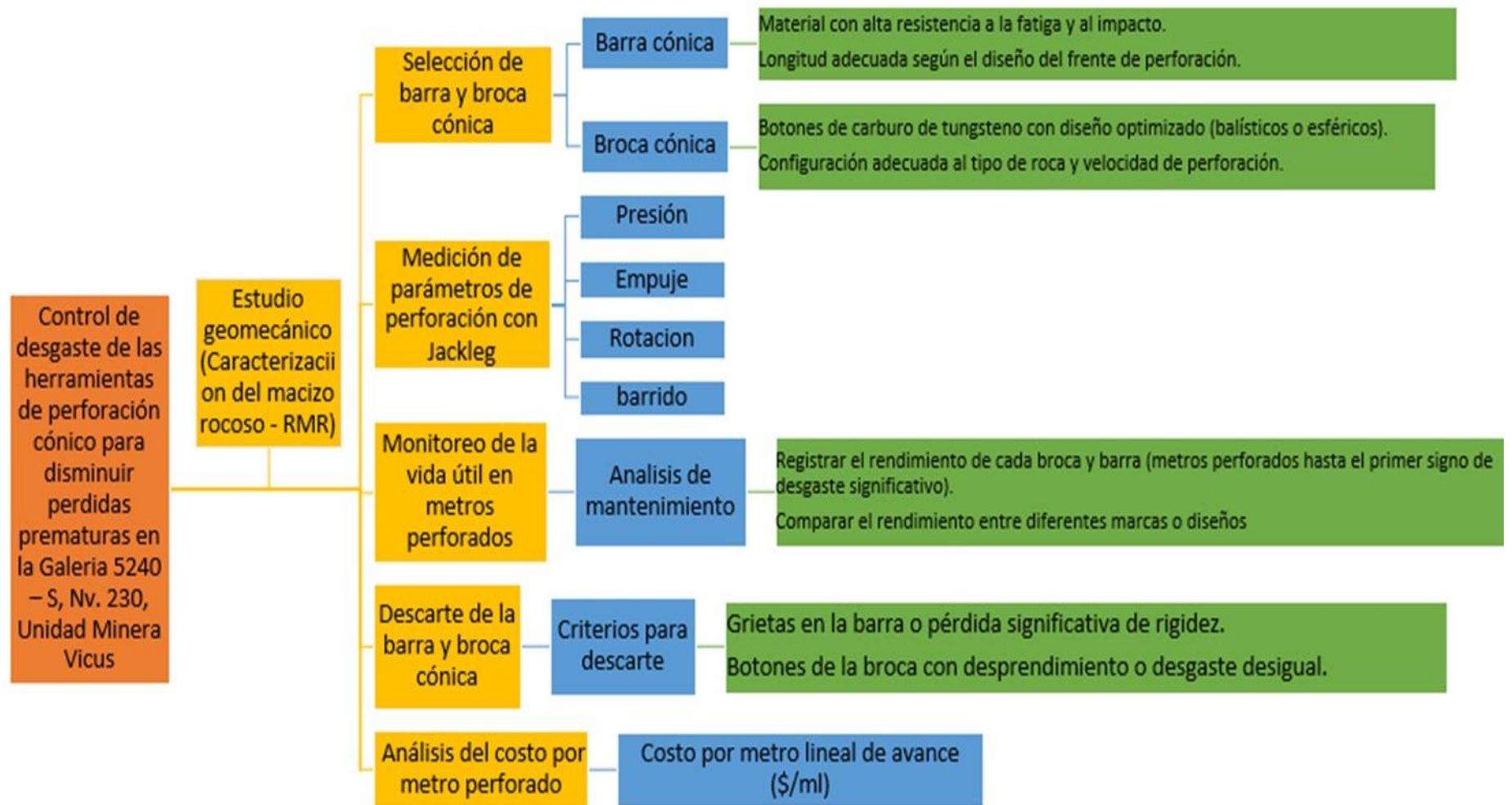


Figura 2. Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

2.4. Definición de términos

- Barra cónica: la barra cónica transmite la energía de la perforadora hacia la broca, permitiendo perforar terrenos rocosos. Fabricada con materiales resistentes, su longitud debe adaptarse al diseño del frente de perforación y soportar altas fuerzas durante el proceso (9).
- Broca cónica: la broca cónica, equipada con botones de carburo de tungsteno, corta la roca y se diseña para adaptarse a diferentes tipos de terreno. Su diseño optimizado influye en la eficiencia de perforación, velocidad de avance y duración de la herramienta (9).
- Medición de parámetros de perforación con Jackleg: la medición con Jackleg implica ajustar parámetros clave como presión, empuje, rotación y barrido durante la perforación. Estos ajustes son fundamentales para maximizar la eficiencia y prolongar la vida útil de las herramientas (9).
- Monitoreo de la vida útil en metros perforados: el monitoreo sigue el rendimiento de las herramientas de perforación en términos de metros perforados, ayudando a determinar el momento de reemplazo y optimizar el mantenimiento, lo que mejora la selección de herramientas y reduce costos (8)
- Análisis de mantenimiento: el análisis de mantenimiento registra el rendimiento de las herramientas, identificando puntos de desgaste prematuro. Comparar distintas marcas o diseños permite tomar decisiones informadas sobre qué herramientas ofrecen mejor rendimiento y menor costo (7).
- Descarte de la barra y broca cónica: el descarte de herramientas se realiza cuando ya no pueden perforar eficientemente. Los criterios incluyen grietas, pérdida de rigidez en la barra o desgaste desigual en la broca. Esto ayuda a evitar costos adicionales y mantener la eficiencia de perforación (8)
- Análisis del costo por metro perforado: este análisis evalúa los costos asociados a la perforación de un metro lineal de roca, considerando herramientas, energía, mano de obra y mantenimiento. Permite identificar áreas de mejora y optimizar el proceso para reducir costos (8)

- Implementación y mejora continua: la mejora continua se basa en pruebas piloto y capacitación para optimizar las herramientas y prácticas de perforación. El análisis de datos permite ajustar estrategias, mejorar la productividad y reducir costos operativos (7).
- Estudio geomecánico (caracterización del macizo rocoso - RMR): el estudio geomecánico clasifica la calidad del macizo rocoso mediante el sistema RMR, considerando parámetros como la resistencia y la estructura de la roca. Esto permite seleccionar adecuadamente las herramientas y garantizar operaciones eficientes y seguras (7).

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

a) Método general

Esta investigación se utiliza el método científico, con el fin de realizar el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, de la Unidad Minera Vicus.

b) Método específico

El método específico a emplear es el método experimental deductivo, orientado a realizar un análisis detallado sobre el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica.

3.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

Es aplicativa, ya que busca implementar soluciones prácticas para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica y reducir las pérdidas prematuras en la galería mencionada.

b) Nivel de investigación

Es descriptivo, dado que se describe el estado de las herramientas y los avances en el control del desgaste a través de la observación y análisis de datos.

3.3 Diseño de la investigación

Es experimental, dado que se realizará un control y optimización del proceso de perforación cónica para evaluar los resultados y mejoras en el desgaste de las herramientas, específicamente en la Galería 5240 – S, Nv. 230, de la Unidad Minera Vicus.

3.4 Población y muestra

3.3.1 Población

Serán todas las galerías de la Veta Valeria, de la Unidad Minera Vicus.

3.3.2 Muestra

La Galería 5240 – S, Nv. 230, de la Veta Valeria, de la Unidad Minera Vicus.

3.5 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 la Galería 5240 – S, Nv. 230, de la Veta Valeria, de la Unidad Minera Vicus.

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 Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nivel 230 de la Unidad Minera Vicus, se centra en seleccionar adecuadamente las barras y brocas cónicas, monitorear los parámetros de perforación con Jackleg, y registrar la vida útil de las herramientas en metros perforados. Además, se analizan los criterios para el descarte de las herramientas y se evalúa el costo por metro perforado. La mejora continua se logra mediante pruebas piloto, capacitación de operadores y ajustes en las estrategias operativas basadas en los datos obtenidos, lo que optimiza la eficiencia y reduce costos operativos.

4.2 Caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónico en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

La caracterización geomecánica resulta crucial para optimizar las operaciones de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230, de la Unidad Minera Vicus, desempeñando un papel clave en el diseño de estrategias que aumenten el avance lineal y mejoren la productividad operativa.

El proceso de mapeo geomecánico es fundamental para evaluar las condiciones del macizo rocoso y su comportamiento frente a las actividades de desarrollo en esta galería. El mapeo geomecánico inicial se centra en una inspección general del frente de trabajo, recopilando datos preliminares sobre las discontinuidades, la resistencia de los materiales y las condiciones estructurales. En contraste, el análisis detallado del mapeo geomecánico incluye la medición de parámetros específicos, como el espaciamiento entre fracturas, la rugosidad, la apertura, el

material de relleno y la persistencia. Estos factores son esenciales para determinar el índice de calidad del macizo rocoso, como el RMR o el índice Q.

Estos estudios permiten diseñar sistemas de sostenimiento adecuados, optimizar las operaciones de perforación y voladura, y garantizar la estabilidad estructural de las labores mineras. En la figura adjunta se presenta el mapeo geomecánico realizado en la Galería 5240 – S, Nivel 230, de la Unidad Minera Vicus.

