

Análisis comparativo del rendimiento de equipos de sostenimiento con shotcrete: Scorpion 1874 vs Tecnoshot 1.6d en la rampa 767 - Unidad Minera Caudalosa, Huancavelica

por RICHARD ANTHONY AYLAS LUCANO

Fecha de entrega: 16-sept-2025 09:31a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2752749580

Nombre del archivo: tesis_2013400031_20250916_083025_1f7126fd-fc1c-4742-86b0-b189632cb1f6.pdf
(2.64M)

Total de palabras: 20629

Total de caracteres: 111518

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**Análisis comparativo del rendimiento de equipos de sostenimiento
con shotcrete: Scorpion 1874 vs Tecnoshot 1.6d en la rampa 767 - Unidad
Minera Caudalosa, Huancavelica**

Tesis presentada por el Bachiller:

Aylas Lucano, Richard Anthony

ORCID: 0009-0003-5006-5603

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Paredes Salas, Omar Willy

ORCID: 0009-0000-9860-6630

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Junio del 2025

Dictamen: 015668-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 015668, presentado por:

2013400031 - AYLAS LUCANO RICHARD ANTHONY

Titulado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO DE EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO CON
SHOTCRETE: SCORPION 1874 VS TECNOSHOT 1.6D EN LA RAMPA 767 - UNIDAD MINERA
CAUDALOSA, HUANCABELICA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO DE MINAS

**40885101 - ARIAS QUISPE CESAR FABIAN
DICTAMINADOR**



**71237395 - OJEDA VIZARRETA JORGE ANTONIO
DICTAMINADOR**



**29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a la memoria de mi querido hermano, Fernando Giancarlo, quien partió mientras cursaba mi último año de universidad. Su amor, apoyo y presencia son invaluableles para mí. Con todo mi amor y cariño, este trabajo esta dedicado a ti.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Católica de Santa María por brindarme una formación académica integral que ha sentado las bases sólidas para mi desarrollo profesional.

Agradezco especialmente a mis queridos docentes, cuyo conocimiento y orientación han sido fundamentales en mi aprendizaje y crecimiento como profesional.

A mis queridos compañeros de estudios, quienes más que compañeros, se convirtieron en una segunda familia, les agradezco por compartir conmigo momentos inolvidables tanto dentro como fuera de las aulas. Su apoyo y fraternidad han hecho de esta experiencia universitaria un período enriquecedor y gratificante.

A mis padres, mi gratitud eterna por su inquebrantable apoyo y sacrificio para brindarme una educación de calidad. Sin su constante aliento y respaldo, este logro no habría sido posible. También a mis queridos hermanos, quienes siempre estuvieron a mi lado con palabras de aliento y motivación durante todo este camino universitario.

Estoy profundamente agradecido con cada persona que ha contribuido de alguna manera en mi formación académica y personal. Su influencia positiva ha dejado una huella imborrable en mi vida.

RESUMEN

La presente investigación realiza un análisis comparativo del rendimiento operativo entre dos equipos lanzadores de shotcrete: el robotizado de bajo perfil Tecnoshot 1.6D y el modelo convencional Scorpion 1874, ambos utilizados en la rampa 767, ubicada en el Nivel 4555 – zona sur de la Unidad Minera Caudalosa, ubicada en el distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica.

La labor cuenta con una sección típica de 3.5 m x 3.5 m, con un espesor de shotcrete de 5 cm, lo que representa un área de aplicación de 29.75 m² por metro lineal de avance. La longitud promedio por disparo es de 3 metros y el ciclo operativo considerado es de 13 horas. En dicho contexto, se reportaron más de 10 guardías improductivas mensuales con el equipo Scorpion 1874, afectando la continuidad del ciclo de minado y la estabilidad estructural.

Los resultados muestran que el equipo Scorpion 1874 tiene una producción teórica de 5.5 m³/h, con un tiempo efectivo de aplicación de 1.9 h por guardia. En contraste, el Tecnoshot 1.6D alcanza una producción teórica de 18 m³/h y un tiempo efectivo de 0.5 h, debido a su mayor grado de mecanización. Además, se evidenció una reducción del volumen aplicado por disparo (2.6 m³ vs. 3.14 m³) y un ahorro económico de \$178.66 por ciclo, reflejando mejoras tanto en productividad como en costos operativos.

Este análisis permite concluir que la implementación del equipo Tecnoshot 1.6D representa una solución eficiente y rentable para el sostenimiento subterráneo, optimizando los recursos disponibles y reduciendo significativamente los tiempos improductivos.

Palabras clave: shotcrete, productividad, optimización.

ABSTRACT

This research presents a comparative analysis of the operational performance between two shotcrete spraying machines: the low-profile robotic equipment Tecnoshot 1.6D and the conventional Scorpion 1874, both implemented in ramp 767, located at level 4555 – southern zone of the Unidad Minera Caudalosa, in the district of Huachocolpa, province and department of Huancavelica, Peru.

The ramp has a typical section of 3.5 m x 3.5 m and a projected shotcrete thickness of 5 cm, resulting in an application area of 29.75 m² per linear meter of advance. The average blasting length is 3 meters and the operational cycle is 13 hours. More than 10 unproductive shifts per month were documented when using the Scorpion 1874, affecting the continuity of mining cycles and compromising structural stability.

Results show that the Scorpion 1874 has a theoretical production rate of 5.5 m³/h, with 1.9 hours of effective application per shift. In contrast, the Tecnoshot 1.6D reaches up to 18 m³/h and reduces application time to 0.5 hours, thanks to its mechanization. Moreover, it reduces the shotcrete volume per blast (2.6 m³ vs. 3.14 m³) and achieves an economic saving of \$178.66 per cycle.

This analysis reveals that the implementation of the Tecnoshot 1.6D leads to greater productivity and reduced operational costs, positioning it as a more efficient and cost-effective alternative for underground shotcrete operations.

Keywords: shotcrete, productivity, optimization.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Problemática de la investigación	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Preguntas de investigación	5
1.4. Líneas de investigación a la que corresponda el problema	5
1.5. Palabras clave	5
1.6. Solución Propuesta	5
CAPÍTULO II	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1. Estado del arte	8
2.2. Bases teóricas de la investigación	8
2.3. Antecedentes Investigación	35
2.4. Hipótesis	38
2.5. Variables	38
CAPÍTULO III	39
3. MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Alcance y limitaciones	40
3.2. Tipo y diseño de la investigación	40
3.3. Población y Muestra	40
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.5. Plan de Análisis Estadístico de los Datos	41
CAPÍTULO IV	45
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	46
4.1. Accesos y Ubicación a la Unidad Minera	46
4.2. Descripción del desarrollo del proyecto	46
4.3. Discusión de resultados	81
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

ANEXOS87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO SHOTCRETE VÍA HÚMEDA	13
TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO SHOTCRETE VÍA SECA.....	14
TABLA 3. ESTIMACIÓN DE RESISTENCIAS MEDIAS EN DETERMINADAS ROCAS SEGÚN BIENIAWSKI (1973)	24
TABLA 4. NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS JN	27
TABLA 5. METEORIZACIÓN DE LAS JUNTAS JA.....	27
TABLA 6. RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS JR	28
TABLA 7. AGUA EN LAS JUNTAS JW	29
TABLA 8. TENSIONES EN LA EXCAVACIÓN S.R.F.	29
TABLA 9. TIPOS DE MACIZOS ROCOSOS	31
TABLA 10. ACCESOS DE UBICACIÓN.....	43
TABLA 11. MAPEO GEOMECÁNICO	47
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE COMPONENTES DE CONCRETO.....	51
TABLA 13. COMPONENTE DE LA MEZCLA DE SHOTCRETE.....	52
TABLA 14. CÁLCULO FACTOR DE CORRECCIÓN F2	54
TABLA 15. CÁLCULO FACTOR DE CORRECCIÓN F2	55
TABLA 16. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SCORPION 1874.....	58
TABLA 17. GUARDIAS IMPRODUCTIVAS EN LA ETAPA DE SOSTENIMIENTO CON EL SCORPION 1874 – NOVIEMBRE 2022.....	63
TABLA 18. TENDENCIA IMPRODUCTIVIDAD POR SHOTCRETE CON SCORPION 1874 – NOVIEMBRE 2022	64
TABLA 19. CONSUMO DE SHOTCRETE MES DE NOVIEMBRE 2022.....	64
TABLA 20. TOTAL CONSUMO SHOTCRETE MES DE NOVIEMBRE 2022	65
TABLA 21. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS POR OPERACIÓN CON TRABAJO DE SCORPION 1874	66
TABLA 22. REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE HORAS POR OPERACIÓN CON TRABAJO DE SCORPION 1874	66
TABLA 23. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ROBOT TECNOSHOT 1.6D	67
TABLA 24. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS POR OPERACIÓN CON ROBOT LANZADOR TECNOSHOT 1.6D	72
TABLA 25. REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE HORAS POR OPERACIÓN CON ROBOT LANZADOR TECNOSHOT 1.6D	73
TABLA 26. PRECIO UNITARIO SHOTCRETE VÍA SECA.....	74
TABLA 27. PRECIO UNITARIO SHOTCRETE VÍA HÚMEDA	75

TABLA 28. COSTO DE INSTALACIÓN SHOTCRETE RAMPA 3.5x3.5	76
TABLA 29. COMPARACIÓN DE COSTO UNITARIOS	77
TABLA 30. COMPARACIÓN DE REQUERIMIENTO DE SHOTCRETE PARA RAMPA DE SECCIÓN 3.5x3.5	77
TABLA 31. COMPARACIÓN DE COSTO TOTAL DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE PARA RAMPA DE SECCIÓN 3.5x3.5	78
TABLA 32. COSTO TOTAL.....	79
TABLA 33. COMPARATIVA DE TIEMPOS.....	80
TABLA 34. COMPARACIÓN DE TIEMPO DE CICLO CULMINADO	80
TABLA 35. COMPARATIVA DE DESEMPEÑO OPERATIVO	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. RANGO DE MEDIDAS.....	10
FIGURA 2. PROCESOS EN EL SISTEMA DE CONCRETO LANZADO	11
FIGURA 3. TÉCNICAS PARA LA PROYECCIÓN DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.....	13
FIGURA 4. ESQUEMA DE LA VÍA HÚMEDA.....	14
FIGURA 5. ESQUEMA DE LA VÍA SECA.....	15
FIGURA 6. BOLSAS DE ² MEZCLA HÚMEDA IMPULSADAS POR AIRE COMPRIMIDO.....	16
FIGURA 7. DIAGRAMA DE RELACIÓN ENTRE EFICIENCIA, EFECTIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD	18
FIGURA 8. BRAZO DE APLICACIÓN DEL SHOTCRETE MONTADO EN UNA TBM	18
FIGURA 9. COMPONENTES DE UN EQUIPO ROBOTIZADO	20
FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL ESPACIADO DE LAS JUNTAS Y DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA	26
FIGURA 11. ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS	32
FIGURA 12. ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS.....	33
FIGURA 13. DIAGRAMA DE RELACIÓN ENTRE EFICIENCIA, EFECTIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD	34
FIGURA 14. ESTRUCTURA DE LA COMPAÑÍA MINERA CAUDALOSA	48
FIGURA 15. ESTÁNDAR DE SOSTENIMIENTO DE ACUERDO A GSI MODIFICADO	51
FIGURA 16. REGISTRO ÁREA/PERÍMETRO DE LA RAMPA 767	56
FIGURA 17. CONTEO DE MALLA DE PERFORACIÓN APROXIMADA EN RAMPA 767	57
FIGURA 18. REGISTRO ÁREA/PERÍMETRO DE LA RAMPA 767	57
FIGURA 19. MÁQUINA SCORPION 1874	58
FIGURA 20. ROBOT TECNOSHOT 1.6D	67
FIGURA 21. COSTO UNITARIO	78
FIGURA 22. REQUERIMIENTO UNITARIO.....	79

INTRODUCCIÓN

El sostenimiento de labores subterráneas en minería es una actividad esencial para garantizar la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad del personal. En operaciones de mediana y gran escala, el uso de concreto proyectado (shotcrete) se ha convertido en una técnica ampliamente adoptada debido a su capacidad de generar un sostenimiento inmediato y eficiente.

En la Unidad Minera Caudalosa, ubicada en el distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica, el proceso de sostenimiento en la rampa 767 ha enfrentado desafíos operativos relacionados con la eficiencia en la aplicación del shotcrete. Tradicionalmente, se ha utilizado el equipo Scorpion 1874, un lanzador convencional que opera bajo el método de vía seca, el cual presenta limitaciones como altos niveles de rebote, mayores tiempos de ejecución y mayor exposición del personal al frente de trabajo.

Frente a este contexto, se ha incorporado a las operaciones el equipo Tecnoshot 1.6D, un mini lanzador robotizado de bajo perfil, diseñado para labores en vetas angostas y que opera bajo el método de vía húmeda. Este equipo promete mejoras significativas en cuanto a productividad, reducción de rebote, menor consumo de insumos y disminución de tiempos improductivos en el ciclo de sostenimiento.

Por tanto, el objetivo de esta investigación es realizar un análisis comparativo del rendimiento entre ambos equipos —el Scorpion 1874 y el Tecnoshot 1.6D— en condiciones reales de operación dentro de la rampa 767, evaluando variables técnicas y económicas clave como la producción teórica (m^3/h), el tiempo efectivo de aplicación, el consumo de material por disparo y el costo operativo por ciclo.

Este estudio busca aportar información técnica relevante que respalde la toma de decisiones en cuanto a la selección de equipos de sostenimiento en minería subterránea, considerando la mecanización como una herramienta clave para la optimización de procesos.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la industria minera enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia operativa y la optimización de costos. El sostenimiento de labores subterráneas mediante el uso de shotcrete es un proceso crítico para garantizar la estabilidad de las estructuras, la seguridad del personal y el mantenimiento de los equipos. Sin embargo, este proceso a menudo presenta ineficiencias debido al uso de equipos que no alcanzan el rendimiento esperado o generan elevados costos operativos y tiempos improductivos.

En el caso específico de la rampa 767 de la unidad minera analizada, se emplea actualmente el equipo Scorpion 1874, cuya capacidad de producción teórica es de 5.5 m³/h. Este equipo, además de presentar limitaciones en cuanto a su eficiencia, muestra tiempos improductivos elevados debido a factores como fallas operativas, insuficiencia en el abastecimiento de insumos y mantenimiento inadecuado. Estas ineficiencias impactan negativamente en el ciclo de minado, retrasando actividades clave como la limpieza, perforación y voladura, y generando costos adicionales asociados a la improductividad tanto del equipo como del personal.

En este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan optimizar el proceso de lanzamiento de shotcrete, reducir los tiempos improductivos y maximizar el rendimiento. Una posible solución es la incorporación del equipo Tecnoshot 1.6D, el cual tiene una capacidad de producción teórica significativamente superior (18 m³/h) y características que prometen una mayor eficiencia y reducción de costos operativos.

El problema radica en evaluar la viabilidad técnica y económica de sustituir el equipo Scorpion 1874 por el Tecnoshot 1.6D en las labores de sostenimiento de la rampa 767. Es necesario analizar si esta transición permitirá alcanzar los objetivos de optimización del ciclo de sostenimiento, reducción de costos y mejora en la productividad, garantizando al mismo tiempo la seguridad y estabilidad de las operaciones subterráneas. La solución a este problema no solo tendrá implicaciones económicas y operativas, sino también en la percepción de eficiencia y competitividad de la unidad minera.

1.1. Problemática de la investigación

En la actualidad las empresas mineras buscan la mejor manera de trabajar y poder obtener una mayor eficiencia en la productividad y siendo el sostenimiento de las labores subterráneas imprescindibles se deben realizar con la mayor eficiencia, para área de avance, desarrollo o producción, deben estar correctamente sostenidas. Es por ello en minera Caudalosa

se opta por utilizar múltiples tipos de sostenimiento, siendo el Shotcrete la más usada. Sin embargo, para su lanzamiento se requiere equipo Scorpion 1874 y su traslado, traslado de material, una cuadrilla de trabajadores, y requiriendo más de 5 a 6 hora por 15 m³ por guardia, estas condiciones causan un retraso en el ciclo de minado, impidiendo que la limpieza posterior, perforación y voladura de otras áreas, e incluso generando improductivos para el área de geomecánica que se registran más de 10 guardias improductivas al mes esto representa más del 10% de improductividad al mes. Esto sin sumar las horas improductivas en guardias por diferentes motivos las tareas administrativas que son alrededor de 15 por mes, lo que hace que las horas de lanzado tengan que ser más eficientes, teniendo como meta superar los 720 m³ de lanzado

Representando pagos improductivos para la contra Teincomin, respecto al pago de equipo improductivo, personal improductivo. Esto reduce la valorización, pudiendo crear inestabilidad y mala imagen a los responsables de esta labor.

También involucra la falta de seguridad en la rampa 767, siendo una labor de profundización principal, ya que mientras más demore el sostenimiento el efecto de gravedad realza el techo, aumentando el grado de riesgo. Por estos motivos es que se requiere una mejor alternativa para realizar las labores de sostenimiento con shotcrete.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo del rendimiento operativo entre los equipos de sostenimiento Scorpion 1874 y Tecnoshot 1.6D en la rampa 767 de la Unidad Minera Caudalosa, con el fin de determinar su eficiencia en términos de productividad, tiempos de aplicación de shotcrete y **costos operativos**.

1.2.2. Objetivos específicos

- Comparar los tiempos de aplicación y productividad (m³/h) del shotcrete entre los equipos Scorpion 1874 y Tecnoshot 1.6D en la rampa 767.
- Evaluar los costos operativos y el consumo de insumos asociados al uso de ambos equipos.
- Identificar los equipos y servicios auxiliares necesarios para la operación eficiente del Tecnoshot 1.6D.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Pregunta principal

¿Por qué la implementación de una Tecnoshot 1.6D optimizará la operación unitaria de sostenimiento?

1.3.2. Preguntas secundarias

- ¿Cómo se comparan los tiempos de aplicación y la productividad del shotcrete entre los equipos Scorpion 1874 y Tecnoshot 1.6D en la rampa 767?
- ¿Qué diferencias existen en los costos operativos y consumo de insumos entre ambos equipos de sostenimiento?
- ¿Qué equipos y servicios auxiliares se requieren para el funcionamiento óptimo del Tecnoshot 1.6D?

