

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación técnica económica de *shotcrete* vía  
seca para su implementación en labores de avance,  
minera artesanal comunal Acopalca**

Raul Cardenas Yauri  
Jazmin Porras Sarmiento

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Julio Fredy Porras Mayta  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 4 de Febrero de 2025

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

**Título:**

EVALUACIÓN TECNICA ECONOMICA DE SHOTCRETE VIA SECA PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LABORES DE AVANCE, MINERA ARTESANAL COMUNAL ACOPALCA

**Autores:**

1. RAUL CARDENAS YAURI – EAP. Ingeniería de Minas
2. JAZMIN PORRAS SARMIENTO – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 20 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

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

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

Atentamente,

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres y familia, quienes me han motivado y a seguir adelante. Asimismo, al ingeniero Julio Cárdenas por su apoyo y aporte significativo

Raul

A mi madre que me apoyo incondicionalmente.

Jazmin

## **AGRADECIMIENTO**

Al ingeniero Julio Cárdenas, jefe del área del Laboratorio de Mineralogía de la UNCP, por su contribución a esta investigación con el aporte de la información necesaria y su apoyo desinteresado.

A nuestro asesor: el ingeniero Julio Fredy Porras Mayta, por sus acertadas sugerencias y orientaciones en materia de investigación científica y conocimientos de ingeniería.

A mis docentes de la EAP de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental por sus aportes en mi vida.

Raul

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su constante apoyo y aliento, a María Sarmiento Vila por sus consejos y sus oraciones.

Jazmin

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| DEDICATORIA .....                                  | i    |
| AGRADECIMIENTO .....                               | iii  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                          | iv   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                             | vi   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                             | vii  |
| RESUMEN .....                                      | viii |
| ABSTRACT.....                                      | ix   |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | x    |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....        | 12   |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema ..... | 12   |
| 1.1.1 Problema general .....                       | 13   |
| 1.1.2 Problemas específicos.....                   | 13   |
| 1.2 Objetivos .....                                | 13   |
| 1.2.1 Objetivo general .....                       | 13   |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....                  | 13   |
| 1.3 Justificación e importancia.....               | 14   |
| 1.3.1 Justificación .....                          | 14   |
| 1.3.2 Importancia.....                             | 14   |
| 1.4 Delimitación.....                              | 15   |
| 1.4.1 Delimitación espacial .....                  | 15   |
| 1.4.2 Delimitación temporal .....                  | 16   |
| 1.4.3 Delimitación económica .....                 | 16   |
| 1.5 Hipótesis y variables .....                    | 16   |
| 1.5.1 Hipótesis .....                              | 16   |
| 1.5.2 Hipótesis específicas.....                   | 16   |
| 1.5.3 Variables.....                               | 16   |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....                   | 17   |
| 2.1 Antecedentes del problema .....                | 17   |
| 2.2 Bases teóricas .....                           | 21   |
| 2.2.1 Introducción.....                            | 21   |
| 2.2.2 Proceso de aplicación .....                  | 22   |
| 2.2.3 Usos del shotcrete.....                      | 23   |
| 2.2.4 Materiales del hormigón proyectad .....      | 29   |
| 2.3 Definición de términos básicos .....           | 40   |

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO III: METODOLOGIA .....   | 42 |
| 3.1 Métodos y alcances de la investigación .....                            | 42 |
| 3.1.1 Método general .....  | 42 |
| 3.1.2 Tipo de investigación.....  | 42 |
| 3.1.3 Nivel de investigación .....  | 42 |
| 3.2 Diseño de investigación .....   | 42 |
| 3.3 Población y muestra .....   | 43 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....                   | 43 |
| 3.4.1 Técnicas de recolección de datos.....                                 | 43 |
| 3.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....                            | 43 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                   | 44 |
| 4.1 Ubicación y acceso.....   | 44 |
| 4.1.1 Ubicación.....  | 44 |
| 4.1.2 Fisiografía.....  | 45 |
| 4.1.3 Clima .....   | 45 |
| 4.1.4 Recursos naturales .....  | 45 |
| 4.1.5 Geología regional .....   | 45 |
| 4.1.6 Estratigrafía .....   | 46 |
| 4.1.7 Descripción litológica.....   | 49 |
| 4.1.8 Geología estructural.....   | 51 |
| 4.1.9 Geología local.....   | 53 |
| 4.1.10 Geología económica .....   | 53 |
| 4.1.11 Mineralogía.....   | 53 |
| 4.2 Resultados del estudio geomecánico.....                                 | 55 |
| 4.2.1 Descripción litológica.....   | 55 |
| 4.2.2 Estudio geomecánico.....  | 56 |
| 4.3 Evaluación para la implementación de concreto lanzado (shotcrete) ..... | 65 |
| 4.3.1 Evaluación técnica de concreto lanzado (shotcrete) .....              | 65 |
| 4.3.2 Análisis de costos de concreto lanzado (Shotcrete).....               | 68 |
| 4.3.3 Características del equipo lanzador de concreto.....                  | 71 |
| 4.4 Discusión de resultados.....  | 75 |
| CONCLUSIONES .....  | 78 |
| RECOMENDACIONES.....  | 80 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 81 |
| ANEXOS .....  | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Comparación para revestimientos (hormigón proyectado versus hormigón) .....   | 28 |
| Tabla 2. Efectos de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero .....  | 30 |
| Tabla 3. Características de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero.....   | 31 |
| Tabla 4. Especificaciones para el uso de aditivos con hormigón y mortero proyectado (5)....  | 35 |
| Tabla 5. Cálculo del contenido de agua .....   | 38 |
| Tabla 6. Tipo reductor de agua y su efecto .....   | 40 |
| Tabla 7. Ruta Lima – Concesión minera Acopalca .....   | 44 |
| Tabla 8. Resistencia a la compresión uniaxial muestra N°1 .....  | 56 |
| Tabla 9. Resistencia a la compresión uniaxial muestra N° 2 .....   | 57 |
| Tabla 10. Análisis RQD.....  | 59 |
| Tabla 11. Evaluación de la orientación, espaciado, persistencia, persistencia, apertura, relleno, alteración y presencia de agua ..... | 62 |
| Tabla 12. Cartilla de Bieniawski (RMR) .....   | 63 |
| Tabla 13. Determinación de la cohesión y ángulo de rozamiento .....  | 64 |
| Tabla 14. Guía para la excavación en túneles y obras de ingeniería.....  | 64 |
| Tabla 15. Calculo del tiempo de auto sostenimiento y longitud de pase .....  | 65 |
| Tabla 16. Módulo fineza agregado .....   | 65 |
| Tabla 17. Volumen por tanda.....   | 66 |
| Tabla 18. Volumen agregado.....  | 66 |
| Tabla 19. Dosificación hiper plastificante y acelerante .....  | 66 |
| Tabla 20. Relación agua cemento .....  | 66 |
| Tabla 21. Diseño de mezcla concreto lanzado (shotcrete).....   | 67 |
| Tabla 22. Característica, ensayo, material y norma .....   | 68 |
| Tabla 23. Mano de obra .....   | 68 |
| Tabla 24. Maquinarias .....  | 69 |
| Tabla 25. Suministros materiales.....  | 69 |
| Tabla 26. Suministro herramientas .....  | 70 |
| Tabla 27. Subtotal costos .....  | 70 |
| Tabla 28. Implementos de seguridad .....   | 71 |
| Tabla 29. Costo total por unidad.....  | 71 |
| Tabla 30. Datos técnicos .....   | 74 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Shotcrete proyectado en seco .....   | 23 |
| Figura 2. Estabilidad de excavaciones con shotcrete .....  | 24 |
| Figura 3. Revestimiento de tuneles .....   | 27 |
| Figura 4 Distribución del tamaño de las partículas de los componentes individuales .....   | 33 |
| Figura 5. Influencia del contenido de finos en el diseño de la mezcla de hormigón<br>proyectado [shotcrete] (con agregados de 0 – 8 mm)..... | 34 |
| Figura 6. Resistencia temprana, afectan negativamente las siguientes propiedades<br>finales del hormigón .....                               | 37 |
| Figura 7. Roca tonalita, similar a la diorita en composición mineral .....   | 56 |
| Figura 8. Compresión simple a partir de los datos de rebote obtenidos con el<br>martillo Schmidt (9) .....                                   | 59 |
| Figura 9. Relación de la longitud del perfil medido (m) versus la profundidad de<br>rugosidad (mm) (9).....                                  | 61 |
| Figura 10. Cartilla de equivalencia entre el JRC y la cartilla de Bieniawski respecto a la<br>rugosidad (9) .....                            | 61 |
| Figura 11. Aliva®-237 Lanzadora de concreto.....   | 71 |
| Figura 12. Aliva® Convertor Repro y Rotor Repro.....   | 73 |

## RESUMEN

La presente investigación se planteó como objetivo general: establecer el resultado de la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca para su implementación en labores de avance, minera artesanal comunal Acopalca 2023. La hipótesis general fue que, la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca permite mejorar los indicadores de producción y seguridad en labores de avance, minera artesanal comunal Acopalca 2023. La investigación se rigió íntegramente por el método científico, el tipo de investigación fue aplicada de nivel descriptivo correlacional, diseño no experimental y de corte longitudinal. La población estuvo conformada por las labores de avance de avance de la empresa minera comunal Acopalca. Producto de la investigación se concluyó que: se verificó mediante la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca influye directamente para la implementación del equipo ya que ofrece una serie de beneficios económicos tangibles como la eficiencia en el uso de materiales, la reducción del tiempo y la mano de obra, menor mantenimiento de equipos, mayor durabilidad y calidad de las aplicaciones, entre otros. Estos factores respaldan una evaluación positiva del costo-beneficio al considerar esta tecnología para proyectos de construcción y aplicaciones similares.

**Palabras claves:** evaluación técnica económica, *shotcrete* vía seca, implementación labores de avance y minera artesanal

## ABSTRACT

The general objective of this research was: Establish the result of the technical economic evaluation of Shotcrete dry way for its implementation in advance work, communal artisanal mining Acopalca 2023, and the general hypothesis was: The technical economic evaluation of Shotcrete dry way allows improve production and safety indicators in advance work, communal artisanal mining Acopalca 2023; The research was entirely governed by the scientific method, the type of research was applied at a descriptive correlational level, non-experimental and longitudinal design; The population and sample were made up of The population is made up of the advancement work of the communal mining company Acopalca. As a result of the research, it is concluded that: It was verified through the technical-economic evaluation of Dry Shotcrete that it directly influences the implementation of the equipment since it offers a series of tangible economic benefits, such as efficiency in the use of materials, reduction of time and labor, less equipment maintenance, greater durability and quality of applications, among others. These factors support a positive cost-benefit assessment when considering this technology for construction projects and similar applications.

**Keywords:** technical economic evaluation, dry Shotcrete, implementation of advance works and artisanal mining

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación determina mediante el análisis que las operaciones mineras artesanales suelen presentar características como prácticas informales, acceso restringido a recursos y diversas condiciones geológicas. Estos desafíos particulares pueden influir en la idoneidad y adaptabilidad de los equipos de hormigón proyectado utilizados en la minería artesanal, lo que justifica la necesidad de investigar su aplicabilidad y eficacia en este contexto.

La introducción de equipos de *shotcrete* implica costos significativos, que incluyen la adquisición de maquinaria, el mantenimiento y la formación de operadores. Evaluar la viabilidad económica y a largo plazo de implementar estos equipos en la minería artesanal es crucial para que mineros y autoridades regulatorias tomen decisiones informadas.

La adopción exitosa de equipos de hormigón proyectado en la minería artesanal depende de la transferencia de tecnología, la capacitación de los mineros locales y la difusión de conocimientos. Es esencial investigar la efectividad de los programas de formación y abordar los desafíos asociados con el desarrollo de capacidades locales para operar estos equipos de manera segura y eficiente.

El impacto poco estudiado en la productividad, derivado de la implementación de equipos de *shotcrete* en entornos de minería artesanal, plantea un vacío de conocimiento sobre las posibles mejoras. Se requieren investigaciones exhaustivas que evalúen cómo estos equipos influyen en métricas como las tasas de extracción de mineral, la estabilidad del túnel y la eficiencia general del trabajo en operaciones de minería artesanal.

Esta investigación tiene como propósito fundamental cerrar la brecha en la comprensión de las implicaciones de la implementación de equipos de *shotcrete* en la minería artesanal. Su propósito es proporcionar conocimientos y pautas valiosas para que mineros, asociaciones mineras, organismos reguladores y organizaciones de desarrollo tomen decisiones informadas sobre la adopción de la tecnología de hormigón proyectado. En última instancia, se esfuerza por mejorar tanto la productividad como los estándares de seguridad en el sector de la minería artesanal, fomentando prácticas de extracción de recursos sostenibles y responsables, al tiempo que mejora el bienestar de los mineros artesanales.

Para una mejor descripción de la investigación esta se desarrolló en cuatro capítulos cuyos contenidos son los siguientes:

El primer capítulo aborda el planteamiento y formulación del problema, donde se presentan tanto el problema general como el específico, seguidos por el objetivo general y específico, junto con la justificación teórica, práctica y metodológica. Además, se exponen la hipótesis general, las hipótesis específicas y se describen las variables de la investigación.

En el segundo capítulo se analizan los antecedentes a nivel nacional e internacional, se revisan las bases teóricas relevantes y se definen los términos básicos necesarios para la comprensión de la investigación.

El tercer capítulo se dedica a la metodología de la investigación, donde se destacan el método general utilizado, el tipo de investigación, el nivel de estudio, el diseño metodológico, así como la descripción de la población y muestra. También se detallan las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

En el cuarto capítulo, resultados y discusión denominado se da a conocer los resultados alcanzados en la investigación.

Por último, se a conocer las conclusiones, recomendaciones, referencia bibliográfica y los anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

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

Las operaciones mineras artesanales suelen presentar características como prácticas informales, acceso restringido a recursos y diversas condiciones geológicas. Estos desafíos particulares pueden influir en la idoneidad y adaptabilidad de los equipos de hormigón proyectado utilizados en la minería artesanal, lo que justifica la necesidad de investigar su aplicabilidad y eficacia en este contexto.

La introducción de equipos de *shotcrete* implica costos significativos que incluyen la adquisición de maquinaria, el mantenimiento y la formación de operadores. Evaluar la viabilidad económica y a largo plazo de implementar estos equipos en la minería artesanal es crucial para que mineros y autoridades regulatorias tomen decisiones informadas.

La adopción exitosa de equipos de hormigón proyectado en la minería artesanal depende de la transferencia de tecnología, la capacitación de los mineros locales y la difusión de conocimientos. Es esencial investigar la efectividad de los programas de formación y abordar los desafíos asociados con el desarrollo de capacidades locales para operar estos equipos de manera segura y eficiente.

El impacto poco estudiado en la productividad, derivado de la implementación de equipos de *shotcrete* en entornos de minería artesanal, plantea un vacío de conocimiento sobre las posibles mejoras. Se requieren investigaciones exhaustivas que evalúen cómo estos equipos influyen en métricas como las tasas de extracción de mineral, la estabilidad del túnel y la eficiencia general del trabajo en operaciones de minería artesanal.

Esta investigación tiene como propósito fundamental cerrar la brecha en la comprensión de las implicaciones de la implementación de equipos de *shotcrete* en la minería artesanal. Su propósito es proporcionar conocimientos y pautas valiosas para que mineros, asociaciones mineras, organismos reguladores y organizaciones de desarrollo tomen decisiones informadas sobre la adopción de la tecnología de hormigón proyectado. En última instancia, se esfuerza por mejorar tanto la productividad como los estándares de seguridad en el sector de la minería artesanal, fomentando prácticas de extracción de recursos sostenibles y responsables, al tiempo que mejora el bienestar de los mineros artesanales.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cuál es el resultado de la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca para su implementación en labores de avance, minera artesanal comunal Acopalca 2023?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la productividad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca?
- b) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la seguridad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía?
- c) ¿Cuál es el resultado de la evaluación del costo - beneficio de la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Establecer el resultado de la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca para su implementación en labores de avance, minera artesanal comunal Acopalca 2023

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Evaluar la productividad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca
- b) Evaluar la seguridad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía.
- c) Evaluar el costo - beneficio de la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación**

##### **a) Social**

La implementación de equipos de *shotcrete* en la minería artesanal puede justificarse socialmente debido a su potencial para mejorar la seguridad, mejorar las oportunidades económicas, reducir el daño ambiental y promover prácticas mineras responsables. Estos beneficios no solo impactan directamente a los mineros artesanales y las comunidades locales, sino que también se alinean con objetivos sociales más amplios de sostenibilidad, seguridad y bienestar. Es esencial planificar y gestionar cuidadosamente la implementación para maximizar estos beneficios sociales y al mismo tiempo minimizar los posibles inconvenientes o riesgos.

##### **b) Justificación metodológica**

La justificación metodológica para la implementación de equipos de *shotcrete* en la minería artesanal pasa por explicar el enfoque sólido y sistemático que sustenta la decisión de utilizar esta tecnología. Es crucial demostrar que la implementación se basa en métodos rigurosos, principios científicos y consideraciones prácticas, por otro lado, el bachiller empleara metodologías propias las mismas que podrán ser empleadas en otras investigaciones de similar problema.

#### **1.3.2 Importancia**

La implementación de un equipo de *shotcrete* vía seca en minería artesanal se justifica por diversas razones fundamentales que van desde mejoras en la eficiencia operativa hasta el incremento de la seguridad en las operaciones.

A continuación, se exponen los argumentos que respaldan esta decisión:

- ✓ Seguridad con la reducción de riesgos: la aplicación de *shotcrete* vía seca minimiza la exposición directa de los trabajadores a sustancias químicas y agentes potencialmente peligrosos presentes en otros métodos. Esto contribuye a la disminución de riesgos ocupacionales y mejora las condiciones de seguridad en las operaciones mineras artesanales.
- ✓ Eficiencia operativa en el proceso rápido y continuo: la aplicación de *shotcrete* vía seca permite una ejecución más rápida y continua en comparación con métodos tradicionales. Esto resulta en un aumento de la productividad y una disminución de los tiempos de inactividad, optimizando la eficiencia operativa en las operaciones mineras artesanales.