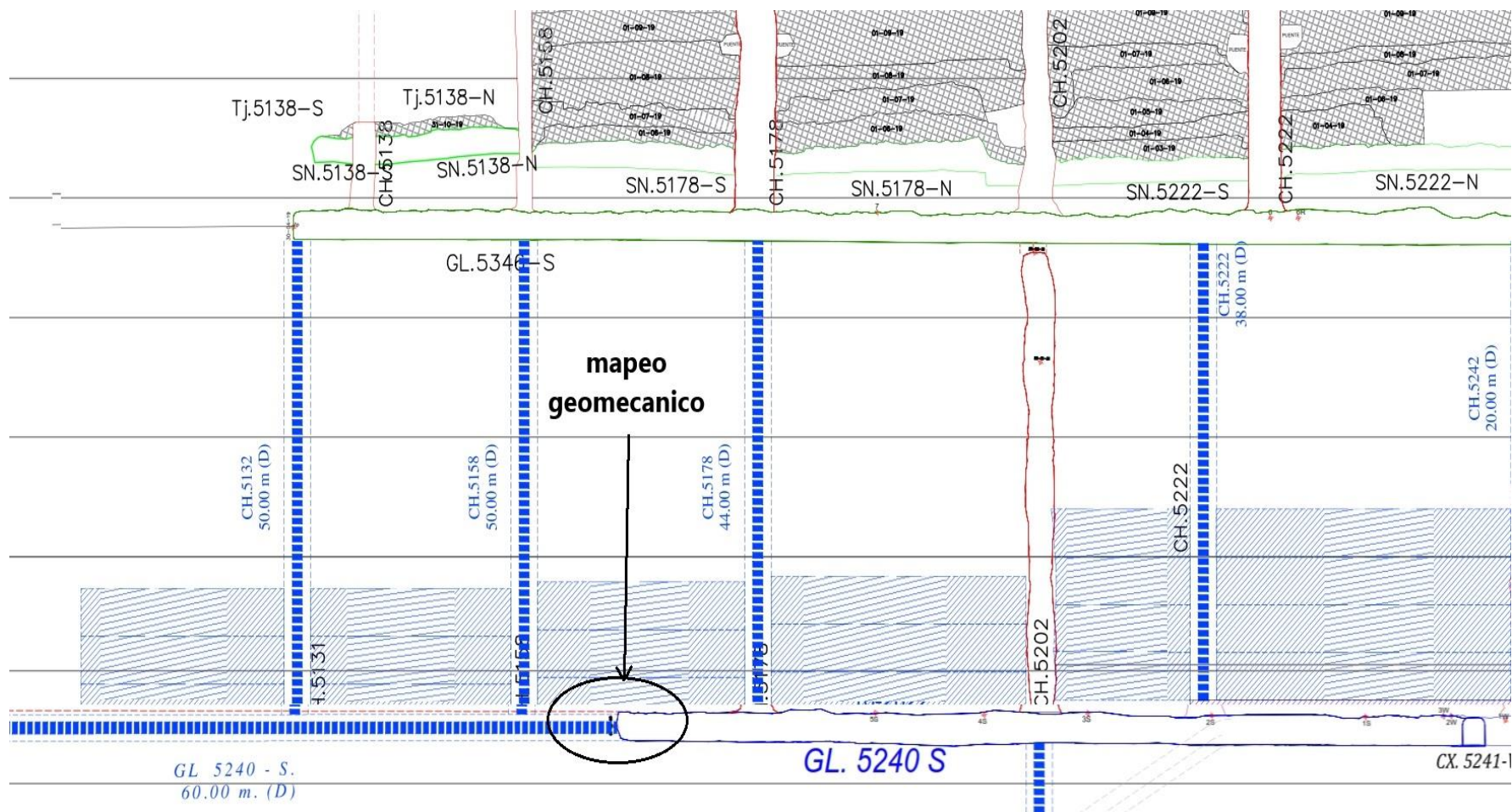


Figura 3. Mapeo geomecánico de la Galería 5240 – S, Nivel 230, de la Unidad Minera Vicus.
Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del RMR para la Galería 5240 – S, Nivel 230

Tabla 8. Cálculo del RMR para la Galería 5240 – S, Nivel 230

Parámetro	Clasificación	Puntos Obtenidos
Resistencia a la compresión uniaxial	50–100 MPa	8
Grado de disseminación de las fracturas	2–5 fracturas/m	8
Tipo de material de las fracturas	Material moderadamente blando	8
Condición de las discontinuidades	Superficies rugosas	12
Espesor de las fracturas	1–5 mm	12
Condiciones del agua en las fracturas	Agua con baja presión o flujo	12
Orientación de las fracturas	Desfavorable	-5
Total (RMR)		55

Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus

Interpretación

La Galería 5240 – S, Nivel 230, ha sido evaluada geomecánicamente, obteniendo un índice RMR de 55, lo que la clasifica como Clase III A según el sistema de clasificación de Bieniawski. Esta clasificación corresponde a una calidad de macizo rocoso moderada, lo que implica que, aunque el macizo presenta una estabilidad general aceptable, existen zonas que podrían requerir medidas adicionales para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura.

En términos de estabilidad, un macizo con estas características puede soportar ciertas cargas naturales, pero las áreas con una mayor densidad de discontinuidades, como fracturas, planos de falla o materiales de menor cohesión, representan un riesgo potencial. Estas zonas específicas son más susceptibles a desprendimientos o colapsos parciales, especialmente cuando están sometidas a actividades como la perforación, voladura o la exposición prolongada a vibraciones y humedad.

Por lo tanto, el sostenimiento recomendado es de tipo sistemático, diseñado para abordar tanto las condiciones generales del macizo como las áreas críticas identificadas durante la evaluación geomecánica. Este tipo de sostenimiento incluye los siguientes elementos:

- **Malla electrosoldada**

Se emplea para contener los fragmentos de roca que puedan desprenderse, proporcionando una barrera que mantiene la integridad de la estructura. Es especialmente útil en zonas con fracturación superficial o bloques sueltos.

- **Pernos split set de 7 pies**

Estos pernos trabajan generando fricción para estabilizar las discontinuidades en el macizo rocoso, ayudando a mantener las capas unidas y reduciendo el riesgo de colapsos. Su longitud de 7 pies es adecuada para anclar en profundidad y cubrir áreas con mayor separación de fracturas.

- **Shotcrete de 2 pulgadas de espesor**

Una capa de concreto proyectado (shotcrete) proporciona soporte adicional al macizo rocoso, cubriendo la superficie y llenando las irregularidades.

Este refuerzo mejora la cohesión entre los bloques y protege contra los efectos de la humedad y la erosión. El diseño e implementación de este sostenimiento se basa en las condiciones específicas del macizo y busca garantizar la seguridad de los trabajadores, así como la continuidad de las operaciones. Además, este enfoque integral permite minimizar los riesgos asociados a la inestabilidad estructural y optimizar los costos operativos a largo plazo.

4.2.1 Evaluación para el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica

La metodología para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nivel 230, de la Unidad Minera Vicus se estructura en siete etapas interrelacionadas, cada una diseñada para abordar aspectos específicos del proceso y garantizar una optimización integral.

La primera etapa consiste en la caracterización del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR, lo que permite entender las condiciones geológicas y su impacto en el desempeño de las herramientas. A continuación, se realiza la selección de barra y broca cónica, evaluando

opciones con mayor resistencia y adaptabilidad a las condiciones identificadas en el análisis geomecánico.

En la medición de parámetros de perforación con Jackleg, se registran variables como presión, tiempo de perforación y profundidad lograda, estableciendo una línea base para evaluar el rendimiento. Posteriormente, el monitoreo de la vida útil en metros perforados permite identificar el desgaste progresivo de las herramientas, asegurando un uso eficiente y oportuno de los recursos.

Cuando las herramientas alcanzan su límite funcional, se procede al descarte de la barra y broca cónica, siguiendo criterios definidos para minimizar riesgos y garantizar la calidad operativa. Luego, el análisis del costo por metro perforado compara los resultados obtenidos con las herramientas seleccionadas frente a las tradicionales, evaluando la eficiencia económica y operativa.

Finalmente, en la implementación y mejora continua, se aplican los aprendizajes obtenidos, ajustando parámetros y herramientas para mantener y mejorar los resultados a lo largo del tiempo, asegurando un control efectivo del desgaste y optimización de los costos.

Control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	Estudio geomecánico (Caracterización del macizo rocoso - RMR)		
	Selección de barra y broca cónica	Barra cónica (38 mm)	Material con alta resistencia a la fatiga y al impacto. Longitud adecuada según el diseño del frente de perforación.
		Broca cónica (6 y 8 pies)	Botones de carburo de tungsteno con diseño optimizado (balísticos o esféricos). Configuración adecuada al tipo de roca y velocidad de perforación.
	Medición de parámetros de perforación con Jackleg	Presión	
		Empuje	
		Rotación	
		barrido	
	Monitoreo de la vida útil en metros perforados (mp)	Análisis de mantenimiento	Registrar el rendimiento de cada broca y barra (metros perforados hasta el primer signo de desgaste significativo). Comparar el rendimiento entre diferentes marcas o diseños.
	Descarte de la barra y broca cónica	Criterios para descarte	Grietas en la barra o pérdida significativa de rigidez. Botones de la broca con desprendimiento o desgaste desigual.
	Análisis del costo por metro perforado	Costo por metro lineal de avance (\$/ml)	

Figura 4. Metodología para el control de desgaste de las herramientas de perforación cónico para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv.

230, Unidad Minera Vicus

Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Con el fin de evaluar el impacto del cambio de las barras cónicas de perforación en el avance lineal de la Galería 5240 – S, Nv. 230, se desarrolló una metodología organizada, basada en un enfoque experimental, que facilita el análisis y comparación de los resultados previos y posteriores a la implementación de las barras optimizadas.

4.2.1.1. Estudio geomecánico (caracterización del macizo rocoso - RMR)

a) Caracterización geomecánica

La Galería 5240 – S, Nivel 230, ha sido evaluada con un índice RMR de 55, clasificándola como Clase III A (calidad moderada) según Bieniawski. Aunque presenta una estabilidad general aceptable, ciertas zonas con mayor densidad de discontinuidades requieren medidas de sostenimiento para garantizar la seguridad y estabilidad estructural.

El sostenimiento recomendado incluye malla electrosoldada para contener fragmentos de roca, pernos Split Set de 7 pies para estabilizar discontinuidades mediante fricción, y shotcrete de 2 pulgadas de espesor, que mejora la cohesión del macizo y lo protege contra humedad y erosión.

4.2.1.2. Selección de barra y broca cónica

a) Inspección del estado inicial

La evaluación de la perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230, facilita la detección temprana de problemas operativos, permitiendo optimizar los diseños y recursos disponibles. Este enfoque contribuye a mejorar la seguridad, incrementar la eficiencia y minimizar los costos. Además, los ajustes continuos aseguran un avance controlado y efectivo, alineado con el diseño establecido de la malla de perforación.

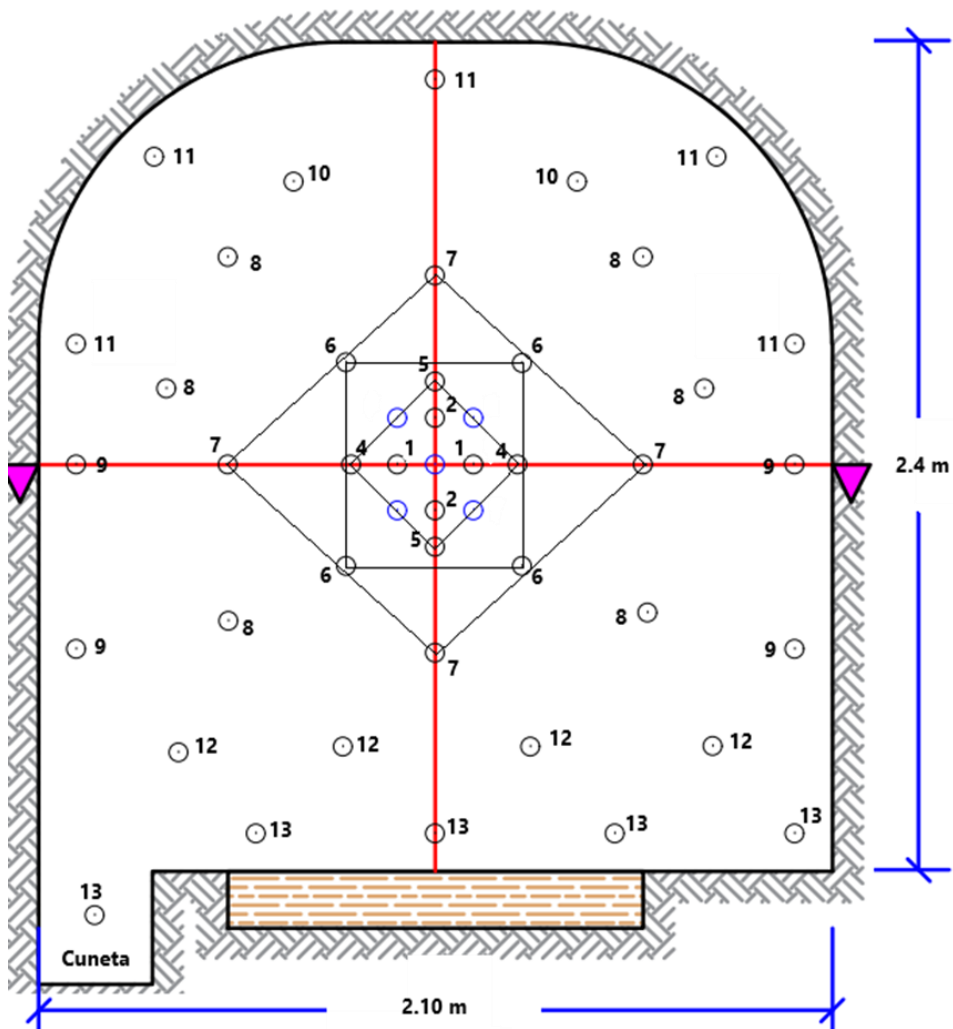


Figura 5. Estado inicial - diseño de la malla de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