1.4. Líneas de investigación a la que corresponda el problema

1.4.1. Optimización de los procesos mineros

La presente tesis tiene como línea de investigación la optimización de los procesos mineros en una mina subterránea, en el caso de estudio se pretende optimizar el ciclo y productividad de sostenimiento por shotcrete.

1.5. Palabras clave

Shotcrete, productividad, optimización.

Shotcrete, productivity, optimization.

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Justificación e importancia

A medida que una unidad minera empieza a crecer y se requiere aumentar la producción es necesario mejorar la capacidad de trabajo en las diferentes áreas, centrándonos en el área de sostenimiento por geomecánica es realmente importante una rápida y eficiente.

Para ello debe contar con los equipos adecuados en las operaciones subterráneas. Equipos versátiles que se adapten a las condiciones y de uso rápido para no interrumpir el ciclo de producción.

Reduce la exposición del personal en zonas críticas, aumenta la productividad, reduce tiempos muertos.

Haciendo que los riesgos disminuyan, así como evitar enfermedades ocupacionales debido a que en métodos más convencionales requiere un arduo esfuerzo físico de los trabajadores que pueden terminar en lumbalgia por el peso de traslado de cemento, levantar el material con pala, y también el riesgo de contraer fibrosis pulmonar debido al tiempo de exposición de los trabajadores durante la operación del equipo modelo Scorpion 1874 para el lanzamiento de shotcrete.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

2.1.1. Minería subterránea

La minería subterránea es la que se dedica a la explotación de los recursos que tienen lugar dentro de un macizo rocoso y a gran profundidad, requiere una infraestructura especial, que suele constar de las siguientes partes: pozos de acceso, instalaciones generales, túneles, pozos de conexión de instalaciones y estaciones. Cada mina difiere en cuanto a ubicación, estructuras y procedimientos de trabajo. Las diferencias radican principalmente en las formaciones geológicas en las que se basa, los sistemas de explotación empleados, el tipo de mineral extraído y el tipo de acceso utilizado como; pozo vertical, rampa, grada, etc. (Laboratorio Oficial J. M. Madariaga, 2015).

Las minas terrestres se dividen en varios tipos de operaciones. En primer lugar, está la infraestructura de acceso y servicio, que incluye ⁴ el pozo principal, la rampa de nivel, los túneles de nivel y de acarreo, las plataformas de carga de mineral y los pozos de ventilación. Estas obras suelen ser instalaciones de larga duración excavadas en el material de sobrecarga. Por otro lado, hay trabajos de apoyo, reconocimiento, comunicación y otros trabajos complementarios para las instalaciones y las pilas de mineral. Por último, hay zonas del frente de explotación, cuya geometría se define como capa, veta o masa mineralizada y cuya duración depende de la duración de los trabajos de minería (Laboratorio Oficial J. M. Madariaga, 2015).

2.2. Bases teóricas de la investigación

2.2.1. Sostenimiento

Es un conjunto de soporte dentro de la fortificación de labores a cielo abierto durante la explotación minera mejorando las situaciones de estabilidad del macizo rocoso. (Matamorros, 2019)

En cualquier explotación minera, el sostenimiento es una obra adicional excesivamente costosa que reduce la velocidad de avance y/o fabricación, pero al mismo tiempo es un sistema crítico para proteger al personal y al equipo de accidentes. (Vargas, 2021). Tenemos los siguientes tipos de sostenimiento.

2.2.1.1.Sostenimiento Activo

Es decir, el refuerzo de la roca en el que los elementos de ayuda son una parte imperativa o integral del macizo rocoso.

2.2.1.2.Perno helicoidal

Permiten gestionar las inestabilidades subterráneas y de superficie, como detalle de refuerzo. Se realizan en minería por sus prestaciones de trazado y funcionalidad dentro de la capacidad de gestión de inestabilidades del macizo rocoso. (Matamorros, 2019)

2.2.1.3.Pernos hydrabolt

Es un perno de anclaje expandible hidráulicamente con una energía de anclaje avanzada para aplicaciones de carga de tracción. El tubo del Hydrabolt se inyecta con agua a presión excesiva durante toda la instalación, que luego se expande para ajustarse al perfil del taladro de apuntalamiento". (Matamorros, 2019)

2.2.1.4.Split Set Bolt

Los pernos de anclaje Split Set de la fricción genera fuerzas radiales a lo largo de su período y se inserta en la roca, aumentando la resistencia del macizo rocoso. (Matamorros, 2019)

2.2.1.5.Sostenimiento pasivo

Donde los factores de ayuda son externos a la roca y dependen del movimiento interno de la roca este está en contacto con el contorno excavado o con los tabiques de una excavación subterránea. (Matamorros, 2019)

Shotcrete: Incluye hormigón o mortero colocado mediante proyección neumática a velocidad excesiva desde una boquilla. (Matamorros, 2019)

Arcos de acero (cimbras): Esta guía o ayuda se utiliza habitualmente para la ayuda permanente de obras, en condiciones de macizos rocosos intensamente fracturados o que confieren un paupérrimo nivel de trituración, sometidas a condiciones de tensión excesiva. Prevalecen por su óptima resistencia mecánica. (Matamorros, 2019)

Armazones de madera: Es una ayuda que sirve para mantener las excavaciones abiertas, es principalmente utilizado para labores transitorias, compensando el inestable equilibrio del macizo rocoso. (Matamorros, 2019)

Figura 1.
Rango de medidas

Modelo	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro de Agujero recomendado (mm)	Capacidad nominal de carga (tonelada métrica)	Longitud crítica de anclaje (mm)
Hydrabolt NT	26	32-36	8	250
Hydrabolt Normal	26	32-36	100	300
Hydrabolt Diámetro 29	29	34-40	100	300

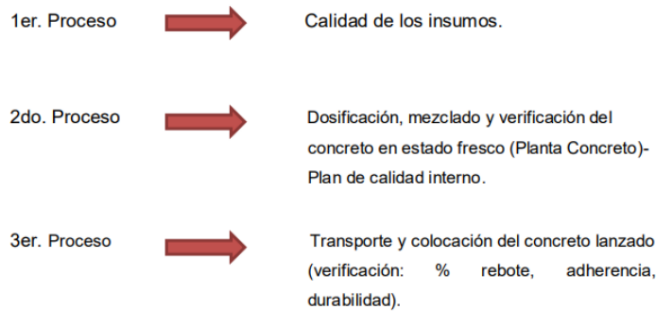
Nota: Adaptado de Matamorros (2019)

2.2.2. Shotcrete

El hormigón proyectado se aplica mediante una boquilla neumática de alta velocidad. Sus componentes son áridos; cemento y agua, pudiendo complementarse con materiales nobles, aditivos químicos y refuerzo de fibras. El rociado de concreto se puede realizar con equipo robótico o a mano, húmedo o seco. El método más apropiado depende tanto del tamaño del trabajo como de la cantidad de concreto a rociar, así como de las consideraciones logísticas. Las principales aplicaciones del hormigón proyectado son como soportes y revestimientos en la construcción de túneles, soporte de suelos y rocas en minería, canales, embalses y centrales hidroeléctricas y para estabilizar taludes. Las propiedades importantes del hormigón proyectado son la densidad suficiente y alta resistencia (especialmente para soportar estructuras subterráneas) y su compresión, la durabilidad y endurecimiento en cortos periodos de tiempo después del curado (Matamorros, 2019). Por ello su propósito es ayudar al macizo rocoso que rodea la roca de calidad insuficiente (alrededor del pozo subterráneo) a fortalecerse lo suficiente para mejorar las propiedades del macizo rocoso. (Mamani, 2018)

Figura 2.

Procesos en el sistema de concreto lanzado



Nota: Adaptado de Camarena (2016)

2 Consideraciones de diseño para la aplicación del concreto lanzado

Se deben tomar en cuenta los siguientes factores que intervienen en este proceso:

- Cemento.
- Humo de sílice/aditivos.
- Áridos.
- Mezclas (Plastificantes y Súper plastificantes).
- Acelerante de fraguado.
- Fibras.
- Curado (postratamiento).
- Equipo correcto.
- Ejecución correcta

2.2.2.1. Propiedades del shotcrete

Son 7 propiedades que se mencionan a continuación (Instituto Politécnico Nacional, 2011):

- Adherencia: trabaja siempre y cuando la roca este en un estado sólido, limpio y exento de las partes sueltas. Se tiene una velocidad considerable cuando se da la mezcla y tiene un choque con la superficie del terreno; con la ayuda de las partículas más finas sellan las irregularidades, fisuras y poros. Cuando está en

contacto con la roca se da la absorción de esfuerzos flexivos donde mejoran cuando se agrega fibras.

- Aspecto: Es rugosa en referencia a la superficie natural del hormigón; el aspecto depende directamente del tamaño árido grueso usado y la técnica respectiva de proyección.
- Densidad aparente: se da la variación en un rango de 2 a 2.5 kg/dm³ y tienen dependencia del contenido de cemento y porosidad.
- Porosidad: su creación se da por el aire encerrado en la etapa operativa. El hormigón que se proyecta tiene una cantidad considerable de áridos finos y mayor contenido de cemento si se compara con el hormigón común o tradicional.
- Resistencia a la compresión: mayormente es inferior de manera ligera en comparación a los hormigones normales de 30 mm de granulometría, esto por la finura del hormigón proyectado.
- Permeabilidad: el hormigón que se proyecta posee valores de 20-25x10⁻¹⁰ m/s que son menores a los de un hormigón normal de 50x10⁻¹⁰ m/s
- Resistencia a tracción: en 28 días varía en un rango de 20-30 kg/cm² y en 3 años la variación está en un rango de 30-55 kg/cm². La resistencia presenta mejora cuando se usa fibra.

2.2.2.2.Método vía húmeda

En este enfoque todas las sustancias son premezcladas y llevadas en una bomba y bombeadas a través de mangueras a una boquilla. La pulverización del material se pulveriza aplicando aire comprimido a la boquilla. En este proceso los materiales constitutivos (áridos, agua y ligante) se mezclan, junto con un acelerador y aire a presión, se pulveriza hacia el sustrato. Se agregan a la mezcla agua y aditivos reforzadores diferentes (si es necesario). (Camarena, 2016). En la actualidad, el proceso de mezcla húmeda se utiliza con más frecuencia en la construcción de túneles ya que su rendimiento es mayor y se genera menos cantidad de polvo. Además, la cantidad de material de rebote, compuesto principalmente de áridos más gruesos que no se adhieren al sustrato y rebotan, así reduce significativamente mediante el proceso de mezcla en húmedo, lo que conlleva beneficios económicos (por ejemplo, reducción de los costes de producción).

Tabla 1.
Ventajas y desventajas del método shotcrete vía húmeda

Ventajas	Desventajas
Mejor entorno de trabajo.	Sólo se permiten interrupciones restringidas.
El rebote es mínimo y no se requieren vibraciones ni compactación adicionales.	Mayores necesidades en combinación grande.
Permite eficiencias de esfuerzo excesivas.	Precios de limpieza.
Dosificación de agua controlada (relación agua/cemento constante y descrita).	
Mejor adherencia.	
Mayor fabricación, en consecuencia, más en su rango de precios.	
Utilización de fibras y componentes metálicos.	

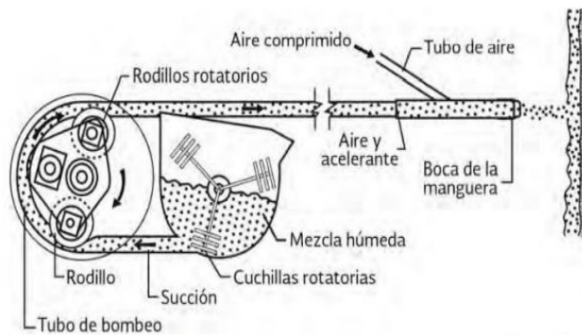
Nota: Adaptado de Vargas (2021)

Figura 3.
Técnicas para la proyección de shotcrete vía húmeda



Nota: Adaptado de Camarena (2016)

Figura 4.
Esquema de la vía húmeda



Nota: Adaptado de Matamorros (2019)

2.2.2.3. Método vía seca

En el hormigón proyectado en seco, sólo se premezclan las sustancias secas, la combinación se transporta mediante mangueras de aire comprimido, el agua vital para la hidratación se implementa en la boquilla. En la técnica seca, se puede aportar un acelerador en la boquilla (en forma de líquido) o puede introducirse al material como polvo seco antes del bombeo. (Vargas, 2021)

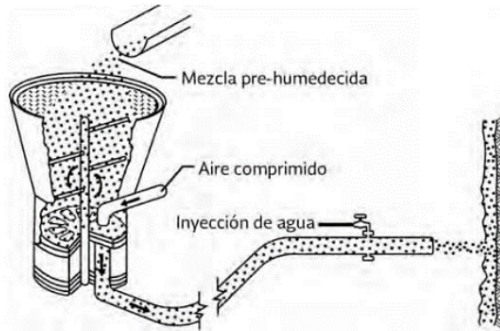
Tabla 2.
Ventajas y desventajas del método shotcrete vía seca

Ventajas	Desventajas
Menor relación agua/cemento	Mayor cantidad de rebote
Es factible transportar la mezcla a largas distancias	Tiempo limitado de permanencia del personal en el frente de lanzamiento
Facilidad de suministro	Control variable del agua y consistencia a discreción del operario
Pequeño dispositivo de accionamiento manual	Alta contaminación dentro del lugar de lanzamiento, formación de polvo

Ventajas	Desventajas
	Elevados precios de mantenimiento debido al desgaste y deterioro de la videocámara, especialmente los sellos de goma y la placa de fricción.

Nota: Adaptado de Vargas (2021)

Figura 5.
Esquema de la vía seca



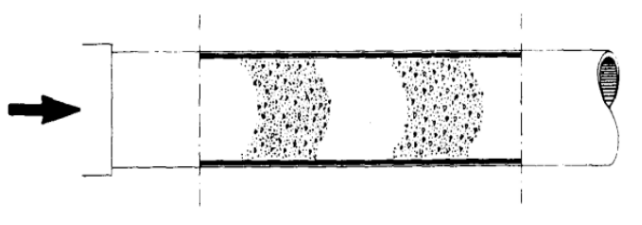
Nota: Adaptado de Matamorros (2019)

2.2.2.4. Sistema de mezcla intermitente

El transporte del material debe ser continuo y regular, en forma de bolsas de tela compactado impulsado mediante aire comprimido. Se considera que la desventaja más importante de este método es que la flotación de la tela a través de la manguera es anormal. Casi no es posible subir con frecuencia la dosis de acelerante, la flexibilidad en la operación es mejor, considerando que se realiza menos dispersión del material al salir de la boquilla y además la relación agua-cemento puede ser mejor gestionada. (Torres, 2016)

Figura 6.

Bolsas de mezcla húmeda impulsadas por aire comprimido



Nota: Adaptado de Torres (2016)

2.2.2.5.Cemento

Su principal característica es su acción de pegamento en contacto con el agua, ya que el cemento se endurece gracias a su reacción química con el agua, también en cada partícula de cemento se produce un tipo de capa fibrosa que se extiende hasta unirse con la capa producida en la partícula adyacente. (Condori Condori, 2017)

2.2.2.6.Aditivos

Los aditivos se utilizan para mejorar las estructuras de Hormigón proyectado, estos pueden ser: aceleradores de fraguado, que no deben utilizarse en más del 2% en peso del cemento; reductores de agua; y retardadores.

Recientemente, la micro sílice se ha suministrado como aditivo cementante; una puzolana de gran calidad utilizada en cantidades del 8 al 13% en peso del cemento, puede duplicar o tal vez triplicar la potencia del hormigón proyectado, reduce el rebote, mejora la adherencia al suelo de la roca y permite en las proximidades capas de hasta 200 mm de espesor en un paso fácil, debido a su excepcional "pegajosidad". (Torres, 2016)

2.2.2.7.Fibras metálicas

La incorporación de fibras artificiales al Hormigón Proyectado conlleva a un mejor poder de rotura o disminución de la contracción del material.

Las fibras sintéticas tienen bendiciones obvias sobre la malla electrosoldada, siendo la más esencial la realidad de que son pequeñas y pueden ser distribuidas uniformemente durante la capa de hormigón, tal mejora de la distribución de grietas y distribución de tensiones imparte viscosidad al hormigón. Las fibras se utilizan para aumentar la energía de flexión y tracción del

hormigón, tienen que formar una red tridimensional y dirigida aleatoriamente dentro de la estructura de hormigón. (Torres, 2016)

2.2.2.8. Aditivos Acelerantes de Fragua

Con el uso del acelerador de fraguado es factible una pulverización potente en superficies verticales y en el techo. La flotación del agua de la roca requiere un mejor porcentaje de combinaciones de acelerantes. Se añaden en forma líquida a través de un depósito colador o una bomba dosificadora.

Las dosis de acelerante variarán en función de la habilidad del operador, la superficie y la proporción agua/cemento. (Torres, 2016)

- Las variedades de acelerante utilizadas son:
- Silicato sódico líquido.
- Silicato modificado.
- Activadores de consistencia.
- Aluminatos (sodio, potasio o una mezcla de cada uno).

2.2.3. Aplicación robotizada del shotcrete

2.2.3.1. Shotcrete remoto en shaft

Requiere dos tipos aplicados en referencia al hormigón proyectado en las verticales. Su uso en una plataforma es para que los trabajadores instalen persones, elementos de apoyo o instalaciones de servicios, para proyectar el shotcrete se coloca una boquilla debajo de la plataforma, la finalidad del hormigón proyectado es su aplicación en las paredes del pozo adelantado sin poner en riesgo al operador. Si se requiere existe la posibilidad de instalar cámaras para controlar la proyección.

Figura 7.

Diagrama de relación entre eficiencia, efectividad y productividad



Nota: Adaptado de Aplicación del Hormigón Proyectado, por ICH, s.f.

2.2.3.2. Shotcrete en TBM

La aplicación del hormigón en proyección es incorporada en el montaje de la tuneladora, ya que se monta una boquilla de proyección en un hormigón que es operada de manera manual o mediante un equipo shotcrete robotizado que es montado encima de la tuneladora.

Figura 8.

Brazo de aplicación del shotcrete montado en una TBM



Nota: Adaptado de Aplicación del Hormigón Proyectado, por ICH, s.f.