- ✓ Menor desperdicio de materiales con las buenas prácticas en la precisión en la aplicación: la tecnología de *shotcrete* vía seca facilita una aplicación precisa del material, reduciendo significativamente el desperdicio de recursos. Esto no solo tiene implicaciones económicas positivas, sino que también contribuye a prácticas más sostenibles y responsables.
- ✓ Adaptabilidad a condiciones geológicas variables y la versatilidad: el equipo de *shotcrete* vía seca es adaptable a diversas condiciones geológicas, lo que es especialmente relevante en minería artesanal donde las características del terreno pueden variar ampliamente. Esta versatilidad asegura una aplicación efectiva en una variedad de entornos.
- ✓ Reducción de costos a largo plazo respecto al menor mantenimiento: aunque la implementación inicial puede implicar costos, a largo plazo, los equipos de *shotcrete* vía seca suelen requerir menos mantenimiento en comparación con otras tecnologías. Esto resulta en ahorros significativos y una mayor rentabilidad a lo largo del ciclo de vida del equipo.
- ✓ Mejora en la calidad de las estructuras en su consistencia con la aplicación: la aplicación de *shotcrete* vía seca garantiza una distribución uniforme del material, lo que contribuye a la creación de estructuras más sólidas y duraderas. Esta mejora en la calidad de las construcciones es esencial para garantizar la estabilidad de los túneles y otras infraestructuras mineras.

En resumen, la implementación de un equipo de *shotcrete* vía seca en minería artesanal se justifica por sus beneficios en términos de seguridad, eficiencia operativa, sostenibilidad, adaptabilidad y rentabilidad a largo plazo. Estos aspectos, combinados, respaldan la toma de decisiones informadas para mejorar las prácticas y condiciones en el sector minero artesanal.

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Delimitación espacial**

La investigación se realizará en:

- ✓ Región : Pasco
- ✓ Provincia : Paucartambo
- ✓ Distrito : Paucartambo
- ✓ Centro poblado : Acopalca
- ✓ Unidad minera : Minera artesanal comunal Acopalca

### **1.4.2 Delimitación temporal**

La investigación será realizada entre los meses de octubre de 2023 a enero de 2024.

### **1.4.3 Delimitación económica**

Los gastos que involucre la realización de la investigación serán cubiertas por los tesistas.

## **1.5 Hipótesis y variables**

### **1.5.1 Hipótesis**

La evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca permite mejorar los indicadores de producción y seguridad en labores de avance, minera artesanal comunal Acopalca 2023

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- a) La evaluación de la productividad permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.
  
- b) La evaluación de la seguridad permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.
  
- c) La evaluación del costo - beneficio permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.

### **1.5.3 Variables**

#### **a) Variable Independiente**

X1: Shotcrete vía seca

- Dimensiones:
  - ✓ Productividad
  - ✓ Seguridad
  - ✓ Costo - beneficio

#### **b) Variable dependiente**

Y1: Labores de avance

- Dimensiones:
  - ✓ Indicadores de productividad
  - ✓ Indicadores de seguridad

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

- Tesis titulada: “*Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya*”. La investigación concluye que ambos sostenimientos fueron sometidos a ensayos a la absorción de energía a los 28 días cumpliendo con los curados respectivos. Los resultados indican que el sostenimiento estructural *shotcrete* con 20 kg/m<sup>3</sup> de fibra metálica + malla está llegando un resultado de absorción de energía 1431.01 Joules. (1) Sostenimiento *shotcrete* con 40 kg/m<sup>3</sup> está llegando un resultado a la absorción de energía de 1500.1 Joules superando al sostenimiento estructural. Además, en ocasiones el agregado proveniente de la cantera de Pachachaca llega con muchos finos, cuando se realizó el ensayo granulométrico se observan que pasa el 5 % con respecto a la malla 200 por lo que nos quiere decir que contiene muchos finos, esto afecta la consistencia del concreto (1). Por lo tanto, se llegó a la conclusión que realizar un sostenimiento con 40 kg/m<sup>3</sup> con fibra metálica es el óptimo ya que se tiene una resistencia a la absorción de energía de 1500.1 Joules superando al sostenimiento con *shotcrete* + malla, así mismo se realizó el ensayo de resistencia a la comprensión a los 28 días el cual nos muestra como resultado  $f'c = 615 \text{ kg/cm}^2$ , mediante el sostenimiento concreto con 40 kg/m<sup>3</sup>, si es posible optimizar el sostenimiento y los costos operativos ya que con este sostenimiento no se instala la malla electrosoldada y la segunda capa de *shotcrete* 1” sobre la malla (1).
- Tesis que lleva por título: “*Aplicación del shotcrete vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el bypass 759 NW, zona Chisay, Compañía Minera Casapalca*”. El objetivo general de la investigación fue determinar la influencia de la aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el By Pass 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca (2). Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *bypass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca (2).
- ✓ Determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el By Pass 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca (2).

De la investigación se concluye:

- ✓ Se recomienda continuar utilizando hormigón proyectado seco como soporte y evitar el colapso de la roca de la compañía minera Casapalca S. A., porque la roca es más adecuada para las necesidades mineras de la empresa debido a factores económicos en sus operaciones. También se recomienda usar solo acelerador de curado libre de álcalis y plastificante Haa MacFree Plus para reducir efectivamente la recuperación elástica, lograr un tiempo de curado inicial corto y una rápida adhesión a la superficie del recubrimiento (2).
- ✓ Se recomienda evaluar continuamente el desempeño del hormigón proyectado, como rugosidad, rebote, desperdicio del tanque de almacenamiento y el porcentaje de compactación del hormigón proyectado para lograr una menor tasa de rebote. Además, se recomienda trabajar con un 20 % de *shotcrete* sacrificio al momento del lanzado de *shotcrete* en avanzada, finalmente se recomienda tener un mayor control en los procesos de dosificación de la mezcla de *shotcrete*, lo recomendable es trabajar con 7" de Slump para poder obtener una buena velocidad de compactación y menor tiempo de fraguado, alcanzando una efectividad mayor a un 90% (2).
- ✓ Se recomienda aumentar la presión del aire en al menos 6 bar, ya que durante el ensayo se observa una presión de 2,5 bar, lo que provocará la caída de la capa de hormigón proyectado y un rebote excesivo por mala adherencia, también, buen control de la temperatura de mezcla (17 a 21 °C) y sedimentación de la mezcla (7 pulgadas) (2).
- ✓ Dado que las tareas permanentes y temporales (en la fase de profundización y desarrollo) requieren un mantenimiento constante, se recomienda calcular la implementación de la máquina de *shotcrete* para cumplir con todos los requisitos para la operación a largo plazo. Finalmente, debido a la falta de apoyo de la misión y la mayoría de las misiones que necesitan ser reparadas, se recomienda realizar una evaluación geomecánica continua (2).

- Tesis titulada: “*Aplicación de shotcrete vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 para mejorar los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A.*”. El objetivo general que se planteo fue determinar que la aplicación de shotcrete vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 mejora los procesos de sostenimiento y seguridad - Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S. A. A. (3).

El objetivo general que se planteo fue:

- ✓ Determinar que la aplicación de *shotcrete* vía seca hace cumplir los estándares de sostenimiento del nivel 1320 (3).
- ✓ Determinar que la aplicación del *shotcrete* vía seca controla los riesgos y peligros en el nivel 1320 (3).

Producto de la investigación se formuló las siguientes conclusiones:

- ✓ La aplicación de *shotcrete* vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 mejora positivamente los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A. ya que la zona de rehabilitación del nivel 1320 se encuentra a más de 80 metros de la superficie se concluye que para una resistencia a la rotura de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se requiere aire comprimido a razón de 600 cfm, con una cantidad mínima de agua de 0,10 l/s con una presión superior a 43 psi de acuerdo con *shotcrete*, con una corriente alterna de 440 voltios. Se tiene un rebote del 21,1% lo cual es menor que al 40% estimado como máximo para paredes verticales, inclinadas y hastiales. Teniendo *shotcrete* para 2 m de avance lineal un volumen de 1,434 m<sup>3</sup> (3).
- ✓ La aplicación de hormigón proyectado vía seca cumple con el estándar de soporte de nivel 1320. Teniendo en cuenta la velocidad y la eficacia del hormigón proyectado como herramienta básica para el apoyo de ingeniería subterránea, este es un factor importante en el control de deslizamientos. Profundización del apoyo preventivo en las labores mineras (3).
- ✓ La aplicación de *shotcrete* vía seca vigila y reduce los riesgos y peligros del nivel 1320, al implementar la mejora del sistema de apoyo de hormigón proyectado, acorde a la velocidad de ejecución de las obras subterráneas, permitirá una mayor versatilidad y dinamismo, lo que significa optimización. aplicación de velocidad de minado y sistema de apoyo combinado en el proyecto: split set, malla electrosoldada y hormigón proyectado en el frente de labor (roca) de calidad normal a incompetente, habrá considerable seguridad en el trabajo y menor riesgo de generación de desprendimientos (3).

- Tesis titulada: “*Mecanización del lanzado de shotcrete para optimizar rendimiento del sostenimiento en sociedad minera Corona S.A – Yauricocha*”. El objetivo general fue mecanizar el lanzado de *shotcrete* para optimizar el rendimiento del sostenimiento en Sociedad Minera Corona S.A. – Yauricocha (4).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar cómo influyen los equipos en el lanzado de *shotcrete* para optimizar el rendimiento del sostenimiento en Sociedad Minera Corona S.A. – Yauricocha (4).
- ✓ Determinar cuánto influye la planta de *shotcrete* para optimizar el rendimiento del sostenimiento en Sociedad Minera Corona S.A. – Yauricocha (4).

Las conclusiones fueron:

- ✓ Se consiguió optimizar la eficiencia del lanzado de shotcrete vía húmeda, gracias a la mecanización se incrementó el lanzado de shotcrete de 710 m<sup>3</sup>/mes a 1073 m<sup>3</sup>/mes con calidad, duración y resistencia del shotcrete adherido que necesita el macizo rocoso, empleando una dosificación adecuada de materiales de shotcrete en el procedimiento de preparación y diseño de la mezcla (4)
- ✓ Se implementó equipos para la mina: Robot Alpha 20 y los Mixer Tornado S2 de 4 m<sup>3</sup>, lo cual favorece la mecanización del lanzado de shotcrete y reduce el riesgo de exposición a accidentes a los trabajadores. Esto acelera el ciclo de minado con los equipos para mejorar la producción (4).
- ✓ Se disminuyó el porcentaje de rebote en el lanzado de *shotcrete* gracias a la implementación de la planta de *shotcrete*, puesto que la separación de insumos en el proceso de dosificación de concreto fue el control de calidad en la operación de este sistema y la utilización de un diseño de mezcla, reduciendo así el rebote de 12.5% a 11.6% considerando también la correcta aplicación de las técnicas de lanzado de *shotcrete* (4).
- ✓ La mejora continua del sistema de sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda es consecuencia de utilizar indicadores de rendimiento alto como presión y caudal de aire apropiados (4).
- ✓ El sistema de control de calidad en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda previene: “variaciones en el lanzado, ya que lanzando de 30 a 35 m<sup>3</sup> de *shotcrete* por guardia garantiza la seguridad en la operación y permite cumplir con la producción programada (4).

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Introducción

En el último siglo, el uso del hormigón proyectado ha reemplazado de manera significativa los métodos tradicionales empleados en la construcción de revestimientos para túneles, convirtiéndose en un elemento crucial para la estabilización de secciones excavadas en túneles. En la construcción moderna de túneles, prescindir del hormigón proyectado es prácticamente inconcebible. La denominación "hormigón proyectado" abarca diversos elementos que componen una tecnología integral:

- ✓ El hormigón proyectado, también conocido como shotcrete, como material. (5 pág. 7)
- ✓ La colocación de hormigón proyectado o shotcrete como el proceso de aplicación. (5 pág. 7)
- ✓ El hormigón proyectado o shotcrete como el método de construcción. (5 pág. 7)

Estos tres componentes definen una tecnología completa con una tradición consolidada, un considerable potencial de innovación y un futuro prometedor. (5 pág. 7)

El diseño de mezcla del hormigón proyectado, proyectado como material, se determina según los requisitos específicos de la aplicación y los parámetros establecidos. En términos generales, esto implica una reducción en la gradación máxima de partículas a 8 mm, un mayor contenido de ligante y la inclusión de aditivos especiales destinados a controlar las propiedades del material. (5 pág. 7)

El uso inicial del hormigón proyectado se remonta a 1914, y a lo largo de las últimas décadas, ha experimentado un desarrollo constante y mejoras continuas. (5 pág. 8)

En la actualidad existen dos procesos distintos de proyectado de hormigón: (5 pág. 8)

- Proyectado en seco
- Proyectado húmedo

Los elementos clave que se deben cumplir en la composición de la mezcla incluyen su capacidad de ser manejada, ya sea para aplicaciones de bombeo o proyección, y su durabilidad. Estos requisitos principales son los siguientes: (5 pág. 8)

- Alto nivel de resistencia temprana
- Características correctas de fraguado
- Trabajabilidad amistosa para el usuario
- Largos tiempos abiertos
- Buena capacidad de bombeo (entrega de flujo denso)

- Buena rociabilidad (maleabilidad)
- Mínimo rebote y polvo

### **2.2.2 Proceso de aplicación**

El procedimiento de aplicación del hormigón proyectado refiere al método de instalación de este material. Después de su producción, el hormigón se transporta al equipo de procesamiento mediante medios convencionales. (5 pág. 8)

En el lugar de uso, ya sea a través de tubos o mangueras selladas que resisten la presión excesiva, el hormigón o mortero proyectado se aplica rociándolo sobre la superficie y se compacta (5 pág. 8).

Durante esta fase del proceso, se emplean los siguientes métodos de aplicación:

- Proceso de flujo denso para el hormigón proyectado húmedo (5 pág. 8).
- Proceso de flujo diluido (thin Flow process) para el hormigón proyectado seco (5 pág. 8).
- Proceso de flujo diluido para el hormigón proyectado húmedo (5 pág. 8).

Antes de ser proyectado, el hormigón atraviesa la boquilla a alta velocidad, donde se forma el chorro y se incorporan otros elementos relevantes que constituyen la mezcla, como el agua en el caso del hormigón proyectado seco, el aire comprimido en el proceso de flujo denso, y los acelerantes del hormigón proyectado cuando se requieren (5 pág. 8).

Posteriormente, la mezcla del hormigón proyectado se expulsa sobre el sustrato a alta presión, compactándolo de manera tan eficaz que se forma instantáneamente una estructura de hormigón completamente compactado (5 pág. 8).

La aplicación del hormigón proyectado puede realizarse a cualquier altura, incluida la aplicación en superficies elevadas (overhead), según la velocidad de proyección del material (5 pág. 8).

El uso del hormigón proyectado abarca diversas aplicaciones. Tanto el hormigón como el mortero proyectado son empleados en la reparación de estructuras de hormigón, la construcción de túneles y operaciones mineras, la estabilización de taludes, así como en proyectos arquitectónicos de diseño artístico. El hormigón proyectado ofrece varias ventajas notables: (5 pág. 8)



- Puede aplicarse a cualquier altura, ya que se adhiere instantáneamente y sostiene su propio peso (5 pág. 8).
- Es apto para aplicarse sobre sustratos irregulares (5 pág. 8).
- Exhibe una excelente adherencia con el sustrato (5 pág. 8).
- Permite una configuración totalmente flexible del espesor de la capa en el lugar de aplicación (5 pág. 9).
- La ejecución de trabajos en hormigón sin la necesidad de encofrados (5 pág. 9).
- Es posible mediante la utilización de hormigón proyectado reforzado, ya sea con malla o fibra, esto permite la obtención rápida de una capa superficial con capacidad de carga, prescindiendo de encofrados y largos períodos de espera (5 pág. 9).

Cabe resaltar que aunque el hormigón proyectado representa un método de construcción flexible, económico y veloz, su implementación demanda un elevado nivel de mecanización y la participación de trabajadores especializados como componentes esenciales (5 pág. 9).



*Figura 1. Shotcrete proyectado en seco  
Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

### **2.2.3 Usos del shotcrete**

La utilización de hormigón proyectado se extiende a diversos tipos de proyectos, siendo beneficiosos su flexibilidad y economía para construcciones tanto en superficie como en el subsuelo (5 pág. 10).

Este material encuentra ventajas significativas en la edificación de túneles, construcciones subterráneas especiales y, de hecho, en todos los ámbitos de la industria de la construcción. (5 pág. 10)

Los siguientes usos son comunes:

- ✓ Estabilización de excavaciones en construcción de túneles y obras subterráneas.

- ✓ Revestimientos de túneles y cámaras subterráneas.
- ✓ Estabilización en la construcción de minas y galerías.
- ✓ Reparaciones de hormigón (reemplazo y fortalecimiento del hormigón).
- ✓ Restauración de edificaciones históricas (estructuras de piedra).
- ✓ Trabajos de sellado estabilización de pendientes y trincheras.
- ✓ Revestimientos de protección cursos de desgaste.
- ✓ Estructuras especiales ligeras para portar carga.
- ✓ Aplicaciones creativas.
- ✓ Construcción de cámaras de almacenamiento de líquidos.

En cuanto a su relevancia, la construcción de túneles, la minería y las reparaciones de hormigón ocupan una posición destacada (5 pág. 10).

En la construcción de túneles y actividades mineras, el hormigón proyectado se utiliza principalmente para la excavación, estabilización, así como para revestimientos temporales y permanentes de arcos. Además, se emplea en todas las demás obras que requieran el uso apropiado de hormigón (5 pág. 10).

En ocasiones, se utiliza hormigón proyectado para llenar grandes cavidades, la posición predominante del hormigón proyectado como principal método en construcciones de hormigón, junto con revestimientos de segmentos de túneles y anillos interiores de hormigón, ha sido confirmada y fortalecida con el tiempo. Sin embargo, las limitaciones de su uso se encuentran en las interfaces técnicas y económicas con otros procesos de hormigón y métodos de construcción (5 pág. 10).



*Figura 2. Estabilidad de excavaciones con shotcrete  
Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

### **a) Tipos de construcciones**

El uso del hormigón proyectado abarca todas las áreas relacionadas con la construcción de túneles, ya sea en túneles destinados a carreteras o ferrocarriles, sistemas de drenaje, estructuras militares subterráneas o la estabilización de taludes. Ya sea para la construcción de túneles debajo de edificaciones o para superar obstáculos en las vías, la elección del método de construcción se basa en las propiedades de carga y la estabilidad del sustrato que atraviesa el túnel. La diferencia principal radica entre la excavación total de un tramo en una única operación y la excavación parcial mediante diversos métodos y encofrados. Cuando no es factible realizar una excavación completa debido a la estabilidad de la roca, es común realizar la excavación del perfil final en varias fases (5 pág. 11).

Este método se utiliza en construcciones subterráneas debido a las elevadas tensiones que a menudo se ejercen sobre la estabilización y el revestimiento recién colocados en una excavación. La deformación predeterminada del tramo excavado se permite con frecuencia antes de aplicar un sellado no positivo a la estabilización, distribuyendo así las fuerzas de tensión alrededor del tramo excavado y la cara de la excavación (5 pág. 11).