DISTRIBUCIÓN DE CARGA	N° TAL.	CEBO		COLUMNA		CANTIDAD DE CARTUCHOS		
		N°	TIPO	N°	TIPO	SEMEXSA	GELATINA	EXADIT
ALIVIO EN EL ARRANQUE	5							
ARRANQUE	4	1	G	6	G	0	28	0
1ERA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	6	S	28	4	0
2 DA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	6	S	28	4	0
3 ERA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	6	S	28	4	0
PRODUCCION	6	1	S	5	S	36	0	0
CUADRADORES	4	1	S	5	S	24	0	0
AYUD. CORONAS	2	1	S	5	S	12	0	0
CORONAS	5	1	S	5	S	30	0	0
AYUD ARRASTRES	4	1	S	6	S	28	0	0
ARRASTRES	4	1	G	6	S	24	4	0
CUNETAS	1	1	G	6	S	6	1	0
TOTAL DE CARTUCHOS (UNID.)						244	45	0
TOTAL DE EXPLOSIVO (KG)						19.76	3.96	0.00

DATOS GENERALES	
SECCIÓN :	2.10 x 2.40
TIPO	REGULAR III A
LONGITUD DE BARRA :	6 pies
DIAMETRO DE TALADRO :	38 mm
AVANCE EFECTIVO (90%)	1.4
FACTOR DE CARGA LINEAL (Kg/m)	16.48
N° TALADROS :	47
TALADROS CARGADOS:	42

ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS	
IGNITER CORD	15 m
MECHA RAPIDA	2 Unid.
CARMEX	42 uni.
GELATINA 7/8 X 7	45 cart.
SEMEXSA 7/8 X 7	244 cart.
EXADIT 7/8 X 7	0 cart.
NUMERO DE CARTUCHOS	289 cart.
TOTAL DE KILOGRAMOS POR DISPARO	23.72

Interpretación:

De la figura se muestra un avance insuficiente, los resultados de la voladura indicaron un volumen extraído de 6.05 m³, un avance de 1.20 metros por disparo, el uso de 23.72 kg de explosivos y un factor de carga lineal de 16.48 kg/m. Aunque los parámetros establecidos fueron aplicados, el avance logrado fue significativamente menor al esperado, evidenciando fallas en el diseño y ejecución que impactaron negativamente en la eficiencia y los costos.

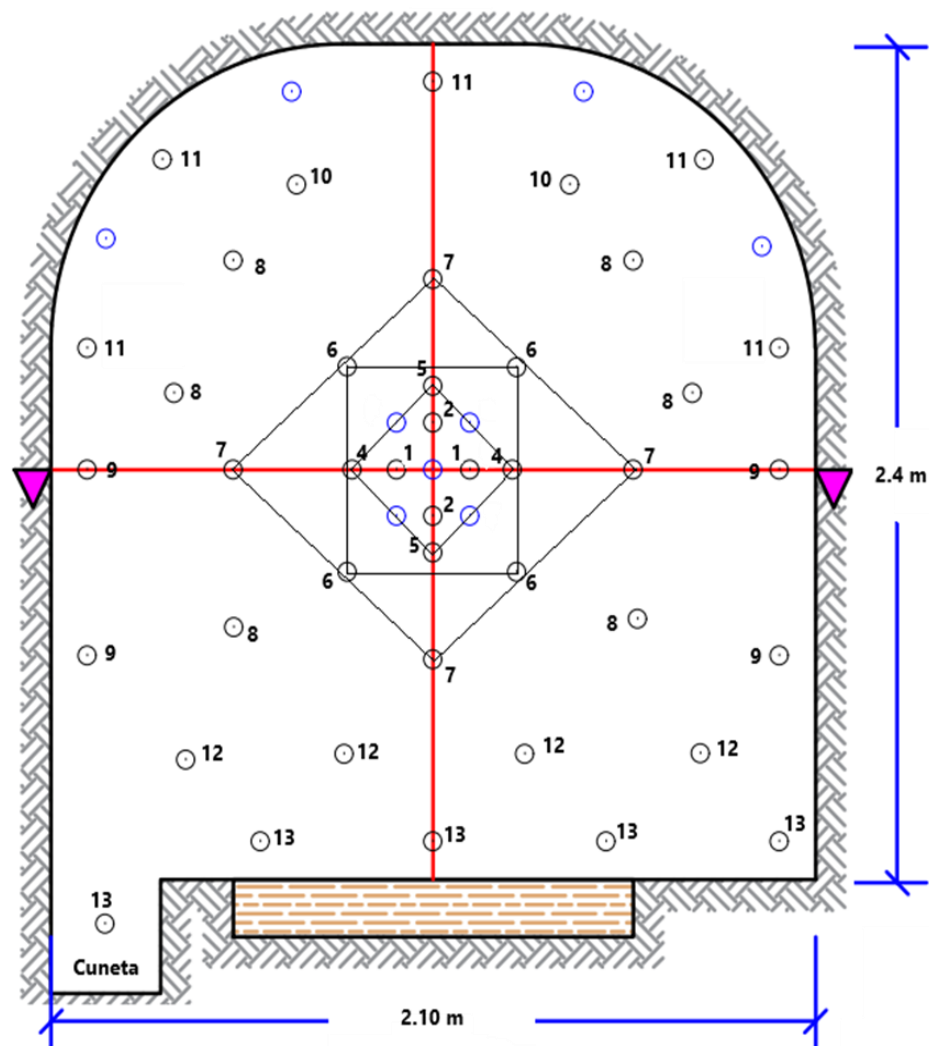
Los parámetros clave de perforación en la Galería 5240 – S, Nivel 230 incluyen una longitud de barra de 6 pies y un diámetro de broca y taladro de 38 mm. Estas especificaciones técnicas permiten una penetración eficiente en el macizo rocoso, contribuyendo a un diseño y ejecución óptimos de la voladura.

Entre los principales inconvenientes identificados en el estado inicial, de la Galería 5240 – S, Nivel 230, se detectó un bajo rendimiento en el avance lineal debido a deficiencias en el diseño de la malla de perforación y voladura. Las principales causas incluyen insuficiente densidad de taladros, profundidades inadecuadas y distribución deficiente de los mismos, lo que generó fragmentación ineficaz y ciclos de limpieza prolongados, afectando la productividad y aumentando los costos operativos.

a) Inspección del estado óptimo

La transición de barras cónicas de 6 pies a 8 pies representa un paso significativo en la mejora del proceso de perforación en la Galería 5240 – S, Nivel 230. Este cambio no solo busca incrementar el avance lineal por ciclo de perforación, sino también optimizar el tiempo empleado en cada operación, lo que resulta en una reducción de los costos operativos y un aumento en la productividad.

El uso de barras de 8 pies, en un solo ciclo de perforación, mejora la continuidad de las operaciones y se optimiza el uso del equipo de perforación. Por otro lado, la implementación de barras de mayor longitud también se adapta mejor a las características del macizo rocoso. En el caso específico del macizo con un índice RMR de 55, el uso de barras de 8 pies contribuye a una perforación más eficiente y a un mejor control de la dirección y profundidad de los taladros, lo que impacta positivamente en la calidad de la voladura y la fragmentación del material extraído.



DISTRIBUCIÓN DE CARGA	N° TAL.	CEBO		COLUMNA		CANTIDAD DE CARTUCHOS		
		N°	TIPO	N°	TIPO	SEMESSA	GELATINA	EXADIT
ALIVIO EN EL ARRANQUE	5							
ALIVIO DE CORONAS	4							
ARRANQUE	4	1	G	9	G	0	40	0
1ERA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	9	S	36	4	0
2 DA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	9	S	36	4	0
3 ERA. AYUDA ARRANQUE	4	1	G	9	S	36	4	0
PRODUCCION	6	1	S	8	S	54	0	0
CUADRADORES	4	1	S	8	S	36	0	0
AYUD. CORONAS	2	1	S	8	S	18	0	0
CORONAS	5	1	S	7	S	40	0	0
AYUD ARRASTRES	4	1	S	7	S	32	0	0
ARRASTRES	4	1	G	9	S	36	4	0
CUNETAS	1	1	G	9	S	9	1	0
TOTAL DE CARTUCHOS (UNID.)						333	57	0
TOTAL DE EXPLOSIVO (KG)						26.97	5.02	0.00

DATOS GENERALES	
SECCIÓN :	2.10 x 2.40
TIPO	REGULAR III A
DIAMETRO DE TALADRO :	38 mm
LONGITUD DE BARRA (pies) :	8
AVANCE EFECTIVO (90%)	2.0
FACTOR DE CARGA LINEAL (Kg/m)	16.30
N° TALADROS :	51
TAL. CARGADOS :	42
ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS	
IGNITER CORD	15 m
MECHA RAPIDA	2 Unid.
CARMEX	42 uni.
GELATINA 7/8 X 7	57 cart.
SEMESSA 7/8 X 7	333 cart.
EXADIT 7/8 X 7	0 cart.
NUMERO DE CARTUCHOS	390 cart.
TOTAL DE KILOGRAMOS POR DISPAROS	31.99

Figura 6. Estado óptimo - diseño de la malla de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Interpretación:

Los resultados obtenidos de la voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230, destacan un rendimiento notablemente positivo en comparación con los anteriores. El volumen extraído de 10.07 m³ y el avance de 2.0 metros por disparo indican que la voladura ha tenido un impacto directo en el avance de la galería, alcanzando los objetivos de extracción de manera más eficiente. El hecho de que se haya utilizado 31.99 kg de explosivos para lograr este avance resalta la efectividad en el uso de los recursos, ya que se ha alcanzado una carga lineal de 16.30 kg/m, lo cual se considera una mejora en la densidad de carga respecto a disparos anteriores.

Este desempeño más eficiente en términos de volumen extraído y avance logrado se atribuye a la optimización de los parámetros de perforación y voladura, lo que sugiere que los ajustes realizados en el diseño de la malla de perforación, la selección de explosivos y la secuencia de detonación han tenido un impacto positivo. Además, la reducción en el uso de explosivos por metro perforado y la mejora en la fragmentación reflejan un proceso de perforación más efectivo, con menores costos operativos y un aumento en la productividad. Como resultado, estos ajustes aseguran una mayor efectividad en las futuras operaciones, permitiendo un avance controlado, reducción de costos y mayor seguridad en la ejecución de las voladuras.

4.2.1.3. Medición de parámetros de perforación con Jackleg

a) Estado situacional de medición de parámetros de perforación con Jackleg de la Galería 5240 – S, Nivel 230

En la Galería 5240 – S, Nivel 230, la medición de parámetros de perforación con Jackleg incluyó la evaluación de la velocidad de rotación, presión de empuje, frecuencia de impacto y barrido con agua. Los resultados indicaron variaciones en estos parámetros, lo que afecta la eficiencia del proceso de perforación, el desgaste de las herramientas y la calidad de los taladros. Este diagnóstico es fundamental para ajustar las condiciones operativas y optimizar el rendimiento de la perforación.