2.2.4. Ventajas

Las principales ventajas del uso del equipo son (ROBOCON, s.f.):

- Minimiza el costo productivo del mineral por el factor de dilución
- Seguridad en la parte aplicativa
- Aumenta la velocidad de aplicación sostenida

- Es altamente confiable y mantenible
- Ofrece un servicio de mantenimiento integral
- Respecto a los repuestos tiene una alta disponibilidad

Otras ventajas de un shotcrete robotizado en vía húmeda comparada a las proyecciones manuales de vía seca son (Putzmeister, s.f.):

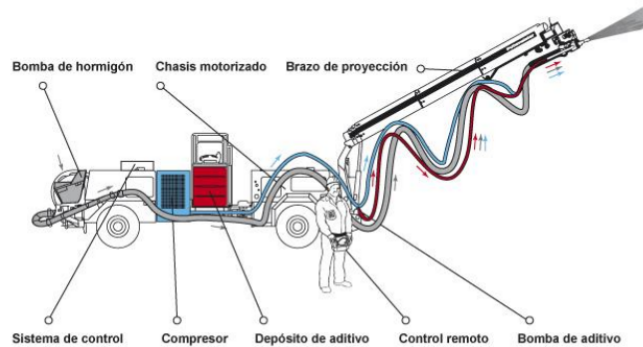
- Sostiene la calidad y es homogénea
- Mejora las condiciones de trabajo
- Ahorro en materia energética
- Requiere menos mano de obra
- Menor rebote
- Incrementa el rendimiento
- Disminuye el tiempo
- Se da la presencia de menos recambios

2.2.5. Componentes de un equipo robotizado

Destacan los siguientes componentes (Putzmeister, s.f.):

- Bomba de hormigón: presenta menos pulsaciones en un flujo de hormigón continuo
- Brazo de proyección: aplicable con la presencia de diferentes alcances
- Compresor de aire: proyecta y compacta la mezcla de hormigón
- Bomba de aditivo: dosificación de acelerante de manera fraguada
- Sistema de control: es la parte principal del equipo
- Control remoto: se da el manejo del equipo con seguridad
- Chasis motorizado: delimita al frente de topo tipo de terreno

Figura 9.
Componentes de un equipo robotizado



Nota: Adaptado de ¿Cuáles son los principales componentes de un equipo robotizado para shotcrete por vía húmeda?, por Putzmeister s.f.

2.2.6. Ejecución del lanzamiento de shotcrete

2.2.6.1. Transporte

Se realiza con apoyo de un camión mixer, el cual transporta el hormigón, pudiendo realizar la acción de mezclado durante el transporte, hacia una tolva ubicada en la parte trasera del equipo. Un camión mezclador de hormigón se aproxima en sentido inverso hasta la tolva, guiado por un asistente que debe estar constantemente observando la descarga de la mezcla. Es esencial que este ayudante permanezca siempre visible para el operador del camión, garantizando una comunicación clara y segura durante todo el proceso. Esta colaboración entre el asistente y el operador es crucial para asegurar una descarga precisa y sin incidentes del hormigón en la tolva. (ICH, s.f.)

Cuando el trabajo se da en pendientes las ruedas del mixer quedan calzadas para que no se dé un movimiento controlado de la maquinaria. La máquina hormigón en proyección estabiliza por una gata hidráulica. En la minera el camión mix convencional no es recomendable. (ICH, s.f.)

2.2.6.2. Proyección

El mortero y hormigón en proyección son aplicables por capas en una misma operación lanzando de manera repetida sobre el área. La cantidad de aplicación en una operación depende de muchos factores (Höfler et al., 2011):

- Resistencia adhesiva de la mezcla de hormigón en proyección
- Naturaleza del sustrato
- Proceso en proyección
- Volumen en proyección
- Dirección del proyectado
- Obstrucciones
- Distancia de la boquilla y del sustrato

El enfoque es diferente según la dirección de la proyección. Si la proyección es horizontal, el espesor se construye en capas delgadas. Cuando es proyectada de manera directa por, el material pesado y adhesivo del hormigón en proyección se contraponen de manera mutua. La aplicación debe ser en ángulo recto en referencia al sustrato u hormigón emparejado. La distancia de proyección óptima es de 1.2 a 1.5 metros con una frecuencia en un rango de 1 a 2 m. (Höfler et al., 2011)

Las principales reglas para el dominio del Shotcrete son (Putzmeister, s.f.):

- Limpieza de la superficie antes de la proyección
- Establecer una distancia de la boquilla y sustrato entre 1 a 2 m
- Colocación de la boquilla en ángulo de 90 grados con el sustrato
- Relleno de fisuras y grietas
- Aplicación en capas
- Volver a hacer limpieza de la superficie en periodos prolongados entre capa y capa
- Limpieza del equipo inmediato después de su aplicación
- Hidratación de la superficie
- Formación de manera continua del operador

2.2.7. Técnicas de proyección para minimizar el rebote

El rebote del hormigón en proyección del material no adherido a la superficie tiene que ser proyectado y salta de la superficie del hormigón en proyección. El material no puede volver a ser usados en otros lugares de obra. (ICH, s.f.)

El porcentaje de rebote tiene dependencia de diferentes factores como (ICH, s.f.):

- Experiencia del pitonero y la habilidad en el manejo de la boquilla
- Eficiencia del equipo en proyección del hormigón
- Diseño de la mezcla
- Trabajabilidad del hormigón
- Selección de los materiales
- Tipo y rugosidad que posee la superficie
- Profundidad del hormigón en proyección del sustrato

El equipo Tecnoshot 1.6D emplea un sistema de mezcla vía húmeda, a diferencia de los sistemas de vía seca utilizados en lanzadores como el Scorpion 1874. En este método, el hormigón premezclado es transportado mediante camiones mixer hasta la zona de aplicación, desde donde es bombeado directamente al manipulador de lanzado. Este sistema presenta varias ventajas en comparación con la vía seca:

- Mayor adherencia del material al macizo rocoso, lo que reduce significativamente el efecto rebote.
- Mejor compactación y resistencia inicial, ya que la mezcla llega homogénea al punto de aplicación.
- Mayor control en la dosificación de aditivos, gracias a la bomba peristáltica con ajuste de volumen desde el control remoto.
- Menor desperdicio de material, lo que contribuye a la optimización de costos y al cumplimiento de estándares ambientales.

La combinación del bombeo de concreto mediante una bomba de desplazamiento fijo y el control de aditivos de hasta 25 l/min permite un proceso más eficiente y seguro, optimizando tiempos en la aplicación del sostenimiento y reduciendo la exposición de los operadores a condiciones de riesgo.

2.2.8. Geomecánica del macizo rocoso

Se tiene el mapeo geomecánico que utiliza las labores subterráneas existentes y testigos rocos para caracterizar la masa rocosa. La caracterización de la masa está definida litológicamente por estructuras que elaboren el respectivo Departamento de Geomecánica-Geología con la calidad de la masa rocosa determinada por un mapeo geomecánico. El criterio de Bieniawski (1989) contempla 5 clases de rocas que van desde la muy buena a la muy mala. (Rivera y Santiago, 2020)

Las clasificaciones geomecánicas se usan en los estudios geotécnicos de tuneles. La caracterización del macizo rocoso depende de los siguientes parámetros (Ramírez y Alejano, 2004):

- Resistencia y comportamiento de la roca
- Familias discontinuidades de manera inexistente
- Espaciado en los planos discontinuos y fracturación del macizo
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades
- Condiciones del agua en presencia de juntas
- Tensiones inducidas, in situ o naturales
- Alteraciones que se dan por el macizo rocoso de la actividad de excavaciones

La clasificación geomecánica produce beneficios en la ingeniería como (Ramírez y Alejano, 2004):

- Mejorabilidad de la calidad de estudios de los macizos rocos
- Permiten dividir los macizos rocos en función a sus características y comportamiento
- Suministración de datos en base a las características del macizo rocoso
- Proporcionan una base y lenguaje entendible entre geólogos e ingenieros

2.2.9. RMR de Bieniawski

Para determinar la calidad del macizo rocoso se dividen en dominios estructurales. La estructura del macizo rocoso tiene fallas, diaclasas, pliegue y otras características geológicas. (Ramírez y Alejano, 2004):

Los parámetros que evalúan la calidad del macizo rocoso son (Ramírez y Alejano, 2004):

- Resistencia a la compresión simple del material rocoso

Tabla 3.*Estimación de resistencias medias en determinadas rocas según Bieniawski (1973)*

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128

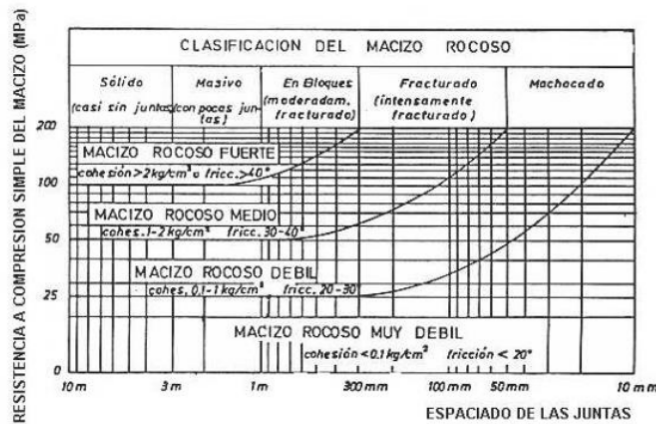
4 Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Silice	587	683	635

Nota: Adaptado de Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Bieniawski (1973)

- RQD encargado de seleccionar el revestimiento de los túneles
- Espaciado de las juntas denotan las discontinuidades estructurales

Figura 10.

Variación de la resistencia del macizo rocoso en función del espaciado de las juntas y de la resistencia a compresión simple de la roca



Nota: Adaptado de Rock mass classifications in rock engineering. Exploration for rock engineering, Bieniawski (1976)

- Naturaleza de las juntas, describen el estado de las juntas
- Presencia de agua, tiene influencia sobre el comportamiento
- Orientación de discontinuidades, determina el sostenimiento necesario

2.2.10. Sistema de clasificación Q de Barton

Se centra en 6 parámetros como:

- Rock Quality Designation RQD
- Número de familias juntas J_n
- Rugosidad de las juntas J_r
- Meteorización de las juntas J_a
- Coeficiente reductor que dispone el agua J_w
- Factor que depende de las tensiones del macizo rocoso SRF

Para definir el macizo rocoso se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

La primera fracción expresa el tamaño de los bloques.

La segunda fracción denota la resistencia al corte de los bloques.

La última fracción muestra el estado de las tensiones del macizo rocoso

Tabla 4.

Número de familias de Juntas Jn

DESCRIPCIÓN	Jn
Roca masiva	0,5-1
Única Familia de diaclasas	2
Una familia y algunas ocasionalmente	3
Dos familias	4
Dos familias y algunas juntas	6
Tres familias	9
Tres familias y algunas juntas	12
Cuarto o más familias	15
Roca triturada terrosa	20

En boquillas, se usa 2 Jn y en intersecciones de túneles 3 Jn

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton (1974)

4

Tabla 5.

Meteorización de las juntas Ja

DESCRIPCIÓN	Ja	φr^0
*Contacto entre dos caras de la junta		
Junta sellada dura	0.75	
Caras de la junta que están manchadas	1	25-30
Caras de la junta alteradas de manera ligera	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa	3	20-25
Recubrimiento de minerales blandos arcillosos y una baja fricción	4	8-16
*Contacto entre dos caras de la junta menores a 10 cm de desplazamiento	Ja	φr^0

DESCRIPCIÓN	Ja	φr^0
*Contacto entre dos caras de la junta		
Partículas de arena	4	25-30
Rellenos de minerales	6	16-24
Sobreconsolidación baja o media	8	12-16
Rellenos expansivos de arcillas	8-12	6-12
*No se da contacto entre dos caras de la junta cuando sufre un desplazamiento de la cortante	Ja	φr^0
Zonas de bancas de roca desintegrada o roca machacada	6-8 u 8-12	6-24 “
Zonas blandas limosas de arcillas o arenosa con una pequeña fracción de arcilla	5	6-24
Milonitos arcillosos gruesos	10-13 ó 13-20	6-24 “

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton (1974)

Tabla 6.
Rugosidad de las juntas Jr

DESCRIPCIÓN	Jr
*Contacto entre caras de la junta a través de un desplazamiento cortante menor a 10 cm	
Discontinuidad de juntas	4
Junta rugosa u ondulada de manera irregular	3
Suave ondulada	2
Espejo de falla, ondulada	1,5
Rugosa o irregular, plana	1,5
Suave plana	1
Espejo de falla, plana	0,5
*No hay contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas son desplazadas de manera lateral	Jr
Zona que contiene minerales arcillosos	1

4	DESCRIPCIÓN	Jr
	*Contacto entre caras de la junta a través de un desplazamiento cortante menor a 10 cm	
	Arenas, gravas o zonas con falla gruesa que impiden el contacto de las dos caras de la junta	1

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton et al., 1974, Springer Verlag

Tabla 7.
Agua en las juntas Jw

DESCRIPCIÓN	Jw	Presión agua kg/cm ²
Excavaciones que son secas	1	Menor a 1
Fluencia o presiones medias	0,66	Entre 1 a 2,5
Fluencia grande o alta presión	0,33	Entre 2,5 a 10
Fluencia o presión de aguas altas al dar pegás	0,1-0,2	Mayor a 10
Fluencia o presión de agua altas y continuas	0,05-0,1	Mayor a 10

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton (1974)

Tabla 8.
Tensiones en la excavación S.R.F.

DESCRIPCIÓN	
Zonas débiles interceptadas con la excavación y causan caídas de bloques	SRF
a. Varias zonas débiles que contiene arcilla o roca químicamente desintegrada	10
b. Solo una zona débil que tiene arcilla o roca desintegrada de manera química	5
c. Solo una zona débil que contiene arcilla o roca desintegrada de manera química	2,5
d. Varias zonas de fractura competente	7,5

DESCRIPCIÓN			
e.	Solo una zona de fractura en roca competente (excavación menor a 50 m)		5
f.	Solo una zona de fractura en roca competente (excavación mayor a 50 m)		2,5
g.	Juntas abiertas sueltas o muy fracturadas		5
Rocas competentes con ciertos problemas de tensiones en las rocas	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
h.	Pequeñas tensiones cerca de la superficie	Mayor a 200	Mayor a 13 2,5
j.	tensiones medias	Entre 200 y 10	Entre 13 y 0,66 1
k.	Tensiones altas	Entre 10 a 5	Entre 0,66 a 0,33 0,5 a 2
l.	Explosión suave de la roca	Entre 5 a 2,5	Entre 0,33 a 0,16 Entre 5 a 10
m.	Explosión fuerte de la roca	Menor a 2,5	Menor a 0,16 Entre 10 a 20
σ_c y σ_t son resistentes a la compresión y tracción de la roca			
Roca fluyente con flujo pastico de una roca incompetente bajo en influencias altas de presiones litostáticas			SRF
n.	Suave presión de flujo		Entre 5 a 10
o.	Intensa presión de flujo		Entre 10 a 20
Rocas expansivas con una actividad expansiva de manera química			SRF
p.	Suave presión de expansión		Entre 5 a 10

DESCRIPCIÓN	
q. Intensa presión de expansión	Entre 10 a 20

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton (1974)

Tabla 9.
Tipos de macizos rocosos

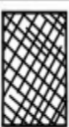
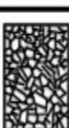
TIPO DE MACIZO	VALOR DE Q
Excepcionalmente malo	10^{-3} a 10^{-2}
Extremadamente malo	10^{-2} a 10^{-1}
Muy malo	10^{-1} a 1
Malo	1 a 4
Medio	4 a 10
Bueno	10 a 40
Muy bueno	40 a 100
Extremadamente bueno	100 a 400
Excepcionalmente bueno	400 a 1000

Nota: Adaptado de Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, por Barton (1974)

2.2.11. Geological Strength Index (GSI)

La clasificación GSI se centra en la observación del macizo rocoso, es cualitativo. El índice incorpora su respectiva estructura y las características geomecánicas de las superficies de discontinuidad que existen. Combina ciertos aspectos donde destaca el tamaño y forma de los bloques acompañado de la resistencia al corte de las discontinuidades.

Figura 11.
Índice de Resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES →					
 INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.	90			N/A	N/A
 FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.	80	70			
 FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.	60	50			
 FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.		40	30		
 DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.			20		
 LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.	N/A	N/A		10	

Nota: Adaptado de GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation, por Marinos y Hoek (2000)

Figura 12.
Índice de Resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			

Nota: Hoek, E., & Marinos, P. (2000). GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. GeoEng2000 Conference, Melbourne.

La clasificación de GSI data del comportamiento isotropo del macizo rocoso, es independiente de la direction de la aplicabilidad de las cargas.

2.2.12. Productividad de los equipos

La productividad es la relación entre la división de la producción y los recursos utilizados para conseguirla.

$$Productividad = \frac{Cantidad\ producida}{Recursos\ empleados}$$

La productividad se puede definir como una medida de la eficiencia con la que se gestionan los recursos para completar un producto dentro del tiempo y la calidad acordados. En otras palabras, la productividad incluye tanto la eficiencia como la eficacia, ya que no tiene sentido transportar grandes cantidades a la trituradora y luego tenerla bloqueada y atascada, lo que ralentiza el flujo de camiones hacia la trituradora. En la siguiente figura se muestra la relación entre la eficiencia (buen uso de los recursos), la eficacia (logro de los objetivos deseados) y la productividad.

Figura 13
Diagrama de relación entre eficiencia, efectividad y productividad



Nota: Administración de operaciones, Serpell, Alfredo.

Es necesario que las empresas o los proyectos de construcción se sitúen en el cuadrante de la alta eficiencia y la eficacia, ya que esto conducirá a una alta productividad.

Para lograr un trabajo productivo, todos los niveles de la organización deben comprometerse, tanto internamente como en la interacción con el entorno, que debe proporcionar las condiciones y los recursos para que los equipos trabajen de forma productiva. Al mismo tiempo, los grupos de trabajo deben apoyar a cada individuo del grupo, tanto en términos de condiciones como de recursos, para que pueda aportar sus capacidades e inclinaciones, logrando así un alto rendimiento en las tareas específicas que realiza.