### **b) Tipos de construcciones**

El hormigón proyectado encuentra aplicación en diversas áreas de la construcción de túneles, abarcando desde túneles viales y ferroviarios hasta proyectos de drenaje, estructuras militares subterráneas y estabilización de taludes. Ya sea para la construcción de túneles debajo de edificaciones o para superar obstáculos en carreteras, la elección del método de construcción se basa en las propiedades de carga y la estabilidad del sustrato atravesado por el túnel. La diferencia clave radica entre la excavación total de un tramo en una única operación y la excavación parcial, que implica el uso de diversos métodos y encofrados (5 pág. 11).

Cuando la estabilidad de la roca impide una excavación completa, se opta con frecuencia por excavar el perfil final en varias fases. La utilización del hormigón proyectado en construcción subterránea se justifica debido a las tensiones significativas que a menudo actúan sobre la estabilización y el revestimiento recién colocados en una excavación. Se permite la deformación predeterminada del tramo excavado, y la estabilización recibe un sello no positivo solo después de este proceso. Esto resulta en la distribución de fuerzas de tensión alrededor del tramo excavado y en la cara de la excavación (5 pág. 11).

### **c) Estabilización**

El hormigón proyectado se presenta como un material ideal para estabilizar excavaciones debido a sus características únicas. Su flexibilidad permite seleccionar el espesor de aplicación,

la formulación del material con fibras, un rendimiento destacado, y el desarrollo rápido de resistencia tanto en condiciones secas como húmedas. Además, la posibilidad de reforzarlo con fibra y acero lo convierte en una solución completa para la estabilización en excavaciones (5 pág. 12).

La distinción entre excavación completa y parcial, basada en la capacidad de carga y la estabilidad del sustrato, se hace evidente (5 pág. 12).

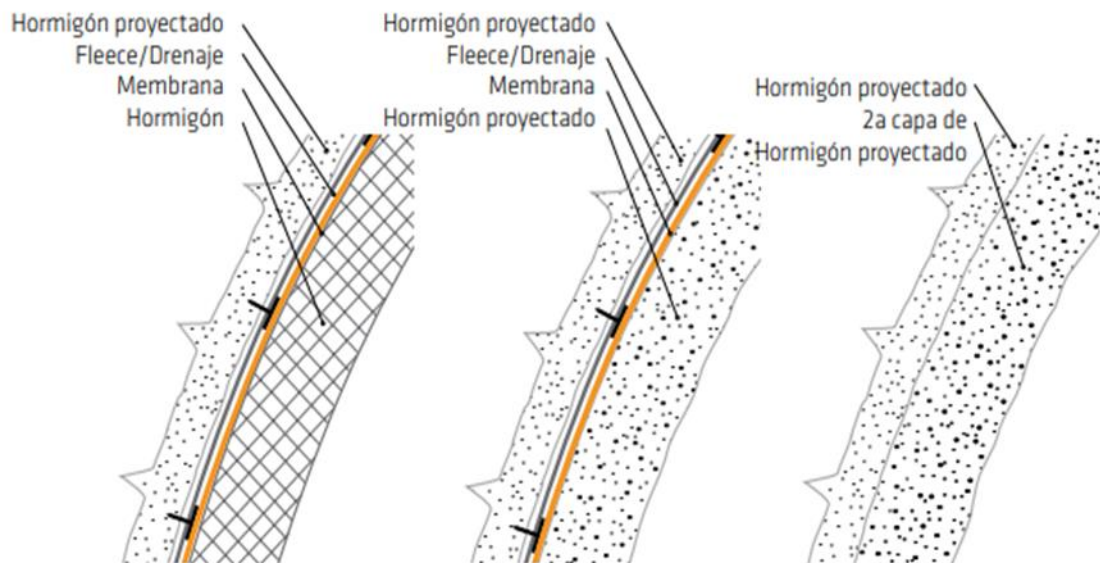
El proceso de excavación puede llevarse a cabo mediante perforación y voladuras o métodos mecánicos. Siguiendo el conocido dicho en construcción de túneles de "Está oscuro frente a la pica", a menudo se realizan perforaciones preliminares o túneles piloto antes de la construcción principal, especialmente en condiciones de terreno difíciles (5 pág. 12).

Estos túneles exploratorios pueden integrarse posteriormente a la excavación principal o utilizarse como túneles paralelos para diversos propósitos. En todas estas aplicaciones, el hormigón proyectado se emplea para estabilización cuando la cara excavada no es lo suficientemente estable. Permite la construcción rápida de una delgada capa base en forma de piel fina (5 pág. 12).

En casos donde la capacidad de carga del hormigón proyectado no es suficiente, es posible reforzarlo con fibra y acero. (5 pág. 12)

Al utilizar anillos de acero y malla, el hormigón proyectado adquiere propiedades tipo celosía o entramado entre las vigas. Mediante pernos, las propiedades de carga de la piel de hormigón proyectado pueden vincularse a las del sustrato cercano a la excavación (5 pág. 12).

En situaciones de alta penetración de agua y fraccionamiento intenso de la roca, la inyección e impermeabilización preliminar con gunita y canales de drenaje crean las condiciones necesarias para aplicar la capa de hormigón proyectado (5 pág. 12).



*Figura 3. Revestimiento de tuneles  
Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

#### **d) Revestimiento**

La referencia duradera y visible del contratista de un túnel es su revestimiento final, excepto en el caso de revestimientos con paneles. Tanto el hormigón proyectado como el revestimiento de hormigón se utilizan con el objetivo de obtener un acabado final perdurable (5 pág. 14).

Cuanto más altas sean las exigencias en términos de uniformidad en el acabado del hormigón, existe una mayor probabilidad de emplear un revestimiento estructural de hormigón con encofrados de anillos internos (5 pág. 14).

Los acabados interiores logrados mediante encofrados también se consideran estéticamente superiores. Aunque la implementación de este revestimiento implica nuevas y amplias instalaciones, los costos pueden compensarse mediante la eficiencia de los anillos internos de hormigón, dependiendo de la longitud del proyecto (5 pág. 14).

Este proceso requiere moldes masivos para los anillos internos y tecnología mecanizada para suministrar el hormigón, compactarlo y movilizar los encofrados. En comparación, el hormigón producido de manera convencional demanda un considerable esfuerzo de compactación, ya que los revestimientos de hormigón suelen tener un grosor de pared significativo (5 pág. 14).

La dificultad generalmente asociada al acceso conlleva la utilización de vibradores de encofrados, aunque su capacidad se ve limitada en profundidad, haciéndolos intensivos en mano de obra y propensos al desgaste, generando, además, contaminación adicional debido al ruido. Una innovación destacada consiste en la aplicación de hormigón autocompactante

(SCC), el cual elimina la necesidad de compactación mecánica y presenta una consistencia de flujo libre que facilita el llenado completo de estos encofrados (5 pág. 15).

Cuando los estándares de uniformidad no son altos, también es apropiado utilizar hormigón proyectado para los revestimientos finales. Antes de instalar la membrana impermeable, la superficie del hormigón proyectado se nivela con frecuencia para lograr la mayor suavidad posible, empleando un tipo de hormigón proyectado más fino (gunita). Esto mejora considerablemente las condiciones para la colocación de membranas impermeables sin arrugas ni pliegues (5 pág. 15).

**Tabla 1. Comparación para revestimientos (hormigón proyectado versus hormigón)**

| Revestimiento durable final<br>(método de construcción) | Ventajas del método seleccionado   |
|---|--|
| Revestimiento con hormigón proyectado                   | <p>Utilización de la instalación actual mediante la aplicación de hormigón proyectado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorece una mayor eficiencia económica en túneles de menor longitud.</li> <li>• No implica la necesidad de implementar instalaciones adicionales.</li> </ul> <p>Mediante la aplicación del revestimiento final junto con la estabilización:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se logra un ahorro significativo al evitar la ejecución de una operación completa.</li> </ul>      |
| Revestimiento interno de hormigón                       | <p>Superficie de hormigón lisa y uniforme:<br/>Menor resistencia al aire (mejora la ventilación).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones de iluminación más favorables.</li> <li>• Aspecto más atractivo.</li> <li>• Facilita la reparación de instalaciones. La omisión del proceso de proyectado evita irregularidades en el hormigón. Sin la necesidad de cumplir con el requisito de "resistencia muy temprana", se amplían las opciones para la mezcla de hormigón en términos de durabilidad.</li> </ul> |

*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

*Nota:* Comparación de métodos usados para revestimientos (hormigón proyectado versus hormigón).

## 2.2.4 Materiales del hormigón proyectado

El concreto consiste en un sistema que integra tres materiales: cemento, agregados y agua. Para ampliar sus propiedades y posibles aplicaciones, se puede transformar fácilmente en un sistema de cinco componentes, generando interacciones complejas, especialmente al combinarse con los parámetros de aplicación del concreto proyectado. Por lo tanto, al trabajar con concreto proyectado, es crucial no modificar más de un parámetro a la vez durante la fase de prueba. Solo una solución que sea técnicamente adecuada y económicamente viable será capaz de satisfacer a todas las partes involucradas (5 pág. 16).

### a) Cemento

En la mezcla de concreto proyectado, el cemento cumple la función de "pegamento", uniendo e incorporando partículas de agregados en la matriz del cemento. La cal presente en el cemento actúa como el principal lubricante durante la aplicación del concreto proyectado. Aunque el cemento contribuye al fraguado hidráulico y, por ende, a las propiedades mecánicas del concreto fraguado, su papel va más allá de su función en el concreto estructural estándar (5 pág. 16).

Para el concreto proyectado, el cemento debe iniciar el fraguado de manera extremadamente rápida, ofrecer una excelente adherencia y poseer una resistencia temprana muy elevada (5 pág. 16) a.

Cementos que no reaccionan eficazmente al combinarse con acelerantes de fraguado o aditivos de reacción lenta en cementos compuestos no son adecuados para la producción de concreto proyectado utilizado en operaciones de estabilización. El contenido de cemento generalmente oscila entre 300 - 450 kg/m<sup>3</sup> y varía según el proceso de proyección y los requisitos específicos del concreto proyectado. (5 pág. 16)

### b) Aditivos

Los aditivos desempeñan diversos roles en el concreto proyectado, atendiendo a una variedad de requisitos y, por ende, exhiben características distintas, como: (5 pág. 16)

- Complementar el equilibrio de finos  $\leq 0.125$  mm, actuando como relleno.
- Mejorar propiedades específicas de durabilidad, como la resistencia a solventes u otras fuerzas.
- Incrementar la capacidad de retención de agua para estabilizar la mezcla.
- Reducir la presión de bombeo durante la entrega, funcionando como lubricante.

- Reemplazar componentes del cemento para optimizar costos, como acelerar el desarrollo de una elevada resistencia temprana, es una práctica común.
- Se utilizan diversos tipos de finos en este proceso.

Un criterio crucial en la elección de aditivos es la consideración económica, que se ve influenciada por la disponibilidad local de los finos en cuestión. Por este motivo, se tiende a preferir diferentes clases de aditivos en distintas ubicaciones (5 pág. 16).

**Tabla 2. Efectos de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero**

| Efecto             | Tipo de adiciones  | Comentarios  |
|--------------------|--|--|
| Hidráulico         | Cemento  | El tipo y la calidad del cemento afectan la trabajabilidad y el desarrollo de resistencia.   |
| Hidráulico latente | GGBS (Inerte)<br>Cenizas volantes (tipo W)   | Desaceleran el desarrollo de resistencia y aumentan la durabilidad.  |
| Puzolánico         | Humos de sílice<br>Cenizas volantes (tipo V)<br>GGBS (Inerte)<br>Cenizas volantes (tipo W) | Mejoran la durabilidad, aumentan la adherencia (bonding) y con ello, las propiedades mecánicas. Reducen el pH del agua en los intersticios del hormigón; por lo tanto, la cantidad empleada debe ser limitada. |
| Inerte             | Relleno de piedras (por ej., relleno de piedra caliza)                                     | No desarrollan resistencia por sí solas, pero ayudan al mejorar la matriz de partículas.   |

*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

*Nota.* Efectos de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero.

#### **a) Humos de sílice**

Reemplazar fracciones del cemento con humo de sílice, como parte de una estrategia de optimización de costos, implica el uso de SiO<sub>2</sub> amorfo, un subproducto de la producción de silicio (5 pág. 17).

Este material cuenta con una superficie específica considerable y es altamente reactivo, lo que lo hace técnicamente adecuado para diversos requisitos (5 pág. 17).

Su incorporación no afecta negativamente la resistencia temprana del concreto. Aunque el humo de sílice es el aditivo ideal, su costo es significativamente elevado (5 pág. 17).



### b) Cenizas volantes

Las cenizas volantes se derivan de los filtros eléctricos utilizados en la generación de energía mediante carbón pulverizado (5 pág. 17).

Son económicas y exhiben propiedades de trabajabilidad notables. Además, son adecuadas para satisfacer requisitos específicos de durabilidad. La homogeneidad del producto es un aspecto crucial en relación con las cenizas volantes (5 pág. 17).

### c) Escoria

La escoria se produce durante el proceso de fundición del mineral de hierro, aunque es una opción económica y funciona muy bien como relleno, su incorporación disminuye las propiedades de resistencia temprana. En muchos casos, la durabilidad del concreto proyectado puede beneficiarse de la adición de escoria (5 pág. 17).

**Tabla 3. Características de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero**

| Características                            | Cemento | Humos de sílice | Cenizas volantes | Escoria | Relleno de piedra |
|--|---------|-----------------|------------------|---------|-------------------|
| <b>Hormigón fresco</b>                     |         |                 |                  |         |                   |
| Manejo                                     | ++      | ++              | +++              | +       | +++               |
| Capacidad de retener agua                  | ++      | +++             | +                | +       | ++                |
| <b>Desarrollo de resistencia</b>           |         |                 |                  |         |                   |
| Resistencia inicial muy temprana hasta 4 h | +++     | +               | -                | -       | +/-               |
| Resistencia temprana hasta 12 h            | ++      | ++              | -                | -       | +/-               |
| Resistencia final                          | ++      | +++             | ++               | +++     | +/-               |
| <b>Durabilidad</b>                         |         |                 |                  |         |                   |
| Resistencia a la penetración de agua       | ++      | +++             | ++               | ++      | +                 |
| Resistencia al sulfato                     | -       | ++              | +/-              | +++     | +/-               |
| Resistencia ASR                            | -       | +/-             | +/-              | +++     | +/-               |
| + mejora – deterioro                       |         |                 |                  |         |                   |

*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

*Nota.* Características de los aditivos en el hormigón proyectado y el mortero.

### **c) Agregados**

Los agregados, que son partículas de piedra, constituyen la estructura principal de la matriz del concreto proyectado, ocupando aproximadamente el 75 % del volumen total del hormigón, con componentes de arena y gravilla (5 pág. 18).

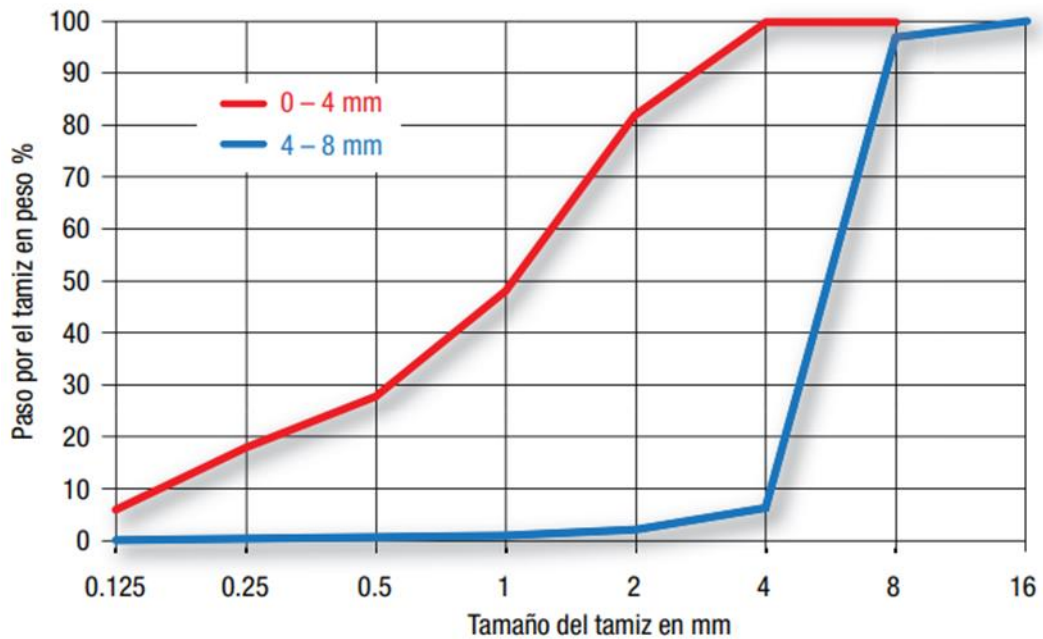
La composición geológica de los agregados tiene un impacto significativo en la trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido (5 pág. 18).

Estos desempeñan diversas funciones esenciales: (5 pág. 18)

- Son el parámetro más influyente en la homogeneidad de la mezcla de concreto proyectado. (5 pág. 18)
- Sirven como el factor inicial que determina las necesidades de agua.
- Actúan como un relleno económico en la matriz del concreto proyectado.
- Contribuyen a lograr las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tensión en la flexión y a la compresión.
- Ejercen una fuerte influencia en la trabajabilidad de la mezcla, considerando la forma de las partículas y la presencia de finos.
- Tienen un impacto significativo en la durabilidad requerida, afectando la porosidad y pureza del concreto.

Debido a todas estas razones, se le debe otorgar la máxima prioridad a la selección de agregados, aunque lamentablemente esto no siempre sucede. Pequeños cambios en el contenido de finos de  $\leq 0.125$  mm pueden convertir una mezcla inicialmente fácil de trabajar en otra que resulta imposible de bombear. Además, si el porcentaje de componentes blandos en los agregados es demasiado alto, puede comprometerse por completo la resistencia a la congelación (5 pág. 18).

En términos generales, las curvas de distribución de gradación con un tamaño máximo de partícula de agregados de 16 mm son apropiadas en la tecnología del concreto, pero durante la aplicación del concreto proyectado, se observan ventajas en tamaños de partícula de hasta 8 mm (5 pág. 18).



*Figura 4 Distribución del tamaño de las partículas de los componentes individuales Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

#### **d) Contenido de finos**

El contenido de finos comprende: (5 pág. 19)

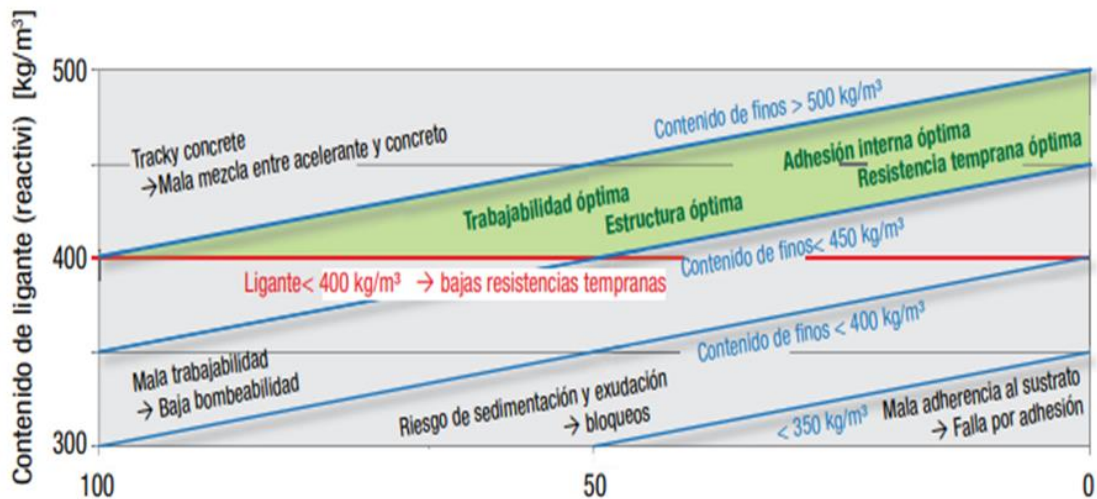
- El cemento
- El porcentaje granulométrico de 0 a 0.125 mm de los agregados
- Cualquier aditivo de hormigón

Su función principal es actuar como agente cohesionante en el concreto fresco, mejorando la trabajabilidad y la retención de agua (5 pág. 19).

Esto reduce el riesgo de separación de la mezcla durante la colocación y facilita el proceso de compactación (5 pág. 19).

Sin embargo, un contenido de finos excesivamente alto puede resultar en un concreto pastoso y pegajoso. También puede dar lugar a una mayor contracción, así como a una tendencia al cambio dimensional y al alabeo debido al aumento del contenido de agua (5 pág. 19).

Las siguientes cantidades (color verde) han presentado los mejores resultados: (5 pág. 19)



**Figura 5. Influencia del contenido de finos en el diseño de la mezcla de hormigón proyectado [shotcrete] (con agregados de 0 – 8 mm)**  
 Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf

### e) Agua

El ingreso de agua al concreto proyectado ocurre tanto como agua añadida durante su producción como humedad inherente del agregado. La consistencia, o plasticidad, de la mezcla se regula mediante el control del agua y la incorporación de aditivos específicos para el concreto proyectado (5 pág. 20).

Es crucial que el agua utilizada en la mezcla no contenga componentes que puedan retardar o acelerar la hidratación, siendo estos principalmente: (5 pág. 20)

- ✓ Aceite y grasa
- ✓ Cloruros
- ✓ Sulfatos
- ✓ Azúcar
- ✓ Sal
- ✓ Aguas que fluyen naturalmente, como agua subterránea, agua de lluvia y agua de ríos y lagos, son generalmente apropiadas.
- ✓ No se recomienda el uso de agua de mar debido a su alto contenido de cloruros.

En términos generales, el agua potable suele ser adecuada para la producción de concreto proyectado (5 pág. 20).

## f) Aditivos

Los aditivos desempeñan un papel crucial al mejorar o modificar propiedades del hormigón que resultan difíciles o insuficientemente controlables mediante el cemento, los agregados y el agua (5 pág. 20).

Durante el proceso de proyectado, también se introducen aditivos para regular el inicio del fraguado. La inclusión de aditivos transforma al hormigón en un sistema complejo compuesto por diversos materiales (5 pág. 20).

En el concreto proyectado, los aditivos se añaden como un porcentaje del peso del cemento o ligante, generalmente en un rango que oscila entre el 0.5% y el 7.0%. Esto equivale a cantidades que van desde 2 hasta 32 kg/m<sup>3</sup>, representando fracciones mínimas del volumen total del hormigón (5 pág. 20).

Todos los aditivos se incorporan durante la producción del hormigón en la planta mezcladora, posteriormente a la medición inicial del agua (5 pág. 20).

La principal excepción es los superfluidificantes y acelerantes, que se añaden justo antes del proceso de proyectado (5 pág. 20).

**Tabla 4. Especificaciones para el uso de aditivos con hormigón y mortero proyectado (5)**

| Especificaciones para el hormigón proyectado | Parámetros de control        | Aditivos de hormigón para lograr los objetivos |
|--|------------------------------|--|
| Resistencia a la compresión                  | Características del fraguado | Aditivos                                       |
| Resistencia a la flexión                     |                              | Reductores de agua                             |
| Durabilidad                                  |                              | Refuerzo con fibra                             |
| Bombeabilidad [pumpability]                  | Trabajabilidad               | Agentes de curado                              |
| Rociabilidad [sprayability]                  |                              | Aditivos                                       |
| Configuración de proyectado                  |                              | Estabilizadores de hidratación                 |
| Desarrollo de resistencia [strength]         | Fraguado y endurecimiento    | Reductores de agua                             |
| Tiempo de trabajo                            | Tiempo abierto               | Acelerantes de hormigón proyectado             |
|  |                              | Reductores de agua                             |
|  |                              | Retardadores de fraguado                       |
|  |                              | Retenedores de asentamiento [slump keeper]     |

*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

### **g) Acelerante de fraguado y endurecimiento para Shotcrete**

La química de los acelerantes líquidos sin álcali ha pasado a ser la norma en aplicaciones de hormigón proyectado en todo el mundo, gracias a sus ventajas tanto en términos de aplicación como en su impacto ambiental, la salud y la seguridad industrial (EH&S) (5).

Estos productos, que se basan en soluciones acuosas o suspensiones de compuestos de sulfato de aluminio, son fáciles de manejar, especialmente en términos de dosificación constante, y garantizan un desarrollo adecuado de la resistencia temprana y propiedades óptimas en el hormigón proyectado. (5)

En cuanto al término "libre de álcalis", es crucial distinguir entre los aspectos químicos involucrados y el efecto del producto en las propiedades del hormigón proyectado derivadas de estos aspectos. (5)

#### **➤ Alcalinidad**

El nivel básico o pH de los acelerantes es bajo, típicamente alrededor de pH 3.0. Esta característica principalmente impacta la salud y la seguridad industrial durante la aplicación, ya que los tejidos humanos son más susceptibles a líquidos altamente alcalinos que a ácidos débiles (5).

Los acelerantes libres de álcalis tienen un pH similar al de las bebidas gaseosas como la Coca-Cola y los jugos de frutas, lo cual se encuentra en el rango de ácidos débiles (pH 2.4 - 3.0) (5).

Esto implica una menor amenaza para la salud y la seguridad durante su manipulación (5).

#### **➤ Iones de álcalis**

La presencia de iones alcalinos, como sodio y potasio, influye en las características del hormigón. A medida que aumenta la concentración de estos iones, la resistencia y durabilidad del hormigón proyectado disminuyen. (5)

#### **➤ Química del hormigón proyectado acelerado libre de álcalis**

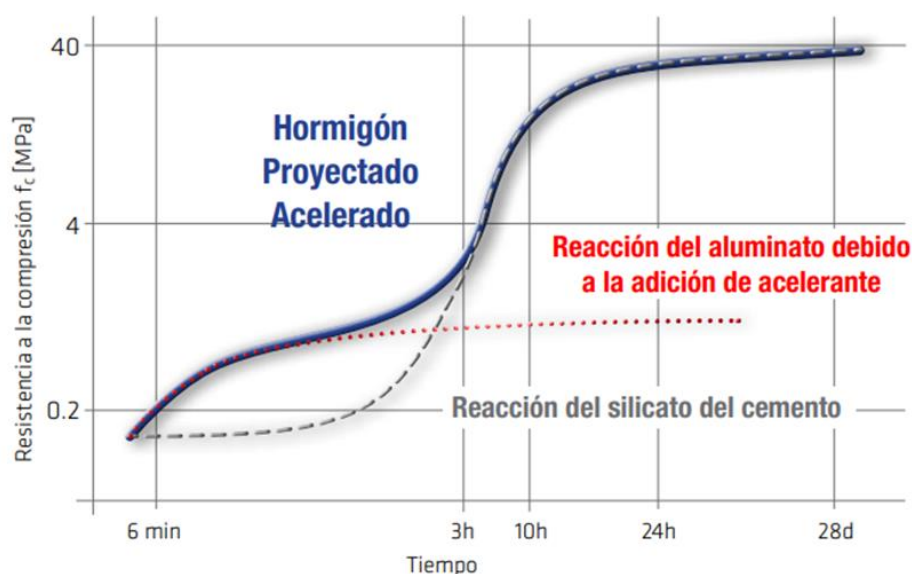
El hormigón proyectado presenta exigencias particulares debido a su método específico de aplicación: mientras que el hormigón fresco requiere una alta trabajabilidad, como en su capacidad de asentamiento y bombeabilidad, las propiedades requeridas para el hormigón proyectado son completamente diferentes (5).

Se busca obtener una resistencia inmediata para que las capas de hormigón proyectado, que pueden ser bastante gruesas y aplicadas en áreas elevadas, sean lo suficientemente robustas como para soportar su propio peso (5).

Cualquier demora en el proceso de hidratación del cemento podría resultar en un colapso tardío del hormigón proyectado, debido a fenómenos como el desplazamiento o la infiltración de agua (5).

Las características más críticas del hormigón proyectado acelerado, como el fraguado y el endurecimiento temprano, se logran mediante dos reacciones químicas principales inducidas por los acelerantes libres de álcalis, que están basados en sulfatos e hidroxisulfatos de aluminio (5).

Aunque estas reacciones generalmente ocurren de manera secuencial, con una seguida de la otra, también se produce un solapamiento e interferencia química entre ellas (5).



**Figura 6. Resistencia temprana, afectan negativamente las siguientes propiedades finales del hormigón**  
*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

#### **h) Reductores de agua de alto rango**

Junto con los acelerantes para hormigón proyectado, los superplastificantes, también conocidos como reductores de alto rango de agua, representan el aditivo más crucial para el hormigón proyectado húmedo (5).

Para lograr una utilización efectiva de los acelerantes de hormigón proyectado, es necesario controlar el contenido de agua en el hormigón fresco. Aunque la máxima relación agua-ligante (w/b) suele establecerse en 0.50, se ha demostrado que un rendimiento y calidad óptimos se alcanzan con una relación w/c máxima inferior a 0.48 (5).

**Tabla 5. Cálculo del contenido de agua**

| Relación agua / ligante<br>[Water / Binder Ratio] | Ejemplo I   | Ejemplo II  |
|---|---|---|
| Valor máximo: 0.50                                | 425 kg/m <sup>3</sup> CEM I 42.5<br>212.5 litros/               | 300 kg/m <sup>3</sup> CEM I 42.5 & 125<br>kg/m <sup>3</sup> Cenizas volantes (k=0.4)<br>175 litros/m <sup>3</sup> |
| Valor máximo: 0.46                                | 425 kg/m <sup>3</sup> CEM I 42.5<br>195.5 litros/m <sup>3</sup> | 300 kg/m <sup>3</sup> CEM I 42.5 & 125<br>kg/m <sup>3</sup> Cenizas volantes (k=0.4)<br>161 litros/m <sup>3</sup> |

*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

Los reductores de agua de alto rendimiento tienen un impacto significativo en la trabajabilidad y la cohesión interna del hormigón fresco, lo que repercute en sus propiedades generales. Además, la composición de estos reductores también juega un papel crucial en la interacción con los acelerantes utilizados en el hormigón proyectado (5).

Otras características del hormigón, mencionadas a continuación, están mayormente determinadas por su formulación, la cual a su vez está influenciada y regulada por los reductores de agua. En cuanto a los requisitos principales de los reductores de agua de alto rendimiento empleados en el hormigón proyectado, pueden ser resumidos como sigue: (5)

➤ **Reducción de agua**

Alcanzar la fluidez necesaria cuando se ha disminuido considerablemente el contenido de agua en el hormigón fresco. La consistencia óptima del hormigón fresco se define por un ensayo de flujo de expansión que oscile entre 550 y 650 mm (5).

➤ **Tiempo de trabajabilidad (Workability time)**

Es fundamental que la consistencia del hormigón fresco se mantenga uniforme durante toda su manipulación, siendo necesario que, para el proceso de bombeo en particular, tenga una consistencia suave (5).



➤ **Bombeabilidad (pumpability)**

Una reducida viscosidad, que se traduce en mayor suavidad, favorece tanto la facilidad de bombeo como la uniformidad en la distribución del acelerante (Sigunit) dentro del hormigón, en el transformador de flujo ubicado en la boquilla (5).

➤ **Compatibilidad**

Es crucial que los reductores de agua de alto rango, los acelerantes utilizados en el hormigón proyectado y cualquier otro aditivo empleado sean compatibles entre sí en términos de su naturaleza y los efectos que generan (5).

Por lo tanto, es necesario realizar pruebas previas y obtener la aprobación del fabricante tanto de los aditivos como del hormigón (5).

Combinar productos y mezclas de manera aleatoria puede conducir a resultados muy insatisfactorios. En el ámbito de la tecnología del hormigón, las tecnologías alternativas relacionadas con los reductores de agua de alto rango se distinguen por su rendimiento y su idoneidad como agentes reductores de agua. (5).

➤ **Reductores de agua [Water Reducers] (WR)**

La capacidad limitada de los reductores de agua (WR) para reducir el contenido de agua en un rango de 5 a 10 %, junto con su composición química, a menudo los hace inadecuados para su uso en hormigón proyectado (5).

➤ **Reductores de agua de alto rango (High-Range Water Reducers) (HRWR)**

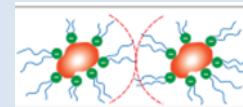
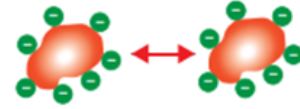
Existen dos tecnologías principales de reductores de agua de alto rango (HRWR):

Los HRWR del tipo Naftaleno (SNF) y Melamina (SMF), reconocidos por su eficaz reducción del agua y su excelente compatibilidad, lo que les permite ser combinados con los acelerantes utilizados en el hormigón proyectado. Sin embargo, estas tecnologías tienen limitaciones en cuanto a la extensión de los tiempos de trabajabilidad y su capacidad máxima para reducir el agua (5).

La nueva generación de reductores de agua de alto rango Policarboxilatos (PCE) destaca por su excelente rendimiento en la reducción del agua y la capacidad de prolongar prácticamente de manera ilimitada el tiempo de trabajabilidad. Sin embargo, la interacción entre estos reductores de agua de alto rango y los acelerantes del hormigón proyectado es considerablemente más compleja, por lo que se debe verificar específicamente la compatibilidad y correspondencia entre estos productos (5).

**Tabla 6. Tipo reductor de agua y su efecto**

| Tipo reductor de agua               | Base química  | Potencial de reducción de agua | Efecto                    |
|-------------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| WR Reductor de agua                 | - Carbohidrato de Sulfonato de lignita                    | / 5 – 10 %                     | Fuerzas electroestáticas: |
| HRWR Reductor de agua de alto rango | - Naftaleno (SNF) y Melamina (SMF) Policarboxilatos (PCE) | 5 – 25 %<br>10 – 40 %          | Repulsión estérica:       |



*Tomada del Manual hormigón proyectado.pdf*

*Nota:* Se muestra el tipo reductor de agua en base a su potencial de reducción de agua y su efecto

### 2.3 Definición de términos básicos

#### ✓ Ingeniería de *shotcrete*

Aplicación en condiciones adversas: la ingeniería de *shotcrete* se ha desarrollado para permitir la aplicación de concreto proyectado en condiciones geológicas desafiantes, comunes en la minería artesanal. La vía seca, en particular, ofrece una solución eficaz para la estabilización de túneles y galerías.

#### ✓ Seguridad en minería

Reducción de riesgos laborales: la implementación de *shotcrete* vía seca se alinea con los principios de seguridad en minería al reducir la exposición de los trabajadores a condiciones peligrosas y sustancias químicas. Este enfoque contribuye a la mejora de los estándares de seguridad y a la prevención de accidentes laborales.

#### ✓ Tecnología de aplicación controlada

Precisión y consistencia: la tecnología de *shotcrete* vía seca permite una aplicación controlada y precisa del material, asegurando una distribución uniforme y una adhesión adecuada a las superficies. Esto se traduce en estructuras más estables y duraderas.

#### ✓ Eficiencia operativa

Rapidez de aplicación: la vía seca ofrece una aplicación más rápida en comparación con otros métodos, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la eficiencia operativa. Esto

es especialmente relevante en la minería artesanal, donde la productividad puede ser crucial para la rentabilidad.

✓ **Adaptabilidad a condiciones variables**

Versatilidad geotécnica: la versatilidad de la tecnología de *shotcrete* vía seca la hace adecuada para adaptarse a las variadas condiciones geotécnicas presentes en la minería artesanal. Puede utilizarse en una amplia gama de rocas y terrenos, proporcionando flexibilidad a los mineros.

✓ **Economía y rentabilidad a largo plazo**

Análisis de costos: los análisis de costos a largo plazo indican que, a pesar de la inversión inicial, la implementación de *shotcrete* vía seca puede resultar más económica debido a su menor necesidad de mantenimiento y su capacidad para minimizar el desperdicio de materiales.

✓ **Desarrollo sostenible**

Prácticas responsables: la adopción de tecnologías como el *shotcrete* vía seca se alinea con los principios de desarrollo sostenible al reducir el impacto ambiental y promover prácticas mineras responsables.

✓ **Transferencia de tecnología y formación**

Capacitación local: la implementación exitosa de equipos de *shotcrete* vía seca requiere una transferencia efectiva de tecnología y la capacitación adecuada de los mineros locales. La literatura destaca la importancia de programas de formación para garantizar la operación segura y eficiente de estos equipos.

En conjunto, estas bases teóricas respaldan la implementación de equipos de *shotcrete* vía seca en minería artesanal, proporcionando un marco sólido que integra aspectos técnicos, de seguridad, eficiencia y sostenibilidad en la toma de decisiones.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA**

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

##### **3.1.1 Método general**

La presente investigación hará uso del método científico, esto, porque se seguirán pasos en forma ordenada iniciándose con la identificación del problema, planteamiento del problema seguida de la formulación de las hipótesis, para continuar con la experimentación y finalmente se formulan las conclusiones producto de la investigación.

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, debido que se emplearán conocimientos obtenidos de las investigaciones básicas, estos conocimientos servirán para dar solución al problema planteado.

##### **3.1.3 Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo - correlacional, debido que el propósito se sustenta en que el hecho fundamental es establecer la relación de los resultados de la evaluación técnica económica del equipo para el lanzamiento de concreto con la productividad y seguridad en minas artesanales.

#### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental y de corte longitudinal, sustentado por el hecho de que la variable independiente no será manipulada en forma deliberada para relacionar con la variable dependiente

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población está conformada por:

- Las labores de avance de avance
- Empresa minera comunal Acopalca

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra censal está conformada por:

- Las labores de avance de avance
- Empresa minera comunal Acopalca

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

- Observación experimental
- Encuesta
- Entrevista
- Análisis documental

#### **3.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

- Ficha de registros de datos
- Encuesta personal
- Entrevista focalizada
- Revisión de libros normas, folletos, guías, entre otros. (Ficha de registros de datos)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Ubicación y acceso

##### 4.1.1 Ubicación

La empresa minera comunal Acopalca se ubica en el centro poblado de Acopalca a 10 km del distrito de Paucartambo, región de Pasco. (6)

- **Coordenadas geográficas**

Longitud : 75° 49' 51,8" oeste

Latitud : 10° 50' 09.2" sur

- **Coordenadas UTM**

Este : 407000.00

Norte : 8800000.00

Altitud promedio : 3625. 00 m s. n. m.

- **Acceso**

La concesión minera Acopalca es accesible partiendo de la ciudad de Lima por el siguiente tramo: (6)

**Tabla 7. Ruta Lima – Concesión minera Acopalca**

| Ruta                  | Distancia (km) | Vía       | Horas |
|-----------------------|----------------|-----------|-------|
| Lima - Oroya          | 183.3          | Asfaltada | 5,0   |
| Oroya - Carhuamayo    | 82.5           | Asfaltada | 1.5   |
| Carhuamayo - Acopalca | 37.0           | Asfaltada | 1.0   |

#### **4.1.2 Fisiografía**

La propiedad de la mina Acopalca exhibe un relieve irregular, formado por diversas geoformas generadas por la acción constante del intemperismo. Ubicada a altitudes que van desde los 3600 hasta los 3800 metros sobre el nivel del mar, esta zona presenta una topografía escarpada y encañonada en varios tramos, con pendientes muy pronunciadas que varían entre 70° y 80° aproximadamente (6).

#### **4.1.3 Clima**

La comunidad de Acopalca experimenta un clima diverso que abarca desde frío hasta templado y cálido, generando así un microclima (6).

El invierno en esta zona se extiende de noviembre a abril, con temperaturas que pueden descender por debajo de los 0°C, mientras que el verano abarca de mayo a octubre, con temperaturas que fluctúan entre los 5°C y los 22°C (6).

En la parte de la cordillera, hay una alta concentración de neblina debido a los vientos provenientes del este, con velocidades promedio del aire que varían entre 0,6 km/h y 16,5 km/h (6).

#### **4.1.4 Recursos naturales**

Las ocupaciones principales de los miembros de la comunidad son las siguientes: (6)

- **Agricultura**

Debido a las características del terreno en la región, los miembros de la comunidad se enfocan en cultivar tubérculos como la papa, incluyendo variedades como huayro, peruanita y otras más. Estas siembras se llevan a cabo en áreas de terreno plano o ligeramente inclinado (6).

- **Ganadería**

La actividad económica relacionada con la ganadería implica la cría de ovejas de diversas razas, con el propósito de utilizar tanto su carne como su piel. Además, también se crían cerdos, aunque en menor cantidad que los ovinos (6).

#### **4.1.5 Geología regional**

En la región se han identificado diversas unidades geológicas que abarcan formaciones sedimentarias, volcánicas y metamórficas. Estas formaciones están compuestas principalmente

por pizarras, areniscas y granodioritas, junto con algunos diques, con edades que van desde el Jurásico superior hasta el Cretácico superior, con una extensión de alrededor de 1,5 kilómetros. (6)

Estas formaciones geológicas son conocidas como las formaciones Ambo, Mitú y el grupo Pucará, todas pertenecientes a la era Cenozoica (6).

Además, en la misma área se encuentran numerosas venas de cuarzo que forman parte del complejo basal de la era Paleozoica (6).

#### **4.1.6 Estratigrafía**

La sucesión de rocas que se expone en el área estudiada es una de las más significativas para comprender las unidades litoestratigráficas que constituyen la cordillera oriental y la faja subandina. La unidad geológica más antigua que aflora en esta región es el complejo metamórfico de Maraynioc, compuesto por micaesquistos y gneis que se formaron durante el Neoproterozoico (6).

Sobre este complejo metamórfico se encuentran las pizarras con graptofauna de la formación Contaya (Ordovícico), seguidas por las filitas, pizarras y cuarcitas del grupo Excélsior (Siluro-Devónico) (6). En cuanto al Paleozoico Superior, esta región presenta la secuencia continental del grupo Ambo y las rocas clásticas-carbonatadas de los grupos Tarma y Copacabana (6).

Las molasas del grupo Mitú muestran una transición gradual hacia las calizas y dolomías del grupo Pucará. La estratigrafía abarca desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario reciente e incluye una variedad de rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e ígneas (6). Dentro del perímetro de la concesión minera Acopalca se encuentran diversas unidades geológicas que abarcan desde el Precámbrico hasta el Cuaternario (6).

Las rocas más antiguas corresponden a esquistos micáceos, esquistos y otras formaciones que constituyen el basamento geológico de la zona minera (6). En cuanto al Paleozoico Inferior, se observan estratos ordovicianos compuestos principalmente por pizarras de tonos oscuros a negros, con marcados fracturamientos y plegamientos estructurales (6).

En el área de la Capilla (Ticlio Chico), se encuentran rocas del Paleozoico que consisten en lutitas, areniscas y algunos conglomerados, exhibiendo una característica coloración rojiza típica del grupo Mitú (6).



Las intrusiones ígneas que afloran en la zona minera incluyen granodioritas, mozo-granitos, cuarzo-dioritas y dioritas. Estas formaciones ígneas han facilitado la circulación de fluidos mineralizantes, especialmente de oro, y están distribuidas en gran parte del área de la mina Acopalca (6).

- **Complejo de Maraynioc**

Se refiere a las formaciones geológicas más antiguas expuestas en la zona estudiada, compuestas por esquistos, micaesquistos y en menor medida gneis, anfibolitas y migmatitas, las cuales integran un extenso complejo estructural. Este complejo, conocido como complejo Maraynioc, se presenta como un macizo estructural que se extiende de forma continua en dirección NO-SE y se ve influenciado y delimitado por fallas normales (fallas en bloques), las cuales han influenciado la configuración morfoestructural de la cordillera oriental (6).

Las relaciones estratigráficas del complejo Metamórfico se caracterizan por su contacto fallado con rocas Paleozoicas y Mesozoicas. Solo en la comunidad de La Victoria (Ulcumayo), a lo largo de la carretera Carhuamayo-Paucartambo, es posible observar un contacto paraconcordante entre los esquistos micáceos del complejo Maraynioc y las pizarras del grupo Excélsior (6).

La evidencia del grado de deformación, la mineralogía y las observaciones de campo sobre los procesos de metamorfismo regional en el macizo estructural Maraynioc, así como las relaciones de contacto con los granitoides Neopaleozoicos, indican que los eventos de metamorfismo tuvieron lugar durante el Proterozoico (6). Sin embargo, existen pocos datos geocronométricos sobre los complejos metamórficos que se encuentran en el país. (6)

- **Grupo Excélsior**

Las rocas más antiguas expuestas en la región estudiada son esquisto-micáceas y se encuentran en la base de la secuencia litoestratigráfica. Estas rocas, junto con micaesquistos y gneis en menor proporción, forman parte de un amplio complejo estructural en la zona (7).

En cuanto al grupo Excélsior, este se presenta como una franja continua en la porción occidental del cuadrángulo de Ulcumayo. Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran en lugares como la comunidad de La Victoria, Huicusmachay y los cerros Suyrupata, todos ubicados en las fuentes del río Paucartambo. Asimismo, se pueden observar afloramientos similares en las proximidades del río Tingo Esquina. (7)

La descripción litológica característica del Grupo Excélsior ha generado confusión debido a la inclusión de rocas metamórficas y meta sedimentarias por parte de varios autores, sin poder establecer claramente su relación con el Complejo Metamórfico, el cual representa rocas más antiguas que el propio Grupo Excélsior. Esta situación ha generado un desorden litoestratigráfico en esta unidad, por lo que es imperativo redefinir su localidad típica para aclarar esta situación (7).

En el área de estudio, el grupo Excélsior está compuesto principalmente por pizarras foliadas de tono gris oscuro con una disyunción tipo "lápices", intercaladas con areniscas pizarrosas de tono gris (7).

En lugares como el cerro Suyrupata y el río Bellavista, se identifican cuarcitas de grano fino y color gris dispuestas en estratos tabulares. En áreas cercanas a intrusiones del período Pérmico, se encuentran pizarras metamórficas (hornfels) y cuarcitas que han experimentado recristalización (7). También se observan filitas micáceas con esquistosidad polidireccional y presencia de cristales de cuarzo deformados (7).

Estructuralmente, la secuencia de rocas pelíticas y sámiticas del Grupo Excélsior muestra una intensa deformación por plegamiento y fracturamiento, siendo las fracturas rellenadas por venas de cuarzo. El tipo de pliegue más común en esta unidad es el pliegue en forma de "chevron" (7). Debido a la fuerte deformación estructural que experimenta el Grupo Excélsior, resulta complicado medir con precisión el espesor de la unidad, estimándose en alrededor de +/- 700 metros según el Boletín N° 78 de 1996 (7).

Dentro de los límites del área de estudio, se pueden encontrar afloramientos del grupo Mitu en diferentes puntos, como en el curso del río Ulcumayo en dirección al caserío Ucurán, así como en los cerros Yarcohacán, Patugashia y Husguranca. (7)

Además, también se observa en los alrededores de las lagunas Calcacocha, Pantacocha y la central hidroeléctrica de Yunpi, todas ubicadas en la hoja de Ulcumayo. (7)

Desde el punto de vista morfológico, el grupo Mitu ha dado lugar a relieves suaves que conforman cerros con formas subredondeadas y flancos moderados. Sin embargo, la montaña Yanachaga presenta una topografía abrupta debido a la presencia de fallas normales, las cuales han dejado trazas subverticales en los flancos de esta montaña (7).

El grupo Mitu principalmente se compone de una secuencia de rocas clásticas de origen continental, asociadas con eventos Volcanoclásticos que se desarrollaron en entornos epicontinentales. Hay una diversidad en la composición litológica de este grupo, incluyendo conglomerados, areniscas y limoarcilitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclásticas de tonos verdosos a violáceos (7).

En cuanto al espesor del grupo Mitu, este varía dentro del cuadrángulo de Ulcumayo y se estima en alrededor de +/- 1,300 metros. El grupo Mitu se sitúa sobre el grupo Copacabana, cuya parte superior alcanza hasta el período Leonadiano (Pérmico Inferior), y está cubierto por las calizas del grupo Pucará, que ocupan una posición similar (Triásico Superior-Jurásico Inferior). Según su posición estratigráfica, se supone que el grupo Mitu se depositó desde el Permiano superior hasta el Triásico Inferior. (7)

- **Grupo Pucará**

Las formaciones de caliza pertenecientes al grupo Pucará se presentan como franjas plegadas con extensiones de varios kilómetros. Estas capas de caliza son visibles en ambos márgenes del macizo estructural formado por los bloques de Maraynioc y Paucartambo. (7)

Hacia la parte occidental del área de estudio en Ulcumayo, el grupo Pucará muestra una orientación en dirección NO-SE, y su presencia se extiende de manera ininterrumpida hasta la hoja de Pasco (7).

#### **4.1.7 Descripción litológica**

- **Rocas ígneas**

Las rocas ígneas, tanto las intrusivas como las volcánicas presentes en el área del yacimiento minero, se distribuyen en dirección NE – SO a lo largo de los andes orientales. Estas rocas están vinculadas específicamente al complejo metamórfico en el lado occidental y a las secuencias Mesozoicas en el lado oriental de esta franja intrusiva. Se identifican como intrusivos del período Permo-Triásico y cuerpos más recientes del Mezo-Cenozoico, incluyendo algunos cuerpos como "stocks" de microdioritas que siguen un alineamiento N 30° O (7).

Estos cuerpos están emplazados en el Paleozoico Superior y muestran signos de recristalización con las calizas del Triásico. Además, se ha documentado un evento volcánico del Neógeno que se encuentra únicamente al NE de Ulcumayo (7).

Las rocas encontradas en la zona son principalmente intrusivas del Permo-Triásico y cuerpos más recientes del Mezo-Cenozoico. Algunos de estos cuerpos se presentan como "stocks" de microdioritas que siguen un alineamiento N 30° O y están ubicados en el Paleozoico Superior, mostrando signos de recristalización en las calizas del Triásico. Además, se ha identificado un evento volcánico del Neógeno que se manifiesta únicamente al NE de Ulcumayo. (7)

En términos generales, las rocas intrusivas representan más del 90 % del magmatismo Permo-Triásico en la zona del yacimiento minero, con alrededor del 5 % correspondiente a Gneiss del Neoproterozoico tardío y el resto a stocks (7).

Estas rocas intrusivas, principalmente compuestas por granodioritas de grano grueso de cuarzo, plagioclasas y feldespatos en menor proporción, presentan una distribución uniforme de biotita y hornblenda. Bajo el microscopio, muestran una textura holocristalina, inequigranular y hipidiomórficas, con la presencia ocasional de moscovitas y minerales accesorios como apatito (7).

Entre las rocas ígneas del yacimiento minero podemos nombrar las siguientes que son las más predominantes:

✓ **Granito**

Roca ígnea plutónica, que contiene biotita o moscovita y no otros ferromagnesianos (8).

✓ **Granodiorita**

Roca ígnea plutónica, textura Fanerítica o granular. Minerales esenciales: cuarzo, feldespatos, predominio de las plagioclasas sobre la ortosa y ferromagnesianos (8).

✓ **Tonalitas**

Roca ígnea plutónica intermedia, minerales esenciales: plagioclasas, cuarzo (menos de 10%), anfíboles, biotita; accesorios: ortosa, titanita, magnetita, circón. Se usa como roca ornamental (8).

✓ **Monzonita**

Roca ígnea plutónica, intermedia, contiene como minerales esenciales: ortosa, plagioclasa (labradorita), piroxenos, anfíboles (hornblenda); accesorios: cuarzo, titanita, biotita, etc. Color gris oscuro, se presenta en lacolitos, lopolitos, sills o diques, frecuentemente asociado a yacimientos minerales. Su composición se asemeja a la de las sienitas donde los feldespatos potásicos son análogos a las oligoclasas y andesinas (8).

#### **4.1.8 Geología estructural**

La disposición de las capas rocosas en la región fue influenciada por la actividad intermitente de fallas de gran magnitud al finalizar la orogenia Paleozoica. Como resultado de esta fase orogénica, se desarrolló el cinturón orogénico mesozoico, el cual se desplazó hacia el oeste y dio origen a cuencas sedimentarias, donde ocurrieron movimientos de fallas longitudinales que expusieron la corteza terrestre (7).

Estas cuencas fueron llenadas con sedimentos provenientes del geoanticlinal del Marañon y del Cratón del Brasil (7).

##### **a) Fallas longitudinales**

Se identifican dos tipos de sistemas de fallas regionales en la zona: uno de tipo "longitudinal", que sigue la dirección del eje andino, y otro de tipo "transversal", que se encuentra oblicuo al eje andino (7).

Las fallas del sistema longitudinal tienen recorridos kilométricos y se orientan preferentemente en dirección NNO – SSE. Estas fallas pueden comportarse como fallas normales y/o inversas a lo largo de su trayecto, creando bloques levantados y hundidos con desplazamiento vertical, lo que resulta en un acortamiento de la corteza terrestre. Estas fallas afectan principalmente a la cobertura sedimentaria de la zona (7).

Por otro lado, las fallas "transversales" están menos desarrolladas y se agrupan en un sistema NE – SO, ejerciendo desplazamiento sobre el primer sistema de fallas mencionado (7).

Las fallas principales identificadas en el área estudiada son de alcance regional y han tenido un papel significativo en la evolución morfotectónica de la cordillera de los Andes (7).

##### **➤ Falla Ulcumayo**

Se encuentra en la misma dirección que sigue el río Ulcumayo, extendiéndose hacia las hojas de Tarma y Cerro de Pasco en una orientación NO-SE (7).

##### **➤ Falla Paucartambo**

La falla recorre la hoja de Ulcumayo en diagonal con una orientación de N 25° O, provocando el desplazamiento del bloque Paucartambo en una posición subvertical y afectando a las rocas graníticas.

En la zona al NO de Huachón, esta falla ha causado el descenso del Grupo Pucará, estableciendo contacto con el bloque metamórfico de Maraynioc. La extensión de la falla en el cuadrángulo de Paucartambo se estima en más de 40 km de longitud (7).

### **b) Fallas transversales**

Se trata de fallas de trayectoria breve que tienen una dirección preferencial NE – SO. Principalmente se encargan de desplazar a las fallas "longitudinales" y de interrumpir los afloramientos de la secuencia litoestratigráfica en la región estudiada (7).

El curso de los principales ríos como Paucartambo, Ulcumayo, Huachón, Palca, Chanchamayo, Aynamayo y Tambillo se ha visto influenciado por estas fallas transversales, cuyo origen se remonta a la tectónica andina (7).

### **c) Pliegues**

Las estructuras geológicas son más evidentes en las rocas mesozoicas y cenozoicas, mientras que las rocas paleozoicas muestran una mayor deformación, manifestándose en pliegues incompletos, poco definidos y truncados (7).

El grupo Pucará exhibe pliegues que varían de moderados a apretados, con algunas áreas mostrando pliegues monoclinales como en San Vicente, mientras que en otras zonas se observan sinclinales inclinados, como en el río Oxabamba (7).

La deformación presente es de tipo disarmónico, destacando la presencia de repliegamientos locales dentro de la estructura macroscópica (7).

En las sedimentitas del cretáceo-cenozoico se han desarrollado pliegues de extensión regional, los cuales son amplios y completos, con buzamientos que oscilan entre 25° y 45°.

La cobertura sedimentaria representada por la formación Chambara muestra una deformación leve al rellenar estructuras preexistentes (7).

A medida que nos desplazamos hacia la zona subandina, los pliegues se vuelven más definidos y amplios, especialmente en las rocas cretáceas que están expuestas en esa región (7).

#### **4.1.9 Geología local**

En el área, se encuentran rocas volcánicas que se presentan como interestratos ligeramente inclinados. El grosor exacto de estas rocas volcánicas no se conoce, y han experimentado deformaciones debido a movimientos tectónicos de intensidad variable, que van desde ligeros a moderados (7).

Este proceso ha resultado en la formación de numerosas fallas con buzamiento casi vertical. Además, se pueden observar plegamientos más pequeños que se superponen en las estructuras, grandes fallas y áreas con fracturas (7).

#### **4.1.10 Geología económica**

El yacimiento minero esta constituye un depósito de tipo filoniano y de relleno, donde la estructura mineralizada presenta un rumbo NS. Los buzamientos de esta estructura son de 78°, 75° y 63° hacia el NO, indicando una fractura rellena de cuarzo. En la parte superior de la estructura se encuentra mineralización de pirita aurífera. La potencia de la mineralización varía, comenzando con un grosor de 5 cm en la parte inicial, aumentando a 20 cm en la zona intermedia y alcanzando incluso los 65 cm en algunas áreas. Horizontalmente, el filón tiene una longitud de 350 m y en profundidad no tiene límites definidos (7).

#### **4.1.11 Mineralogía**

Los constituyentes minerales son los siguientes:

##### **✓ Oro (Au)**

El metal precioso conocido como oro es altamente valorado por la humanidad y se encuentra en la naturaleza en su estado nativo. Su símbolo químico es Au, tiene un peso específico de 19 y una dureza que varía entre 2.5 y 3. Presenta un color amarillo característico similar al del oro, con un brillo metálico. Es altamente dúctil y maleable, con un punto de fusión de 1061°C, además de ser un excelente conductor del calor y la electricidad. Es resistente a la acción de los ácidos (8).

El oro primario se asocia comúnmente con los filones hidrotermales de cuarzo de alta temperatura, a menudo se encuentra en aleación natural con la plata y en ocasiones más raras con el paladio y el rodio (8).

También se puede encontrar oro en pizarras y cuarcitas muy antiguas debido a la concentración de partículas finas durante los procesos diagenético, gracias al metamorfismo térmico y dinámico. En estas rocas, el oro se encuentra en forma de pepitas (8).

El oro aluvial se encuentra en depósitos como placeres, conglomerados, arenas de ríos y terrazas aluviales, entre otros. Este tipo de oro es más fácil de obtener y se encuentra en mayores cantidades en todo el mundo (8).

✓ **Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

El mineral sulfuro de hierro (FeS<sub>2</sub>) cristaliza en el sistema cúbico y se presenta en formas como cubos estriados, octaedros y pentadodecaedros. En ocasiones, puede presentar maclas que forman la cruz de hierro. Su color es amarillo limón y tiene una textura dura, pesada y muy frágil. Es opaco con un brillo metálico y al golpearse produce chispas (8).

Este mineral es común en una variedad de rocas como plutónicas, volcánicas, sedimentarias y metamórficas. Suele estar asociado con la calcopirita en filones hidrotermales, así como con la blenda, la galena, entre otros minerales, y en filones de cuarzo donde también se encuentra asociado al oro (8).

Debido a su apariencia similar al oro y su falta de valor real, también se conoce como "oro de los tontos". El sulfuro de hierro se utiliza en la industria para la preparación del ácido sulfúrico mediante el método de las cámaras de plomo, así como en la preparación de pellets y otros usos industriales (8).

✓ **Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

El sesquióxido de hierro anhidro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tiene un color gris característico y es el producto resultante de la lixiviación de la magnetita. Se utiliza principalmente como colorante, especialmente en la forma de ocre rojo. Este compuesto es una importante mena de hierro, con un contenido de hierro del 69%. Es fundamental como materia prima en la industria del acero (8).

En los yacimientos de hierro, se pueden identificar tres zonas o niveles distintos: (8)

El nivel superior está compuesto principalmente por hematita, que se forma a partir de la lixiviación de la magnetita. La hematita es la mena más rica en hierro y de mayor valor comercial (8).

El segundo nivel, intermedio, está compuesto por óxidos como la limonita, la jarosita, entre otros (8).



El nivel inferior corresponde a la magnetita, que es el mineral primario en estos yacimientos (8).

En el caso específico del Perú, se encuentran los yacimientos de hierro de Marcona, que cuentan con reservas de hierro superiores a los 600 millones de toneladas. Sin embargo, el nivel que contiene principalmente hematita ha sido explotado casi en su totalidad (8).

#### ✓ **Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)**

El óxido silícico SiO<sub>2</sub> es un mineral que se encuentra en forma de cristales prismáticos tabulares con una estructura hexagonal, aunque también puede presentarse en forma amorfa. Tiene una fractura concoidal y un brillo vítreo, siendo incoloro en su forma pura. En la escala de Mohs, su dureza es de 7, lo que lo convierte en uno de los minerales más comunes de la corteza terrestre. Se cristaliza directamente del magma en rocas ígneas (8).

Existen varias variedades de SiO<sub>2</sub>, como la tridimita, cristobalita, coesita, lechatelierita y obsidiana. También se encuentran variedades criptocristalinas como la calcedonia, ágata, ónix, ojo de tigre, ópalo, crisoprasa, cornalina, heliotropo, enidro, entre otras (8).

## **4.2 Resultados del estudio geomecánico**

### **4.2.1 Descripción litológica**

La roca encajonante de las vetas está conformada por tonalita cuya descripción de esta roca de grano medio holocristalina y fanerítica, compuesta principalmente por cristales subhedrales que crean una textura granular dominante. A nivel local, se pueden notar cristales más pequeños incrustados dentro de cristales más grandes de otro mineral, lo que da lugar a una textura porfirítica

Las tonalitas están formadas por minerales de colores claros que contienen altos niveles de silicio y no contienen Fe-Mg, como el cuarzo, las plagioclasas (ricas en sodio) y el feldespato potásico. Los tipos más frecuentes son el granito, la granodiorita y la tonalita, que se identifican por tener colores claros y tonos grises, donde se pueden distinguir claramente el cuarzo y los feldespatos como minerales principales.



**Figura 7. Roca tonalita, similar a la diorita en composición mineral**

- ✓ Tipo de roca: ígnea-plutónica
- ✓ Dureza: 7
- ✓ Lugar: Alpes italianos
- ✓ Textura: grano intermedio a graso
- ✓ Densidad: 2.65 g/cm<sup>3</sup>
- ✓ Composición: plagioclasas, cuarzo, ortoclasa, hornablenda, biotita
- ✓ Color: 10-40%.

#### 4.2.2 Estudio geomecánico

##### a) Cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial

##### ✓ Muestra N°01

**Tabla 8. Resistencia a la compresión uniaxial muestra N°1**

| Muestra N°1   |                     |      |                |                |
|---------------|---------------------|------|----------------|----------------|
| N° Rebotes    | Media ( $\bar{x}$ ) | V    | V <sup>2</sup> | [42.75; 46.05] |
| 47            | 44.4                | -2.6 | 6.76           | X              |
| 44            | 44.4                | 0.4  | 0.16           | 44             |
| 43            | 44.4                | 1.4  | 1.96           | 43             |
| 41            | 44.4                | 3.4  | 11.56          | X              |
| 48            | 44.4                | -3.6 | 12.96          | X              |
| 48            | 44.4                | -3.6 | 12.96          | X              |
| 42            | 44.4                | 2.4  | 5.76           | X              |
| 44            | 44.4                | 0.4  | 0.16           | 44             |
| 44            | 44.4                | 0.4  | 0.16           | 44             |
| 43            | 44.4                | 1.4  | 1.96           | 43             |
| $\Sigma$      | 444                 | 0.0  | 54.40          |                |
| ( $\bar{x}$ ) | 44.4                |      |                |                |
| (n)           | 10                  |      |                |                |

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{54.4}{10-1}}$$

$$\sigma = 2.46$$

$$E = 0,6745 * \sigma$$

$$E = 0,6745 * 2.46$$

$$E = 1.65$$

- **Intervalo de confianza**

$$[\bar{x} - E; \bar{x} + E]$$

$$[44.4 - 1.65; 44.4 + 1.65]$$

$$[42.75; 46.05]$$

- Promedio de rebotes muestra N°1 = 43.6 ~ 44

- ✓ **Muestra N°02**

**Tabla 9. Resistencia a la compresión uniaxial muestra N° 2**

| Muestra N°2   |                     |      |                |                |  |
|---------------|---------------------|------|----------------|----------------|--|
| N° Rebotes    | Media ( $\bar{x}$ ) | V    | V <sup>2</sup> | [44.01; 47.59] |  |
| 42            | 45.8                | 3.8  | 14.44          | X              |  |
| 49            | 45.8                | -3.2 | 10.24          | X              |  |
| 47            | 45.8                | -1.2 | 1.44           | 47             |  |
| 46            | 45.8                | -0.2 | 0.04           | 46             |  |
| 47            | 45.8                | -1.2 | 1.44           | 47             |  |
| 41            | 45.8                | 4.8  | 23.04          | X              |  |
| 45            | 45.8                | 0.8  | 0.64           | 45             |  |
| 49            | 45.8                | -3.2 | 10.24          | X              |  |
| 45            | 45.8                | 0.8  | 0.64           | 45             |  |
| 47            | 45.8                | -1.2 | 1.44           | 47             |  |
| $\Sigma$      | 458                 | 0.0  | 63.60          |                |  |
| ( $\bar{x}$ ) | 45.8                |      |                |                |  |
| (n)           | 10                  |      |                |                |  |

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{63.6}{10-1}}$$

$$\sigma = 2.465$$

$$E = 0,6745 * \sigma$$

$$E = 0,6745 * 2.465$$

$$E = 1.79$$

- **Intervalo de confianza**

$$[\bar{x} - E; \bar{x} + E]$$

$$[45.8 - 1.79; 45.8 + 1.79]$$

$$[44.01; 47.59]$$

- **Promedio de rebotes muestra N°2 = 46.16 ~ 46**

- **Promedio de rebotes muestra N°1 y 2 = (44+46) / 2 = 45**

**Datos**

✓ Densidad de roca caja (tonalita) = 2.65 g/cm<sup>3</sup>

✓ Promedio de rebotes = 45

✓ Dirección de martillo = Horizontal

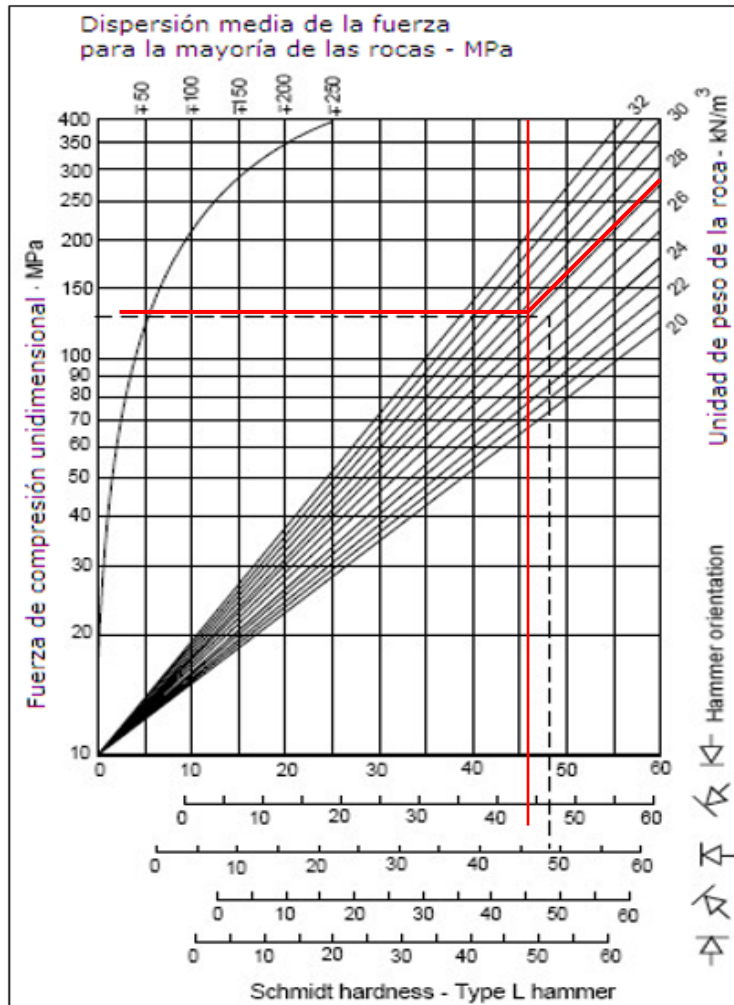


Figura 8. Compresión simple a partir de los datos de rebote obtenidos con el martillo Schmidt (9)

- Resistencia a la compresión uniaxial = 125 MPa

## b) Cálculo del RQD

Tabla 10. Análisis RQD

| Nº Discontinuidades/ml | RQD  | Nº Discontinuidades/ml | RQD  |
|------------------------|------|------------------------|------|
| 1                      | 99.5 | 28                     | 23.1 |
| 2                      | 98.3 | 29                     | 21.5 |
| 3                      | 96.3 | 30                     | 19.9 |
| 4                      | 93.9 | 31                     | 18.5 |
| 5                      | 91.0 | 32                     | 17.1 |
| 6                      | 87.8 | 33                     | 15.9 |
| 7                      | 84.4 | 34                     | 14.7 |
| 8                      | 80.9 | 35                     | 13.6 |

|    |      |    |      |
|----|------|----|------|
| 9  | 77.3 | 36 | 12.6 |
| 10 | 73.6 | 37 | 11.6 |
| 11 | 69.9 | 38 | 10.8 |
| 12 | 66.3 | 39 | 9.9  |
| 13 | 62.7 | 40 | 9.2  |
| 14 | 59.2 | 41 | 8.5  |
| 15 | 55.8 | 42 | 7.8  |
| 16 | 52.5 | 43 | 7.2  |
| 17 | 49.4 | 44 | 6.6  |
| 18 | 46.3 | 45 | 6.1  |
| 19 | 43.4 | 46 | 5.6  |
| 20 | 40.6 | 47 | 5.2  |
| 21 | 38.0 | 48 | 4.8  |
| 22 | 35.5 | 49 | 4.4  |
| 23 | 33.1 | 50 | 4.1  |
| 24 | 30.9 | 51 | 3.7  |
| 25 | 28.8 | 52 | 3.4  |
| 26 | 26.8 | 53 | 3.2  |
| 27 | 24.9 | 54 | 2.9  |

- RQD = 30.9 % ~ 31 %

### c) Cálculo de la rugosidad

Datos del muestreo de las discontinuidades que relaciona la longitud del perfil medido (m) versus la profundidad de rugosidad (mm).

- ✓ Longitud máxima de perfil medido 1.55 m
- ✓ Profundidad máxima de la rugosidad 25 mm

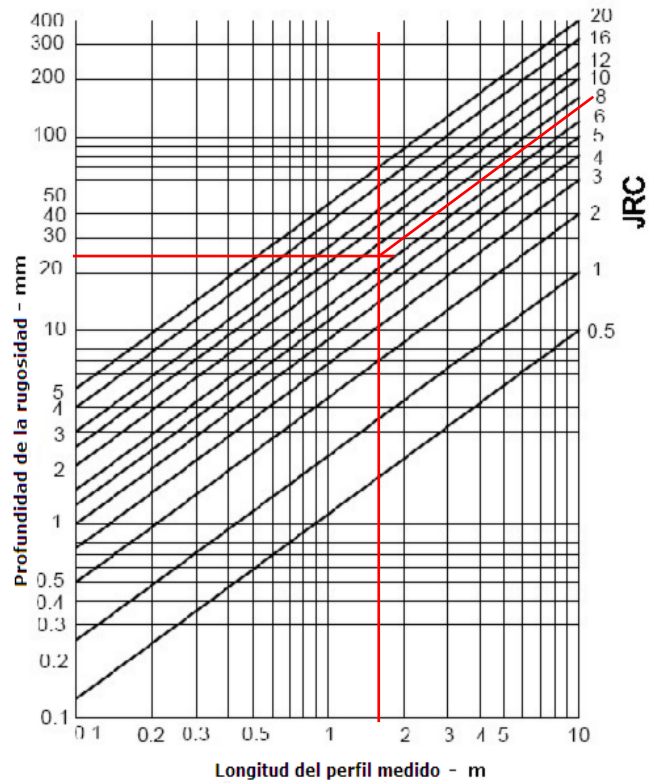

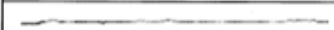











Figura 9. Relación de la longitud del perfil medido (m) versus la profundidad de rugosidad (mm) (9)

- De donde se establece que el factor JRC = 8

|   |               | Rugosidad          |
|---|---------------|--------------------|
|  | JRC = 0 - 2   | Espejo de falla    |
|  | JRC = 2 - 4   |                    |
|  | JRC = 4 - 6   | Lisa               |
|  | JRC = 6 - 8   |                    |
|  | JRC = 8 - 10  | Ligeramente rugosa |
|  | JRC = 10 - 12 |                    |
|  | JRC = 12 - 14 |                    |
|  | JRC = 14 - 16 | Rugosa             |
|  | JRC = 16 - 18 |                    |
|  | JRC = 18 - 20 | Muy rugosa         |
|  | JRC = 18 - 20 |                    |

0 5 cm 10

Figura 10. Cartilla de equivalencia entre el JRC y la cartilla de Bieniawski respecto a la rugosidad (9)

- La rugosidad está catalogada como ligeramente rugosa

d) Evaluación de la orientación, espaciado, persistencia, persistencia, apertura, relleno, alteración y presencia de agua

**Tabla 11. Evaluación de la orientación, espaciado, persistencia, persistencia, apertura, relleno, alteración y presencia de agua**

| Registro lineal  |  |  |                            |            |    |  |  |  |   |   |   |   |
|--|--|--|----------------------------|------------|----|--|--|--|---|---|---|---|
| Mina: Acopalca<br>Ubicación: Acopalca, Paucartambo, Pasco.<br>Dimensión de dominio estructural:<br>Tipo de roca: |  |  |                            |            |    | Galería principal<br>6 m<br>Tonalita                               |  |  | Unidad Minera: Acopalca<br>Departamento de Geomecánica<br>RQD: %<br>Fecha: Marzo 2024 |   |   |   |
| N°<br>Discontinuidad   | Distancia a la<br>intersección de la<br>discontinuidad (m) | Discontinuidad                                       | Orientación                |            |    | Espaciado (m)  | Persistencia (m)   | Apertura (mm)  | Rugosidad   | Relleno   | Intemperización   | Agua  |
|  |  | F: Falla<br>J: Junta<br>CL: Cont. Litol.<br>D: Dique | Dirección de<br>buzamiento | Buzamiento |    | 1. > 2<br>2. 0.6 - 2<br>3. 0.2 - 0.6<br>4. 0.06 - 0.2<br>5. < 0.06 | 1. < 1<br>2. 1 - 3<br>3. 3 - 10<br>4. 10 - 20<br>5. > 20 | 1. Cerrada<br>2. < 0.1<br>3. 0.1 - 1<br>4. 1 - 5<br>5. > 5 | 1. Muy rug.<br>2. Rugosa<br>3. Lig. Rugosa<br>4. Lisa<br>5. Esp. falla                | 1. Limpio<br>2. Duro < 5 mm<br>3. Duro > 5 mm<br>4. Suave < 5 mm<br>5. Suave > 5 mm | 1. Sana<br>2. Lig. Intempe.<br>3. Mod. Intempe.<br>4. Muy Intempe.<br>5. Descompuesta | 1. Seco<br>2. Húmedo<br>3. Mojado<br>4. Goteo<br>5. Flujo |
| 1  | 0  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 2  | 0.2  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 3  | 0.5  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 4  | 0.8  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 5  | 1.2  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 6  | 1.5  | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 7  | 1.85   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 8  | 2.15   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 9  | 2.40   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 10   | 2.82   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 11   | 3.15   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 12   | 3.45   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 13   | 3.75   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 14   | 4.00   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 15   | 4.21   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 16   | 4.45   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 17   | 4.71   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 18   | 4.94   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 19   | 5.19   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 20   | 5.50   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 21   | 5.85   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 22   | 6.25   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 23   | 6.62   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |
| 24   | 7.00   | J  | 148°                       | 58°        | NE | 3  | 2  | 4  | 3   | 3   | 2   | 3   |

e) Procesamiento de datos cartilla geomecánica cartilla de Bieniawski (RMR)



**Tabla 12. Cartilla de Bieniawski (RMR)**  
**Valoración del macizo rocoso (R.M.R.)**

| Clasificación Bieniawski (1989)              |                  |                |                   |                    |                    |                     |            |
|--|------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------|
| Parametro                                    | Rango de valores |                |                   |                    |                    |                     | Valoración |
|  | Valor estimado   |                |                   |                    |                    |                     |            |
| R. compre. uniaxial (MPa)                    | >250 (15)        | 100-250 (12)   | 50-100 (7)        | 25-50 (4)          | <25(2) <5(1) <1(0) |                     | 12         |
| RQD %  | 90-100 (20)      | 75-90 (17)     | 50-75 (13)        | 25-50 (8)          | <25 (3)            |                     | 8          |
| Espaciamiento (m)                            | >2 (20)          | 0,6-2 (15)     | 0.2-0.6 (10)      | 0.06-0.2 (8)       | < 0.06 (5)         |                     | 10         |
| Condición de Juntas                          | Persistencia     | <1m long. (6)  | 1-3 m Long. (4)   | 3-10m (2)          | 10-20 m (1)        | > 20 m (0)          | 4          |
|  | Apertura         | Cerrada (6)    | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4)      | 1 - 5 mm (1)       | > 5 mm (0)          | 1          |
|  | Rugosidad        | Muy rugosa (6) | Rugosa (5)        | Lig.rugosa (3)     | Lisa (1)           | Espejo de falla (0) | 3          |
|  | Relleno          | Limpia (6)     | Duro < 5mm (4)    | Duro> 5mm (2)      | Suave < 5 mm (1)   | Suave > 5 mm (0)    | 2          |
|  | Intemperización  | Sana (6)       | Lig. Intempe. (5) | Mod.Intempe. (3)   | Muy Intempe. (2)   | Descompuesta (0)    | 5          |
| Agua subterránea                             | Seco (15)        | Humedo (10)    | Mojado (7)        | Goteo (4)          | Flujo (0)          |                     | 10         |
| Ajuste por orientación                       | Muy Favorb. (0)  | Favorable (-2) | Regular (-5)      | Desfavorable (-10) | Muy Desfav (-12)   |                     | -5         |
| Valor total RMR (Suma de valoración 1 a 6) = |                  |                |                   |                    |                    |                     |            |
| C clase de macizo rocoso                     |                  |                |                   |                    |                    |                     |            |
| RMR  | 100 - 81         | 80 - 61        | 60 - 41           | 40 - 21            | 20 - 0             |                     | <b>60</b>  |
| Descripción                                  | I Muy buena      | II Buena       | III Regular       | IV Mala            | V Muy mala         |                     |            |

✓ **Clase de macizo rocoso**

- RMR corregido = 60 puntos
- Descripción = Regular

f) **Determinación de la cohesión y ángulo de rozamiento**

**Tabla 13. Determinación de la cohesión y ángulo de rozamiento**

| Clase | Calidad   | Valoración RMR | Cohesión               | Ángulo de rozamiento |
|-------|-----------|----------------|------------------------|----------------------|
| I     | Muy buena | 100-81         | > 4 kg/cm <sup>2</sup> | >45°                 |
| II    | Buena     | 80-61          | 3-4 kg/cm <sup>2</sup> | 35°-45°              |
| III   | Media     | 60-41          | 2-3 kg/cm <sup>2</sup> | 25°-35°              |
| IV    | Mala      | 40-21          | 1-2 kg/cm <sup>2</sup> | 15°-25°              |
| V     | Muy mala  | <20            | 1 kg/cm <sup>2</sup>   | <15°                 |

➤ **Resumen**

- Clase: III
- Calidad: Media
- Valoración RMR: 41 – 60
- Cohesión 2 – 3 kg/cm<sup>2</sup>
- Ángulo de rozamiento: 25° - 35°

g) **Cálculo del sistema de sostenimiento**

**Tabla 14. Guía para la excavación en túneles y obras de ingeniería**

| GUÍA PARA LA EXCAVACIÓN Y SOPORTE EN TÚNELES Y OBRAS DE INGENIERÍA DONDE LA CONDICIÓN DE LA ROCA ES IMPORTANTE (SEGÚN BIENIAWSKI) |  |   |  |   |
|---|--|---|--|---|
| CLASE DE MACIZO ROCOSO  | EXCAVACION   | PERNOS (20 mm DE DIÁMETRO) INYECTADOS.  | SOPORTE CON CONCRETO ARMADO                                      | COSTILLAS   |
| I. Roca muy Buena<br>RMR: 81-100  | A sección completa 3 m de avance.  | Generalmente no se requiere   |  | Ninguno   |
| II. Roca Buena<br>RMR: 61-80  | A sección completa 1 - 1.5 m de avance. Soporte completo a 20m del frente.   | Pernos en la corona de 3m de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional.                                   | 50 mm en la corona donde se requiera                             | Ninguno   |
| III. Roca regular<br>RMR: 41-60   | Frente superior y destroza, 1.5 - 3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10m del frente.  | Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5 – 2 m en la corona y hastiales con malla en la corona. | 50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados                   | Ninguno   |
| IV. Roca pobre<br>RMR: 21-40  | Frente superior y destroza, 1 - 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.  | Pernos sistemáticos, 4 -5 m de longitud, espacios 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla.             | 100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados                  | Costillas ligeras a medias espaciadas donde se requiera.  |
| V. Roca muy pobre<br>RMR: < 20  | Múltiples galerías 0.5 – 1.5 mts. De avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después invertidos de las voladuras. | Pernos sistemáticos, 5 – 6 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos   | 150 – 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente | Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere. |

➤ **Propuesta de sostenimiento para un RMR = 60 puntos**

- ✓ Pernos (20 mm de diámetro) inyectados
- Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5 – 2 m. en la corona y hastiales con malla en la corona.
  
- ✓ Soporte con concreto armado
- 50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados

**h) Cálculo del tiempo de auto sostenimiento y longitud de pase**

**Tabla 15. Cálculo del tiempo de auto sostenimiento y longitud de pase**

| Clase                              | I                        | II                      | III                      | IV                         | V                          |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tiempo de mantenimiento y longitud | 10 años con 15 m de vano | 6 meses con 8 m de vano | 1 semana con 5 m de vano | 10 horas con 2,5 m de vano | 30 minutos con 1 m de vano |
| Cohesión                           | >4 Kp/cm <sup>2</sup>    | 3-4 Kp/cm <sup>2</sup>  | 2-3 Kp/cm <sup>2</sup>   | 1-2 Kp/cm <sup>2</sup>     | <1 Kp/cm <sup>2</sup>      |
| Ángulo de rozamiento               | >45°                     | 35°-45°                 | 25°-35°                  | 15°-25°                    | <15°                       |

➤ Para un RMR = 60

- Clase = III
- Tiempo de autosostenimiento = 1 semana
- Longitud de pase = 5 m

**4.3 Evaluación para la implementación de concreto lanzado (shotcrete)**

**4.3.1 Evaluación técnica de concreto lanzado (shotcrete)**

**a) Características físicas de los materiales y de la mezcla de prueba**

➤ Módulo fineza agregado

**Tabla 16. Módulo fineza agregado**

Módulo fineza agregado                      3.82

Módulo fineza global                              3.82

➤ Volumen por tanda

**Tabla 17. Volumen por tanda**

|                   |        |    |
|-------------------|--------|----|
| Volumen por tanda | 1.000  |    |
| Cemento total     | 425.00 | kg |
| Micro sílice      | 0.00   | kg |

➤ Volumen agregado

**Tabla 18. Volumen agregado**

|                   |        |   |
|-------------------|--------|---|
| Volumen Agregados | 0.6029 |   |
| Arena             | 100.0  | % |
|                   | 0.0    | % |
|                   | 0.0    | % |
|                   | 100.0  |   |

➤ Dosificación Hiper plastificante y acelerante

**Tabla 19. Dosificación hiper plastificante y acelerante**

|                     |       |   |      |                   |
|---------------------|-------|---|------|-------------------|
| Dosificación        |       |   |      |                   |
| Hiper plastificante | 1.10% | % | 4.68 | kg/m <sup>3</sup> |
| Acelerante          | 0.00% | % | 0.00 | gr                |
|                     |       |   |      | gr                |
|                     |       |   | 4.68 | kg/m <sup>3</sup> |

➤ Relación agua cemento

**Tabla 20. Relación agua cemento**

|              |      |
|--------------|------|
| Relación a/c | 0.38 |
|--------------|------|

➤ **Diseño de mezcla concreto lanzado (shotcrete)**

**Tabla 21. Diseño de mezcla concreto lanzado (shotcrete)**

| Diseño de mezcla concreto lanzado (shotcrete) |             |                   |         |           |                   |         |                   |            |                 |     |
|---|-------------|-------------------|---------|-----------|-------------------|---------|-------------------|------------|-----------------|-----|
| Materiales                                    | Procedencia | Peso              | Humedad | Absorción | Peso              | Volumen | Peso              | Corrección | Tanda de prueba | Und |
|   |             | especifico        |         |           | seco              |         | s.s.s.            |            | por humedad     |     |
|   |             | kg/m <sup>3</sup> | %       | %         | kg/m <sup>3</sup> |         | kg/m <sup>3</sup> |            |                 |     |
| Cemento Andino T-I                            | Andino      | 3,150.0           |         |           | 425.00            | 0.1349  | 425.00            | 425.00     | 425.00          | kg  |
| Arena   | Acopalca    | 2,601.0           | 8.12    | 2.124     | 1,638.3           | 0.6299  | 1,638.3           | 1771.29    | 1,771.29        | kg  |
| Agua  | Mina        | 1,000.0           |         |           | 160.00            | 0.1600  | 160.00            | 61.77      | 61.77           | lt  |
| Macflu 110                                    | Macafferri  | 1,080.0           |         |           | 4.68              | 0.0043  | 4.68              | 4.68       | 4.675           | kg  |
| Fibra Sintética                               | Polystark   | 920.0             |         |           | 4.50              | 0.0049  | 4.50              | 4.50       | 4.50            | kg  |
| Macfree plus                                  | Macafferri  | 1,430.0           |         |           | 0.00              | 0.0000  | 0.00              | 0.00       | 0.00            | kg  |
| Micro sílice                                  | Normet      | 2,200.0           |         |           | 0.00              | 0.0000  | 0.00              | 0.00       | 0.00            | kg  |
| Contenido Aire                                |             |                   |         |           | 6.60%             | 0.066   |                   |            |                 |     |
| Total   |             |                   |         |           | 2,232.4           | 1.0000  | 2,232.4           | 2,267.2    | 2,267.2         |     |

➤ **Característica, ensayo, material y norma**

**Tabla 22. Característica, ensayo, material y norma**

| Característica          | Ensayo   | Material | Norma                  |
|-------------------------|--|----------|------------------------|
| Módulo de fineza        | Ensayo de granulometría                            | Agregado | ASTM C33-90            |
| Humedad                 | Ensayo diferencia de volumen *<br>secado           | Agregado | ASTM C566-97           |
| Absorción               | Ensayo en fiola                                    | Agregado | ASTM C127-A            |
| Contenido Aire          | Ensayo con Olla Washington                         | Concreto | ASTM C 231-M           |
| Contenido Finos         | % Pasante malla 200                                | Agregado | ASTM C117              |
| Peso unitario           | Peso unitario                                      | Agregado | ASTM C27               |
| PE del agregado         | PE del agregado                                    | Agregado | ASTM C127/ ASTM<br>128 |
| Presencia de Partículas | Presencia Limos, Arcillas y<br>partículas friables | Agregado | ASTM C142              |
| Nota: Densidad          |  |          |                        |
| Tamcem 65C TX           | 1.112  |          |                        |
| Tamcem 11C              | 1.2  |          |                        |

**4.3.2 Análisis de costos de concreto lanzado (Shotcrete)**

- Lanzado de shotcrete 2"
- Tipo de sostenimiento: Pasivo
- Rendimiento m<sup>2</sup>/guardia: 60

➤ **Mano de obra**

**Tabla 23. Mano de obra**

| Mano de obra |                     |            |              |     |                |               |
|--------------|---------------------|------------|--------------|-----|----------------|---------------|
| Código       | Descripción         | Factor     | Total<br>por |     | Costo<br>Unit  | Costo<br>Real |
| Recurso      |                     | de<br>Pago | Guardia      |     | del<br>recurso | S./           |
| MOP          | Maestro Perforista  | 2.357      | 2.62         | TAR | 71.30          | 440.30        |
| MOA          | Ayudante Perforista | 2.357      | 3.93         | TAR | 67.80          | 628.03        |
| MOL          | Lamparero           | 2.357      | 0.06         | TAR | 67.80          | 9.59          |

|     |   |       |      |     |       |          |
|-----|---|-------|------|-----|-------|----------|
| MOB | Bodeguero                                   | 2.357 | 0.06 | TAR | 67.80 | 9.59     |
| MOS | Servicios                                   | 2.357 | 0.00 | TAR | 67.80 | 0.00     |
| MOT | Supervisión en sostenimiento<br>y servicios |       |      |     | 43.58 | 43.58    |
|     |   |       | 6.67 |     |       | 1,131.09 |

➤ **Maquinaria**

**Tabla 24. Maquinarias**

| Maquinas |                              |           |             |             |            |
|----------|------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------|
| Código   | Descripción                  | Vida Útil | Consumo     | Costo Unit  | Costo Real |
| Recurso  |                              |           | por Guardia | del recurso | S./        |
| MAE      | Equipo proyector de concreto | 4,320.00  | 5.0 M3      | 20.25       | 101.27     |
| MAT      | Tanque dosificador de agua   | 5,040.00  | 5.0 M3      | 1.59        | 7.94       |
|          |                              |           |             |             | 109.21     |

➤ **Suministros materiales**

**Tabla 25. Suministros materiales**

| Suministros: |                                    |  |                     |        |         |
|--------------|------------------------------------|--|---------------------|--------|---------|
| Materiales:  |                                    |  |                     |        |         |
| SSAF         | Acelerante de fragua               |  | 85.30 kg            | 3.25   | 277.23  |
| SSCP         | Cemento Portland V Andino x 42.5kg |  | 50.00 Ea            | 28.90  | 1445.00 |
| SSAG         | Arena gruesa de 1/2 para shotcrete |  | 5.00 m <sup>3</sup> | 110.00 | 550.00  |
| SSFM         | Fibra metálica Dramix              |  | 200.00 kg           | 4.60   | 920.00  |
| SSC          | Calibradores                       |  | 60.00 Ea            | 0.15   | 9.00    |

➤ **Suministros materiales**

**Tabla 26. Suministro herramientas**

| Herramientas: |   |       |    |      |          |
|---------------|---|-------|----|------|----------|
| HSMj          | Manguera de jebe y lona de 1/2", 200 psi (50 m)         | 50.00 | m  | 0.02 | 0.84     |
| HSMj          | Manguera de jebe y lona de 1", 200 psi (50 m)           | 50.00 | m  | 0.03 | 1.64     |
| HSAf          | Abrazadera de fierro galvanizado de 1/2" con dos pernos | 4.00  | EA | 0.02 | 0.07     |
| HSAf          | Abrazadera de fierro galvanizado de 1" con dos pernos   | 4.00  | EA | 0.02 | 0.09     |
| HSLIS         | Llave Stilson de 14"                                    | 1.00  | EA | 0.39 | 0.39     |
| HSL           | Lampa tipo cuchara minera nro. 603/604.nro.2/206        | 3.00  | EA | 0.20 | 0.61     |
| HSC           | Comba de acero forjado de 6 lb                          | 1.00  | EA | 0.22 | 0.22     |
| HSB4          | Barretilla de 4'  | 2.00  | Ea | 0.56 | 1.13     |
| HSB6          | Barretilla de 6' (avance)                               | 2.00  | Ea | 1.05 | 2.09     |
| HSB8          | Barretilla de 8' (avance)                               | 2.00  | Ea | 0.85 | 1.71     |
| HSB10         | Barretilla de 10'                                       | 2.00  | Ea | 0.24 | 0.48     |
| HSF           | Flexómetro  | 1.00  | EA | 0.27 | 0.27     |
| HSL           | Letrero acrílico con tipo de roca                       | 1.00  | Ea | 0.07 | 0.07     |
|               |   |       |    |      | 3,210.82 |

➤ **Subtotal costos**

**Tabla 27. Subtotal costos**

|                   |        |          |
|-------------------|--------|----------|
| Gastos generales  | 6.96%  | 86.38    |
| Utilidad          | 10.00% | 124.03   |
| Total, Indirectos | 16.96% | 210.41   |
| Sub total costos  |        | 4,661.52 |

➤ **Implementos de seguridad**



**Tabla 28. Implementos de seguridad**

| Implementos de Seguridad |   | N° Tar |     | Costo Unitario |       |
|--------------------------|---|--------|-----|----------------|-------|
| EPP                      | Personal en supervisión - EPP's -<br>Sostenimiento -Servicios | 1.00   | Tar | 0.38           | 0.38  |
| EPPS                     | Personal en tajos y frentes de<br>avance - EPP's              | 6.67   | Tar | 4.74           | 31.59 |
| Tareas Totales           |   | 7.67   |     |                | 31.97 |

➤ **Costo total por unidad**

**Tabla 29. Costo total por unidad**

|                        |          |
|------------------------|----------|
| Costo por disparo      | 4,693.49 |
| Factor de Avance (und) | 60.00    |
| Costo por unidad       | 78.22    |

**4.3.3 Características del equipo lanzador de concreto**



*Figura 11. Aliva®-237 Lanzadora de concreto*

➤ **Compacta y segura**

La lanzadora de concreto compacta Aliva®-237 permite gracias a la baja altura de la tolva la utilización de material embolsado de forma segura y económica.

➤ **Ideal para la aplicación de material seco**

La duradera y confiable Aliva®-237 está concebida especialmente para el procesamiento de material seco y cantidades pequeñas (hasta 4 m<sup>3</sup>/h). Ocasionalmente también se puede procesar mortero húmedo.

➤ **Ajuste de cantidad de transporte flexible**

La perilla de potencia en la variante Top, permite un ajuste infinitamente variable del rendimiento del equipo.

➤ **Descripción Aliva® -237 LANZADORA DE CONCRETO**

Compacta, segura y fiable: la lanzadora de concreto más pequeña en el programa Aliva convence no importa si es en la variante standard, top o neumática. Con la Aliva®-237 el procesamiento de material seco es muy fácil. Gracias a la baja altura de la tolva se deja trabajar material embolsado ahorrando tiempo. La protección del rotor y el paro de emergencia integrado aportan a una seguridad de operación máxima. La lubricación automática de los discos disminuye el desgaste y garantiza la ya conocida calidad duradera y confiable de los equipos Aliva®

➤ **Ventajas y beneficios**

- Rendimiento teórico de 0.2 a 4.0 m<sup>3</sup>/h.
- Superación de distancias de transporte largas, así como altas.
- Poco rebote.
- Ideal para toda clase de trabajos de saneamiento de concreto o mortero
- Diseño compacto y seguro.
- Ajuste variable infinito del rendimiento (Variante TOP)

➤ **Equipamiento en serie**

- Desfogue de recámaras del rotor
- Lubricación automática de los discos de desgaste
- Convertidor de frecuencia (Variante TOP)
- Tolva vibradora



*Figura 12. Aliva® Converto Repro y Rotor Repro*

➤ **Opciones**

- Sistema y dispositivo de lanzado Aliva® Converto y Rotor Repro (0.6 litros) para rendimientos muy pequeños para reparaciones menores de concreto o sellamiento de juntas.
- Mangueras de transporte originales Aliva®

**Tabla 30. Datos técnicos**

| Tipo de máquina | Motor     | Tensión / Consumo del aire Motor     | Tamaño del rotor en litros | Caudal* en m <sup>3</sup> /h (STAN DARD) | Caudal* en m <sup>3</sup> /h (TOP / AIR) | Tamaño máximo del grano ** en mm | Diámetro de manguera recomendados | Distancia de transporte en m |             | Peso en kg | Dimensiones en mm (Top, 5.6L) |        |       |
|-----------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------|--|--|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------------------------|--------|-------|
|                 |           |                                      |                            |  |  |                                  |                                   | horizontal                   | vertical*** |            | Longitud                      | Ancho  |       |
| STANDARD        | Eléctrico | 380 - 480 V<br>50 / 60 Hz            | 0,6                        | 0,35                                     | 0,2 - 0,45                               | 4                                | DN 25                             | Seco:<br>200/100             | 450         | Longitud   | 1'230                         | Altura | 1'130 |
|                 |           |                                      | 0,7                        | 0,4                                      | 0,2 - 0,5                                | 4-6                              | DN 32                             |                              |             |            |                               |        |       |
| TOP             | Neumático | 4 Nm <sup>3</sup> /min<br>min. 5 bar | 2,0                        | 1,1                                      | 0,6 - 1,4                                | 12                               | DN 38                             | 200/100                      | 450         | Ancho      | 720                           | Ancho  | 720   |
| AIR             |           |                                      | 3,6                        | 2,0                                      | 1,1 - 2,5                                | 12                               | DN 50                             |                              |             |            |                               |        |       |
|                 |           |                                      | 5,6                        | 3,5                                      | 1,7 - 4,0                                | 16                               | (DN 38)<br>DN 50                  |                              |             |            |                               |        |       |

\* Teórico, asumiendo un grado de relleno de 100 %.

\*\* Tamaño máximo del grano recomendado: 8 mm.

\*\*\* Depende de varios factores: distancias mayores de transporte son posibles. Para alcanzar distancias mayores a 80 m Aliva sugiere el uso de tubos de acero. Antes del uso o procesado siempre consulte la hoja de especificaciones actual de los productos usados. Se aplica versión actual de nuestras condiciones generales de negocios.

#### 4.4 Discusión de resultados

- **Hipótesis específica N°1**

La evaluación de la productividad permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.

Respecto a esta hipótesis, la investigación determinó mediante la evaluación técnica y económica que el empleo del equipo de concreto lanzado vía seca influye directamente en la productividad de la empresa minera comunal Acopalca, debido que esta tecnología permitirá tener labores mineras más seguras, con menos caída de rocas, menor pérdida de tiempo por desate de rocas, menor incidentes y accidentes por desprendimiento de rocas entre otros factores los cuales están directamente relacionados con el incremento de la productividad.

Núñez (3), en su tesis que lleva por título: “Aplicación de shotcrete vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 para mejorar los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A.”, en su conclusión afirma que la aplicación de *shotcrete* vía seca vigila y reduce los riesgos y peligros del nivel 1320, al implementar la mejora del sistema de apoyo de hormigón proyectado, acorde a la velocidad de ejecución de las obras subterráneas, permitirá una mayor versatilidad y dinamismo, lo que significa optimización. aplicación de velocidad de minado y sistema de apoyo combinado en el proyecto: Split set, malla electrosoldada y hormigón proyectado en el frente de labor (roca) de calidad normal a incompetente, habrá considerable seguridad en el trabajo y menor riesgo de generación de desprendimientos.

En tal sentido se comparte opinión.

- **Hipótesis específica N°2**

La evaluación de la seguridad permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.

Respecto a esta hipótesis, la investigación determinó mediante la evaluación técnica y económica que el empleo del equipo de concreto lanzado vía seca influye directamente en la productividad de la empresa minera comunal Acopalca, debido que esta tecnología permitirá tener labores mineras más seguras, con menos caída de rocas, menor pérdida de tiempo por desate de rocas, menor incidentes y accidentes por desprendimiento de rocas entre otros factores los cuales están directamente relacionados con el incremento de la productividad.

Núñez (3), en su tesis que lleva por título: “Aplicación de shotcrete vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 para mejorar los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A.” en una de sus conclusiones establece que la aplicación de *shotcrete* vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 mejora positivamente los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A. ya que la zona de rehabilitación del nivel 1320 se encuentra a más de 80 metros de la superficie se concluye que para una resistencia a la rotura de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se requiere aire comprimido a razón de 600 cfm, con una cantidad mínima de agua de 0,10 l/s con una presión superior a 43 psi de acuerdo con *shotcrete*, con una corriente alterna de 440 voltios. Se tiene un rebote del 21,1% lo cual es menor que al 40% estimado como máximo para paredes verticales, inclinadas y hastiales. Teniendo *shotcrete* para 2 m de avance lineal un volumen de 1,434 m<sup>3</sup> (3).

Del análisis de su investigación y a los hallazgos alcanzados en la citada investigación se comparte opinión respecto a la influencia de la implementación al uso del *shotcrete* vía seca respecto a la seguridad

- Hipótesis específica N°3

La evaluación del costo - beneficio permite la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca.

Respecto a esta hipótesis, la investigación verificó que la evaluación del costo-beneficio con la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca involucra la eficiencia en el uso de materiales, este equipo ya que el concreto se mezcla en seco se aplica directamente en el lugar de trabajo. Esto reduce los desperdicios de material y minimiza los costos asociados con la compra y transporte de materiales adicionales; la reducción del tiempo de construcción es más rápida y eficiente en comparación con otros métodos de aplicación manual. Esto puede reducir significativamente el tiempo total de las labores mineras, lo que a su vez se traduce en ahorros en mano de obra y costos generales, menor necesidad de mano de obra debido a la naturaleza automatizada del equipo, menor mantenimiento de equipos y herramientas en comparación con equipos más complejos, esto se traduce en menores costos de mantenimiento y reparación a lo largo del ciclo de vida del equipo, lo que contribuye a la rentabilidad general del proyecto.

Chavez (2) en su tesis que lleva por título: “Aplicación del shotcrete vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el by pass 759 NW, zona Chisay, Compañía Minera Casapalca”, en una de sus conclusiones recomienda continuar utilizando hormigón proyectado seco como soporte y evitar el colapso de la roca de la compañía minera Casapalca S. A., porque la roca es más adecuada para las necesidades mineras de la empresa debido a factores

económicos en sus operaciones. También se recomienda usar solo acelerador de curado libre de álcalis y plastificante Haa MacFree Plus para reducir efectivamente la recuperación elástica, lograr un tiempo de curado inicial corto y una rápida adhesión a la superficie del recubrimiento.

Del análisis de su investigación y a los hallazgos alcanzados en la citada investigación se comparte opinión respecto al uso del *shotcrete* vía seca respecto a la parte económica

## CONCLUSIONES

1. Se verifico mediante la evaluación técnica económica de *shotcrete* vía seca influye directamente para la implementación del equipo ya que ofrece una serie de beneficios económicos tangibles, como la eficiencia en el uso de materiales, la reducción del tiempo y la mano de obra, menor mantenimiento de equipos, mayor durabilidad y calidad de las aplicaciones, entre otros. Estos factores respaldan una evaluación positiva del costo-beneficio al considerar esta tecnología para proyectos de construcción y aplicaciones similares.
2. Se determinó mediante la evaluación técnica y económica que el empleo del equipo de concreto lanzado vía seca influye directamente en la productividad de la empresa minera comunal Acopalca, debido que esta tecnología permitirá tener labores mineras más seguras, con menos caída de rocas, menor pérdida de tiempo por desate de rocas, menor incidentes y accidentes por desprendimiento de rocas entre otros factores los cuales están directamente relacionados con el incremento de la productividad.
3. Se comprobó que la implementación del equipo de concreto lanzado, también conocido como *shotcrete*, ha tenido un impacto significativo en términos de seguridad en la industria de la construcción y en otros campos donde se utiliza esta tecnología sustentados en la reducción de riesgos para los trabajadores. El uso del equipo de concreto lanzado permite aplicar concreto de manera más eficiente y controlada en comparación con métodos tradicionales como el vertido manual; finalmente se puede afirmar que su capacidad para reducir riesgos para los trabajadores, minimizar la exposición a sustancias nocivas, ofrecer mayor precisión y control, reducir la manipulación de equipos pesados y llegar a áreas de difícil acceso de manera segura son aspectos clave que respaldan su influencia positiva en términos de seguridad.
4. Se verificó que la evaluación del costo-beneficio con la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca involucra la eficiencia en el uso de materiales, este equipo ya que el concreto se mezcla en seco se aplica directamente en el lugar de trabajo. Esto reduce los desperdicios de material y minimiza los costos asociados con la compra y transporte de materiales adicionales; la reducción del tiempo de construcción es más rápida y eficiente en comparación con otros métodos de aplicación manual. Esto puede reducir significativamente el tiempo total de las labores mineras, lo que a su vez se traduce en ahorros en mano de obra y costos generales, menor necesidad de mano de obra debido a la naturaleza automatizada del equipo, menor mantenimiento de equipos y herramientas en



comparación con equipos más complejos, esto se traduce en menores costos de mantenimiento y reparación a lo largo del ciclo de vida del equipo, lo que contribuye a la rentabilidad general del proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. Luego de haber verificado que la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca tiene un impacto significativo en la seguridad, eficiencia y calidad de proyectos de construcción, se recomienda la capacitación y entrenamiento al personal esto incluye el conocimiento sobre el funcionamiento del equipo, técnicas de aplicación adecuadas, medidas de seguridad y procedimientos de emergencia.
2. Luego de haber verificado la evaluación técnica y económica, se recomienda realizar la selección adecuada de equipos y materiales para las necesidades específicas del proyecto. Además, es crucial utilizar materiales de alta calidad que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para obtener resultados óptimos, mantenimiento regular del equipo de concreto lanzado. Esto incluye inspecciones periódicas, lubricación adecuada y reparación o reemplazo de piezas desgastadas, del mismo modo antes de iniciar cualquier trabajo con el equipo, se debe realizar una planificación detallada del sitio de trabajo. También incluye identificar áreas de acceso, delimitar zonas de seguridad y establecer protocolos de comunicación entre el personal.
3. Luego de haber verificado que la implementación del *shotcrete* ha tenido un impacto significativo en términos de seguridad, se recomienda el monitoreo de seguridad y calidad durante la aplicación del concreto lanzado esto implica verificar la correcta aplicación del concreto, controlar la exposición al polvo y otros riesgos laborales, así como realizar pruebas de calidad según sea necesario, del mismo modo el cumplimiento normativo y ambiental relacionadas con el uso del equipo de concreto lanzado. Esto incluye el manejo adecuado de residuos, control de emisiones y protección del entorno natural.
4. Luego de haber verificado el costo beneficio de la implementación del *shotcrete* vía seca, se recomienda que la empresa pueda maximizar los beneficios respecto a la economía, seguridad, eficiencia y calidad que ofrece la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca en sus proyectos.
5. Del mismo modo, se recomienda realizar la mejora continua mediante una evaluación exhaustiva para identificar áreas de mejora en el uso del equipo de concreto lanzado. Esto incluye recopilar retroalimentación del personal, analizar resultados y ajustar procedimientos según sea necesario para futuros proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORNEJO, Juan. Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima Perú :Universidad Cesar Vallejo, 2020, 153 pp.
2. CHÁVEZ, Pool. Aplicación del shotcrete vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el by pass 759 NW, zona Chisay, Compañía Minera Casapalca. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo Perú :Universidad Continental, 2021, 95 pp.
3. NÚÑEZ, Daniel. Aplicación de shotcrete vía seca en la rehabilitación del nivel 1320 para mejorar los procesos de sostenimiento y seguridad – Mina San Cristóbal, Volcan Compañía Minera S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo Perú :Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021, 90 pp.
4. SOTO, Carlos. Mecanización del lanzado de shotcrete para optimizar rendimiento del sostenimiento en sociedad minera Corona S.A – Yauricocha. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo Perú :Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022, 74 pp.
5. HÖFLER, Jürgen, SCHLUMPF, Jürg y Jahn, Markus. *Manual Sika sobre hormigón proyectado*. [En línea] 2011. [Fecha de consulta: 13 de enero del 2024] Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arg.sika.com/dms/getdocument.get/0e89ae0f-f95d-3009-8e44-59d6d655b8e6/ManualHormig%C3%B3nProyectado.pdf
6. PORRAS MAYTA, Julio Fredy. “*Evaluación geomecánica para la recuperación de puentes con fines de seguridad*”. Huancayo - Perú : s.n., 2020.
7. Boletín N° 78. *Geología de los cuadrangulos de Chuchurras, Ulcumayo, Oxapampa y La Merced*. Lima-Perú : s.n., 1996.
8. DÁVILA BURGA, Jorga. *Diccionario geológico*. Lima - Perú : s.n., 2011.
9. OSINERGMIN, Osinergmin. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima - Perú : s.n., 2017.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

|             | Problema   | Objetivo   | Hipótesis  | Variable                         |
|-------------|--|--|--|----------------------------------|
| General     | ¿Cuál es el resultado de la evaluación técnica económica de shotcrete vía seca para su implementación en labores de avance, minera artesanal para Acopalca 2023? | Establecer el resultado de la evaluación económica del shotcrete vía seca para su implementación en labores de avance, minera artesanal para Acopalca 2023 | La evaluación técnica económica del shotcrete vía seca permite mejorar los indicadores de producción y seguridad en labores de avance, minera artesanal para Acopalca 2023 | Independiente Shotcrete vía seca |
| Específicos | a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la productividad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca?                                     | a) Evaluar la productividad con la implementación del shotcrete vía seca   | a) La evaluación de la productividad permite la implementación del shotcrete vía seca.   | Dependiente Labores de avance    |
|             | b) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la seguridad con la implementación del equipo de concreto lanzado vía?  | b) Evaluar la seguridad con la implementación del shotcrete vía seca.  | b) La Evaluación de la seguridad permite la implementación del shotcrete vía seca  |                                  |
|             | c) ¿Cuál es el resultado de la evaluación del costo - beneficio de la implementación del equipo de concreto lanzado vía seca                                     | c) Evaluar el costo - beneficio con la implementación del shotcrete vía seca.  | c) La evaluación del costo - beneficio permite la implementación del del shotcrete vía seca  |                                  |

## Anexo 2

### Matriz de operacionalización de variables

| Variable                  | Concepto   | Dimensión   | Unidad  |
|---------------------------|--|---|---|
| Independiente             | La vía seca es cuando se le añade agua en la boquilla y la húmeda, se agrega antes de entrar a la manguera. La forma seca genera un control instantáneo sobre el agua y da consistencia a la mezcla. Es apropiada para agregados livianos, materiales refractarios y concreto de resistencia temprana.         | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Productividad</li> <li>➤ Seguridad</li> <li>➤ Costo - beneficio</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>\$/t</li> <li>Hr.</li> </ul> |
| Dependiente               | Productividad  | ➤ Indicadores de productividad  | S/U   |
| Productividad y seguridad | Se encarga de medir y calcular el total de bienes y servicios que han sido producidos por cada factor utilizado (tierra, trabajo, capital, tiempo, etc.) durante un periodo determinado. Es decir, la productividad nos permite saber lo que produce un trabajador en una hora, en un día o incluso en un mes. | ➤ Indicadores de seguridad  | S/U   |
|                           | <p><b>Seguridad</b></p> <p>La seguridad puede considerarse como un estado de ausencia de peligros y de condiciones que puedan provocar daño físico, psicológico o material en los individuos y en la sociedad en general.</p>  |   |   |