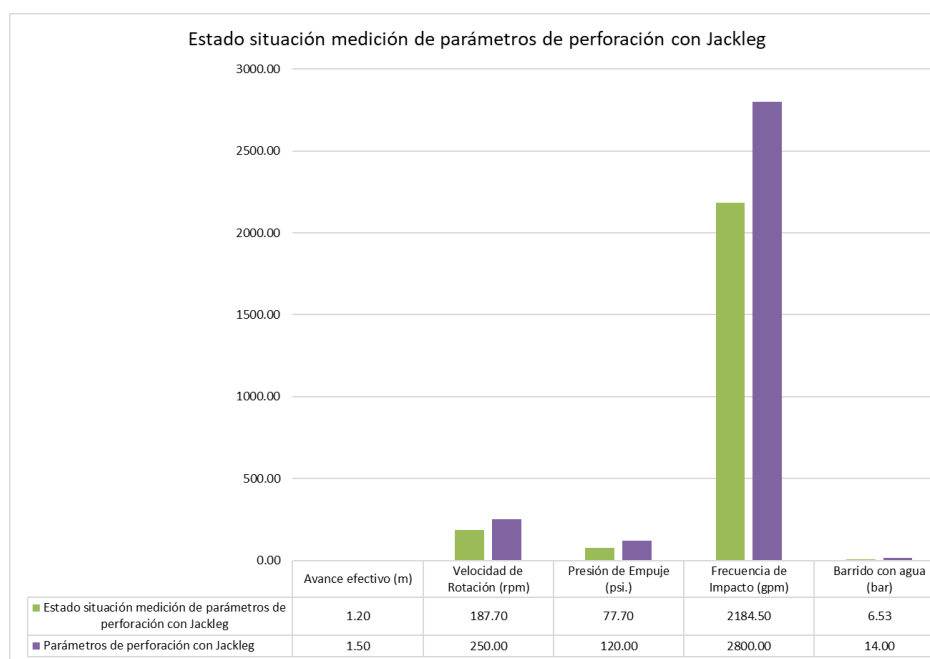


Figura 7. Estado situacional de medición de parámetros de perforación con Jackleg en la Galería 5240 – S
Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Interpretación

Los resultados obtenidos reflejan un desempeño deficiente en el proceso de perforación.

- Avance efectivo por disparo: promedio de 1.2 metros, considerado eficiente para una barra de 6 pies.
- Velocidad de rotación: 187.70 rpm, por debajo del rango ideal de 200 a 250 rpm.
- Presión de empuje: 77.70 psi, inferior al intervalo permitido de 80 a 120 psi.
- Frecuencia de impacto: 2184.50 gpm, fuera del rango óptimo de 2400 a 2800 gpm.
- Barrido con agua: 6.53 bar, menor al rango adecuado de 7 a 14 bar.

Los parámetros clave están por debajo de los estándares requeridos, lo que indica la necesidad de ajustes en operación y mantenimiento para mejorar el rendimiento y garantizar mayor productividad.

b) Estado óptimo de medición de parámetros de perforación con Jackleg

El estado óptimo de medición de parámetros de perforación con Jackleg en la Galería 5240 – S, nivel 230 es crucial para maximizar la eficiencia operativa y garantizar la efectividad del proceso de perforación. La medición adecuada de parámetros clave como el avance efectivo, la velocidad de rotación, la presión de empuje, la frecuencia de impacto y el barrido con agua, permite identificar las condiciones ideales para obtener el mejor rendimiento en las operaciones subterráneas. Estos parámetros optimizados contribuyen a un mayor avance lineal, reducción

del desgaste de herramientas y mejora de la productividad general, factores esenciales para el éxito a largo plazo de las operaciones mineras.

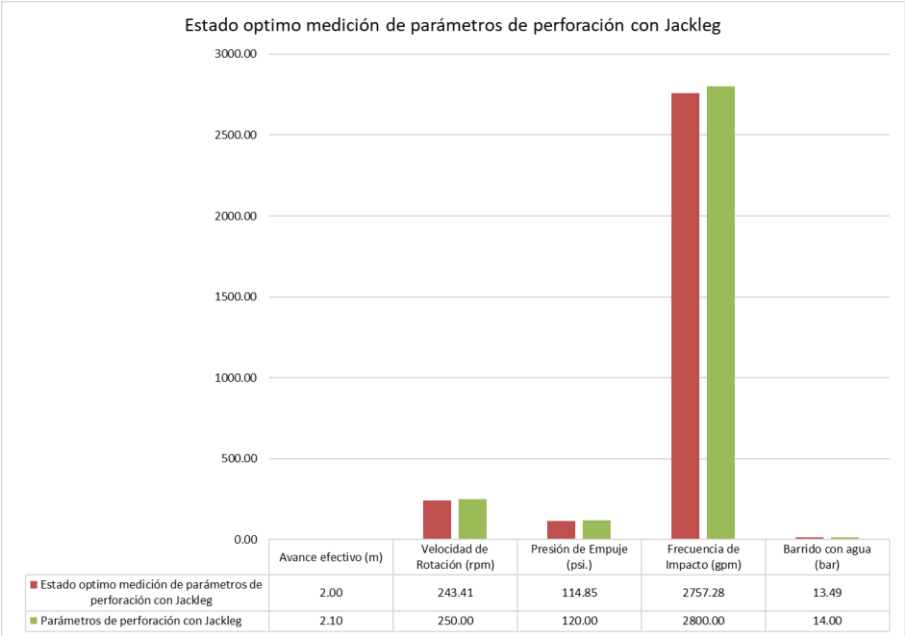


Figura 8. Estado optimo medición de parámetros de perforación con Jackleg en la Galería 5240 – S Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Interpretación

Los disparos realizados en la Galería 5240 – S, Nivel 230, junto con los parámetros promedio de perforación y voladura en condiciones óptimas, presentan los siguientes resultados:

- Avance efectivo por disparo: promedio de 2.00 metros, considerado altamente eficiente para una barra de 8 pies.
- Velocidad de rotación del equipo Jackleg: 243.41 rpm, dentro del rango óptimo de 200 a 250 rpm.
- Presión de empuje: 114.85 psi, alineada con el intervalo permitido de 80 a 120 psi.
- Frecuencia de impacto: 2757.28 gpm, cumpliendo con el rango ideal de 2400 a 2800 gpm.
- Barrido con agua: 13.49 bar, dentro del rango adecuado de 7 a 14 bar.

Estos valores reflejan un desempeño eficiente del proceso de perforación, optimizando la productividad y garantizando resultados satisfactorios en las operaciones.

c) Control de parámetros de perforación con Jackleg en la Galería 5240 – S

- **Percusión:** cuando el pistón impacta la barra, generando el golpe necesario para controlar el emboquillado durante la perforación, se ajusta el proceso para optimizar su desempeño.

En la Unidad Minera Vicus, se realizaron ajustes en el emboquillado, complementados con capacitaciones al maestro perforista y su asistente para corregir cualquier inconveniente relacionado con este proceso.

- **Rotación:** la rotación de la barra, provocada por el impacto de la percusión, se regula mediante el control de las revoluciones por minuto (RPM) al comenzar la perforación. Es fundamental evitar comenzar con RPM elevados, ajustándolos gradualmente según el tipo de macizo rocoso. En la Unidad Minera Vicus, dado que la roca es dura, se inicia con una rotación baja, aumentando las RPM después de perforar los primeros 30 centímetros del taladro.
- **Empuje de avance:** el empuje de la perforadora se controla mediante la pata de empuje, y es esencial asegurar que el equipo esté correctamente posicionado para alcanzar la longitud deseada del taladro. En la Unidad Minera Vicus, se corrigieron prácticas previas, donde los perforistas necesitaban cambiar la posición del equipo varias veces para completar un solo taladro. Gracias a las capacitaciones en el posicionamiento correcto del equipo de perforación, ahora es posible perforar el mismo taladro con una sola posición, lo que ahorra tiempo y mejora la eficiencia.
- **Barrido:** el barrido es el proceso de eliminación de los detritos generados durante la perforación para mantener la eficiencia. En la Unidad Minera Vicus, inicialmente se realizaba sin el control adecuado del equipo manual, lo que causaba retrasos y en algunos casos el plantado de la barra. A través de capacitaciones, se ha optimizado este proceso, destacando la importancia de mantener una presión adecuada de agua y aire en el equipo manual Jackleg. Se ajustó la presión de agua para que sea un bar inferior a la del aire, previniendo daños en el equipo debido a la falta de entrada de agua en la perforadora.

4.2.1.4. Monitoreo de la vida útil en metros perforados

a) Estado situacional del monitoreo de la vida útil en metros perforados de la Galería 5240 – S, Nivel 230

El monitoreo de la vida útil en metros perforados en la Galería 5240 – S, Nivel 230, es un aspecto fundamental para evaluar el desempeño y la eficiencia de las herramientas de perforación, especialmente las brocas y barras cónicas. Este proceso permite identificar el desgaste de los equipos y tomar decisiones informadas sobre su mantenimiento o reemplazo. Además, proporciona datos valiosos para optimizar los parámetros de perforación, reducir costos operativos y prolongar la vida útil de los accesorios. El seguimiento constante de la vida

útil de las herramientas es esencial para mantener la productividad de la operación y garantizar la seguridad y la eficiencia en el proceso de perforación.

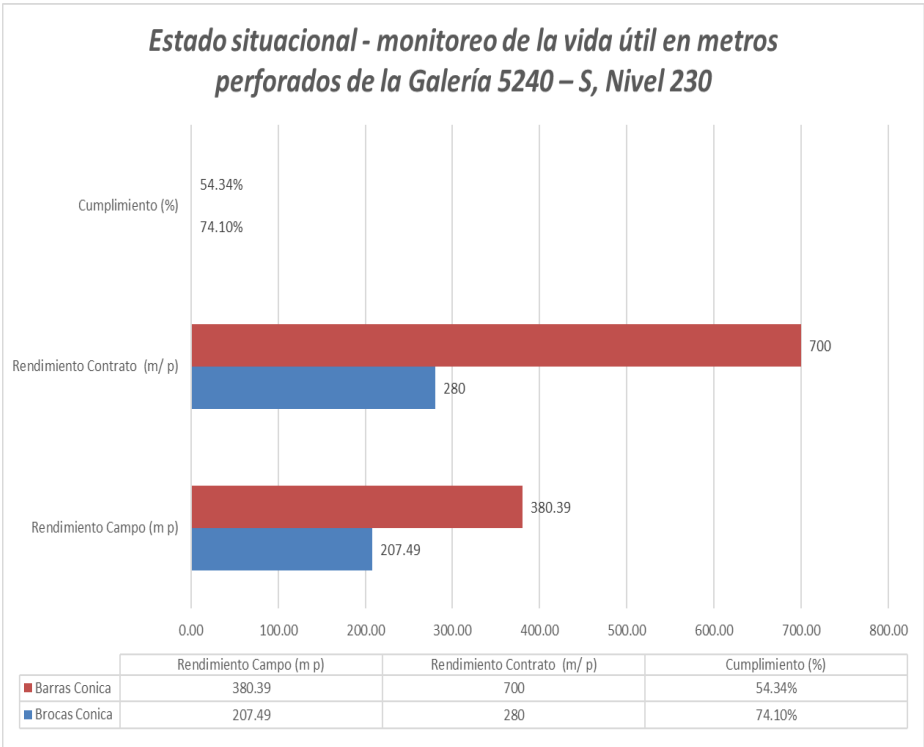


Figura 9. Estado situacional del monitoreo de la vida útil en metros perforados de Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Interpretación