2.3. Antecedentes Investigación

2.3.1. Antecedentes Nacionales

La investigación de Bujaico, 2020: “INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL SOPORTE CON SHOTCRETE EN LA OCURRENCIA DE DESPRENDIMIENTO DE ROCAS EN LA EMPRESA MARSA MINERA AURÍFERA RETAMAS S. A.” propone uso de aplicación de sustentáculo de hormigón en caso de desprendimiento de rocas en la empresa Marsa Minera aurífera retamas S.A. Nuestra investigación parte de la cuestión que genera el efecto de la utilidad del soporte de hormigón crudo en la disyunción de las rocas de la minera, es decir evaluar el uso de guías de hormigón prefabricado en el impacto de desprendimiento de rocas en Minera Aurífera Retamas S. A.. (Marsá). El método de investigación es científico, tipo aplicado, descriptivo y nivel de investigación aplicada, el diseño de investigación es aleatorio, además, nuestra población se sustenta en hormigón crudo y soporta hormigón húmedo.

El agregado limpio y angular es el más adecuado para el concreto crudo húmedo porque cumple con todos los requisitos de resistencia establecidos para las muestras. Se necesita una gran cantidad de áridos extraídos de cantera limpia y cantos rodados para asegurar la obra con hormigón en bola; con esto se logra un soporte más efectivo, Así, fue necesario estandarizar técnicas de vertido de hormigón armado de fosos, lo que redujo en gran medida el riesgo de desprendimiento de rocas. (Bujaico, 2020)

La investigación de Vargas, 2021, titulada: “OPTIMIZACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE USANDO DESMONTE ZARANDEADO COMO AGREGADO, EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RAMPA PRINCIPAL - MARSA”, evalúa la proporción de árido (viruta) y calidad para la combinación esto se utiliza dentro del lanzamiento por vía húmeda del shotcrete, para la ayuda de la rampa Patrick III, obras de desarrollo en minería subterránea. Para este proyecto se crea una explotación minera y se realiza los planes de la fabricación de 80 metros de avance por mes, para lo cual es apremiante utilizar una ayuda adecuada; La rampa es un acceso predominante. Con este expediente se hace una mirada financiera de la ayuda para validar que es económicamente posible y al mismo tiempo cumple con los parámetros que se requieren para utilizar dicha rampa como acceso fundamental. En cualquier explotación minera, la conservación es fundamental, y en este proyecto de fase III es fundamental, en la que las presiones son severas a todas estas se suman la presencia de desastres que inevitablemente deben pasar dentro de la construcción de la rampa.

La correcta creación de esta rampa asegurará que se cumplan los objetivos en algún momento de la vida de la mina. Con los planes de explotación minera centrados en el desarrollo de la mina, se pueden hacer cálculos según la capacidad de reservas y mineral que se prevé extraer por año, para esos métodos es muy vital ajustarse al desarrollo al cien por cien de las obras en mejora para Garantizar la explotación razonable de la mina. Por lo tanto, contar con un apoyo adecuado es que se puede obtener un desarrollo deliberado y observar lo que está programado, se adquiere mediante la utilización de parámetros que incluyen: control de tiempos de lanzamiento del hormigón proyectado (m^3), porcentaje de rebote, perímetro de la rampa, sobre la rotura. La técnica de ayuda en este reto es: colocación de pernos helicoidales de 8 pies, malla electrosoldada no galvanizada y hormigonado por vía húmeda. (Vargas, 2021)

En el trabajo de investigación de Huacho & La Fuente Conga, 2021: “MODELO DE MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MEDIANTE LA ACTIVACIÓN ALCALINA DE RELAVES EN UNA MINA SUBTERRÁNEA DEL PERÚ”, se produjo cemento geopolímero para la fabricación de hormigón proyectado o shotcrete premezclado por la activación alcalina de estériles mineros, que pueda mejorar sus residencias físicas y mecánicas, principalmente su resistencia a la compresión. Para llevar a cabo este sistema, los activadores alcalinos consistentes en silicato de sodio (Na_2SiO_3) e (NaOH). Por otra parte, para la validación de esta investigación, se determinan comprobaciones estándar para decidir la resistencia a la compresión del hormigón en muestras cilíndricas, con el fin de analizar las residencias mecánicas realizadas mediante el hormigón proyectado construido a partir de una concentración de NaOH de 12 y 15M. Los principales efectos sugieren que es muy viable cosechar hormigón ecoeficiente con una energía de compresión de hasta 19 MPa tras 28 días de curado. También es una alternativa sostenible, porque aprovecha los residuos y ofrece un reduce del setenta y tres por ciento en emisiones de CO₂ en comparación con la fabricación de cemento Portland. Portland. En resumen, este cuadro se especializa en el cultivo de cemento geopolímero sostenible como forma de ser utilizado como tejido para producir hormigón proyectado. (Huacho y La Fuente, 2021)

La presente tesis de los autores Chavez & Cruz, 2019; “PARAMETROS PARA AUMENTAR LA ADHERENCIA DE SHOTCRETE POR VIA SECA EN MINERIA SUBTERRANEA EN EL DISTRITO DE PARCOY” consiste en la dedicación de parámetros

para el crecimiento de la cohesión del hormigón proyectado por vía seca, de esta manera podemos estar garantizando tener una sustentación optima de los trabajos mineros, particularmente dentro de los pasillos de minas habituales. Dado que la productividad varía respecto a los huecos de las clases específicas de donde se construyen los compactos rocosos a nivel global. El hormigón proyectado es producido por una combinación de aditivos lanzados por una bomba de proyección de manguera con un flujo de aire comprimido, que lanza el hormigón hacia la superficie del suelo donde se fija o compacta al material de proyección. Así para mejorar la estructura de grandes agregados gruesos de concreto se enfocará al macizo rocoso monolítico, cómo agregar cantidades razonables de componentes excepcionales que podrían combinarse, lo que permite que el laboratorio se utilice para la investigación de estos materiales de calidad. El método de shotcrete seco es el concreto obtenido al mezclar (aditivos de cemento) con arena, que es operado por una corriente de aire comprimido con una bomba de inyección. Es un método que no requiere de gran mecanización, favoreciendo así el uso de esta tecnología en la minería. La mezcla de hormigón en bruto se presiona contra el suelo para evitar que las piedras caigan, sus capacidades de equipo son pequeñas en términos de volumen, lo que lo hace más versátil en su movimiento y colocación en comparación con la superficie. En este estudio, desarrollamos la detección de rocas, describimos el diseño de mezcla para hormigón de 280 kg/cm^2 , calculamos el volumen de hormigón bruto y explicamos la técnica de vertido de principio a fin. (Chavez y Cruz, 2019)

2.3.2. Antecedentes internacionales

En el proyecto de Contrera, 2021, nombrada: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SHOTCRETE EN LA UNIDAD MINERA SANTA CRUZ” tiene como objetivo, implementar técnicas para generar modificaciones dentro de la unidad de operación de Shotcrete de un ciclo minero, avalar un plan de movimiento para mejorar el método donde se han mejorado el procedimiento de problemas a corregir y mejorar los indicadores de eficiencia de la técnica con una estructura de precios optimizada.

Para ello, una evaluación profunda y exacta de los trabajos realizados en la disciplina minera está asociada al artilugio guía y un análisis con la vecindad de Costes y Geotecnia para tener una mayor revisión detallada de la corriente de consumos y tarifas actuales asociados al uso de hormigón proyectado. Complementariamente, se utilizó el diagrama de procedimiento de los operadores involucrados si se desea descubrir desviaciones en el sistema que, con la hoja de cálculo, no es fácil localizar.

A partir de las estadísticas y los datos acumulados, se propone el registro de los casos de funcionamiento eficaz y de tiempos no eficaces, para adquirir indicadores asociados al ciclo de fabricación, de forma que sea posible actuar sobre los Kpi que puedan estar fuera de control; medida del rendimiento global de un sistema. Esto ayudará a expandir una forma de precio optimizada y una operación de guía de hormigón proyectado eficiente, y su necesidad apremiante de reducir los costos, ya que se encuentra en el grado final de su existencia beneficiosa. (Contrera, 2021)

2.4. Hipótesis

La comparación del rendimiento entre los equipos Tecnoshot 1.6D y Scorpion 1874 en la rampa 767 permitirá evidenciar cuál presenta mayor eficiencia operativa en términos de tiempo de aplicación, productividad y costos de sostenimiento por shotcrete.

2.5. Variables

2.5.1. Variables dependientes

Metros cúbicos por guardia: El uso del equipo Tecnoshot 1.6D y Scorpion 1874 brindará distintos resultados los cuales son comparados tras su aplicación.

2.5.2. Variables independientes

Aplicación de sostenimiento con shotcrete: realizar el sostenimiento se efectuar independientemente al equipo que se pretenda utilizar.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance y limitaciones

Se tiene como alcance la evaluación técnica y operativa de dos equipos de lanzado de shocrete: el Tecnoshot 1.6D y el Scorpion 1874, comparando su rendimiento en términos de productividad y eficiencia en la rampa 767.

3.1.1. Limitaciones

Las limitaciones de esta investigación están determinadas por el plan de avance de la unidad minera.

3.2. Tipo y diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La elaboración de esta tesis es de tipo Básica descriptiva debido a que se hizo una recolección de datos de la línea base para comparar con los resultados obtenidos.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población objeto del estudio estuvo construida por las labores de desarrollo que requieren sostenimiento con shocrete en la Unidad Minera Caudalosa. Para fines de la investigación.

3.3.2. Muestra

Se tomó como muestra la rampa 767, ubicada específicamente en el Nivel 4555, zona sur, que constituye una labor crítica para el avance de los niveles inferiores. Su selección respondió a criterios de accesibilidad, criticidad operativa y disponibilidad de datos.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Procedimiento y técnica de recolección de datos

Para la realización de la presente tesis la recolección de datos se realizó en campo, mediante una técnica observacional y procesamiento de datos anteriores y actuales del sistema de sostenimiento mediante shocrete.

3.4.2. Técnicas de recolección de datos

- **Análisis Documental:** en base a los reportes mensuales realizados y su valorización.

- **Observación de Campo no Documental:** Nos apoyó a la recolección de datos observados durante las operaciones.

3.4.3. Instrumentos de recolección

Los instrumentos usados serán:

- Reporte de operaciones: se realizan reportes diarios los cuales revelan las falencias continuas que se presentan en la operación, también revelan el alcance de la eficiencia durante las operaciones.
- Fotografías: Extraídas de los reportes de seguridad revelan como es que el equipo Scorpion 1874 genera atrasos, además de los errores que comete el personal involucrado en la operación.
- Reporte de improductivos: Estos reportes que se hacen llegar al área de geomecánica mensualmente, ayuda a identificar el número de guardias que no llegan a ejecutarse el sostenimiento por shotcrete.
- Observación: información no evidenciada en los reportes se hace conocer por medio de la observación de quienes están presentes en todo el proceso de la operación, identificando aspectos que requieren solución.

3.5. Plan de Análisis Estadístico de los Datos

Para el análisis de la información, la cual fue obtenida mediante la observación y análisis de los reportes de operaciones, se usó la estadística descriptiva e inferencial mediante el uso de softwares como Excel que sirven como apoyo para la evaluación de los datos. Se realizó un análisis cuantitativo y porcentual de los datos obtenidos que son representados en gráficos y tablas.

Este análisis se realizó a través de la herramienta T de Student la cual sirve para lograr analizar la diferencia entre muestras y la distribución que se presentan, y de esta manera.

3.5.1. Etapas de la Investigación

Primera etapa:

Para la primera etapa debemos recolectar toda la evidencia referente a la productividad empírica de las operaciones con shotcrete con el equipo Scorpion 1874, para poder realizar una comparación con los posibles resultados de los cuales se tiene en expectativa un equipo Tecnoshot 1.6D bajo las mismas condiciones de terreno.

Recolección de evidencia empírica relacionada al rendimiento del equipo Scorpion 1874. Se consideraron variables como tiempos de aplicación, volumen de shotcrete aplicado por ciclo y guardias improductivas registradas durante un periodo representativo de operación.

Segunda etapa:

La segunda etapa se concentró en todos los servicios y logística que se requiere para lograr la ejecución de tanto del lanzador Scorpion 1874 y el Tecnoshot 1.6D

- Personal requerido
- Presión de aire
- Presión de agua
- Material para lanzado
- Repuestos requeridos

Dentro de esta comparación también se especifica los requerimientos por parte de la compañía para ejecutar las operaciones correspondientes.

Evaluación del desempeño del robot Tecnoshot 1.6D en la misma labor y bajo condiciones comparables. Se incluyó el análisis de logística requerida (presión de agua, aire, personal, disponibilidad eléctrica) y la identificación de cuellos de botella.

Tercera etapa:

En esta última etapa se realizó una compilación de los resultados del equipo lanzador Scorpion 1874 y se realizó una proyección a los resultados del trabajo con el equipo Tecnoshot 1.6D. Y en base los precios unitarios y el ingreso mensual actual, identificar el beneficio que evidencia el trabajo con un equipo Tecnoshot 1.6D, en esta etapa nos ayudaremos con la distribución de la T de Student.

Se aplicó un análisis estadístico comparativo mediante pruebas t de Student para establecer diferencias significativas en tiempos y costos. Se evaluaron también parámetros como el área efectiva a sostener (29.75 m² por metro de avance), espesor promedio de shotcrete (5 cm) y longitud promedio de disparo (3 m).

Ubicación del estudio

Ubicación general de la Unidad Minera Caudalosa

La Unidad Minera Caudalosa se encuentra ubicada en la región Huancavelica, provincia de Castrovirreyna, distrito de Santa Ana. El área de estudio se localiza específicamente en la rampa 767, Nivel 4555, zona sur del yacimiento. Su ubicación geográfica se ubica dentro del cuadrángulo geológico 22-j Huachocolpa, según el Mapa Geológico Nacional elaborado por INGEMMET.

Las coordenadas UTM (WGS 84 - Zona 18S) aproximadas del acceso principal son:

- Este (X): 410,250 m E
- Norte (Y): 8'648,500 m N
- Altitud: 4,555 m s.n.m.

Tabla 10.
Accesos de ubicación

Acceso	Descripción
Desde Lima	Carretera Panamericana Sur hasta Pisco – desvío hacia Huaytará – carretera afirmada a Huachocolpa – ingreso a unidad Caudalosa.
Duración total	Aprox. 10 – 12 horas (vehículo 4x4)
Ingreso a la mina	Se accede mediante carretera afirmada desde Huachocolpa (~1.5 h), bordeando quebradas y siguiendo caminos señalizados por la empresa.
Acceso a la rampa 767	Se realiza internamente por galerías de transporte desde el nivel 4560, descendiendo por la rampa hasta el Nivel 4555, zona sur.
Condiciones de vía	Afirmado irregular en zonas externas, galerías habilitadas con ventilación y señalización en el interior de la mina.

Nota: Cartografía Geológica – Sector 22-j Huachocolpa

La Unidad Minera Caudalosa se sitúa dentro del sector geológico 22-j, en el Mapa Geológico Nacional a escala 1:100,000 elaborado por INGEMMET. En esta área predominan las siguientes formaciones litológicas:

- Formación Castrovirreyna (Jurásico Superior): constituida por rocas volcánicas, andesitas, brechas volcánicas y tufos, altamente fracturadas y con presencia de estructuras mineralizadas de dirección NNW–SSE.
- Formación Arcurquina: cuerpos intrusivos de composición andesítica a dacítica, relacionados con eventos tectonomagmáticos que dieron origen al emplazamiento de vetas metálicas.

- Unidades Intrusivas (Plutónicas): monzodioritas y granodioritas asociadas a eventos posttectónicos que también generaron alteraciones hidrotermales y brechamiento.

La zona se encuentra dentro del Cinturón Metalogénico del Centro del Perú, caracterizado por depósitos polimetálicos (Pb, Zn, Ag) alojados en vetas epitermales y cuerpos sustitucionales. Las condiciones geotectónicas, litológicas y estructurales del cuadrángulo 22-j hacen que esta área sea altamente favorable para operaciones mineras subterráneas como las que se desarrollan en Caudalosa.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Accesos y Ubicación a la Unidad Minera

La Unidad Minera Caudalosa se ubica en el distrito de Santa Ana, provincia de Castrovirreyna, región Huancavelica. Las coordenadas UTM aproximadas del portal de acceso al Nivel 4555 (donde se desarrolla la rampa 767) son: Este: 425,300; Norte: 8'610,200 (Zona 18S, Datum WGS84).

Esta rampa se localiza en la zona sur de la unidad, siendo una labor de profundización clave en el plan de desarrollo de la mina.

4.2. Descripción del desarrollo del proyecto

En la operación de sostenimiento con Shotcrete, la utilización del equipo Scorpion 1874 junto con su traslado, la movilización de material y la cuadrilla de trabajadores resultan en una considerable ineficiencia. Esto se traduce en retrasos en el ciclo de minado, afectando la limpieza, perforación y voladura de otras áreas, y generando periodos improductivos para el equipo de geomecánica, que pueden alcanzar más del 10% de improductividad al mes. Además, se suman horas perdidas por diversas razones, incluyendo tareas administrativas, lo que resalta la necesidad de optimizar las horas de lanzado con el objetivo de superar los 720 m³ mensuales. Estos problemas no solo representan costos improductivos para la empresa contratista, sino que también pueden afectar la seguridad en la rampa 767, lo que, dada su importancia en la labor de profundización, aumenta el riesgo y genera inestabilidad y una mala imagen para los responsables de esta tarea.

El estudio pretende evaluar y comparar la efectividad y la viabilidad de utilizar el equipo Tecnoshot 1.6D en lugar del equipo Scorpion 1874 en operaciones de lanzamiento de shotcrete. Esta evaluación completa permitió tomar decisiones informadas sobre la inversión en el nuevo equipo. Para ellos se describe la utilizaciónlogía a aplicar a continuación:

Determinar la eficiencia y productividad en el lanzado de shotcrete con uso del equipo Scorpion 1874 en la rampa 767, describiendo el reporte de improductividad generado durante el proceso.

Descripción del equipo Tecnoshot 1.6D y los requerimientos de instalación para trabajos en la rampa 767, considerando recursos de personal, herramientas, servicios de aire comprimido y electricidad. Por otra, parte se describe el procedimiento de trabajo con el equipo robot mini lanzador en la operación de sostenimiento con shotcrete.

Determinar el rendimiento productividad en el lanzado de shotcrete utilizando el equipo robot mini lanzador Tecnoshot en el desarrollo de la rampa 767 en catorce guardias del periodo 2023.

4.2.1. Descripción de la situación actual de shotcrete manual

4.2.1.1. Descripción geomecánica de la labor Rampa 767

La rampa 767 está ubicado en el Nivel 4555 en la zona Sur de la unidad minera de estudio. Cuenta con una sección estándar de 3.5 m x 3.5 m en tipo de roca regular (III) y roca mala (IV) de acuerdo al índice RMR, sin embargo, en la operación el mapeo geomecánico es llevado a cabo mediante el índice GSI, lo que conlleva a resultados variantes entre calidad de roca fracturada-pobre (F/P) y roca muy fracturada-pobre (MF/P).

Para lograr un mayor alcance sobre la caracterización del mapeo geomecánico en la rampa 767, se realizó un mapeo geomecánico en los últimos 33 metros de desarrollo en la labor en el mes de enero del periodo 2023, considerado como punto de partida para el planteamiento de la investigación.

Tabla 11.
Mapeo geomecánico

Día	Guardia	Avance (m)
2-Ene	D	3
3-Ene	N	2.8
5-Ene	N	2.8
6-Ene	N	3.2
7-Ene	D	3
8-Ene	D	3.1
9-Ene	N	3.2
10-Ene	D	3
11-Ene	N	2.8

Día	Guardia	Avance (m)
12-Ene	D	2.9
13-Ene	D	3
Total		32.8

Nota: Elaboración propia

El mapeo geomecánico contempló 4 ejes de medición con aplicación de la siguientes cartilla geomecánica GSI aplicable en todas las labores mineras en dominio de la empresa.

Figura 14.
Estructura de la Compañía Minera Caudalosa

C CAUDALOSA COMPAÑÍA MINERA OPTO. DE GEOMECAICA SOSTENIMIENTO SEGUN 9-3-1-1 (modificado) LABORES MINERAS DE DESARROLLO (2-0-3-0)					
A	SIN SOPORTE - PERNO OCASIONAL TIEMPO DE COLOCACION 5 AÑOS	CONDICIONES BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADO) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADO (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA) POBRE (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, ABIERTA. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRATIFICACIONES, MUY ALTERADA (Rc 0 A 25 MPa) (SE INDENTA MAS DE 5 mm.)			
B	PERNO SISTEMATIZADO 1.50 x 1.50 m. (Walla o cinta ocasional) TIEMPO DE COLOCACION 1 MES				
C	PERNO SISTEMATIZADO a 1.2m (Seco. 2.5m) o 1.5m (Seco. >3.0m) Walla ocasional. TIEMPO DE COLOCACION 15 DIAS				
D	PERNO SISTEMATIZADO 1.0 x 1.0 m. y Walla o Shotcrete con fibra (2") TIEMPO DE COLOCACION 5 DIAS				
E	PERNO SISTEMATIZADO 1.0 x 1.0 m. y SHOTCRETE con fibra 4", TIEMPO DE COLOCACION 1 DIA				
F	CIMBRAS METALICAS O CUADROS DE MADERA ESPACIADOS CADA METRO TIEMPO DE COLOCACION INMEDIATO				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADO TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (Rc 75-90) (2 A 5 FRACTURAS POR METRO) (Rc= 115 - 3.3 Jn.)	(A) LF/B	(A) LF/R	(A) LF/P	—
	MODERADAMENTE FRACTURADO MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (Rc 50 - 75) (6 A 11 FRACTURAS POR METRO)	(A) F/B	(A) F/R	(B) F/P	(D)
	MUY FRACTURADO MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (Rc 25-50) (12 A 20 FRACTURAS POR METRO)	(A) MF/B	(A) MF/R	(C) MF/P	(D) MF/MF
	INTENSAMENTE FRACTURADO PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (Rc 0 - 25) (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO)	—	(D) IF/B	(D) IF/R	(E) IF/P

Nota: Elaborado por área de geomecánica

En el mapeo geomecánico realizado se obtuvieron los siguientes resultados correspondientes a los cuatros tramos considerados.

Tramo 1 en guardias 02/01 al 05/01 con avance de 8.6 mts

a) Condiciones del macizo rocoso.

- Pared derecha = 7 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = F/P, RQD = 50 – 75, Soporte = C, (15 días)
- Techo = 9 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = F/P, RQD = 50 – 75, Soporte = C, (15 días)
- Pared izquierda = 10 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = F/P, RQD = 50 – 75, Soporte = C, (15 días)

b) Factores influyentes no se observan.

Tramo 2 en guardias 06/01 al 08/01 con avance de 9.3 mts

a) Condiciones del macizo rocoso.

- Pared derecha = 6 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = F/P, RQD = 50 – 75, Soporte = C, (15 días)
- Techo = 15 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = MF/P, RQD = 25 – 50, Soporte = D, (5 días)
- Pared izquierda = 13 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, G.S.I = MF/P, RQD = 25 – 50, Soporte = D, (5 días)

b) Factores influyentes

En la pared derecha y la pared izquierda empieza a haber menos presencia de humedad y goteo. Nuevo sostenimiento en estos tramos: Pared derecha G.S.I. = F/R, Sost = B (1 mes); Pared Izquierda G.S.I. = F/R, Sost = B (1 mes).

Tramo 3 en guardias 08/01 al 13/01 con avance de 17.4m

3

a) Condiciones del macizo rocoso.

- Pared derecha = 9 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, $G.S.I = F/P$, $RQD = 50 - 75$, Soporte = C, (15 días)
- Techo = 16 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, $G.S.I = MF/P$, $RQD = 25 - 50$, Soporte = D, (5 días)
- Pared izquierda = 7 f/ml, se indenta superficialmente con golpes de picota, fracturas ligeramente abiertas, moderadamente alteradas, $G.S.I = F/P$, $RQD = 50 - 75$, Soporte = C, (15 días)

b) Factores influyentes

La pared izquierda presenta humedad y goteo cambiando su sostenimiento $G.S.I. = MF/R$, Sost = D (5 día).

De acuerdo al mapeo realizado, se observa que el sostenimiento aplicado en diferentes zonas de la rampa corresponde a la instalación de pernos sistemáticos de 1.50 m x 1.50 m en tipos de roca F/P o roca regular (III) y la instalación de pernos sistemáticos 1.00 m x 1.00 m con malla electrosoldada y shotcrete con fibra de 5 cm (2'') en tipos de roca MF/P o roca mala (IV) de acuerdo a las recomendaciones del área de geomecánica de la unidad, las cuales se detalla a continuación (Ver figura 15)

Figura 15.

Estándar de sostenimiento de acuerdo a GSI modificado

 DPTO. DE GEOMECAÁNICA SOSTENIMIENTO SEGÚN G.S.I. (modificado) LABORES MINERAS DE DESARROLLO (2.5 – 3.5)		CAIDAD DE ROCA	TIEMPO DE COLOCACIÓN
A	SIN SOPORTE – PERNO OCASIONAL	a) LF/B, LF/R, LF/P, F/N, F/R, MF/B b) LF/B, LF/R, F/B	5 años
B	PERNO SISTEMÁTICO 1.50 X 1.50 m. (malla o cinta ocasional)	a) ----- b) LF/P, F/R, MF/B	1 mes
C	PERNO SISTEMÁTICO 1.20 X 1.20 m. (malla o cinta ocasional)	a) F/P, MF/R b) -----	15 días
D	PERNO SISTEMÁTICO 1.0 X 1.0 m. y Malla o Shocrete con fibra (2")	a) F/MP, MF/P, IF/R b) F/P, MF/R	5 días
E	PERNO SISTEMÁTICO 1.0 X 1.0 m. y Shocrete con fibra (4")	a) MF/MP, IF/P b) F/MP, MF/P, IF/R	1 día
F	CIMBRAS METÁLICAS O CUADROS DE MADERA ESPACIADOS CADA METRO	a) IF/MP b) MF/MP, IF/P, IF/MP	Inmediato

Nota. Obtenido de Área de geomecánica

4.2.1.2. Dosificación de shotcrete

Para el diseño del shotcrete de 2'' con aplicación, el área de geomecánica de la unidad minera toma en consideración principalmente las características físicas de cada componente (Ver tabla 10) del diseño a partir del historial de muestras mayor a 30 llevado a cabo en sus instalaciones.

Tabla 12.

Características físicas de componentes de concreto

Cemento Portland	Peso específico (g/cc)	3.13
	Resistencia (kg/cm ²)	210
Agua	Consistencia mezcla	Húmeda
	Peso específico (g/cc)	2.68
Agregado fino	Absorción (%)	0.81
	Contenido de humedad	
	(%)	1.62
	Modulo de fineza	2.95

	PUS (Kg/m ³)	1723
	PUC (Kg/m ³)	1999
	Tamaño máximo nominal	
	(in)	2
Agregado grueso	Peso seco compactado	
	(Kg/m ³)	1642
	PUS (Kg/m ³)	1462
	Peso específico de masa	2.71
	Absorción (%)	0.85
	Contenido de humedad	
	(%)	0.45

Nota: Área de geomecánica

La mezcla de shotcrete con un tamaño máximo nominal de 2'' de espesor con una condición de colocación con consistencia húmeda en la unidad minera caso de estudio, contempla la siguiente dosis por cada componente de mezcla (Ver tabla 11)

Tabla 13.
Componente de la mezcla de shotcrete

Componente de mezcla	Valor de diseño (kg/m ³)	Valor corregido por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso (ft ³)
Cemento Portland	263.6	263.6	0.028
Agregado fino	169.0	168.9	0.018
Agregado grueso	664.6	664.6	0.071
Agua efectiva	1338.2	1338.2	0.144
Acelerante de fragua	-	4.0	0.000

Componente de mezcla	Valor de diseño (kg/m³)	Valor corregido por humedad (kg/m³)	Proporción en peso (ft³)
Fibra de acero DRAMIR	-	10.5	0.001

Nota: Área de geomecánica

En ese sentido 1 m³ de shotcrete con aplicabilidad en 2" de espesor cubrirá 19.69 m², y considerando un factor de rebote promedio de 0.2 el área máxima que abarca es de 15.75 m².

4.2.1.3. Cubicación de shotcrete en el desarrollo de la Rampa 767

La cubicación de shotcrete emplea un formulismo que involucra las dimensiones de la labor de desarrollo, así como factores de corrección de dimensionamiento, seguridad y rebote.

$$V = \frac{(2H + A) * F1 * L}{F2}$$

Donde:

V = Volumen de shotcrete (m)

H = Altura de labor promedio (m)

A = Ancho de labor promedio (m)

L = Longitud de labor promedio (m)

F1 = Factor de corrección perímetro (F1=0.86)

F2 = Factor para cálculo de volumen por metro cuadrado de labor (m²/m³)

Cálculo de shotcrete por 1 m² de área por vía húmeda:

$$\text{Volumen por espesor (2")} = 2 * 2.54 \text{ cm} * 1 \text{ m}^2 = 0.051 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen con rugosidad (20\%)} = (20\% + 1) * 0.0508 \text{ m}^3 = 0.061 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen con rebote (8\%)} = (8\% + 1) * 0.0610 \text{ m}^3 = 0.065 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen con Factor de seguridad (20\%)} = (20\% + 1) * 0.065 \text{ m}^3 = 0.078 \text{ m}^3$$

Entonces:

Volumen por cada m² es de 0.078 m³, de ello determinamos el área que cubre 1 m³

$$F2 = (1 \text{ m}^3) / 0.078 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 12.68 \text{ m}^2$$

Considerando un espesor de shotcrete de 2'' con una rugosidad del 20%, un porcentaje de rebote del 8% y un factor de seguridad del 0.20, se obtiene un factor para cálculo de volumen por metro cuadrado de labor (F2) de 12.68 m²/m³.

Tabla 14
Cálculo factor de corrección F2

Volumen shotcrete (m ³)	1
Espesor capa shotcrete (in)	2
Porcentaje de rugosidad (%)	20
Factor de rebote (%)	8
Facto de seguridad (%)	20
F2 para 2" (m ² /m ³)	12.86

Nota: Elaboración propia

En consecuencia, aplicando el formulismo para el cálculo de cubicación de shotcrete para la rampa 767 se obtiene un requerimiento de 2.6 m³ de shotcrete para el sostenimiento de la rampa 767 en avances sobre roca del tipo mala (IV).

Cálculo de shotcrete por 1 m² de área por vía seca:

$$Volumne \text{ por espesor (2")} = 2 * 2.54 \text{ cm} * 1\text{m}^2 = 0.051 \text{ m}^3$$

$$Volumne \text{ con rugosidad (20\%)} = (20\% + 1) * 0.0508 \text{ m}^3 = 0.061 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ con rebote (30\%)} = (30\% + 1) * 0.0610 \text{ m}^3 = 0.079 \text{ m}^3$$

$$volumen \text{ con Factor de seguridad (20\%)} = (20\% + 1) * 0.079 \text{ m}^3 = 0.095 \text{ m}^3$$

Entonces:

Volumen por cada m² es de 0.078 m³, de ello determinamos el área que cubre 1 m³

$$F2 = (1 \text{ m}^3) / 0.095 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 10.52 \text{ m}^2$$

Considerando un espesor de shotcrete de 2'' con una rugosidad del 20%, un porcentaje de rebote del 30% y un factor de seguridad del 0.20, se obtiene un factor para cálculo de volumen por metro cuadrado de labor (F2) de 10.52 m²/m³.

Tabla 15.
Cálculo factor de corrección F2

Volumen shotcrete (m ³)	1
Espesor capa shotcrete (in)	2
Porcentaje de rugosidad (%)	20
Factor de rebote (%)	30
Facto de seguridad (%)	20
F2 para 2" (m ² /m ³)	10.52

Nota: Elaboración propia

En consecuencia, aplicando el formulismo para el cálculo de cubicación de shotcrete para la rampa 767 se obtiene un requerimiento de 3.14 m³ de shotcrete por vía seca para el sostenimiento de la rampa 767 en avances sobre roca del tipo mala (IV)

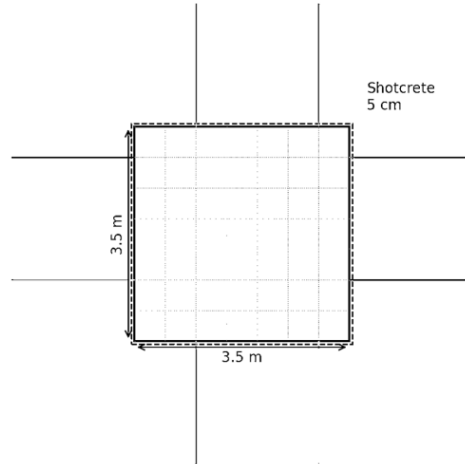
4.2.1.4. Análisis estructural de la rampa 767 y la malla de perforación

La vista en planta muestra la sección transversal de la rampa 767, con sus 3,5 m de ancho por 3,5 m de alto, rodeada por una capa de shotcrete de 5 cm (línea punteada). Sobre la superficie interna se aprecia una retícula que representa la malla metálica de refuerzo, con un espaciamiento de 0,5 m.

Esta disposición garantiza un soporte inmediato de la roca después de la excavación, mejorando la adherencia del shotcrete y reduciendo la posibilidad de desprendimientos.

Las líneas que sobresalen en los cuatro costados corresponden a los pernos de anclaje, cuya longitud y ubicación se ajustan al diseño geomecánico de la roca mala (clasificación IV) descrito en el informe.

Figura 16.
Registro Área/perímetro de la rampa 767



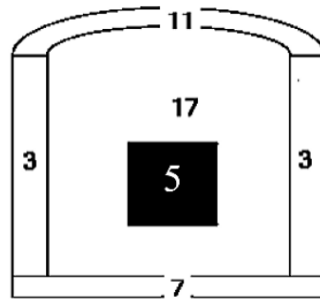
Nota: Diagrama de rampa 767

Los dos dibujos de perfil lateral ofrecen una visión de la geometría y los refuerzos en sección vertical. El primero de ellos muestra el volumen proyectado de shotcrete con una sutil curvatura en la clave del techo, y delimita la extensión de pernos y malla a lo largo de las paredes laterales, evidenciada por los valores de “3” metros a cada lado.

El segundo perfil presenta la sección libre de revestimiento, donde se calculan el área útil de 12,25 m² y un perímetro de 13,99 m. Estas métricas son indispensables para el dimensionamiento de los materiales de sostenimiento, la dosificación de aditivos y la estimación de costos asociados al refuerzo estructural.

Figura 17.

Conteo de Malla de perforación aproximada en rampa 767

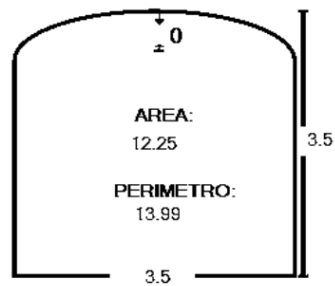


Nota: Elaboracion propia

En conjunto, estas ilustraciones condensan en imágenes las decisiones técnicas vertidas en el documento: desde la clasificación de la roca y la determinación de sus parámetros geomecánicos, hasta el diseño del modelo de frente integral que combina shotcrete, pernos y malla. La transición de los cálculos teóricos a un plano claro y detallado garantiza la coherencia entre el análisis mineralógico, la estrategia de voladura y el sostenimiento inmediato, pilares fundamentales del avance seguro de la rampa 767.

Figura 18.

Registro Área/perímetro de la rampa 767



Nota: Elaboracion propia

4.2.1.5. Sosténimiento con shotcrete – Máquina Scorpion 1874

a. Descripción Máquina Scorpion 1874

Máquina que cuenta con una bomba dosificadora con capacidad de hasta 5.5 m³/h sostenidos en el desarrollo de labores de minado en la unidad minera de estudio.