El análisis del rendimiento de los accesorios cónicos en la Galería 5240 – S, Nivel 230, muestra una discrepancia significativa entre el rendimiento real y el esperado según el contrato. Las brocas cónicas alcanzaron un rendimiento de 207.49 metros perforados por unidad, lo que representa un 74.10 % de cumplimiento respecto al rendimiento contractual de 280 metros por unidad. Aunque el rendimiento se acerca a la meta estipulada, aún hay margen para mejorar, lo que sugiere que es posible optimizar el uso de las brocas mediante ajustes en los parámetros de perforación o selección de herramientas más adecuadas. Por otro lado, las barras cónicas tuvieron un rendimiento de 380.39 metros perforados por unidad, lo que solo representa un 54.34 % del cumplimiento con respecto a la cifra contractual de 700 metros por unidad. Este bajo rendimiento indica que las barras están experimentando un desgaste más rápido de lo esperado, lo que podría estar relacionado con factores como las condiciones del macizo rocoso, la calidad de las barras, o posibles deficiencias en el mantenimiento y manejo de las herramientas. Para mejorar estos resultados, es necesario revisar y ajustar los parámetros de perforación.

b) Estado óptimo del monitoreo de la vida útil en metros perforados de la Galería 5240 – S, Nivel 230

El estado óptimo del monitoreo de la vida útil en metros perforados en la Galería 5240 – S, Nivel 230 se refiere a un análisis exhaustivo de la eficiencia de los accesorios de perforación utilizados, como brocas y barras cónicas, durante su uso en la perforación. Este monitoreo es fundamental para evaluar la durabilidad y el rendimiento de los equipos en condiciones operativas específicas, permitiendo determinar la relación entre los metros perforados y la vida útil esperada de cada herramienta. En un escenario óptimo, los parámetros de perforación deben ajustarse de manera que los accesorios alcancen su máximo rendimiento, minimizando el desgaste y prolongando su vida útil. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos asociados al reemplazo frecuente de herramientas y mejora la productividad general de la operación.

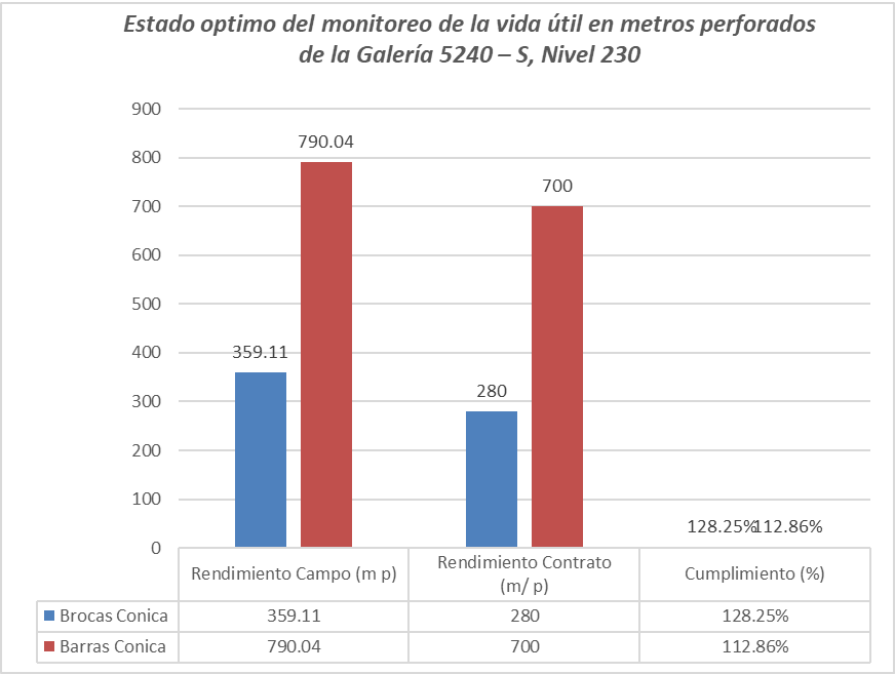


Figura 10. Estado óptimo del monitoreo de la vida útil en metros perforados de la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Plan de minado anual 2024 de la Unidad Minera Vicus (10)

Interpretación

En el análisis del rendimiento de las brocas cónicas utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230, se observa un desempeño sobresaliente. Se ha alcanzado un promedio de 359.11 metros perforados por unidad, superando ampliamente el estándar contractual de 280 metros por unidad. Este logro representa un cumplimiento del 128.25 %, lo que refleja un uso altamente eficiente de estas herramientas. Este resultado destaca una excelente adaptación de las brocas a

las condiciones del macizo rocoso y una correcta configuración de los parámetros operativos de perforación, factores clave para alcanzar este nivel de efectividad.

En cuanto a las barras cónicas, en promedio de 790.04 metros perforados por unidad, superando el rendimiento contractual de 700 metros por unidad y alcanzando un cumplimiento del 112.86 %. Este desempeño indica que las barras están operando de manera óptima, lo que permite extender su vida útil y maximizar su rendimiento, incluso en condiciones de perforación exigentes. Este nivel de eficiencia sugiere un control adecuado del desgaste y una selección apropiada de las herramientas para la operación.

Los resultados obtenidos en el uso de brocas y barras cónicas demuestran un estado óptimo en la gestión y aplicación de estos accesorios de perforación. Este desempeño no solo garantiza una mayor eficiencia operativa, sino que también contribuye a reducir costos asociados al reemplazo de herramientas, promoviendo una operación más sostenible y rentable. La adecuada configuración de los parámetros de perforación y la calidad de los accesorios empleados han sido determinantes para alcanzar estos resultados.

4.2.1.5.Descarte de la barra y broca cónica

a) Estado situacional análisis de los tipos de descarte de la barra y broca cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230

El análisis del estado actual de las herramientas de perforación, específicamente barras y brocas cónicas permite identificar los principales factores que determinan su vida útil y las causas de su descarte. Este proceso es esencial para optimizar la gestión de accesorios y reducir costos operativos asociados al desgaste prematuro o al uso ineficiente de los equipos. En el caso de la Galería 5240 – S, Nivel 230 se evaluaron los tipos de desgaste y fallas presentes en las herramientas, así como las condiciones operativas que influyen en su rendimiento.



Figura 11. Estado situacional de los tipos de descarte de la broca cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Área de Operaciones Mina de la Unidad Minera Vicus (11)

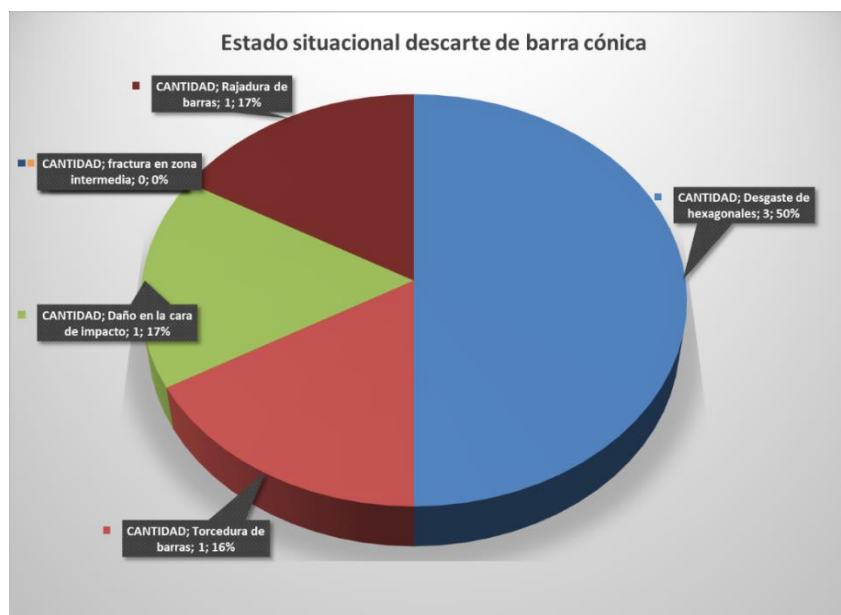


Figura 12. Estado situacional de los tipos de descarte de la barra cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Área de Operaciones Mina de la Unidad Minera Vicus (11)

Interpretación

El análisis de los tipos de descarte de barras y brocas cónicas en la Galería 5240 – S, Nivel 230, muestra que el desgaste diametral es de 18.18 % y la expulsión o rotura de insertos es de 36.36 % son las principales causas de inutilización, reflejando condiciones operativas exigentes y posibles deficiencias en los parámetros de perforación o la calidad de los materiales.

Asimismo, problemas como la salida de insertos de la matriz, el desgaste de esta con 18.18 % y fracturas longitudinales u obstrucciones de orificios de barrido con 18.18 % señalan tensiones mecánicas elevadas y necesidades de optimización en la limpieza y mantenimiento de las herramientas. La ausencia de fracturas transversales y pérdida total de insertos destaca la resistencia estructural en ciertos aspectos, pero el control de parámetros operativos, selección de materiales más duraderos y mantenimiento preventivo serán cruciales para minimizar fallas y mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad

El análisis del descarte de barras cónicas revela que el desgaste de las hexagonales es la principal causa de fallas, representando el 50 % de los casos. Este desgaste sugiere la necesidad de ajustar los parámetros operativos, como la presión de empuje y la velocidad de rotación, para optimizar la vida útil de las herramientas. Otros problemas significativos incluyen la torcedura de las barras, el daño en la cara de impacto y las rajaduras, que pueden ser consecuencia de cargas excesivas o condiciones operativas inadecuadas. Sin embargo, la ausencia de fracturas en áreas clave como el cono y el culatín indica una buena integridad estructural en esos aspectos. Este análisis destaca la importancia de revisar y ajustar los parámetros de perforación y los materiales utilizados para mejorar la eficiencia y la durabilidad de las herramientas. En total, se registraron 11 descartes de brocas cónicas y 6 descartes de barras cónicas.

b) Estado optimo análisis de los tipos de descarte de la barra y broca cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230

El análisis de los tipos de descarte de las barras y brocas cónicas es fundamental para evaluar la eficiencia operativa y la vida útil de las herramientas de perforación utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230. La gestión adecuada del desgaste y los fallos en estos accesorios es clave para optimizar los costos operativos, mejorar la productividad y garantizar la seguridad en las operaciones mineras. Este análisis permite identificar patrones en el desgaste de las herramientas, comprender las causas subyacentes de su deterioro y, a partir de ello, implementar ajustes operativos y mejorar la selección de materiales.

En este contexto, se estudiaron los diferentes tipos de fallas reportadas en las brocas y barras cónicas, observando que los principales factores de descarte están relacionados con el desgaste y la rotura de insertos, así como con el desgaste de las hexagonales en las barras. Estos factores indican una alta demanda operativa, lo que resalta la importancia de ajustar los parámetros de perforación y mantener un programa preventivo para garantizar el uso eficiente de las herramientas. El análisis, por lo tanto, no solo tiene un impacto en la optimización de las operaciones de perforación, sino también en la rentabilidad a largo plazo de las operaciones mineras.