Figura 19.
Máquina Scorpion 1874



Nota: Elaboración propia

Tabla 16.
Especificaciones técnicas Scorpion 1874

Modelo	Scorpion 1874
Accionamiento	Motor 5HP
Producción teórica (m ³ /h)	5.5
Transmisión	Poleas y ruedas dentadas
Giros de tambor (RPM)	18
Consumo de aire comprimido (CFM)	750
Tamaño máximo de agregado (in)	0.5

Modelo	Scorpion 1874
Peso (kg)	280
Dimensiones (m)	1.00 x 0.87 x 0.85

Nota: Elaboracion propia

b. Descripción del procedimiento de sostenimiento con shotcrete utilizando la máquina Scorpion 1874

b.1 Personal en el área de mezclado y colocación

El equipo encargado del proceso de mezclado y aplicación de shotcrete vía húmeda está compuesto por los siguientes miembros capacitados:

- Capataz o Supervisor de Guardia: Esta persona tiene la responsabilidad de organizar al personal, mantener el equipo en buen estado, asegurarse de que los materiales estén disponibles a tiempo y gestionar los servicios necesarios como agua, aire, iluminación y ventilación. Además, supervisa directamente el proceso de trabajo y actúa como intermediario entre la supervisión de la mina y la inspección técnica.
- Operador de Equipo Mezclador: El operador del mezclador es crucial para lograr la mezcla precisa de materiales y mantener el equipo en condiciones óptimas. También se encarga de recibir los materiales y rechazar cualquier lote que pueda generar dudas sobre su calidad. Además, supervisa el almacenamiento y la carga de los materiales para garantizar que no haya problemas de tamaño, restos de sacos, grumos de cemento ni impurezas.
- Operador de la Máquina Impulsora Scorpion 1874: Este operador es responsable de garantizar un flujo uniforme de la mezcla a la velocidad requerida. Además, se encarga de mantener la máquina y sus accesorios en perfectas condiciones mediante la limpieza y el mantenimiento adecuado.
- Pitonero: El pitonero desempeña un papel directo en la aplicación de la mezcla proyectada, controlando el agua en el proceso de vía seca o el aire en vía húmeda. Su tarea es asegurar que se alcancen las líneas y niveles necesarios, logrando una distribución uniforme de la mezcla y una compactación adecuada. También se encarga de la eliminación de rechazos, material removido y desechos.

- Ayudantes: Estos obreros tienen la responsabilidad de mover el equipo, los andamios y los materiales según sea necesario. Además, se ocupan de mantener limpio el lugar de trabajo y eliminar cualquier rechazo, derrame o desecho.

b.2 Condiciones preliminares de labor

- Antes de comenzar cualquier trabajo en una tarea específica, es esencial asegurarse de que todos los servicios necesarios, como aire, agua, electricidad, acceso, etc., estén en buenas condiciones y funcionando correctamente. En caso contrario, el contratista debe disponer de equipo y materiales para abordar posibles emergencias, como contar con mangueras de aire y agua y una compresora, entre otros.
- Para preparar la superficie antes de la aplicación del concreto, es crucial deshacerse de cualquier material suelto y, a continuación, llevar a cabo una limpieza con agua a presión, con una presión mínima de 5.0 bares. Esto permitirá eliminar cualquier residuo de polvo o arcilla que pueda estar incrustado en la pared de roca, lo que podría obstaculizar una buena adherencia del concreto.

b.3 Aplicación shotcrete en labor

- Se inicia el proceso preparando una combinación de cemento, áridos que pueden estar secos o tener su humedad natural, y en caso necesario, aditivos en forma de polvo.
- Esta mezcla es luego cargada en una máquina de impulsión, desde donde el equipo la dirige hacia una manguera de transporte. Mediante aire comprimido, el material es transportado a través de esta manguera hacia una boquilla.
- En la boquilla, se introduce agua a presión junto con un aditivo líquido a través de un anillo perforado, logrando una mezcla homogénea con los otros ingredientes. Finalmente, el material es proyectado a alta velocidad hacia la superficie, compactándose de manera simultánea a medida que se coloca.

b.4 Consideraciones de almacenamiento de componentes de mezcla

- Los agregados necesarios deben cumplir con ciertas especificaciones: deben estar libres de impurezas como polvo, micas, esquistos, arcillas, materia orgánica y sales. Además, deben ser limpios, tener una composición silicosa, ser resistentes a la abrasión y tener una superficie rugosa.

- El cemento debe ser almacenado en estantes metálicos en grupos de no más de 10 bolsas y protegido contra la humedad. Lo mismo se aplica a las bolsas de fibras metálicas.
- Para el almacenamiento de los agregados finos, gruesos y el cemento, se debe seguir la disposición de la planta y utilizar un cargador frontal para manipular, cargar y mezclar los materiales según sea necesario.

b.5 Consideraciones en la dosificación y mezclado

- Se debe disponer de una criba para eliminar el material grueso que sea mayor de 3 in. En el proceso de dosificación, se utilizarán carretillas previamente calibradas para medir el volumen de los materiales de manera precisa.
- Cuando se determina la cantidad de material que se va a colocar, es posible considerar la implementación de una planta de dosificación más precisa.
- Durante la fase de mezclado, se debe añadir 40 kg de fibra metálica por metro cúbico. Se debe tener precaución al agregar el acelerante, que no debe superar los 4.0 litros por metro cúbico, dependiendo de la densidad del mismo. Un exceso de acelerante podría reducir la resistencia del concreto a los 28 días y este problema podría agravarse con el tiempo, lo cual es perjudicial.
- En el caso de que la preparación de la mezcla se realice en el mismo lugar de trabajo, lo cual es común en nuestras minas, se deben asegurar condiciones adecuadas de iluminación y ventilación. El material debe depositarse en una superficie libre de contaminantes y protegerse contra la humedad, evitando goteos o flujos de agua.
- La mezcla debe llevarse a cabo en una mezcladora donde se dosifican de manera adecuada el agregado, el cemento, las fibras y los acelerantes de fragua, así como otros aditivos recomendados. Después de mezclarla según las indicaciones, se introduce en una alíva u otro equipo equivalente para su proyección. No se recomienda realizar la mezcla directamente en una alíva, ya que no es la opción más adecuada.

b.6 Consideraciones en el traslado manual de mezcla

- Al transportar la mezcla al interior de la mina y manipularla, es esencial ¹evitar que se moje o se contamine. Por lo tanto, los vehículos deben estar equipados con una tolva de protección.
- Basado en experiencias negativas ¹en la preparación y transporte de mezcla en las labores mineras, se recomienda encarecidamente adquirir mezclas de agregados que estén envasadas para el shotcrete. Luego, en el momento de la aplicación, se pueden mezclar ¹con el cemento y los aditivos necesarios de acuerdo con las condiciones específicas de la roca en el macizo.

b.7 Consideraciones en aplicación del shotcrete

- El control del ¹agua de amasado y la consistencia de la mezcla se realiza directamente en la boquilla, lo que permite ajustarse a las condiciones cambiantes de colocación y a las variaciones en la humedad de los áridos.
- Al aplicar el shotcrete, el operador debe mantener la boquilla a una distancia que no exceda los 1.5 metros ni sea menor de 1.0 metro para evitar un rebote excesivo.
- Es esencial ¹seguir un trazo controlado que sea lo más perpendicular posible a la superficie donde se proyecta el concreto. Si no se mantiene esta dirección y movimiento, el concreto lanzado puede tener áreas con compactación desigual y espesores irregulares.
- Cuando se proyecta el concreto en las paredes verticales (hastiales), se debe hacer desde abajo hacia ¹arriba. Si se hace lo contrario, el rebote del material se depositará en la parte inferior del hastial sin la debida compactación, lo que puede dar lugar a la formación de concreto lanzado "falso" en la zona donde se experimentan las mayores tensiones.

c. Tiempos improductivos en el procedimiento de sostenimiento con shotcrete utilizando el Scorpion 1874

El uso del equipo Scorpion 1874 para el sostenimiento con shotcrete implica trasladar el equipo, el material y una cuadrilla de trabajadores, lo que requiere más de 5 a 6 horas para aplicar 15 m³ de shotcrete por guardia.

Tabla 17.
Guardias improductivas en la etapa de sostenimiento con el Scorpion 1874 –
noviembre 2022

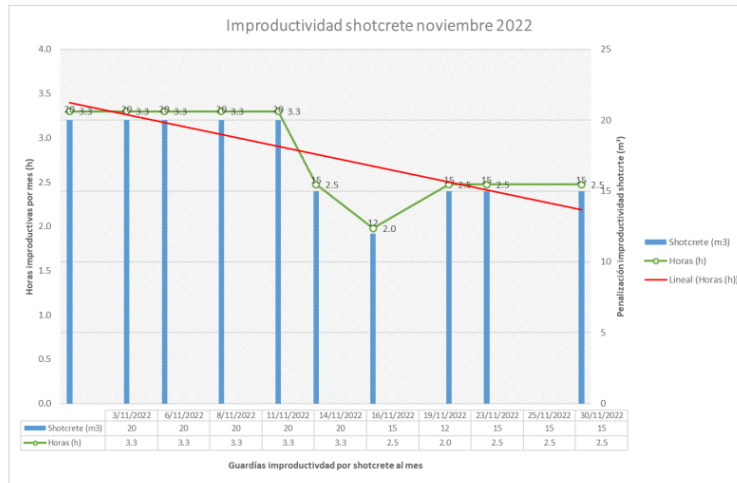
FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	Shotcrete (m³)	Horas (h)
3/11/2022	DIA	Tj 010	IMPRODUCTIVO	20	3.3
6/11/2022	NOCHE	RP 767 NV 4555	IMPRODUCTIVO	20	3.3
8/11/2022	NOCHE	Tj 064-2	IMPRODUCTIVO	20	3.3
11/11/2022	DIA	Tj 064-2	IMPRODUCTIVO	20	3.3
14/11/2022	DIA	CM 030 NV 4230	IMPRODUCTIVO	20	3.3
16/11/2022	DIA	RP 767 NV 4555	IMPRODUCTIVO	15	2.5
19/11/2022	Noche	SN 335 NV 4230	IMPRODUCTIVO	12	2.0
23/11/2022	Noche	SN 065 W-4130	IMPRODUCTIVO	15	2.5
25/11/2022	Día	SN 065 W-4130	IMPRODUCTIVO	15	2.5
30/11/2022	Día	SUBESTACION 156-423°	IMPRODUCTIVO	15	2.5
Total				172	28.4

Nota: Elaboración propia

Los tiempos improductivos en la mayoría de guardias consideradas en la evaluación son a causa de falta de condiciones en las labores destinadas a sostener con shotcrete. Más del 60% de las situaciones presentadas fueron a causa de retrasos en los procesos de acarreo, perforación y voladura ocurridas por una extensión del tiempo de sostenimiento en las mismas guardias, lo que provocó la postergación de las operaciones unitarias.

El resto de las situaciones causantes de improductividad fe a causa de una insuficiencia del abastecimiento de insumos para la etapa de mezclado y desperfectos durante la operación por una inadecuada instalación de servicios.

Tabla 18.
Tendencia improductividad por shotcrete con Scorpion 1874 – noviembre 2022



Nota: Elaboracion propia

La condición de improductividad generó un acumulado de 29 horas durante el mes de noviembre en el periodo del 2022, la cual representó un valor mayor al 10% adicional en el tiempo de trabajo mensual, generando recorte por improductividad en términos de metros cúbicos de shotcrete que llegó a un acumulado de 172 m³ en dicho mes.

d. Consumo de shotcrete Scorpion 1874

Tabla 19.
Consumo de shotcrete mes de noviembre 2022

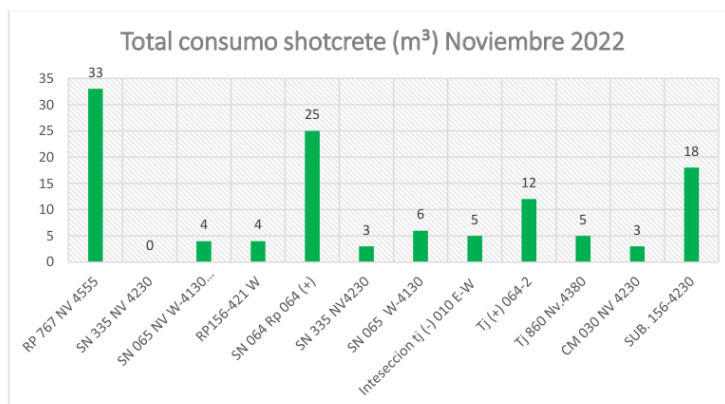
Labor minera	Consumo shotcrete (m³)
RP 767 NV 4555	33
SN 335 NV 4230	0
SN 065 NV W-4130 (intersección)	4
RP156-421 W	4

SN 064 Rp 064 (+)	25
SN 335 NV4230	3
SN 065 W-4130	6
Intersección tj (-) 010 E-W	5
Tj (+) 064-2	12
Tj 860 Nv.4380	5
CM 030 NV 4230	3
SUB. 156-4230	18
TOTAL	118

Nota: Elaboración propia

Tabla 20.

Total consumo shotcrete mes de noviembre 2022

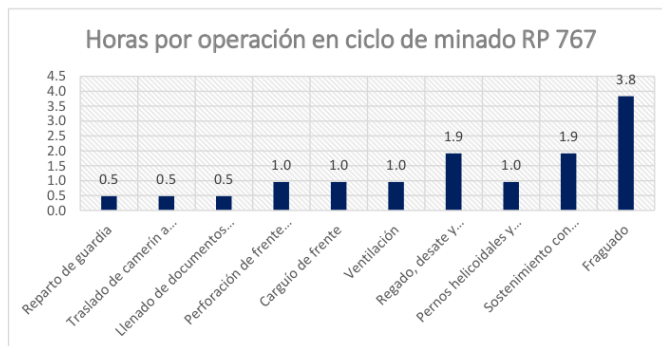


Nota: Elaboración propia

e. Tiempos de operación

Tabla 21.*Distribución de tiempos por operación con trabajo de Scorpion 1874*

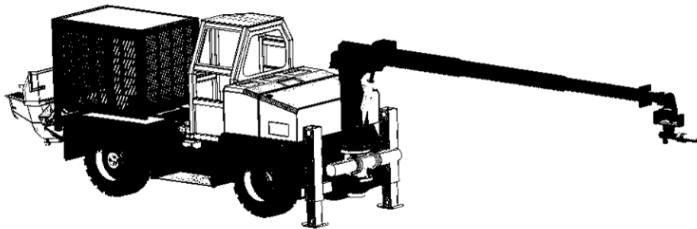
INICIO	TÉRMINO	OPERACIÓN	N° Horas
7:00	7:30	Reparto de guardia	0.5
8:00	8:30	Traslado de camerín a labores	0.5
8:30	9:00	Llenado de documentos de gestión	0.5
9:00	10:00	Perforación de frente 3.5 X 3.5	1.0
10:00	11:00	Carguío de frente	1.0
11:00	12:00	Ventilación	1.0
12:00	14:00	Regado, desate y limpieza	1.9
14:00	15:00	Pernos helicoidales y malla	1.0
15:00	17:00	Sostenimiento con shotcrete	1.9
17:00	21:00	Fraguado	3.8
Total			13

Nota: Elaboración propia**Tabla 22.***Representación de la distribución de horas por operación con trabajo de Scorpion 1874**Nota:* Elaboración propia

4.2.1.6. Sosténimiento con shotcrete – Robot Tecnoshot 1.6D

- a. Descripción equipo robot mini lanzador

Figura 20.
Robot Tecnoshot 1.6D



Nota: Elaboración propia

Tabla 23.
Especificaciones técnicas Robot Tecnoshot 1.6D

Accionamiento	Deutz TCD2012L04-2V, 103 kW 2400
	RPM, cuatro cilindros, refrigerado por agua
Producción teórica (m ³ /h)	18
Transmisión	Transmisión hidrostática
Desplazamiento horizontal	10 km/h
Desplazamiento rampas (15%)	6 km/h
Presión máxima	8 bar
Bomba peristáltica	0-25 l/min
Rotación de boquilla	360°

Inclinación de boquilla	120°
Orbitor	10 – 50 TPM
Equipo eléctrico	2 baterías 12V DC – 21 placas
Alcance máximo	11.6 m
Radio de giro	Int. 2.5 m – Ext. 5.5 m
Dimensión de equipo	2200 x 1600 x 5950 (11300)

Nota: Elaboración propia

b. Descripción del procedimiento de sostenimiento con shotcrete utilizando el equipo Robot Mini Lanzador Tecnoshot 1.6D

b.1 Personal para la preparación y colocación de shotcrete con robot

La colocación del shotcrete en las labores de desarrollo estaría integrado por el operador del equipo robot lanzador de shotcrete, un ayudante de equipo robot, operador Mixkret y supervisor de guardia.

- Operador de equipo robot lanzador. responsable de poner en funcionamiento y operar el robot lanzador de shotcrete de manera segura y eficiente. Esto implica el manejo de controles, sistemas de bombeo y ajustes necesarios para proyectar el shotcrete sobre la superficie objetivo, seguir procedimientos de seguridad estrictos, incluyendo el uso de equipo de protección personal, la identificación y mitigación de riesgos, y la supervisión constante de las condiciones de trabajo para prevenir accidentes, inspeccionar regularmente el equipo antes de su uso para asegurarse de que esté en buenas condiciones de funcionamiento y garantizar que la aplicación del shotcrete cumpla con los estándares de calidad especificados. Esto incluye verificar la uniformidad del acabado, el espesor adecuado y la adherencia adecuada a la superficie.

- Ayudante equipo robot lanzador. Preparación del equipo antes de su uso, lo que puede incluir verificar que todas las herramientas y accesorios necesarios estén disponibles y en buenas condiciones, soporte en el carguío de shotcrete en el equipo lanzador desde la mezcladora (Mixkret) o el punto de suministro. Esto implica dar soporte y coordinación en el vertimiento del shotcrete en la batea o tolva del robot. Además, ayudará en el proceso de limpieza del equipo y herramientas al final del trabajo, incluyendo la limpieza de la línea de concreto.
- Operador Mixkret. Responsable de operar la Mixkret de manera segura y eficiente. Esto incluye encender y apagar la máquina, ajustar los controles de flujo y presión, y supervisar el funcionamiento general de la mezcladora y la bomba. Así como, preparar la mezcla de shotcrete o concreto según las especificaciones del proyecto, lo que puede implicar medir y cargar los materiales, como cemento, agregados y agua, en la máquina mezcladora de la Mixkret, y asegurarse de que la mezcla se transfiera de manera efectiva desde la Mixkret a la batea o tolva del robot lanzador para su proyección.

b.2 Acciones preliminares en la colocación de shotcrete con robot

- El operador recibe una orden de trabajo con instrucciones de seguridad y detalles sobre la tarea. Luego, se realizaría la inspección del área de trabajo para liberar la labor, verificando aspectos críticos como la distancia a las instalaciones de la manga de ventilación, la tubería de aire y agua, la iluminación del equipo lanzador, el estado del desatado de la labor y obteniendo la aprobación del supervisor del concreto y el operador del robot mediante una firma en el formato de liberación de la labor para el lanzamiento de shotcrete.
- Antes de poner en funcionamiento el equipo, el operador del robot verifica las condiciones del equipo consultando el cuaderno de reporte del equipo lanzador, que debe estar en el equipo y ser llenado obligatoriamente por el operador en cada turno. Cualquier problema en el funcionamiento del equipo se informa al supervisor de guardia quien dará aviso a los representantes de las áreas que estén involucradas.
- Una vez que se autoriza la operación del equipo lanzador, el operador lo pone en marcha y se dirige al área de trabajo, acompañado por un vigía (ayudante) con un bastón luminoso.
- Bajo la dirección del ayudante de Robot lanzador, el equipo se estaciona de manera segura a 10 metros del frente de trabajo, se colocan estabilizadores o gatas y se

bloquea el acceso a la labor con conos de seguridad, un bastón luminoso, una soga y señalización adecuada.

- Realizar la limpieza de la tubería de aire comprimido para eliminar partículas que puedan obstruir la manguera. Luego, se conectará la manguera del equipo a la principal instalación de aire comprimido en la obra y se comprobará la presión de aire necesaria utilizando un manómetro. El operador dirigirá la tobera hacia adelante para evitar accidentes.
- Preparación de superficie a sostener con shotcrete con uso de agua y aire comprimido utilizando el sistema de bombeo del robot a fin de mejorar la adherencia del shotcrete al macizo rocoso.

b.3 Acciones de transporte y cargado de shotcrete con robot

- El equipo Mixkret se detendrá a una distancia mayor a 15 m del robot lanzador. Luego, el operador de Mixkret coordinará con el operador y el ayudante del robot, y procederá a respaldar lentamente hacia la batea del equipo lanzador, siguiendo la guía del ayudante. Se instalarán dispositivos de seguridad una vez estacionado.
- El operador del Mixkret y el ayudante descargarán el shotcrete en la batea del robot lanzador, asegurándose de que no entren materiales mayores a 3 pulgadas.
- Se asegurará la tobera de tal forma se proteja al ayudante de robot del shotcrete fresco. Por otro lado, el operador del robot se posicionará en una zona segura al lado del equipo, donde tenga una buena vista para el lanzado.

b.4 Acciones de lanzado de shotcrete con robot

- El lanzado de shotcrete se realizará perpendicularmente a la superficie a sostener, considerando una distancia de 1 a 1.5 metros entre la tobera y la zona a sostener.
- Se realizará el lanzado en avanzada, comenzando desde el hastial hacia el techo de la corona en forma de bastón. Luego se continuará con el hastial faltante, asegurándose de darle el espesor adecuado de acuerdo a las indicaciones del área de geomecánica. La boquilla debe rotar continuamente en pequeños óvalos o círculos, comenzando desde los hastiales hacia la corona.
- El operador del robot deberá verificar que las superficies cubiertas estén libres de imperfecciones y orificios, y que el acabado sea uniforme antes de finalizar el lanzado y darle el acabado final.

- En caso de obstrucción en la línea de concreto, el operador del robot llevará a cabo una serie de pasos que incluyen cerrar el aire, identificar la ubicación de la obstrucción, paralizar la bomba de concreto, extender el brazo del robot, eliminar la obstrucción y luego continuar el trabajo. Si hay obstrucción entre la tobera y el difusor, se cerrará el aire de inmediato para evitar el retorno del concreto hacia la tina, y se aplicarán pasos similares para eliminar la obstrucción.

b.4 Acciones después del lanzado de shotcrete con robot

Una vez culminada la colocación de shotcrete se deberá detener el suministro de aire comprimido, liberar toda la presión que quede en la línea de concreto utilizando el sistema de rebombeo, quitar el seguro del desfogue de la tina de concreto, retirar la tobera y elevar la pluma del robot hacia el techo de la obra. Por último, se establecerá una conexión de agua para la eliminación de todos los restos de shotcrete de la línea de concreto hasta que no quede arena residual, y se cambiará el suministro de aire para dejar la línea de concreto completamente limpia. Es importante que nadie permanezca alrededor de la tina del robot durante este proceso.

c. Requerimientos de instalación de robot lanzador de shotcrete

Espacio y Acceso Adequado: Se debe contar con suficiente espacio en el área de trabajo subterránea para instalar y operar el robot lanzador de shotcrete. Además, es esencial que el equipo tenga un acceso adecuado para poder ingresar y salir de la mina.

c.1 Alimentación Eléctrica y Suministro de Agua

Requerimiento de fuente de alimentación eléctrica de acuerdo a las indicaciones del manual del equipo Tecnoshot 1.6D. Por otra parte, el suministro de agua debe de encontrarse en un rango de temperatura de 18 a 25°C y a una presión de agua de acuerdo a las especificaciones del manual del equipo robot lanzador y en la disponibilidad suficiente para la jornada de trabajo.

c.2 Aire comprimido

Requerimiento de aire comprimido con la debida presión y caudal de acuerdo a las especificaciones del manual del equipo robot. Se puede considerar como requisitos típicos ⁶ para el lanzado de shotcrete por vía húmeda un caudal mínimo de 425 pies cúbicos por minuto con presiones de 6 a 7 bares para las acciones detalladas anteriormente en el procedimiento de colocado de shotcrete con el robot lanzador.

c.3 Iluminación y Seguridad

La iluminación adecuada es esencial para permitir que el robot funcione con precisión. Además, se deben tomar medidas de seguridad adicionales, como la instalación de sistemas de detección de gases y equipos de protección personal para los trabajadores.

Por otro lado, se requiere controlar la formación del personal, la orientación en el sitio de trabajo, y un completo plan de seguridad que incluye la evaluación de riesgos, seguridad laboral, manejo de residuos, y procedimientos de trabajo en el lanzado de shotcrete de acuerdo a diferentes condiciones de trabajo que se presenten.

Asimismo, el personal debe usar equipo de protección personal, como cascos, calzado de seguridad, chalecos reflectantes, máscaras contra el polvo, respiradores y protección ocular y auditiva, especialmente cuando se trabaje en la operación de mezclado en sus diversos componentes como el cemento, agregados, aditivos, otros.

d. Tiempos de operación

Tabla 24.
Distribución de tiempos por operación con robot lanzador Tecnoshot 1.6D

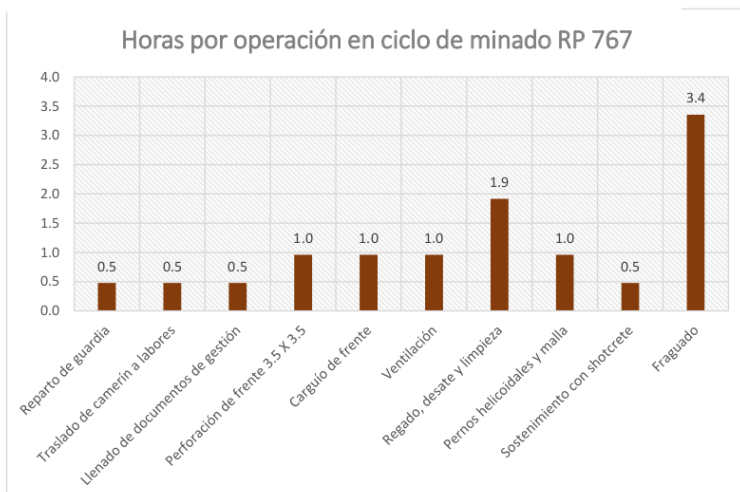
INICIO	TÉRMINO	OPERACIÓN	Nº Horas
7:00	7:30	Reparto de guardia	0.5
8:00	8:30	Traslado de camerín a labores	0.5
8:30	9:00	Llenado de documentos de gestión	0.5
9:00	10:00	Perforación de frente 3.5 X 3.5	1.0
10:00	11:00	Carguío de frente	1.0
11:00	12:00	Ventilación	1.0
12:00	14:00	Regado, desate y limpieza	1.9
14:00	15:00	Pernos helicoidales y malla	1.0
15:00	15:30	Sostenimiento con shotcrete	0.5

INICIO	TÉRMINO	OPERACIÓN	N° Horas
15:30	19:00	Fraguado	3.4
Total			11

Nota: Elaboración propia

Tabla 25.

Representación de la distribución de horas por operación con robot lanzador Tecnoshot 1.6D



Nota: Elaboración propia

4.2.1.7.Costo de sostenimiento con shotcrete

A continuación, se muestra el costo de sostenimiento con shotcrete con el equipo Scorpion 1874, donde se detalla el costo de personal, materiales, equipos, herramientas e implementos, además de determinar el costo unitario por m³ de instalación de shotcrete vía seca.

Tabla 26.

Precio unitario shotcrete vía seca

Producción / guardia		6	m³		4.5	m²		47.34
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Útil	Costo/Disparo	Costo/m		
PERSONAL								
Operador de Shotcrete	Tarea	2	13.96	8		223.36		
Ayudante de Shotcrete	Tarea	3	13.96	8		335.04		
Operador de Scoop	Tarea	1	18.66	2		37.10		
Jefe de Guardia	Tarea	1	32.97	3.67		121.00		
Supervisor de Mina	Tarea	1	10.28	2.67		27.45		
Electricista Equipos Mina	Tarea	1	16.85	1		16.85		
Mecánico Equipos Mina	Tarea	1	16.8	2.67		44.86		
Maestro de Ventilación	Tarea	1	13.96	0.5		6.98		
Ayudante de Ventilación	Tarea	1	13.96	0.5		6.98		
Bodeguero	Tarea	1	13.96	0.25		3.49		
Alimentación						74.55		
						897.65	18.96184	
MATERIALES								
Cemento	Bolsa	10	21	1		945.00		
Arena	m3	1	22	1		99.00		
Grava	kg	20	4.5	1		405.00		
Aditivos	gal	2.5	13.87	1		156.04		
Calibradores	Unid.	10	1.63	1		73.35		
						1,678.39	35.4539	
HERRAMIENTAS								
Global x Guardia	Gdía	6.66	0.89	1		5.93		
						5.93	0.125209	
IMPLEMENTOS								
Global x Guardia	Gdía	6.66	5.11			33.99 0.717997		
MAQUINARIA Y EQUIPO								
Scorpion 1874	hora	1	3.83	5 hora		269.15		
Scoop 2.0 yd3	hora	1	234.26	2 hora		468.52		
						737.67	15.58238	
SUB-TOTAL							70.84133	
GASTOS GENERALES		15%					10.6262	
UTILIDAD		10%					7.084133	
PRECIO UNITARIO/m2							88.55166	
PRECIO UNITARIO/m3							931.56	

Nota: Elaboración propia

De igual manera en la siguiente tabla se muestra el costo de sostenimiento con shotcrete con el equipo Tecnoshot 1.6D, donde se detalla el costo de personal, materiales, equipos, herramientas, e implementos, además de determinar el costo unitario por m³ de instalación de shotcrete vía húmeda.

Tabla 27.
Precio unitario shotcrete vía húmeda

Producción/mes	m3	750		
Descripción	Unidad	Cantidad/incidencia	Costo Unitario	Costo/m3
PERSONAL				
Jefe de Planta	MES	1	14441	14441
Asistente de Coordinación	MES	1	5320	5320
Ingeniero de Seguridad	MES	0.2	6840	1368
Supervisor de Equipo	MES	3	4864	14592
Operador de Planta	MES	3	4560	13680
Asistente de Planta	MES	3	3800	11400
Técnico en Mantenimiento	MES	3	4864	14592
Electricista de Planta	MES	2	5320	10640
Especialista en Laboratorio	MES	1	4864	4864
Operador de Mezcladora	MES	6	5424	32544
Ayudante Robot lanzador	MES	3	3740	11220
Operador Lanzador	MES	3	5611	16833
Alimentación				9917.6
				161411.6
				215.22
IMPLEMENTOS				
Global x Guardia	Gdía	644	5.11	3290.84
MATERIALES				
Bolsa de Cemento	Bolsa	7125	21	149625
Arena para Construcción	m3	750	22	16500
Fibra de Refuerzo	kg.	15000	4.5	67500
Acelerador de Curado	kg.	24,225.00	2.5	60,562.50
Plastificante Estabilizador	kg.	3,028.00	9.5	28,766.00
Calibradores de Medición	Uni.	7,500.00	1.6	12,000.00
				334,953.50
				446.60
MAQUINARIA Y EQUIPO				
Planta	MES	1	35.44	176
Laboratorio de Calidad	MES	1	7.38	176
Mini Cargador	MES	1	63.45	176
Mezcladora de Concreto	MES	2	103.02	353
Robot TECNOSHOT 1.6D	MES	1	112.44	353
Camioneta	MES	1	22.28	283
				137,430.98
				183.24
SUB-TOTAL				845.06
GASTOS GENERALES				126.76
UTILIDAD				84.51
PRECIO UNITARIO S./ m3				1,056.33

Nota: Elaboración propia

4.2.1.8.Comparación de costos

Tabla 28.

Costo de instalación shotcrete rampa 3.5x3.5

Costo de instalación shotcrete rampa 3.5x3.5		
	Vía seca	Vía húmeda
Costo unitario (S/ por m ³)	931.56	1,056.33
Requerimiento (m ³)	3.14	2.6
Costo total	2,925.11	2,746.45

Nota: Elaboración propia

La comparación de costos entre los métodos de instalación de shotcrete para una rampa de 3.5x3.5 metros revela que, aunque el costo unitario por metro cúbico es inferior en el método de vía seca (931.56 S por m³) sobre el de vía húmeda (1056.33 S por m³), el costo total de la vía seca (S/ 2,925.11) es ligeramente superior en comparación con el método de vía húmeda (S/ 2,746.45).

Esto se debe a que, a pesar de tener un costo unitario más elevado, el método de vía húmeda requiere menos volumen de material (2.6 m³), resultando en un costo total más económico en comparación con el método de vía seca (3.14 m³).

En consecuencia, el método de vía húmeda demuestra ser más eficiente en términos de costos totales para la instalación de shotcrete.

Tabla 29.
Comparación de costo unitarios



Nota:

Elaboración

propia

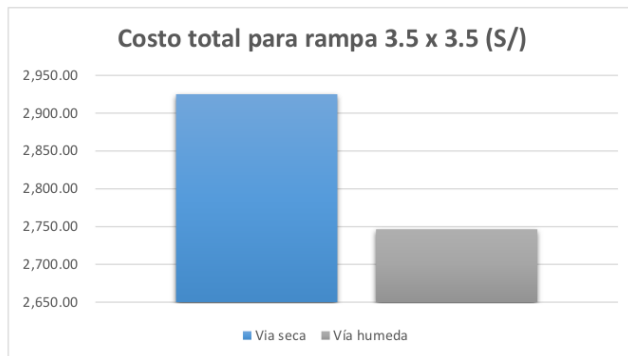
Tabla 30.

Comparación de requerimiento de shotcrete para rampa de sección 3.5x3.5



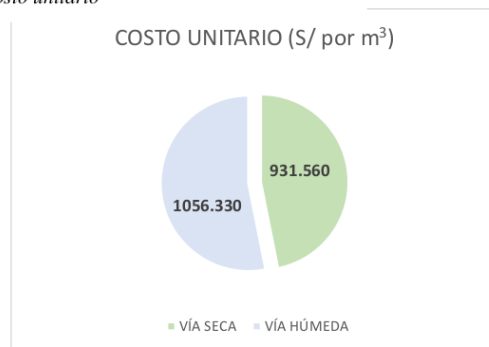
Nota: Elaboración propia

Tabla 31.
Comparación de costo total de sostenimiento con shotcrete para rampa de sección 3.5x3.5



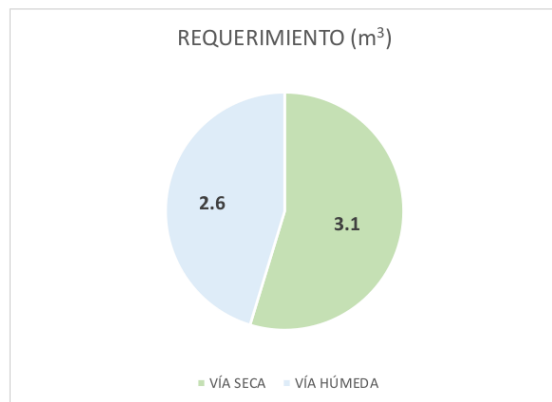
Nota: Elaboración propia

Figura 21.
Costo unitario



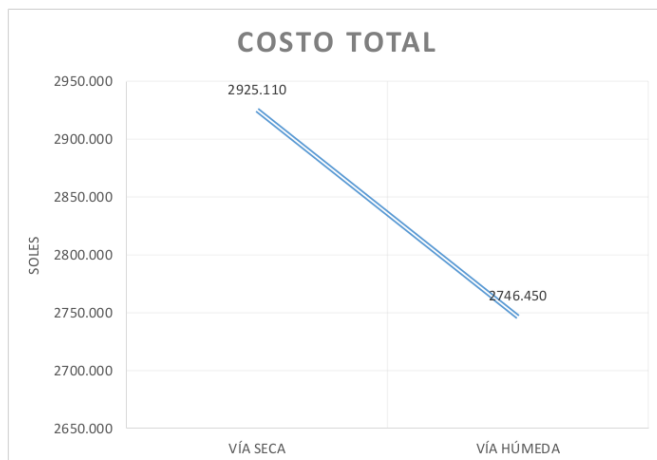
Nota: Elaboración propia

Figura 22.
Requerimiento unitario



Nota: Elaboración propia

Tabla 32.
Costo Total



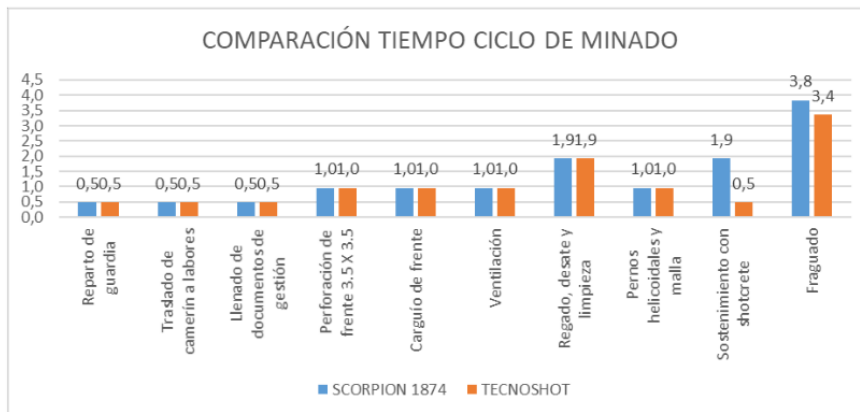
Nota: Elaboración propia

Tabla 33.
Comparativa de tiempos

			Scorpion	Tecnoshot
Inicio	Término	Operación	N° Horas	N° Horas
07:00	07:30	Reparto de guardia	0.5	0.5
08:00	08:30	Traslado de camerín a labores	0.5	0.5
08:30	09:00	Llenado de documentos de gestión	0.5	0.5
09:00	10:00	Perforación de frente 3.5 X 3.5	1.0	1.0
10:00	11:00	Carguío de frente	1.0	1.0
11:00	12:00	Ventilación	1.0	1.0
12:00	14:00	Regado, desate y limpieza	1.9	1.9
14:00	15:00	Pernos helicoidales y malla	1.0	1.0
15:00	17:00	Sostenimiento con shotcrete	1.9	0.5
17:00	21:00	Fraguado	3.8	3.4
Total			13	11
11:00	Horario de disparo			

Nota: Elaboración propia

Tabla 34.
Comparación de tiempo de ciclo culminado



Nota: Elaboración propia

En la siguiente comparación se analiza las horas por operación en el ciclo de minado, las cuales permiten graficar la reducción de tiempo en el proceso de fraguado con el Tecnoshot

(3.4 horas) sobre el Scorpion 1874 (3.8 horas). Por ello se determina que la reducción de tiempo por guardia será de 0.4 horas.