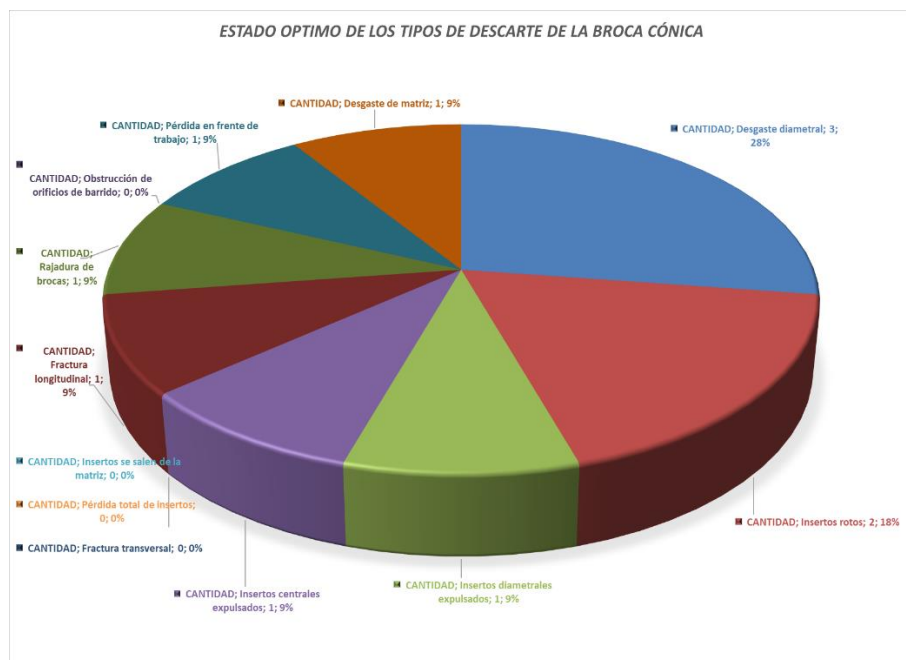


Figura 13. Estado óptimo de los tipos de descarte de la broca cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Área de Operaciones Mina de la Unidad Minera Vicus (11)

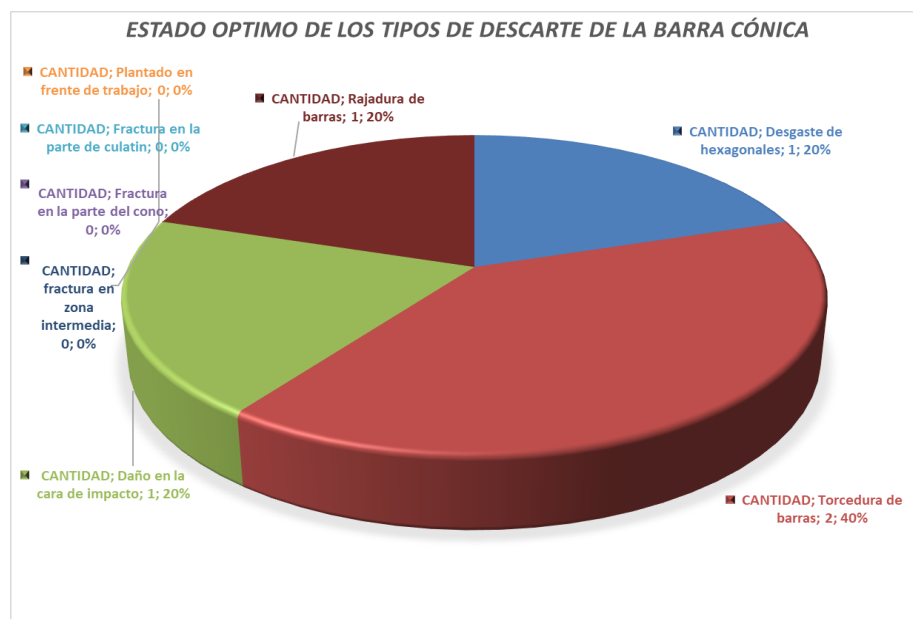


Figura 14. Estado óptimo de los tipos de descarte de la barra cónica utilizadas en la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada del Área de Operaciones Mina de la Unidad Minera Vicus (11)

Interpretación

El análisis de los tipos de descarte de barras y brocas cónicas revela que el desgaste diametral (27.27%) es la principal causa de fallo, indicando condiciones de abrasividad elevada. La rotura y expulsión de insertos (18.18%) sugieren impactos excesivos y problemas en la adherencia de los componentes. Las fracturas longitudinales y las rajaduras (9.09%) reflejan tensiones

mecánicas altas y condiciones operativas inadecuadas. Otros problemas como la obstrucción de orificios de barrido y el desgaste de la matriz también afectan la eficiencia. Se recomienda ajustar los parámetros operativos y mejorar el mantenimiento preventivo para aumentar la durabilidad de las herramientas y reducir costos operativos.

El análisis de los tipos de descarte de las barras cónicas muestra que los principales problemas son el desgaste de hexagonales (20%), la torcedura de las barras (40%), el daño en la cara de impacto (20%) y la rajadura de las barras (20%). Estos fallos sugieren que las herramientas están expuestas a condiciones de abrasividad elevada, cargas excesivas, y posibles impactos irregulares. Es esencial optimizar los parámetros operativos, como la presión de empuje, la velocidad de rotación y la alineación, para reducir el desgaste, mejorar la durabilidad de las herramientas y garantizar un rendimiento más eficiente. La torcedura y el desgaste de las hexagonales son los principales factores de fallo, lo que resalta la necesidad de ajustar las condiciones operativas y controlar los parámetros de perforación.

El análisis de rendimiento muestra que las brocas cónicas han superado las expectativas contractuales, alcanzando un 128.25 % de cumplimiento con un rendimiento en campo de 359 m/p frente a los 280 m/p establecidos en el contrato. Por otro lado, las barras cónicas también han superado el rendimiento esperado, con un 112.86 % de cumplimiento, alcanzando 790.04 m/p frente a los 700 m/p del contrato. Esto indica un desempeño positivo de ambos accesorios, sugiriendo una optimización en las condiciones de perforación y mantenimiento.

4.2.1.6. Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

La optimización de los costos en perforación y voladura es esencial para mejorar la eficiencia operativa y reducir los gastos en la minería subterránea. En la Galería 5240 – S, Nivel 230, los costos asociados representan una parte importante del presupuesto de operaciones. Este análisis busca evaluar los costos directos, como materiales, equipos y tiempo de operación, así como el impacto de las condiciones geomecánicas y operativas.

a) Evaluación del costo actual de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

A continuación, se presentan los parámetros actuales de perforación y voladura en el contexto operativo actual.

Tabla 9. Situación actual de los costos de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230

Galería 5240 - 2.10 m x 2.40 m		
Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35		
Datos Técnicos:		
Tipo de roca	Media	
Ancho labor	2.1	m
Alto labor:	2.4	m
Longitud Barra (pie)	6.0	pies
Nº Taladro Frente	47	tal
Nº Taladro Cargados	42	tal
Factor de carga:	17.3	Kg/m
kg explosivo	23.724	Kg
Eficiencia de Perforacion	80%	
Eficiencia de disparo	80%	
Longitud de carga	0.89	m
Avance efectivo	1.2	m
m³ / Dispirado	6.05	m3
Longitud de avance de perforación	1.3	mts
kilogramos/ taladro	0.56	

Tomada de Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)

En el anexo 4 se presenta el desglose detallado de los costos de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230, según el estado actual.

La siguiente figura muestra un resumen de los costos totales de perforación y voladura en la situación vigente.

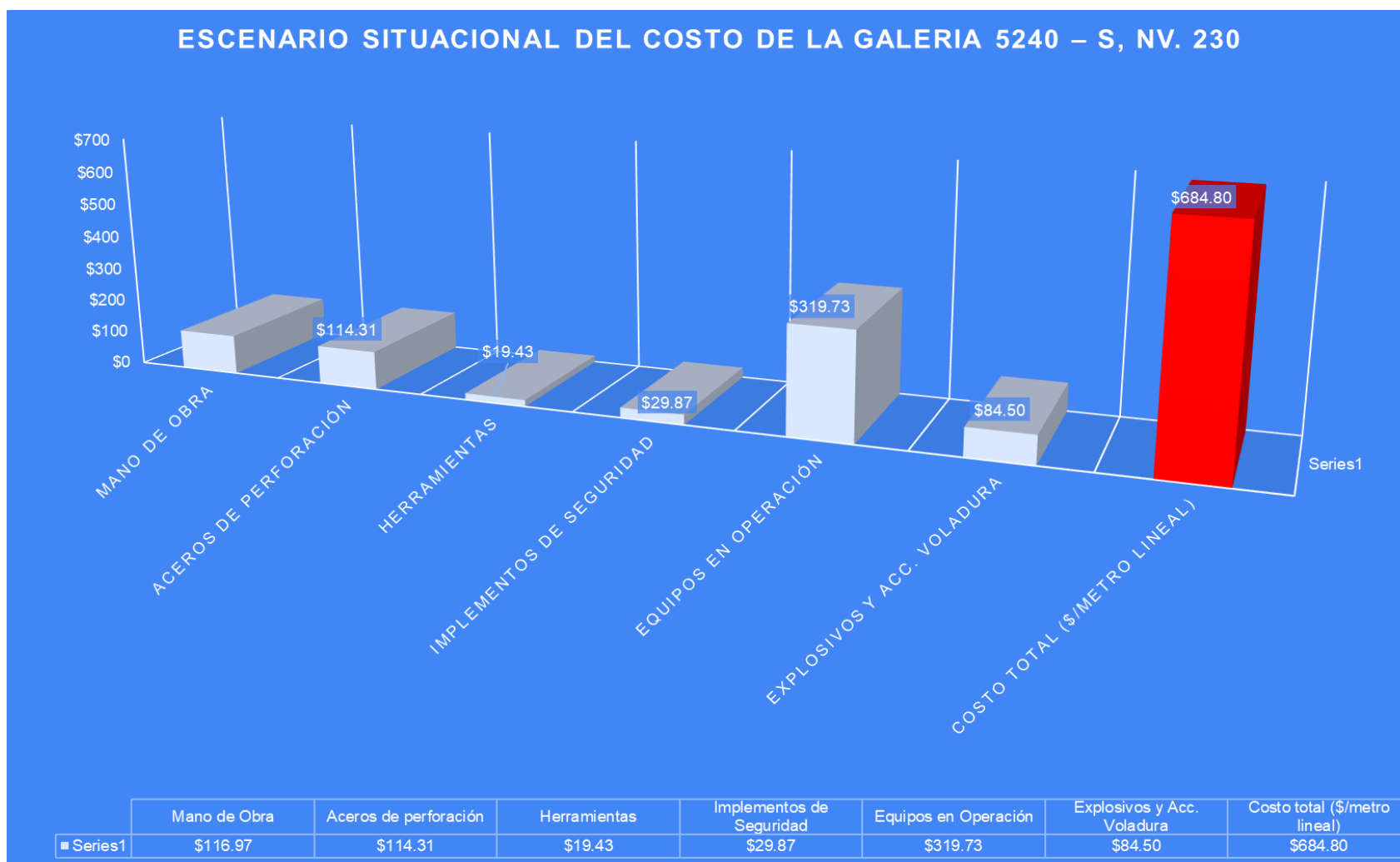


Figura 15. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación actual de la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada de Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)

Interpretación

El costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nivel 230, es de \$684.80 dólares americanos por metro lineal, lo que abarca mano de obra, equipos, explosivos y otros insumos. Este valor refleja varias ineficiencias en el proceso como un diseño inadecuado de la malla de perforación, la elección errónea de explosivos y fallos en su ejecución, lo que resulta en roturas excesivas, una fragmentación ineficaz y un mayor consumo de aceros de perforación.

b) Evaluación del costo óptimo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

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

Tabla 10. Estado optimizado del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230

Labores 2.1m x 2.4 m		
Perforación con Jackleg - Limpieza con locomotora y carros minero U - 35		
Datos Técnicos:		
Tipo de roca	Media	
Ancho labor	2.1	m
Alto labor	2.4	m
Longitud Barra (pie)	8.0	pies
Nº Taladro Frente	51	tal
Nº Taladro Cargados	42	tal
Factor de carga	16.3	Kg/m
kg explosivo	31.989	Kg
Eficiencia de Perforacion	90%	
Eficiencia de disparo	90%	
Longitud de carga	1.46	m
Avance efectivo	2.0	m
m³ / Disparado	10.07	m3
Longitud de avance de perforación	2.2	mts
kilogramos/ taladro	0.76	

Tomada de Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)

En el anexo 5 se encuentra el detalle del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230 del estado optimizado.

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

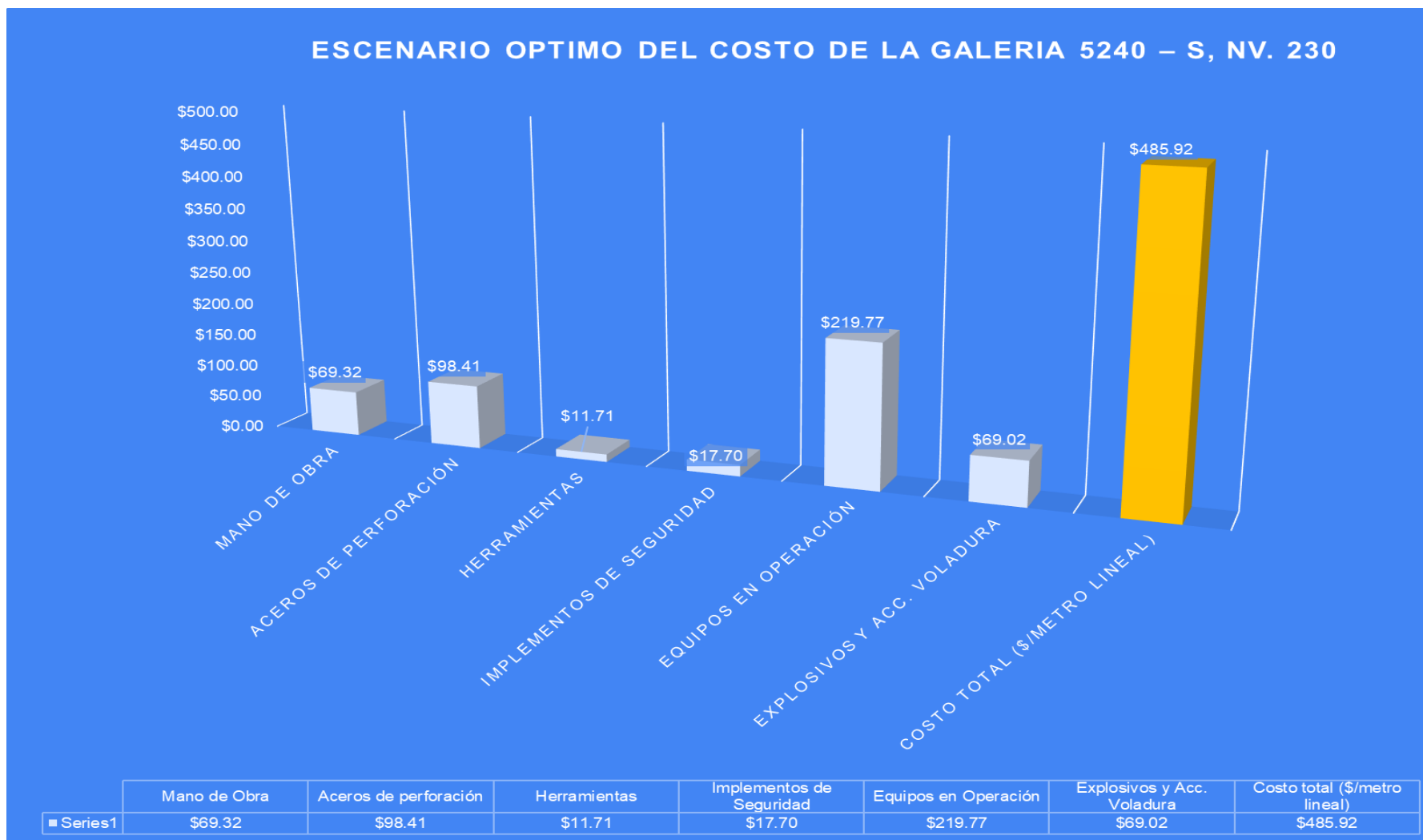


Figura 16. Análisis de los costos de perforación y voladura en la situación óptima de la Galería 5240 – S, Nivel 230
Tomada de Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)

Interpretación

La optimización de la Galería 5240 – S, Nivel 230, permitió reducir el costo de perforación y voladura a \$485.92 por metro lineal, lo que resultó en un ahorro de \$198.88 por metro. Este ahorro incrementó la rentabilidad del proyecto al mejorar el avance lineal y optimizar aspectos técnicos, como un diseño de malla eficiente y la selección adecuada de explosivos. Estos ajustes mejoraron la fragmentación y disminuyeron las sobre roturas, mientras que la mayor productividad operativa permitió un avance más rápido, redujo los tiempos muertos y los costos indirectos, subrayando la importancia de una planificación técnica y económica detallada para lograr una operación minera más eficiente y competitiva.

4.3 Prueba de hipótesis

4.4.1. Prueba de hipótesis general

En esta investigación se formularon dos hipótesis generales: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, que se describen de la siguiente manera:

a) Hipótesis nula

- H_0 : el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica no será factible ni viable para disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.

b) Hipótesis alternativa

- H_a : el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible y viable para disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.

4.4.2. Análisis de datos

La hipótesis planteada en esta investigación establece que existe una relación significativa que respalda la factibilidad y viabilidad del control de desgaste de las herramientas de perforación cónica ayudara a disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus. Esta hipótesis fue evaluada al analizar y comparar los resultados obtenidos de 30 disparos realizados antes y después de aplicar las optimizaciones.

- **Criterios de decisión:**

- Si $P \leq 0.05$, se acepta la hipótesis alternativa (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).
- Si $P > 0.05$, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_a).

A continuación, se presenta la tabla con la comparación de los resultados obtenidos de quince disparos realizados bajo las condiciones actuales y optimizadas de la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.

Tabla 11. Comparativa de los disparos en los escenarios actual y optimizado de la Galería 5240 – S, Nivel 230, Unidad Minera Vicus.

<i>Numero de disparo</i>	<i>ESCENARIO ACTUAL " barra de 6 pies"</i>	<i>ESCENARIO OPTIMO "barra de 8 pies"</i>
1	1.21	2.00
2	1.21	2.00
3	1.18	2.00
4	1.22	2.05
5	1.21	2.05
6	1.20	2.04
7	1.20	1.93
8	1.20	2.03
9	1.22	2.03
10	1.22	1.91
11	1.22	1.93
12	1.30	2.05
13	1.21	2.05
14	1.20	2.10
15	1.20	2.02
16	1.20	1.93
17	1.20	1.96
18	1.20	1.92
19	1.20	2.00
20	1.18	2.00
21	1.18	2.00
22	1.18	2.00
23	1.18	2.02
24	1.18	1.94
25	1.20	1.93
26	1.18	1.96
27	1.20	1.92
28	1.20	2.05
29	1.20	2.05
30	1.15	2.05

a) Prueba de t para muestras relacionada

Tabla 12. Estadísticas de muestras relacionadas

Estadísticos de muestras relacionadas					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	Situación actual	1,2010	30	,02440	,00446
	Situación optima	1,9973	30	,05212	,00952

Correlaciones de muestras relacionadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Situación actual y Situación optima	30	,097	,610

Prueba de muestras relacionadas									
		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Situación actual – Situación optima	-,79633	,05537	,01011	-,81701	-,77566	-78,779	29	,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 control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible y viable para disminuir las pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus. 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 evaluación geomecánica de la Galería 5240 – S, Nivel 230, con un índice RMR de 55, clasifica el macizo rocoso como Clase III A, indicando una estabilidad aceptable, pero con zonas de alta densidad de discontinuidades. Se recomienda el uso de malla electrosoldada, pernos split set de 7 pies y shotcrete de 2 pulgadas para mejorar la cohesión, proteger contra la humedad y erosión, y garantizar la estabilidad estructural, reduciendo los riesgos operativos a largo plazo.
- 2 En la inspección del estado inicial de la Galería 5240 – S, Nivel 230, el avance fue de 1.20 metros por disparo y el volumen extraído de 6.05 m³, siendo insuficiente debido a fallas en el diseño de perforación. La perforación mostró inicialmente un desempeño deficiente con parámetros fuera de los rangos ideales. Se registraron 11 descartes de brocas cónicas y 6 descartes de barras cónicas, lo que indica una mayor cantidad de fallos en las barras cónicas en comparación con las brocas.
- 3 En la inspección del estado óptimo, con la optimización de los parámetros, el avance aumentó a 2.0 metros por disparo y el volumen extraído a 10.07 m³, Esto mejoró la eficiencia, redujo costos y garantizó un avance más controlado y seguro, se logró mejorar significativamente en la velocidad de rotación, presión de empuje, frecuencia de impacto y barrido con agua, logrando un proceso eficiente y productivo dentro de los rangos ideales. En condiciones óptimas, se mantuvo el mismo número de descartes de brocas cónicas en 11, pero se redujo a 5 los descartes de barras cónicas, lo que refleja una mejora en la durabilidad de las barras cónicas bajo parámetros óptimos.
- 4 En el estado situacional, el costo de perforación y voladura es de \$684.80 por metro lineal, reflejando ineficiencias en el proceso del control de las herramientas de perforación y operación. En el estado óptimo, tras la optimización, el costo se redujo a \$485.92 por metro lineal, logrando un ahorro de \$198.88 por metro lineal. Los controles realizados en la metodología de trabajo ayudaron a la mejora en la productividad permitieron una operación más eficiente.
- 5 El análisis mostró un valor de P de 0.000, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa (H_a) y rechazar la hipótesis nula (H₀). Esto confirma que el control de desgaste de herramientas de perforación cónica es viable para reducir pérdidas prematuras en la galería 5240 – S, Nivel 230. Los resultados demuestran la efectividad de las estrategias implementadas, mejorando la eficiencia y el desempeño operativo.

RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda continuar con el uso de malla electrosoldada, pernos split set de 7 pies y shotcrete de 2 pulgadas en áreas con alta densidad de discontinuidades. Además, es crucial realizar un monitoreo continuo de la estabilidad estructural para identificar cualquier cambio en las condiciones del macizo rocoso y aplicar medidas correctivas cuando sea necesario.
- 2 Se recomienda mejorar el diseño de perforación, ajustando parámetros como la velocidad de rotación, la presión de empuje y la frecuencia de impacto. Se recomienda también realizar pruebas periódicas para garantizar que las brocas y barras cónicas utilizadas sean de alta calidad y estén dentro de los estándares operativos para minimizar los descartes.
- 3 Se recomienda mantener los parámetros operativos optimizados, como la velocidad de rotación, la presión de empuje y la frecuencia de impacto. Es recomendable seguir evaluando el desempeño de las herramientas de perforación para asegurar la reducción de los descartes de barras cónicas y mantener la durabilidad de las brocas cónicas. Además, es importante continuar con el análisis de los costos para asegurar la eficiencia a largo plazo.
- 4 Se recomienda ajustar el diseño de la malla de perforación y seleccionar explosivos más adecuados para minimizar la fragmentación ineficaz y las sobre roturas. Se debe también investigar más sobre métodos alternativos de perforación que puedan contribuir a la reducción de los costos, manteniendo la calidad del avance y la seguridad de las operaciones.
- 5 Es recomendable implementar un programa de mantenimiento preventivo más riguroso para las herramientas de perforación, monitoreando continuamente su desgaste. Además, se recomienda realizar ajustes periódicos en los parámetros operativos para maximizar la vida útil de las herramientas y reducir las pérdidas prematuras. Esto contribuirá a una mayor eficiencia en las operaciones mineras y a la mejora en la rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MONTALVO, Bosueth. Diseño de malla de perforación y voladura para el control de dilución en el subnivel de producción “Los Gemelos”, en la explotación minera subterránea de la mina “Pique”, compañía Oroconcent S.A., Portovelo - Ecuador. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Macas-Ecuador : Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2022.
2. ALFERES, Frank. Mejoramiento del rendimiento de pies perforados y su influencia en el alto consumo de brocas en la Rampa Sandra de U.P Santa María – CIA. Minera Poderosa – La Libertad. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cusco - Perú : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2023.
3. REYES, Gilmer. Accesorios de la perforación convencional y mecanizado, en la Empresa AESA - Compañía Minera Minsur S.A – Mina San Rafael. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2023.
4. 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.
5. CESAR, Kelly y JUÑO, Edwin. Evaluación técnica económica de la perforación con barra cónica, para incrementar el avance lineal en la minera Vicus S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Continental, 2023.
6. ÁREA DE GEOLOGÍA, UNIDAD CAPACHO DE ORO I. *Estudios geológico y reservas*. Barraca : Empresa Minera Vicus, 2021.
7. BARBOSA, Gabriela. Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile. Memoria (Título de Ingeniero Civil). Valparaíso : Universidad Tecnica Federico Santa Maria, 2021.
8. EPIROC S.A. *Aceros de perforacion conicos*. Lima : RDT, 2018.
9. LÓPEZ, C., LÓPEZ, E. Y GARCIA, P. *Manual de Perforacion y voladura de Rocas*. 2003.

10. **ÁREA DE PLANEAMIENTO.** *Plan de minado anual 2024.* Lima : Unidad Minera Vicus S.A.C., 2023.
11. **ÁREA DE OPERACIONES MINA.** *Plan de explotacion minera.* Barranca : Empresa Minera Vicus S.A.C, 2024.
12. **ÁREA DE COSTOS Y PRESUPUESTOS.** *Estructura de costos de perforación y voladura* . Lima : Unidad Minera Vicus, 2022.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo influye el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?	Realizar el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus.	El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible para disminuir pérdidas prematuras en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
¿Cómo influye la caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?	Determinar la caracterización geomecánica para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	La caracterización geomecánica será factible para controlar el desgaste de las herramientas de perforación cónica en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus
¿Cómo influye el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus?	Realizar el control de desgaste de las herramientas de perforación cónica para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus	El control de desgaste de las herramientas de perforación cónica será factible y viable para disminuir el costo por metro de avance en la Galería 5240 – S, Nv. 230, Unidad Minera Vicus

Anexo 2

Estado situación de medición de parámetros de perforación con Jackleg

Nivel	Labor	Guardia	Sección	Perforadora	Barra (pies)	Cantidad de taladros	Avance efectivo (m)	Velocidad de Rotación (rpm)	Presión de Empuje (psi.)	Frecuencia de Impacto (gpm)	Barrido con agua (bar)
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.21	189.05	79.05	2199.1	6.8
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.21	189.25	79.25	2199.3	6.8
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	189.45	79.45	2205.0	6.8
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.22	189.65	79.65	2203.0	6.8
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.21	189.85	79.85	2201.0	6.7
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	188.95	78.95	2199.0	6.7
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	186.95	76.95	2197.0	6.7
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	184.95	74.95	2195.0	6.7
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.22	182.95	72.95	2193.0	6.7
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.22	180.95	70.95	2191.0	6.6
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.22	189.85	79.85	2199.9	6.6
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.30	189.65	79.65	2197.0	6.6
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.21	189.45	79.45	2195.0	6.6
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	189.25	79.25	2193.0	6.6
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	189.05	79.05	2191.0	6.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	188.85	78.85	2189.0	6.5
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	188.65	78.65	2187.0	6.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	188.45	78.45	2185.0	6.5
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	188.25	78.25	2183.0	6.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	188.05	78.05	2181.1	6.4
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	187.85	77.85	2179.9	6.4
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	187.65	77.65	2197.7	6.4
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	187.45	77.45	2197.5	6.4
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	187.25	77.25	2143.0	6.4
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	187.05	77.05	2145.0	6.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.18	186.85	76.85	2147.0	6.3
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	186.65	76.65	2149.0	6.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	186.45	76.45	2151.0	6.3
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.20	186.25	76.25	2153.0	6.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	6	47	1.15	186.05	76.05	2155.0	6.2
Estado situación medición de parámetros de perforación con Jackleg							1.20	187.70	77.70	2184.50	6.53
Parámetros de perforación con Jackleg							1.50	250.00	120.00	2800.00	14.00

Anexo 3

Estado óptimo de medición de parámetros de perforación con Jackleg

Nivel	Labor	Fecha	Sección	Perforadora	Barra (pies)	Cantidad de taladros (unid.)	Avance efectivo (m)	Velocidad de Rotación (rpm)	Presión de Empuje (psi.)	Frecuencia de Impacto (gpm)	Barrido con agua (bar)
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	248.95	118.95	2795.0	14.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	246.95	116.95	2790.0	14.3
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	244.95	114.95	2785.0	14.1
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	242.95	112.95	2780.0	13.9
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	240.95	110.95	2775.0	13.7
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.04	238.95	108.95	2770.0	13.5
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.93	236.95	106.95	2765.0	13.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.03	234.95	104.95	2760.0	13.1
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.03	232.95	102.95	2755.0	12.9
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.91	247.95	117.95	2750.0	12.7
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.93	247.95	117.95	2745.0	12.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	248.95	118.95	2740.0	12.3
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	249.95	119.95	2735.0	12.1
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.10	248.95	118.95	2730.0	14.5
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.02	247.95	117.95	2725.0	14.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.93	246.95	116.95	2720.0	14.1
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.96	245.95	115.95	2715.0	13.9
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.92	244.95	114.95	2710.0	13.7
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	243.95	113.95	2705.0	13.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	242.95	112.95	2795.0	13.3
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	241.95	111.95	2790.0	13.1
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.00	240.95	110.95	2785.0	12.9
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.02	239.95	118.95	2780.0	12.7
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.94	238.95	119.95	2775.0	14.5
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.93	237.95	118.95	2770.0	14.3
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.96	249.86	117.95	2765.0	14.1
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	1.92	249.84	116.95	2760.0	13.9
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	238.95	115.95	2755.0	13.7
230	Galería 5240 – S	Día	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	249.82	114.95	2750.0	13.5
230	Galería 5240 – S	Noche	2.10 x 2.40	RMP – S83FX	8	51	2.05	228.95	113.95	2745.0	13.3
Estado optimo medición de parámetros de perforación con Jackleg							2.00	243.41	114.85	2757.28	13.49
Parámetros de perforación con Jackleg							2.10	250.00	120.00	2800.00	14.00

Anexo 4

Valorización del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230 del estado situacional

ESTRUCTURA DE COSTOS: Galería 5240 - 2.10 m x 2.40 m						
Taladros Perforados /disparo	47.0	Longitud efectiva Perforación mts			1.3	
Taladros cargados	42.0	Eficiencia perforación			80%	
Factor de carga (Kg/taladro) :	0.6	Rendimiento (m/disparo):			1.17	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total \$/.	Total
				\$/ / Unid	\$/.	\$/ /MET.
1 Mano de Obra						116.97
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	
1 Aceros de perforación						83.49
Aceite de Perforación	Gln	0.35	100%	21.91	7.67	
Barras de Perforación conicas 6 pies	pp	225.60	100%	0.20	45.12	
Brocas de perforación conica 38 mm	pp	225.60	100%	0.18	40.61	
Broca con rimadora piloto 38 mm	pp	24.00	100%	0.18	4.32	
1 Herramientas						19.43
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	42.00	100%	0.20	8.40	
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	
1 Implementos de Seguridad						29.87
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	
2 Equipos en Operación						290.23
Perforadora	pp	225.60	100%	0.38	86.54	
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 batería	H m	1.00	100%		92.90	
Carro minero U 35	H m	6.00	100%	6.8100	156.09	
A) Total Costo Directo						539.98
B) Explosivos y Acc. Voladura						84.50
GELATINA 7/8 X 7	kg	3.96	100%	1.76	6.96	
SEMEXSA 7/8 X 7	kg	19.76	100%	1.62	32.06	
IGNITER CORD	m	15.00	100%	0.96	14.40	
MECHA RAPIDA	Unid.	2.00	100%	0.40	0.79	
CARMEX	uni.	42.00	100%	1.06	44.69	
COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B)						624.48

Tomada del Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)

Anexo 5

Valorización del costo de perforación y voladura en la Galería 5240 – S, Nv. 230 del estado optimizado

ESTRUCTURA DE COSTOS: Galería 5240 - 2.10 m x 2.40 m						
Taladros Perforados /disparo	51.0	Longitud efectiva Perforación mts				2.2
Taladros cargados	42.0	Eficiencia perforación				90%
Factor de carga (Kg/taladro) :	0.8	Rendimiento (m/disparo):				1.98
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Total \$/.	Total
				\$/ Unid	\$/.	\$/ .MET.
1 Mano de Obra						69.32
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	
1 Aceros de perforación						80.44
Aceite de Perforación	Gln	0.35	100%	21.91	7.67	
Barras de Perforación conicas 8 pies	pp	367.20	100%	0.20	73.44	
Brocas de perforación conica 38 mm	pp	367.20	100%	0.18	66.10	
Broca con rimadora piloto 38 mm	pp	64.80	100%	0.18	11.66	
1 Herramientas						11.51
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	42.00	100%	0.20	8.40	
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	
1 Implementos de Seguridad						17.70
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	
2 Equipos en Operación						199.49
Perforadora	pp	367.20	100%	0.38	140.86	
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	
(A) Total Costo Directo						378.45
(B) Explosivos y Acc. Voladura						56.93
GELATINA 7/8 X 7	kg	5.02	100%	1.76	8.82	
SEMEXSA 7/8 X 7	kg	26.97	100%	1.62	43.75	
IGNITER CORD	m	15.00	100%	0.96	14.40	
MECHA RAPIDA	Unid.	2.00	100%	0.40	0.79	
CARMEX	Unid.	42.00	100%	1.06	44.69	
COSTO TOTAL POR UNIDAD VALORIZADA (A+B)						435.39

Tomada del Área de Costos y Presupuestos, Estructura de costos de perforación y voladura (12)