4.3. Discusión de resultados

La aplicación del sostenimiento con pernos sistemáticos malla y shotcrete de 2'' en el desarrollo de la rampa 767 involucra además del tiempo de instalación y colocado del sostenimiento, un tiempo adicional de espera para el fraguado de la mezcla lanzada, el cual varía de entre 3 a 4 horas en ambos casos. La aplicación del shotcrete con uso del robot lanzado Tecnoshot 1.6D refleja una disminución del tiempo de lanzamiento en sí de 1.9 horas a 0.5 horas, de acuerdo a la capacidad que posee, incluyendo los tiempos de transporte, instalación, carguío y lanzado propiamente dicho, los cuales se redujeron hasta en un 60% debido al grado de mecanización que posee el equipo robot lanzador teniendo como referencia el desarrollo de la labor RP 767 sobre roca mala.

Por otra parte, se denota una reducción del tiempo total de operación las labores mineras de 13 a 11 horas tomando en consideración el tiempo de fraguado del shotcrete, lo que permitirá una reducción de la probabilidad de ocurrencia de guardias improductivas debido a la reducción del riesgo de sobre extensión del tiempo de sostenimiento en la aplicación del shotcrete. De esta forma, se garantiza el cumplimiento de la jornada laboral por guardia, la cual en cumplimiento del procedimiento descrito para la aplicación del shotcrete vía húmeda de forma mecanizada con el equipo robot lanzador Tecnoshot 1.6D, junto a otros dictados para el resto de operaciones, se garantiza el trabajo continuo del equipo para colocado de shotcrete y reduciendo así las penalidades por guardias improductivas surgidas en el trabajo de la empresa especializada a cargo del desarrollo de labores como la RP 767.

La comparación de costos revela que, aunque la vía seca presenta un costo unitario más bajo, la vía húmeda resulta en un costo total inferior debido a su menor requerimiento de material esto principalmente a que en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda se reduce el desperdicio de material. Este hallazgo sugiere que la elección de la vía húmeda podría generar un beneficio económico, este beneficio económico, de aproximadamente S/ 178.66 por frente de trabajo en la rampa RP 767, representa un ahorro potencial al optar por el método de vía húmeda en lugar de vía seca en la instalación de shotcrete.

Tabla 35.
Comparativa de desempeño operativo

Cuadro comparativo del desempeño operativo de los equipos de sostenimiento		
Criterio de comparación	Scorpion 1874 (vía seca)	Tecnoshot 1.6D (vía húmeda)
Producción teórica (m³/h)	5.5	18
Tiempo efectivo por guardia (h)	1.9	0.5
Volumen aplicado por disparo (m³)	3.14	2,746.45
Efecto rebote estimado (%)	25–30%	<15%
Costo operativo por ciclo (USD)	Referencial (mayor)	Ahorro de \$178.66 por ciclo
Exposición del personal	Alta	Baja (control remoto)
Servicios auxiliares	Compresora, cuadrilla manual	Camión mixer, operador capacitado

Nota: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- El equipo Tecnoshot 1.6D demostró una mayor eficiencia operativa frente al Scorpion 1874, al reducir significativamente el tiempo de aplicación del shotcrete (de 1.9 h a 0.5 h por guardia), lo cual optimiza el ciclo de sostenimiento en la rampa 767 y mejora la continuidad de las labores mineras.
- La productividad por guardia fue mayor con el Tecnoshot 1.6D, gracias a su sistema de vía húmeda, menor rebote (rebote inferior al 15%) y mayor control de mezcla, permitiendo reducir el volumen aplicado por disparo de 3.14 m³ (Scorpion) a 2.6 m³, sin afectar la calidad del sostenimiento.
- La evaluación económica reveló que el Tecnoshot 1.6D permite una reducción de costos operativos por aplicación de shotcrete, logrando un ahorro estimado de \$178.66 por ciclo, principalmente por la disminución de desperdicio de material, tiempo improductivo y uso eficiente de insumos.
- La identificación de los equipos y servicios auxiliares necesarios para el funcionamiento del Tecnoshot 1.6D permitió entender su requerimiento logístico, siendo clave la participación de camiones mixer (Supermix), disponibilidad eléctrica, sistema hidráulico y personal calificado, lo cual garantiza su operatividad en condiciones reales de mina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación definitiva del Tecnoshot 1.6D en labores similares dentro de la unidad minera, debido a su capacidad de optimizar el ciclo operativo, reducir costos y aumentar la seguridad del personal al disminuir su exposición directa en el frente de trabajo.
- Incluir en los planes de sostenimiento una planificación detallada del suministro de hormigón premezclado, asegurando el abastecimiento oportuno desde empresas como Supermix, así como la capacitación continua del personal encargado del lanzado y del uso del equipo robotizado.
- Monitorear continuamente la eficiencia del equipo Tecnoshot 1.6D, mediante indicadores de productividad, rebote y tiempo de aplicación, con el fin de ajustar parámetros operativos y maximizar su desempeño en condiciones geomecánicas variables.
- Evaluar la posibilidad de replicar esta implementación en otras labores críticas o futuras extensiones de la mina, considerando el análisis costo-beneficio como un insumo estratégico para la toma de decisiones en sostenimiento subterráneo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bujaico Mallma, C. (2020). Influencia de la aplicación del soporte con shotcrete en la ocurrencia de desprendimiento de rocas en la empresa MARSÁ Minera Aurífera Retamas S. A. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10070/1/IV_FIN_110_Ti_Bujaico_Mallma_2020.pdf

Camarena, F. (2016). OPTIMIZACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA HÚMEDA CON FINES DE MINIMIZAR COSTOS Y MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE LANZADO DE LA E.E. ROBOCON S.A.C. EN LA MINA SAN CRISTÓBAL - CÍA MINERA VOLCAN S.A.A. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3860/Camarena%20Cosme.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chavez, M., & Cruz, K. (2019). PARAMETROS PARA AUMENTAR LA ADHERENCIA DE SHOTCRETE POR VIA SECA EN MINERIA SUBTERRENA EN EL DISTRITO DE PARCOY. Obtenido de https://repositorio.uct.edu.pe/bitstream/123456789/622/1/0071323960_0076348302_T_2019.pdf

Contrera Santander, P. (2021). "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SHOTCRETE EN LA UNIDAD MINERA SANTA CRUZ". Obtenido de <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/23381/TFG%20-%20Patricia%20Contrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Höfler, J., Schlumpf, J., & Jahn, M. (2011). Manual Sika Sobre HorMigón Proyectado. Putzmeister.

Huacho Contreras, S., & La Fuente Conga, J. (2021). "Modelo de mejora del sostenimiento con shotcrete mediante la activación alcalina de relaves en una mina subterránea del Perú". Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/656610/Huacho_CS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ICH. (s.f.). Obtenido de <https://ich.cl/unidad/unidad-8-ejemplo/>

Instituto Politécnico Nacional. (2011). Manual de Shotcrete. studocu.

Laboratorio Oficial J. M. Madariaga. (2015). Guía Sobre Control Geotecnico en Minería Subterránea. España: Laboratorio Oficial J. M. Madariaga .

Leon Flores, E. (2019). Analisis de la Implementacion de la Transicion de Equipos de Transporte "Dumper a Volquete" en una Mina Subterranea. Lima: Pontifica Universidad Catolica del Perú.

Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Melbourne: Technomic publishers.

Matamorros Campos, J. (2019). Mejoramiento del sostenimiento con shotcrete.

Putzmeister. (s.f.). Obtenido de <https://bestsupportunderground.com/ventajas-shotcrete-robotizado-via-humeda/>

Putzmeister. (s.f.). Obtenido de <https://bestsupportunderground.com/equipo-robotizado-shotcrete/>

Putzmeister. (s.f.). Obtenido de <https://bestsupportunderground.com/formacion-shotcrete/>

Rivera, F., & Santiago, J. (2020). Sostenimiento mecanizado con shotcrete vía húmeda en la U.P. Uchucchacua-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

ROBOCON. (s.f.). Obtenido de <https://robocon.pe/robot-mini-lanzador/>

Torres, L. (2016). "DISEÑO Y APLICACIÓN DE SHOTCRETE PARA OPTIMIZAR EL SOSTENIMIENTO EN LA UNIDAD ECONOMICA SAN CRISTOBAL -MINERA BATEAS". Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3260/Mitoallr05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vargas Niquín, E. (2021). "Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmonte zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa". Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9406/VARGAS%20NIQU%C3%8dN%2c%20EVER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS
Anexo 1 Cuadro ampliado de improductividad mes de noviembre - periodo 2022

FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	DESCRIPCION	Shotcrete (m³)	Horas (h)
3/11/2022	DIA	Tj 010	IMPRODUCTIVO	Debido a la asignación de Scoop de R&D en la limpieza de subniveles zona Sur, no se tuvo soporte para apoyar en instalación de shotcrete en el Tj 010.	20	3.3
6/11/2022	NOCHE	RP 767 NV 4555	IMPRODUCTIVO	Debido a retrasos en acarreo de material en rampa 767 producto de la guardia anterior, no se tuvo condiciones para la aplicación de shotcrete.	20	3.3

FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	DESCRIPCION	Shotcrete (m³)	Horas (h)
8/11/2022	NOCHE	Tj 064-2	IMPRODUCTIVO	Debido a altas concentraciones de agua en las tuberías de agua no se pudo culminar toda la mezcla por lo que se debe considerar como improductivo.	20	3.3
11/11/2022	DIA	Tj 064-2	IMPRODUCTIVO	Se dispuso personal para traslado de equipo y habilitación de labor sin embargo equipo programado de COMICIV Scoop se reportó inoperativo a media guardia, culminando solo la habilitación de la labor.	20	3.3

FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	DESCRIPCION	Shotcrete (m³)	Horas (h)
14/11/2022	DIA	CM 030 NV 4230	IMPRODUCTIVO	No se realiza el sostenimiento (shotcrete), el área se encontraba con carga (falta limpieza), el equipo scoop llega a media guardia y realiza la limpieza hasta fin de guardia. Se traslada la maquina cerca a la labor	20	3.3
16/11/2022	DIA	RP 767 NV 4555	IMPRODUCTIVO	Debido a la falta de insumos en la proporción debida para el mezclado no se llevó a cabo el lanzado de shotcrete.	15	2.5

FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	DESCRIPCION	Shotcrete (m³)	Horas (h)
19/11/2022	Noche	SN 335 NV 4230	IMPRODUCTIVO	Inexistencia de condiciones para lanzamiento de shotcrete, motivo disparo no ejecutado por demoras en la guardia anterior.	12	2.0
23/11/2022	Noche	SN 065 W-4130	IMPRODUCTIVO	Culminación de sostenimiento programado con perno y malla a las 4:40 am debido a retrasos en la limpieza de frente en la guardia precedente.	15	2.5
25/11/2022	Día	SN 065 W-4130	IMPRODUCTIVO	No se realiza el lanzamiento de shotcrete por falta de cemento, el cemento llegó por la tarde a las 4:00 pm,	15	2.5

FECHA	Guardia	LABOR	Proceso	DESCRIPCION	Shotcrete (m³)	Horas (h)
				luego se procede el ingreso a mina llegando a la CA 063.		
				No se realiza el sostenimiento		
				(shotcrete) por baja presión de aire: 50 psi en vacío, con carga 28		
30/11/2022	Día	SUBESTACION 156-4230	IMPRODUCTIVO	psi. Se realizo el seguimiento para poder realizar el sostenimiento con resultado negativo (verificación de la línea de aire).	15	2.5
TOTAL IMPRODUCTIVIDAD MES NOVIEMBRE 2022					172	28.4

Anexo 2 Cronograma

Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Inicio																
Redacción de título																
Esquema del proyecto																
Elementos del proyecto																
Objetivos de la investigación																
Justificación e importancia																
Desarrollo																
Elaboración del marco teórico																
Elaboración de antecedentes																
Recolección de datos																
Cierre																
Redacción del borrador final																
Revisión y corrección																
Defensa del trabajo																

Nota. Elaboración propia

Anexo 3 Presupuesto

RUBRO/PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
UNITARIO				
Honorario	mes	2	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00
Papelería y útiles	mes	8	\$ 50.00	\$ 400.00
costo de transporte	unidad	25	\$ 10.00	\$ 250.00
costo de alimentación	unidad	25	\$ 30.00	\$ 750.00
Laptop	mes	2	\$ 500.00	\$ 1,000.00
Internet	mes	1	\$ 82.00	\$ 82.00
electricidad	mes	1	\$ 50.00	\$ 50.00
impresiones	unidad	150	\$ 1.00	\$ 150.00
SUBTOTAL				\$ 4,682.00
IMPREVISTOS				\$ 234.10
TOTAL				\$ 4,916.10

Nota: Elaboración Propia

Este presupuesto será asumido por el investigador.

Anexo 4 Fórmulas para Cálculo del Costo Horario

El cálculo del costo horario de una maquinaria incluye varios componentes, tales como la depreciación, el mantenimiento, el costo del operador, el combustible y los insumos. A continuación, se detalla cómo se calcula y se aplica al caso de los equipos Scorpion 1874 y Tecnoshot 1.6D, junto con los costos de adquisición o alquiler según los datos más comunes en el mercado:

1. Depreciación Anual (DA):

$$DA = \frac{C_a - V_r}{L_a}$$

Donde:

- C_a : Costo de adquisición (USD).

- V_r : Valor residual (normalmente, un 10-20% del costo de adquisición).
- L_a : Vida útil en años.

2. Costo Horario de Depreciación (CHD):

$$CHD = \frac{DA}{H_a}$$

Donde: H_a es el número de horas operativas por año.

3. Costo de Mantenimiento y Reparaciones (CM):**

$$CM = C_a * F_m$$

Donde F_m es un factor de mantenimiento que varía entre 5-15% del costo de adquisición anual.

4. Costo del Operador (CO):

$$CO = \text{Sueldo del operador por hora} + \text{Beneficios sociales}$$

5. Consumo de Combustible (CF):

$$CF = \text{Consumo por hora (L/h)} * \text{Costo del combustible (USD/L)}$$

6. Costo Total Horario (CTH):

$$CTH = CHD + \frac{CM}{H_a} + CO + CF$$

Anexo 5 Datos para el Cálculo del Scorpion 1874 y Tecnoshot 1.6D

1. Scorpion 1874

- Costo de adquisición: \$10,200.
- Vida útil: 10 años.
- Valor residual: 20% del costo de adquisición (\$2,040).
- Horas anuales de uso: 2,000 h.
- Factor de mantenimiento: 10% del costo de adquisición anual (\$1,020/año).
- Consumo de combustible: 15 L/h (diesel a \$1.5/L).

- Costo del operador: \$20/h.

2. Tecnoshot 1.6D

- Costo de adquisición: \$200,000.

- Vida útil: 12 años.

- Valor residual: 15% del costo de adquisición (\$30,000).

- Horas anuales de uso: 2,500 h.

- Factor de mantenimiento: 8% del costo de adquisición anual (\$16,000/año).

- Consumo de combustible: 20 L/h (diesel a \$1.5/L).

- Costo del operador: \$22/h.

Anexo 6 Cálculo del Costo Horario

Scorpion 1874

1. Depreciación anual:

$$DA = \frac{10,200 - 2,040}{10} = 816 \text{ USD/año}$$

2. Costo horario de depreciación:

$$CHD = \frac{816}{2,000} = 0.408 \text{ USD/h}$$

3. Mantenimiento y reparaciones:

$$CM = 10,200 * 0.10 = 25,000 \text{ USD/h}$$

Costo horario de mantenimiento:

$$\frac{CM}{H_a} = \frac{1,020}{2,000} = 0.51 \text{ USD/h}$$

4. Consumo de combustible:

$$CF = 15 * 1.5 = 22.5 \text{ USD/h}$$

5. Costo total horario:

$$CTH = 0.408 + 0.51 + 20 + 22.5 = 43.418 \text{ USD/h}$$

Tecnoshot 1.6D

1. Depreciación anual:

$$DA = \frac{200.000 - 30.000}{12} = 14.667 \text{ USD/año}$$

2. Costo horario de depreciación:

$$CHD = \frac{14.667}{2.500} = 5.87 \text{ USD/h}$$

3. Mantenimiento y reparaciones:

$$CM = 200.000 * 0.08 = 16.000 \text{ USD/año}$$

Costo horario de mantenimiento:

$$\frac{CM}{H_a} = \frac{32.000}{2.500} = 12.8 \text{ USD/h}$$

4. Consumo de combustible:

$$CF = 20 * 1.5 = 30 \text{ USD/h}$$

5. Costo total horario:

$$CTH = 5.87 + 12.8 + 22 + 30 = 70.67 \text{ USD/h}$$

Costos de Adquisición o Alquiler

- Scorpion 1874:

- Adquisición: \$10,200.

- Alquiler (si se opta): \$90/h promedio en el mercado.

- Tecnoshot 1.6D:

- Adquisición: \$200,000.

- Alquiler (si se opta): \$130/h promedio en el mercado.

Análisis comparativo del rendimiento de equipos de sostenimiento con shotcrete: Scorpion 1874 vs Tecnoshot 1.6d en la rampa 767 - Unidad Minera Caudalosa, Huancavelica

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docplayer.es

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

www.clubensayos.com

Fuente de Internet

1%

4

www.scribd.com

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado