

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Implementación de shotcrete vía húmeda semi-
mecanizado para mejorar la eficiencia del
sostenimiento en la Unidad Minera Sierra
Sumaq Rumi**

Jesus Reymundo Espinoza Huaman
Andrei Abel Galarza Samaniego
Kevin Antony Rivera Espinoza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Ing. Felipe Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda Asesor
de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 04 de octubre del 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA SEMI- MECANIZADO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SOSTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA SIERRA SUMAQ RUMI", perteneciente a los estudiantes Espinoza Huaman, Jesus Reymundo, Galarza Samaniego, Andrei Abel, y; Rivera Espinoza, Kevin Antony, de la E.A.P. de 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 11 % de similitud (informe adjunto) 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:) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Jesus Reymundo Espinoza Huaman, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47741158, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA SEMI-MECANIZADO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SOSTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA SIERRA SUMAQ RUMI", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

05 de Octubre de 2023.



Jesus Reymundo Espinoza Huaman

DNI. No. 47741158

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Andrei Abel Galarza Samaniego, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 45930921, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA SEMI-MECANIZADO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SOSTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA SIERRA SUMAQ RUMI", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

05 de Octubre de 2023.



Andrei Abel Galarza Samaniego

DNI. No. 45930921

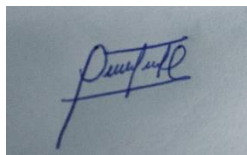
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Kevin Antony Rivera Espinoza, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 77043333, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

9. La tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA SEMI-MECANIZADO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SOSTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA SIERRA SUMAQ RUMI", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
10. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
11. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
12. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

05 de Octubre del 2023.



Kevin Antony Rivera Espinoza

DNI. No. 77043333

Implementación de shotcrete vía húmeda semi-mecanizada

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 11% | 10% | 2% | % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

1%

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1%



Castro Nieto José Ángel. "Modos de interacción entre el concreto lanzado y roca fracturada en contornos irregulares de túneles", TESIUNAM, 2016

Publicación

<1%

renatiqa.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet













<1%

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

| | | |
|----|--|------|
| 9 | es.renatureinc.com Fuente de Internet | <1 % |
| 10 | bestsupportunderground.com Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 12 | repositoriodemo.continental.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | 1library.co Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | docplayer.es Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | giab-online.ru Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | www.researchgate.net Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | www.rumbominero.com Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|---|------|
| |  de.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 22 |  repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 23 |  repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 24 |  deproinsa.com.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 25 |  pt.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 26 |  repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 27 |  es.business-nice.com Fuente de Internet | <1 % |
| 28 |  core.ac.uk Fuente de Internet | <1 % |
| 29 |  repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 30 |  cuhsu.uct.cl Fuente de Internet | <1 % |
| 31 |  repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 32 |  López Palacios Emiliano. "Control de calidad y colocación de concretos permeables", | <1 % |

TESIUNAM, 2010

Publicación

| | | |
|----|--|------|
| 33 | www.minem.gob.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 34 | repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 35 | www.grafiati.com Fuente de Internet | <1 % |
| 36 | www.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 37 | doczz.es Fuente de Internet | <1 % |
| 38 | idoc.pub Fuente de Internet | <1 % |
| 39 | old.scielo.org Fuente de Internet | <1 % |
| 40 | repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 41 | shotcrete.org Fuente de Internet | <1 % |
| 42 | www.theibfr.com Fuente de Internet | <1 % |
| 43 | www.tdx.cat Fuente de Internet | <1 % |

44

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45

www.pracadaliberdade.com

Fuente de Internet

<1 %

46

fddocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

47

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

48

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

jalayo.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

50

ri.diva-portal.org

Fuente de Internet

<1 %

51

www2.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

52

C. Aire, R. Gettu, J. R. Casas, S. Marques, D. Marques. "Estudio experimental y modelo teórico del hormigón confinado lateralmente con polímeros reforzados con fibras (FRP)", *Materiales de Construcción*, 2010

Publicación

<1 %

53

doaj.org

Fuente de Internet

<1 %

54

movoloco.ning.com

Fuente de Internet

<1 %

55

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

repositorio.uladech.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

57

repositorio.une.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

58

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

59

repository.libertadores.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

60

repository.unimilitar.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

61

revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

62

www.mikst.ru

Fuente de Internet

<1 %

63

Ramaiah Prakash, Rajagopal Thenmozhi, Sudharshan N. Raman, Chidambaram Subramanian. "Fibre reinforced concrete containing waste coconut shell aggregate, fly ash and polypropylene fibre", Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2019

Publicación

<1 %

| | | |
|----|---|------|
| 64 | TAREK IBRAHIM MAHMOUD. "Evaluation of the degradation process of cement-based materials exposed to aggressive environment by using ultrasonic techniques and physical characterisation", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Publicación | <1 % |
| 65 | apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 66 | es.arautos.org Fuente de Internet | <1 % |
| 67 | pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 68 | repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 69 | repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 70 | www.foi.se Fuente de Internet | <1 % |
| 71 | www.hormigonelaborado.com Fuente de Internet | <1 % |
| 72 | www.saab.com Fuente de Internet | <1 % |
| 73 | www.voltairenet.org Fuente de Internet | <1 % |

74 "Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control", Springer Science and Business Media LLC, 2020
Publicación <1 %

75 Edgar García Fortea. "Desarrollo de materiales de pre-mejora y herramientas biotecnológicas para la adaptación de la berenjena al cambio climático", Universitat Politecnica de Valencia, 2020
Publicación <1 %

76 FCA CONSULTORES AMBIENTALES S.A.C.. "PAMA del Fundo Blueberries Perú-IGA0013774", R.D.G. N° 349-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021
Publicación <1 %

77 KLOHN CRIPPEN BERGER S.A.. "MEIA del Proyecto Minero Antamina por Incremento de Reservas y Optimización del Plan de Minado.-IGA0013037", R.D. N° 054-2011-MEM-AAM , 2021
Publicación <1 %

78 KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Constancia-IGA0006961", R.D. N° 390-2010-MEM-AAM, 2020
Publicación <1 %

79 arantxa.ii.uam.es
Fuente de Internet <1 %

80

baixardoc.com

Fuente de Internet

<1 %

81

catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

82

documents.mx

Fuente de Internet

<1 %

83

doczz.cz

Fuente de Internet

<1 %

84

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

85

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

<1 %

86

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

87

repositorio.umch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

88

www.consumer.es

Fuente de Internet

<1 %

89

www.indeci.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

90

www.jove.com

Fuente de Internet

<1 %

91

Fernando Girardi de Abreu. "Quantificação dos prejuízos econômicos à atividade"

<1 %

comercial derivados de inundações urbanas",
Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de
Gestao da Informacao Academica (AGUIA),
2019

Publicación

92

Ferrán Navarro Ferrer. "Modelos predictivos de las características prestacionales de hormigones fabricados en condiciones industriales", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

<1 %

93

Morell Ocaranza Francisco. "Comparación de sistemas estructurales para edificios altos de concreto en la Ciudad de México", TESIUNAM, 2009

Publicación

<1 %

94

Pérez Ramos Daniel. "Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos", TESIUNAM, 2009

Publicación

<1 %

95

Óscar Mulumba Ilunga. "Estudio de la optimización de estufas de cocción tradicionales empleadas en países en desarrollo utilizando biomasa leña gasificada (aplicado a la R.D.Congo)", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

96

scholarworks.utrgv.edu

Fuente de Internet

<1%

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a nuestros padres por darnos su amor, paciencia, y sus ánimos para seguir avanzando y desarrollando la presente investigación de tesis. También, por darnos la oportunidad de formarnos en la universidad Continental y así crecer profesionalmente. A nuestros padres por confiar y creer en cada uno de nosotros, por desear lo mejor, por sus ánimos que nos mantuvieron firmes y decididos frente a los obstáculos que se presentaron. Agradecemos a todas las buenas amistades, familiares que nos sumaron positivamente para la realización de nuestra respectiva tesis.

Agradecemos a la unidad minera Sierra Sumaq Rumi por darnos la oportunidad de realizar la investigación en sus instalaciones y brindarnos el acceso a su información.

De la igual forma, agradecemos a nuestro asesor, que nos dio la dicha de brindarnos su tiempo y su sabiduría en contribución de la presente investigación.

Agradecemos también a nuestros jurados, a todas las personas que nos ayudaron directa e indirectamente con su aporte de aconsejarnos y brindarnos algunas recomendaciones para que de esa manera nuestra investigación saliera de manera.

DEDICATORIA

A mis padres, por darme la vida y confiar siempre en mí.

Jesús Espinoza Huaman

Dedicado a mi familia, por darme siempre el amor y la comprensión para salir adelante.

Andrei Galarza Samaniego

Lo dedico a mis seres queridos con quienes siempre puedo contar para alcanzar mis metas.

Kevin Rivera Espinoza

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | i |
| DEDICATORIA | ii |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| INTRODUCCIÓN | ix |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO..... | 12 |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema | 12 |
| 1.1.1 Planteamiento problema | 12 |
| 1.1.2 Formulación del problema | 13 |
| 1.2 Objetivos..... | 14 |
| 1.2.1 Objetivo general | 14 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 14 |
| 1.3 Justificación e importancia | 15 |
| 1.3.1 Justificación | 15 |
| 1.3.2 Importancia | 16 |
| 1.4 Hipótesis y descripción de variables | 17 |
| 1.4.1 Hipótesis general | 17 |
| 1.4.2 Hipótesis específicas | 17 |
| 1.4.3 Operacionalización de variables | 18 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 2.1 Antecedentes del problema | 19 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales | 19 |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales | 22 |
| 2.2 Bases teóricas | 25 |
| 2.2.1 Shotcrete | 25 |
| 2.2.2 Sostenimiento en mina | 40 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO III METODOLOGÍA..... | 55 |
| 3.1 Método y alcance de la investigación..... | 55 |
| 3.2 Diseño de la investigación | 55 |
| 3.3 Población y muestra | 57 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 57 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 58 |
| 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras) | 58 |
| 4.1.1. Seguimiento del proceso de <i>shotcrete</i> | 58 |
| 4.2.1. Volumen de lanzado | 59 |
| 4.2.2. Pérdida de material..... | 61 |
| 4.2.3. Costos por vía mecanizada y convencional | 63 |
| 4.2.4. Resultados de la prueba en mina <i>shotcrete</i> vía húmeda | 64 |
| 4.2.5. Resultados de la prueba en mina <i>shotcrete</i> vía seca..... | 69 |
| 4.2 Prueba de hipótesis | 74 |
| 4.2.1. Prueba de la primera hipótesis específica | 74 |
| 4.2.2. Prueba de la segunda hipótesis específica..... | 75 |
| 4.2.3. Prueba de la tercera hipótesis específica | 76 |
| 4.2.4. Prueba de la cuarta hipótesis específica..... | 77 |
| 4.2.5. Prueba de la hipótesis general | 79 |
| 4.3 Discusión de resultados..... | 80 |
| CONCLUSIONES | 87 |
| RECOMENDACIONES | 89 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 90 |
| ANEXOS..... | 94 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables | 18 |
| Tabla 2. Costo por m ³ de shotcrete | 47 |
| Tabla 3. Volumen por diseño seco y húmedo de shotcrete | 59 |
| Tabla 4. Pérdida por rebote..... | 61 |
| Tabla 5. Comparación por pérdida por rebote | 62 |
| Tabla 6. Diferencia en costos unitarios | 63 |
| Tabla 7. Diseño de mezcla del shotcrete..... | 65 |
| Tabla 8. Absorción de energía del shotcrete estructural..... | 67 |
| Tabla 9. Diseño de mezcla del shotcrete vía seca | 69 |
| Tabla 10. Control de calidad del shotcrete | 71 |
| Tabla 11. Diferencia entre vía seca y vía húmeda..... | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Hi Vol | 48 |
| Figura 2. Equipo shotcrete vía húmeda..... | 51 |
| Figura 3. Diferencia en materiales para producir shotcrete por vía seca y húmeda | 60 |
| Figura 4. Diferencia en porcentaje de pérdida en rebote | 62 |
| Figura 5. Diferencia en precios unitarios | 64 |
| Figura 6. Resistencia temprana del shotcrete vía húmeda..... | 66 |
| Figura 7. Desarrollo de la resistencia a la compresión del shotcrete vía húmeda | 66 |
| Figura 8 Pruebas de absorción de energía del shotcrete | 67 |
| Figura 9. Control estadístico de la absorción de energía del shotcrete | 68 |
| Figura 10. Tipos de refuerzos del shotcrete | 68 |
| Figura 11. Control de espesor de la capa de shotcrete | 69 |
| Figura 12. Producción de shotcrete vía seca | 71 |
| Figura 13. Absorción de energía del shotcrete | 72 |
| Figura 14. Refuerzos del shotcrete | 73 |
| Figura 15. Control de espesor..... | 73 |
| Figura 16. Generación de polvo por vía húmeda..... | 78 |
| Figura 17. Generación de polvo por vía seca..... | 78 |

RESUMEN

La presente investigación determinó las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* de vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. Para el desarrollo del estudio se empleó la metodología científica con un enfoque cuantitativo; asimismo, el tipo de la investigación fue aplicada; el nivel, explicativo; el alcance, preexperimental.

Entre los principales resultados se encontró que, la cantidad utilizada de los materiales empleados para producir 2 m³ de concreto, se necesitaron 480 kg y 157.3 kg de cemento, para el diseño seco y húmedo respectivamente; asimismo, la cantidad de agua fue menor pasando de 180 litros a 74.7 litros. Por el lado de agregado fino, la cantidad necesaria en vía húmeda fue aproximadamente la tercera parte, con respecto a la cantidad de aditivos en el diseño seco fue de 36.4, mientras que el diseño húmedo fue de 8.7 litros. El porcentaje de pérdida de material por rebote aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi fue de 6.91 % para una producción de 2 m³, mientras que por vía seca la pérdida fue de 8.98 %; una diferencia de 2.07 % puntos porcentuales.

Los costos por m³ para roca regular fueron de 12.75 y 5.85 con el método mecanizado. Sin embargo, para el elemento de roca mala, el costo en mecanizado resultó ser mayor en 10.92. Por otro lado, aplicando el nuevo *shotcrete* por vía húmeda con un sistema semimecanizado se tuvo una reducción significativa en los costos por m³ lanzado y con respecto al nivel de polvo en las labores, se disminuyó en un 50 %.

Por lo tanto, el estudio concluye indicando que, las mejoras en la eficiencia de la aplicación del nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi incrementó el volumen de lanzado de concreto, se disminuyó la pérdida de material por rebote, se redujeron los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores.

Palabras clave. *shotcrete* vía húmeda, semimecanizado, eficiencia, sostenimiento de mina, material de rebote, nivel de polvo, costo por m³, volumen de lanzado.

ABSTRACT

The present investigation determined the improvements in the efficiency of the application of wet Shotcrete with a semi-mechanized system in the Sierra Sumaq Rumi mining unit. For the development of the study, the scientific methodology was used with a quantitative approach; likewise, the type of research was applied, the level was explanatory, the scope was pre-experimental.

Among the main results, it was found that, the amount of materials used to produce 2 m³ of concrete, 480 kg and 157.3 kg of cement were needed, for the dry and wet design, respectively; Likewise, the amount of water was less, going from 180 liters to 74.7 liters. On the fine aggregate side, the amount needed in the wet process was approximately one third, with respect to the amount of additives in the dry design it was 36.4, while the dry design was 8.7 liters. The percentage of loss of material by rebound applying the new Shotcrete wet method with a semi-mechanized system in the Sierra Sumaq Rumi mining unit, was 6.91 % for a production of 2 m³, while by dry method the loss was 8.98 %; a difference of 2.07 % percentage points.

The costs per m³ for regular rock were 12.75 and 5.85 for the mechanized method. However, for the bad rock element, the machining cost turned out to be higher at 10.92. So, the reduction was significant in the costs per m³ launched, applying the new Shotcrete wet method. Regarding the level of dust in the work applying the new Shotcrete by wet method with a semi-mechanized system in the Sierra Sumaq Rumim mining unit, it decreased by 50 %.

Therefore, the study concludes by indicating that the improvements in the efficiency of the application of Shotcrete by applying the new Shotcrete wet route with a semi-mechanized system in the Sierra Sumaq Rumi mining unit. The volume of concrete sprayed was increased, the loss of material due to rebound was reduced, the costs per m³ sprayed and the level of dust in the work were reduced.

Keywords. Wet shotcrete, semi-mechanized, efficiency, mine support, rebound material, dust level, cost per m³, shot volume.

INTRODUCCIÓN

En la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, se ha convertido en todo un reto mantener estable el macizo rocoso; por ello, se ha buscado métodos de sostenimiento, tales como el concreto lanzado o *shotcrete*, si bien es cierto, la unidad minera viene realizando el sostenimiento por medio del método por vía seca, este método no está siendo del todo eficiente; por el cual, esta investigación planteó hacer uso del método de *shotcrete* por vía húmeda semimecanizado, haciendo uso de una mezcladora adaptado a un mini cargador, ya que disminuye la cantidad de lanzado, la cantidad de polvo generado, el costo y el tiempo de operación; por consiguiente, esto favorece a la resistencia y mejora la calidad del concreto. Es por ello, que en esta investigación se planteó como problema general ¿cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?

El objetivo de esta investigación fue determinar cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. La investigación tuvo como hipótesis que las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi serán incrementar el volumen de lanzado de concreto, disminuir la pérdida de material por rebote, reducir los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores. Para validar esta hipótesis se empleó la metodología científica de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, diseño pre experimental, nivel explicativo, la técnica empleada fue la observación y el instrumento fue la ficha de observación.

El presente trabajo está conformado por 4 capítulos donde: el capítulo I, propone el y formula problema, además se especifica los propósitos alcanzados. El capítulo II alude al marco teórico, antecedentes y las variables del estudio respectivamente. El capítulo III, se enfoca en la metodología de investigación. En el capítulo IV se describe resultados y discusiones

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento problema

A nivel mundial, el *shotcrete* de vía húmeda tiene más preferencia, debido a que este método ofrece un sinfín de ventajas con respecto al método de vía seca (1). Debido a su gran adherencia y resistencia el concreto proyectado o *shotcrete*, se ha convertido en una solución infaltable en la estabilización de taludes y en los proyectos de túneles que son indispensables en el sector minero, con la finalidad de que las actividades se realicen con total seguridad. El *shotcrete* permite inyectar de forma neumática y con una alta presión la mezcla del hormigón sobre una superficie pedregosa o un terreno natural, acero, madera o mampostería. En esta técnica es fundamental la habilidad del colaborador operario que está a cargo, sobre todo en la prevención del rebote que se da al momento de realizar el lanzado, ya que la pérdida de material suele llegar a ser entre un 10 % hasta incluso un 30 % cuando se llega a trabajar en una superficie vertical (2).

Las ventajas que brinda este método es que la relación agua/cemento está asociada de manera directa con el sostenimiento y la resistencia, mejora las condiciones de trabajo, ya que hay una enorme reducción en la cantidad de polvo; aumentando así la seguridad de los operarios. Asimismo, la reducción en costo es notable ya que la operación de *shotcrete* de forma manual requiere mayor personal;

en cambio, en el equipo semimecanizado la cantidad de mano de obra es menor. Otro de los beneficios es que se genera menos rebote con respecto al método vía seca, su rendimiento del equipo semimecanizado es mayor al de uno manual, ya que brinda caudales máximos de 20 y 30 m³/h; ahorra tiempo en las labores de preparación, por lo que este ahorro se evidencia en un 30 % con respecto a la preparación normal (3).

En Perú, Díaz presentó la evolución del *shotcrete* destacando la importancia del hormigón proyectado en el sector minero; es así que recalcó que el método ofrece mayores ventajas que el concreto convencional; del mismo modo, enfatizó la gran importancia que tiene el realizar el control de la cantidad del aditivo acelerante que es usado en el método de *shotcrete* vía húmeda, ya que una adecuada dosificación del aditivo ofrecerá que la fragua sea rápida, haya mayor absorción, alta resistencia y otros que son fundamentales para el concreto reforzado con fibras, material que es usado para el sostenimiento de túneles en las minas (4).

En la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, día a día, el personal tiene dificultades en estabilizar el macizo rocoso, por lo que se ha decidido implementar el *shotcrete*. Si bien es cierto, la unidad minera viene realizando el sostenimiento por medio del método por vía seca; sin embargo, este método no está siendo del todo eficiente, por el cuál esta investigación planteó hacer uso del método de *shotcrete* por vía húmeda semimecanizado, haciendo uso de una mezcladora adaptado a un mini cargador, ya que disminuye la cantidad de lanzado, la cantidad de polvo generado, el costo y el tiempo de operación; por consiguiente, esto favorece a la resistencia y aumentando la calidad del concreto.

1.1.2 Formulación del problema

a) Problema general

¿Cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?

b) Problemas específicos

- ✓ ¿Cuánto será el incremento en el volumen de lanzado de concreto aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?
- ✓ ¿Cuánto será el porcentaje de pérdida de material por rebote aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?
- ✓ ¿En cuánto se reducirán los costos por m³ lanzado aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?
- ✓ ¿En cuánto se reducirá el nivel de polvo en las labores aplicando el nuevo *shotcrete* por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar cuánto será el incremento en el volumen de lanzado de concreto aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
- ✓ Determinar cuánto será el porcentaje de pérdida de material por rebote aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- ✓ Calcular en cuánto se reducirán los costos por m³ lanzado aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- ✓ Determinar en cuánto se reducirá el nivel de polvo en las labores aplicando el nuevo *shotcrete* por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación

La justificación social de la investigación se debe a que el recubrimiento de túneles con concreto normal sufre deterioros antes de los previstos, causando molestias y siendo un riesgo para los colaboradores mineros; además, generan gastos de reparación. Estos deterioros son ocasionados por las condiciones climáticas, calidad de materiales empleados, mal diseño, entre otros factores más; que hacen que el volumen de lanzado, la pérdida de material, el costo y el nivel de polvo tengan valores máximos permitidos de acuerdo a las normas internacionales y nacionales.

El empleo del *shotcrete*, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado, permitió obtener buenos resultados en volumen de lanzado, costo, reducción del nivel de polvo y la pérdida de material, lo que contribuyó al alargamiento de la vida útil y la estabilidad del sostenimiento. Asimismo, esta investigación contribuyó a la mejora de la calidad del aire, ya que, el material particulado se generaba con el método de vía seca, superando los estándares de calidad de aire en el parámetro de PM 10 y PM 0.5, si no se controla estos parámetros, resulta perjudicial para la salud y al medio ambiente.

La investigación se justifica de manera teórica, porque aceptó los aportes de muchos autores y teóricos, sobre las variables de investigación que están referidos a la implementación de *shotcrete* vía húmeda semimecanizado para mejorar la eficiencia del sostenimiento en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi; por lo que, los

autores y teóricos que fundamentaron esta tesis fueron, Banthia N. (5), Bernard S. (6), Harmsen T. (7), Guevara V. (8), Hernández F. (9), Martínez J. (10), Cornejo J. (11).

La investigación se justifica de manera metodológica debido al uso del *shotcrete* método vía húmeda, ya que aporta muchos beneficios para la unidad minera Sierra Sumaq Rumi como la disminución en el costo de lanzado, en la generación de polvo, en la pérdida de material de rebote, ahorro energético, menos mano de obra, ahorro de tiempo de operación, mejor condición de trabajo, mejorar en el sostenimiento, etc. Por lo que resulta muy beneficioso para la empresa tanto en lo económico, social y ambiental.

1.3.2 Importancia

La investigación fue importante porque brindó un aporte a la unidad minera Sumaq Rumi, con respecto a el recubrimiento de túneles con concreto normal, ya que viene sufriendo deterioros antes de los previstos causando molestias y siendo un riesgo para los trabajadores mineros; además, generan gastos de reparación. Estos deterioros son ocasionados en muchos casos por las condiciones climáticas, calidad de materiales empleados, mal diseño, entre otros factores más; que hacen que el volumen de lanzado, la pérdida de material, el costo y el nivel de polvo tengan valores máximos permitidos de acuerdo a las normas internacionales y nacionales. El empleo del *shotcrete*, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado, fue importante, ya que los resultados esperados fueron satisfactorios en las dimensiones de costo, volumen, nivel de polvo y material perdido; favoreciendo a la estabilidad y permitiendo que el sostenimiento tenga un periodo mayor de resistencia. Asimismo, esta investigación es importante porque contribuyó a la mejora de la calidad del aire, porque el material particulado que se generaba con el método de vía seca superaba los estándares de calidad de aire en el parámetro de PM 10 y PM 0.5, si estos parámetros no son controlados, resulta perjudicial para la salud y al medio ambiente.

La investigación es importante porque la metodología del *shotcrete* vía húmeda aporta muchos beneficios para la unidad minera Sierra Sumaq Rumi como la disminución en el costo de lanzado, reducción en la generación de polvo o material particulado, reduce la pérdida de material de rebote, ahorra energía, emplea menos mano de obra, ahorra tiempo de operación, mejora la condición de trabajo, mejora el sostenimiento, etc. Por lo que, resulta un buen aporte para la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

Las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete*, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, serán incrementar el volumen de lanzado de concreto, disminuir la pérdida de material por rebote, reducir los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores.

1.4.2 Hipótesis específicas

- ✓ Se evidenciará un incremento significativo en el volumen de lanzado de concreto, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- ✓ El porcentaje de material por rebote disminuirá en 10 % a 30 %, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- ✓ La reducción será significativa en los costos por m³ lanzado, aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- ✓ El porcentaje de polvo en las labores disminuirá en un 50 %, aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

1.4.3 Operacionalización de variables

✓ Variable independiente

Implementación de *shotcrete* vía húmeda semimecanizado

✓ Variable dependiente

Eficiencia del sostenimiento en mina

Tabla 1. Operacionalización de variables

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores |
|--|--|---|----------------------------------|--|
| Implementación de Shotcrete vía húmeda semi mecanizado | Consiste en agregar agua a la mezcla antes de la proyección, en este caso la cantidad de agua utilizada se define según el proyecto a realizar, dependiendo de la capacidad del eyector y su finalidad (12). | La aplicación del shotcrete aumenta el volumen de lanzado, disminuye la perdida de material, reduce los costos y disminuye el nivel de polvo. | Volumen de lanzado | Cantidad de volumen lanzado |
| | | | Pérdida de material | Porcentaje de pérdida de material |
| | | | Costos por m ³ | Proporción de costo por m ³ |
| | | | Nivel de polvo | Porcentaje de nivel de polvo |
| Eficiencia del sostenimiento en mina | La eficiencia del sostenimiento en mina es un término que engloba la resistencia, el tipo de material y otro aspecto que influyen de manera directa en la seguridad, los costos entre otros (13). | La eficiencia del sostenimiento en mina considera el equipo que se usa para el concreto lanzado, las funciones de apoyo del Shotcrete y la preparación del Shotcrete. | Preparación de Shotcrete | Cantidad de insumos |
| | | | Funciones de apoyo del Shotcrete | Revestimiento |
| | | | Equipos de Shotcrete | Vía seca |
| | | | | Vía húmeda |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Tesis titulada: «*Estudio del comportamiento en la durabilidad del shotcrete (Shotcrete), mediante ensayos de migración de cloruros*». El propósito de la tesis fue evaluar el desempeño en ensayos de *shotcrete* con la migración de cloruro. Para que el propósito se dé, la investigadora hizo uso de la metodología científica, con método específico analítico, se usó la metodología de ensayo ASTM C642, el instrumento empleado fue la ficha de registro, la muestra estuvo conformada por 19 probetas. Los resultados de los ensayos fueron 17 % de Volumen permeable de hormigón (VPV), 3636 de *test* rápido de permeabilidad de cloruro (RCPT) de carga eléctrica, método nortdest (NT BUILD 492) fue 8.2 de coeficiente de migración. Concluye en que el desempeño de *shotcrete* en ensayo con cloruro no existe la migración de cloruro. Asimismo, de acuerdo con los parámetros analizados, la durabilidad de *shotcrete* determinada fue alta; así como, la eficiencia en la sostenibilidad (8).

- Tesis titulada: «*Métodos empleados en la evaluación de la calidad del concreto lanzado*». La investigación se planteó como objetivo diseñar, caracterizar y elaborar de mezclas *shotcrete*. Para alcanzar el objetivo se empleó la metodología científica, el tipo fue aplicada, el diseño experimental, la muestra estuvo compuesta por 9 probetas, el instrumento empleado fue la ficha de observación. Los resultados fueron que el revenimiento con aditivo la muestra 7 tuvo un valor de 6.9 cm, y sin aditivo 0.7; el peso volumétrico más alto lo obtuvo la muestra 2 con un valor de 2186 kg/m³ y el porcentaje de aire mayor lo obtuvo

la muestra 7 con un valor de 5.7 %. En el ensayo de esclerómetro el valor más alto lo obtuvo la muestra 3, 31.2 a los 28 días y a los 91 días de 32.9 en números de rebote; este ensayo se dio en la relación a/c. Con respecto al ensayo de velocidad de puso ultrasónico, la muestra que presentó el valor más alto fue la muestra 2 con 4023 m/s. La resistencia a la compresión simple, la muestra 2 presentó los siguientes valores; 352 kg/cm², 462 kg/cm², 537 kg/cm² para los días 7, 28 y 91 días respectivamente. Con respecto a la deformación unitaria la muestra 2 presentó el valor más alto con 0.0038 ϵ máx. y 0.0035 ϵ máx., para los días 28 y 91 respectivamente. Concluye en que se logró diseñar, caracterizar y elaborar las mezclas de *shotcrete*; asimismo, se concluye en que *shotcrete* presentó la mayoría de las propiedades como la resistencia, durabilidad, flexibilidad, compresión y sostenimiento; beneficiando en el uso menor de moldaje y su rápida colocación en comparación con el hormigón convencional (9).

- Tesis titulada: «*Análisis del concreto lanzado como revestimiento definitivo para túneles*». La tesis propuso como objetivo analizar el *shotcrete* como revestimiento en túneles comparación con un concreto convencional. Para que el objetivo se dé, el investigador empleó la metodología científica, tipo aplicada, preexperimental, la muestras fueron 6 probetas. Los resultados del concreto con 5kg de fibra la deformación fue de 10 mm con una fuerza de 4 toneladas, el *shotcrete* con 5kg de fibra sin aditivo fue de 3 mm con una fuerza de 4.6 toneladas, el *shotcrete* con 5kg de fibra y con aditivo obtuvo el siguiente resultado, la deformación fue de 12 mm con una fuerza de 5.7 toneladas. Para un concreto convencional con 6 kg de fibra, la deformación fue de 3 mm con una fuerza de 4.4 toneladas; la deformación en un *shotcrete* con 6 kg fibra y aditivo fue de 9mm con una fuerza de 5 toneladas. Con respecto a la absorción de Energía, el concreto convencional con 5 kg de fibra y con aditivo tuvo un valor 801.6 Joules, mientras que el *shotcrete* con 5 kg de fibra tuvo una absorción de energía de 892 Joules. En el ensayo de resistencia a la compresión el concreto convencional con fibra de 5 kg con aditivo tuvo un valor de 4.16 toneladas y el *shotcrete* con fibra de 5 kg con aditivo presentó un valor de 5 toneladas.

Concluye en que de acuerdo con el análisis de *shotcrete* en comparación con el convencional se logró identificar que con el *shotcrete* se puede revestir entre 5 - 15 cm de espesor con fibras en comparación a los convencionales que requieren más de 29 cm (10).

- Artículo titulado: «*Avances en shotcrete*», el propósito del artículo fue describir y modelar los avances en el concreto lanzado. Para alcanzar este objetivo se usó la metodología científica, diseño no experimental, nivel descriptivo, el instrumento fue la ficha de observación. Los resultados fueron que el logaritmo de tamaño agregado se relaciona muy bien con las observaciones experimentales; asimismo, se mostró la influencia del contenido de humo de sílice (SF) en el *shotcrete*. El modelo predijo con precisión una disminución en el rebote con un aumento en el contenido de SF. Las tenacidades fueron proporcional a la fracción de volumen de fibra. El proceso utilizado para el *shotcrete*, seco o húmedo, influyeron no solo en los valores de rebote, sino también la resistencia, la tenacidad y la durabilidad a largo plazo de las fibras reforzadas de *shotcrete* (5).

- Artículo titulado: «*Efecto de relleno del shotcrete*», el trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto del relleno del *shotcrete* en la empresa Sika, Zurich, Suiza. Para lograr este propósito se empleó la metodología de científica, el diseño fue preexperimental el nivel descriptivo explicativo, el instrumento usado fue la ficha de observación. Los resultados obtenidos fueron que la primera reacción de aluminato, controlada por el acelerador y la composición del cemento y con etringita como principal producto de hidratación, se ve reforzada por el relleno de piedra caliza fina, debido al suministro de sitios de nucleación adicionales. La formación de Etringita, hidratos de aluminato y C – S – H se vio afectado por la acción conjunta del acelerador de fraguado y la piedra caliza fina. El acelerador y la piedra caliza, en combinación con el cemento, pudieron mejorar la reacción de Etringita y silicato. Concluye en que se logró determinar el efecto del relleno en las propiedades como la resistencia, con la piedra caliza, ya que puede ayudar a compensar las pérdidas iniciales de resistencia del Shotcrete; además,

los resultados presentados son muy relevantes para la industria del hormigón proyectado, debido a que, en aplicaciones como túneles, donde el hormigón proyectado es responsable de la estabilización del terreno rocoso y mantenimiento de su propia capacidad de carga, resistencia inicial del hormigón proyectado no se puede comprometer (14).

- Artículo de investigación titulado: «*Avances en la tecnología del shotcrete*», el objetivo de la investigación fue describir los avances en la tecnología del concreto lanzado. Para lograr este objetivo se usó la metodología científica, tipo aplicada, el nivel descriptivo, el instrumento fue la ficha de observación. Concluye en que los desarrollos del *shotcrete* se han derivado en gran medida de los requisitos de los ingenieros y contratistas para mejorar su calidad y durabilidad para aumentar la productividad y economía; asimismo, ampliar la gama de aplicaciones de *shotcrete*. El *shotcrete* puede considerarse el avanzado método más exclusivo y tecnológicamente avanzado de construcción de hormigón. El *shotcrete* de alto rendimiento, incluyendo las nuevas generaciones de aditivos, materiales cementantes suplementarios como humo de sílice y cenizas volantes, fibras de refuerzo y modificadores de polímeros, pueden desempeñar un papel valioso en la reparación o proyectos de rehabilitación. El uso de estos novedosos materiales de *shotcrete* permiten realizar trabajos de reparación económicos, efectivos y duraderos (15).

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Tesis titulada: «*Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya*», cuyo objetivo fue optimizar el costo operativo y sostenimiento en una excavación minera subterránea por medio del concreto lanzado. Para lograr este objetivo se empleó la metodología de investigación científica, el diseño fue experimental, el muestreo fue no probabilístico y la muestra fue 11 probetas. Los resultados obtenidos fueron que al aplicar una capa de *shotcrete* de 5.08 cm con 20 Kg de fibra metálica la absorción de energía fue de 1431 Joules y el *shotcrete* con 40 kg de fibra obtuvo una absorción de energía de 1500 Joules. La contrastación de

hipótesis se realizó con el estadístico t - student, se consideró un nivel de confianza de 95 %, una significancia de 0.05, una media de 36.7, por lo que, se acepta de que *shotcrete* optimiza el costo y el sostenimiento en una excavación de mina subterránea. Finalmente concluye en que el sostenimiento con *shotcrete* con 40 kg de fibra optimiza el costo y el sostenimiento ya que tiene buena resistencia a la absorción de energía (11).

- Tesis titulada: «*Aplicación de shotcrete para cumplir el Programa de producción de la E.E Miro Vidal y Compañía S.A.C en U.M. Animón Cía. Minera Volcan S.A.A*», la investigación tuvo la finalidad de determinar la influencia de la aplicación de concreto lanzado en la producción de la E.E Miro Vidal de la compañía minera Volcan. Para alcanzar este propósito se empleó la metodología científica, el tipo de investigación fue aplicada, el alcance de la investigación fue descriptivo. Los resultados que se obtuvieron que el 5% de la merma se redujo; asimismo, el 13 % de la pérdida de material aplicando el *shotcrete* vía húmeda disminuyó. El *shotcrete* vía húmeda con fibra con un espesor de 5.08 cm permitió obtener valores de resistencia a la compresión de 3.5 Mpa al día 28 y 853 Joules de absorción de energía, garantizando así la sostenibilidad. Concluye en que se logró determinar la influencia del *shotcrete* en la producción de E.E Miro Vidal de la compañía minera Volcan (16).
- Tesis titulada: «*Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – INPECON SAC – Mina Chipmo Cia. Minera Buenaventura unidad Orcopampa*». El objetivo de la investigación fue diseñar y analizar la aplicación correcta del concreto lanzado vía húmeda como elemento de sostenimiento. Para el logro del objetivo se empleó la metodología de científica, las muestras estuvieron compuestas por 9 bolsas, el tipo fue aplicada, el diseño fue transversal descriptivo, la técnica fue la observación el instrumento fue la ficha de observación. Los resultados que se obtuvieron fueron que a los 7, 14 y 28 días la resistencia a la compresión tuvo valores de 148 kg/cm², 205 kg/cm² y 227 kg/cm², respectivamente, con respecto a la dispersión en los días 7, 14 y 28 los valores fueron, 9.1 %, 2.8 % y 6.6 % respectivamente. La

temperatura más alta registrada en la mina fue a los 120 min con un valor de 23.8°C y la temperatura más alta registrada en el laboratorio fue de 15 °C a los 120 min. Con respecto al *slump* los valores para la muestra de producción y la muestra de laboratorio fue de 6 pulgadas y 5.7 pulgadas en un tiempo de 120 min, respectivamente. La conclusión fue que se realizó el diseño en nueve bolsas de cemento, cumpliendo con lo requerido por la compañía minera; asimismo, se realizó el análisis de este evidenciando el rendimiento de 16 m³/ guardia del precio unitario permitiendo incrementar el *shotcrete* en 2, 3, 4, y 5". Asimismo, los valores determinados permitieron dar a conocer la optimización del *shotcrete* en el sostenimiento en labores mineras – INPECON SAC – Mina Chipmo Cia. Minera Buenaventura unidad Orcopampa (17).

- Tesis titulada: «*Optimización de sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Rocobon S.A.C en la mina San Cristóbal – Cía Minera Volcan S6 A.A*». La tesis tuvo como propósito optimizar el lanzado de *shotcrete* por vía húmeda controlando el efecto de rebote de fibras y diseño de mezcla, para lograr un rendimiento estandarizado en la producción. Para lograr este objetivo se empleó la metodología científica, tipo de investigación fue la aplicada, nivel descriptivo explicativo, diseño experimental descriptivo y el instrumento fue la ficha de observación. Los resultados obtenidos fueron que el mes de junio con un valor de 5533.4 m³ de lanzado de *shotcrete*, por encima de los demás meses, con respecto a la cantidad de m³ transportados en el mes de junio se transportó mayor cantidad con 5842.72 m³. El costo más alto de *shotcrete* transportado se evidenció en el mes de marzo con un costo total de \$ 320,995.82. Finalmente, concluye en que se logró diseñar y optimizar el lanzado de *shotcrete* vía húmeda; asimismo, se mejoró el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda y la resistencia del concreto. Además, se logró minimizar los costos en un 18 % con respecto al concreto tradicional (18).
- Trabajo de investigación titulado: «*Ingeniería del concreto lanzado reforzado para el sostenimiento de rocas deleznales en excavaciones subterráneas*».

Tuvo como propósito diseñar y optimizar el sostenimiento de las rocas deleznable con el *shotcrete* en excavaciones subterráneas de la mina Cobriza. Para lograr este propósito se empleó la metodología científica, analítico deductivo en laboratorio, el instrumento fue una ficha de observación. Los resultados que se obtuvo el espesor del *shotcrete* fue de 3.15 pulgadas, la segunda capa fue de 3.54, este resultado permitió el soporte a roce y colisión con máquinas, la altura fue de 4 m y el ancho de 6 m. el espesor total fue de 0.17 m. El refuerzo de acero fue de 16 mm de diámetro, que fueron colocados por debajo de la malla de alambre de 10 por 10 cm. Concluye en que se logró diseñar y optimizar el sostenimiento de las rocas deleznable. Reduciendo en un 20% el costo con respecto al *shotcrete* bulonado, siendo así más beneficioso económica y estructuralmente (19).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Shotcrete

- **Definición**

El *shotcrete* es un tipo de hormigón que se aplica como sistema seco y sistema húmedo, que se obtiene pulverizando el mortero compuesto por una mezcla de cemento, agua y áridos sobre la superficie preparada previamente a alta velocidad con presión de aire. Debido a sus muchas ventajas, como ser capaz de darle la forma deseada y aplicarse a cualquier superficie, el *shotcrete* se puede utilizar para reparar tuberías y alcantarillas, construir y reparar subterráneos, túneles, estabilización de taludes, soporte de rocas y suelos y protección contra los efectos atmosféricos, reparación de presas y puentes, recubrimiento de canales de riego y protección contra terremotos, se utiliza en numerosas aplicaciones como reparación y refuerzo de edificios dañados (20). El *shotcrete* se puede usar en:

- ✓ Pendientes al costado de la carretera o autopista.
- ✓ Superficies laterales que corren el riesgo de resbalar durante la excavación de cimientos.
- ✓ Techos y paredes en construcción de túneles o subterráneos.
- ✓ En áreas donde se desee evitar deslizamientos de tierra o caída de rocas o piedras.

- ✓ Construcción de muros y columnas en proyectos de refuerzo de edificios.
- ✓ Áreas como roca artificial con fines decorativos.
- ✓ En piscinas como capa protectora aislante.
- ✓ Se puede utilizar en lechos de arroyos para protegerlo del efecto corrosivo del agua (20).

La diferencia entre el *shotcrete* y el hormigón normal es la presión de aire de la mezcla de la boca de una manguera al arrojar el hormigón a la superficie a verter con la ayuda de una alta velocidad, pegándose allí como resultado del impacto solidificado en muy poco tiempo con el efecto del aditivo acelerador de fraguado, si lo hubiera. Existen dos métodos de recubrimiento de *shotcrete*, húmedo y seco. En el método seco, contiene, el cemento, la arena, los áridos húmedos y gruesos se mezclan en un ambiente anhidro y se presurizan, se inyecta aire en la manguera de salida. El *shotcrete* se mezcla con el material aditivo. Se pulveriza a una velocidad de 70-120 m/seg. Cuando esta mezcla golpea la superficie a aplicar, se forma una capa de hormigón en su superficie (21).

La manguera se puede combinar con un sistema que se puede equipar con el sistema, es transportado a la lanza por aire o bombeo. Se rocía a 35-45 velocidades con aire adicional de manera similar en el hormigón. Las propiedades de *shotcrete* son (21):

- ✓ Resistencia: la resistencia a la flexión y compresión en el *shotcrete* es generalmente igual a la del hormigón convencional. Además, si se examina la relación entre la relación agua/cemento y la resistencia, la alta resistencia se ve con proporciones bajas de agua/cemento (21).
- ✓ Fuerza de adherencia: aunque hay poca información sobre la fuerza de adherencia, Se ha informado que la resistencia a la adherencia con otros materiales se puede lograr más que en el hormigón convencional (21).
- ✓ Contracción: la contracción se reduce en *shotcrete* con agregado grueso o sin agregado grueso, asimismo, la pulverización tiene una alta tasa de rebote.

- ✓ Resistencia a la congelación y descongelación: se desempeña bien en aplicaciones de mezcla seca. Sin embargo, hay más problemas de congelación-descongelación en el *shotcrete* de mezcla húmeda (21).
- ✓ Dureza: significativa después de que ocurre la fisura inicial con la adición de fibra al *shotcrete* puede resultar en la capacidad de transportar una carga. Por ello, es importante tener en cuenta el tipo, tamaño, forma y cantidad de fibra (21).

El proceso de *shotcrete* es quizás el método más versátil para aplicaciones de hormigón. El *shotcrete* se ha utilizado de diversas formas a lo largo de sus casi 90 años de historia en superficies, incluyendo roca, acero, otro hormigón o materiales de construcción como piedra, mampostería y cualquier forma de encofrado. Se puede aplicar a casi cualquier superficie. A menudo se usaba para dar forma a estructuras. Los equipos mecánicos se pueden colocar fácilmente alrededor y detrás de las tuberías. Es un método de construcción ideal para aplicar en miembros curvos, abovedados o de forma libre. Además, de la baja relación agua/cemento y la excelente adherencia al sustrato son ventajosos en este método. También es ideal para reparar y reforzar estructuras de hormigón y mampostería (*shotcrete*). Las áreas de aplicación del *shotcrete* son las que se mencionan a continuación (7):

- ✓ Construcción y reparación de túneles
- ✓ Para soporte de roca y suelo en estabilizaciones de taludes
- ✓ Reparación de aparcamientos de varios pisos
- ✓ Reparación de presas y puentes
- ✓ En proyectos hidroeléctricos
- ✓ Reparaciones de silos
- ✓ Revestimiento de canales de riego
- ✓ En las superficies inferiores de las instalaciones de tratamiento de agua.
- ✓ Piscinas
- ✓ Restauración de astilleros
- ✓ Restauración de estaciones de tren históricas
- ✓ Adecuación de edificios antiguos a nuevas áreas de uso.

- ✓ Reparación de edificios dañados por el terremoto.

Como puede verse, las áreas de aplicación del *shotcrete* se encuentran en un rango muy amplio. Áreas de aplicación y capacidades de pulverización en reparación / refuerzo de estructuras. La mejor manera de demostrarlo es revisar los proyectos de reparación de rociadores (7).

- **Características**

El hormigón proyectado, también conocido como *shotcrete*, es una excelente opción en la construcción de túneles, estabilización de taludes, refuerzo estructural, muros de contención, piscinas y muros de hormigón armado. También es el más indicado para hormigonado urgente para ayudar a estructuras que hayan sufrido algún tipo de desperfecto (22).

Al compararlo con el hormigón tradicional, es evidente que, a pesar de que la dosificación del cemento es la misma (entre 300 y 375 kg / m³ y, en algunos casos, 500 kg / m³), los áridos son de diferentes tamaños, mientras que el proyectado suele trabajar con 0 Brita, el hormigón tradicional puede emplear áridos más grandes. Esto para permitir reducir el cemento y reducir la contracción hidráulica, permitiendo que el hormigón proyectado se utilice como material estructural. La mezcla es transportada por una tubería y propulsada a alta velocidad y presión sobre la superficie. El material desprendido se adhiere a la superficie por la fuerza del impacto, sin necesidad de vibradores. Esto da como resultado un hormigón fuerte y muy compacto. Para aplicar el hormigón proyectado, es normal utilizar un aditivo acelerador de fraguado, así como el uso de fibras de hormigón en la mezcla, que incluso pueden sustituir al refuerzo convencional. En términos de cemento, no hay restricciones a adoptar. Los áridos son: arena natural con un módulo de finura entre 2,4 y 3,2, además de Brita 0 con un Dmax de 12,5 mm. Finalmente, este tipo de hormigón requiere el mismo cuidado con el curado que el hormigón convencional (22).

- **Shotcrete reforzado**

Anteriormente, se han mencionado diferentes tipos de fibras que se usan comúnmente para el soporte del hormigón proyectado en túneles y, en general, cada tipo de fibra tiene ventajas y desventajas, que generalmente los diseñadores no comprenden completamente. Pueden causar confusión a la hora de elegir el sistema más adecuado. En el hormigón reforzado con fibras, estas fibras se distribuyen uniformemente en la masa, lo que ayuda a dispersar y transferir la tensión provocada por la deformación cuando el hormigón se agrieta, por lo que las fibras solo son útiles cuando el hormigón se agrieta. Sin embargo, el hormigón puede agrietarse en diferentes etapas de la vida útil del material. Pueden ocurrir desde los primeros momentos hasta una edad muy avanzada (22).

Como se sabe, las propiedades mecánicas del hormigón y el acero se complementan, y al combinarlas se puede obtener un material con altas propiedades estructurales: el hormigón puede resistir esfuerzos de compresión, mientras que el acero puede resistir altos esfuerzos de tracción. El hormigón generalmente protege al acero de la corrosión y, si está correctamente revestido, también puede proteger al acero en caso de incendio. Además, los dos materiales tienen el mismo coeficiente de expansión térmica ($1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), lo que significa que el acero y el hormigón se expanden y contraen de la misma forma cuando cambia la temperatura. La fibra de polímero (polipropileno) actúa como refuerzo en las primeras 24 horas de vida del hormigón, en este momento su estado es plástico y su módulo de elasticidad es menor que la fibra de polipropileno (23).

A medida que el hormigón envejece y gana resistencia, las fibras sintéticas ya no se utilizan como materiales de refuerzo porque el módulo de elasticidad del hormigón supera en gran medida el módulo de elasticidad de las fibras. Es decir, en un material compuesto, el efecto de refuerzo solo aparecerá cuando el módulo elástico del material utilizado para el refuerzo sea mayor que el módulo elástico del material base. El módulo de elasticidad de la fibra de polipropileno está entre 3.5 y 10 GPa, lo cual no es suficiente para fortalecer estructuralmente el concreto de Grado 1, y su módulo de elasticidad mínimo es de 21.7 GPa. (Además, es

importante considerar que la rigidez de la fibra solo existe en la dirección axial. tensión) (23).

No es así la fibra metálica, con un módulo de 206 GPa, que puede utilizarse como refuerzo estructural para hormigón de cualquier resistencia y antigüedad. Según algunos expertos, el comportamiento frente al fuego del hormigón armado con fibras metálicas es similar al del hormigón armado con malla soldada. Esto se debe a que el acero puede mantener sus propiedades mecánicas a temperaturas de hasta 350-400°C. Por otro lado, el hormigón reforzado con fibras sintéticas grandes no puede proporcionar una buena resistencia al fuego. Este tipo de fibras comienzan a perder sus propiedades mecánicas cuando la temperatura sube a 50°C y se funden cuando alcanzan los 160°C (23).

- **Ventajas del shotcrete**

Entre otras cosas, algunas de las ventajas de usar hormigón proyectado son que evita la colocación de andamios y permite la configuración de forma libre; tiene baja permeabilidad, alta resistencia, adherencia y durabilidad; reduce las grietas por temperatura y puede tratamiento y coloración de superficies, su tecnología permite el acceso a lugares difíciles (pueden alcanzar 300 m en horizontal y 100 m en vertical), y lo más importante, su uso es muy adecuado para estructuras de paredes delgadas. A continuación, se presenta algunos beneficios adicionales del hormigón proyectado como sistema de soporte (20):

- ✓ Es un material que puede obtener propiedades estructurales y ser utilizado como sistema de soporte final cuando es muy espeso.
- ✓ Se puede utilizar en casi cualquier contorno o superficie excavada según sea necesario.
- ✓ Cuando se proyecta, su textura es suave, pero rápidamente gana rigidez y resistencia, dando estabilidad a la superficie del suelo (resistencia "piel"), y mejora con el tiempo. Esto ayuda a controlar la deformación, pero al mismo tiempo permite la redistribución de tensiones en el cuerpo excavado.

- ✓ Es posible mecanizar el proceso de fundición, mejorando así la seguridad durante la ejecución de la obra. Asimismo, la contribución del hormigón proyectado a la estabilización y refuerzo de excavaciones subterráneas varía y es función del tipo de terreno al que se aplica. En resumen, se pueden mencionar los siguientes puntos:
 - Sellar grietas y otras discontinuidades en la superficie expuesta de la excavación. Proporciona un efecto estable.
 - Al curar, la resistencia de la superficie interior de la excavación aumentará, gracias a la resistencia y fortalecimiento de la "piel".
 - Forma una corteza endurecida para evitar que las rocas expuestas se deterioren por la intemperie, por lo que su función también tiene un efecto protector.

En su estado viscoso, se adhiere a la superficie interior de la excavación, acompañado de su deformación, y la deformación se reduce en cierta medida. Una vez endurecido, sigue la deformación retardada del terreno, limitándolos hasta llegar a su límite de fractura. Al igual que en el segundo punto, en este caso, la capa de hormigón proyectado sirve como refuerzo (24).

- **Sistema de aplicación del shotcrete**

Existen dos sistemas de *shotcrete*:

- ✓ Método seco, que es un sistema en el que los componentes de la mezcla (áridos y cemento) se premezcla y se añaden agua y aditivos coagulantes a la boquilla de salida durante la pulverización.
- ✓ Método húmedo, que es un sistema de inyección de hormigón en el que se premezcla todos los componentes de la mezcla (cemento, agregados, aditivos, agua, etc.). Solo se agrega el aditivo acelerador a la mezcla en el colector de boquillas. El sistema de vertido de hormigón proyectado más común es el método húmedo. La razón fundamental es: proporciona un mayor rendimiento de trabajo; reduce la generación de polvo, especialmente cuando se trabaja en un espacio estrecho (como un túnel), que es especialmente importante; y controla mejor la calidad del producto terminado. Sin embargo, el rendimiento de

la mezcla en húmedo es bueno y el método de mezcla en seco también tiene algunas ventajas: Por un lado, permite alcanzar una alta resistencia en las primeras etapas de sellado y estabilización del terreno; por otro lado, permite almacenar la mezcla seca (áridos y cemento) en un silo para evitar que se moje, eliminando así la pérdida de material. Sin embargo, las desventajas del método seco son considerables (20):

- Elevado porcentaje de rebote (alrededor del 20 %).
- Formación de polvo en el frente del trabajo.
- El alto costo de los consumibles del equipo de proyección (manguera, boquilla, etc.). En resumen, para trabajos en túneles, se recomienda el método húmedo (20).

- Vía seca

Cada proceso tiene sus defectos; del método seco son:

Debido al desgaste y daño de la máquina de rotor, especialmente los sellos de goma y los discos de fricción, los costos operativos son altos. Para controlar estos costos dentro de un rango razonable, es necesario configurar bien la máquina, reemplazar las piezas a tiempo y utilizar el procedimiento de pulverización correcto (25).

Otra desventaja es la formación de polvo, pero se puede reducir proporcionando un contenido de humedad natural favorable (o una prehumectación suficiente) y utilizando aglutinantes de polvo. Además de formar polvo en la boquilla, también es necesario prestar atención al impacto del polvo del sistema de alimentación en la máquina. En este punto, la máquina tradicional de dos cámaras o la versión moderna de Schürenberg (SBS) tiene una ventaja. Sin embargo, el motor de rotor puede ser a prueba de polvo hasta cierto punto (o incluso completamente). Otro problema importante con el proceso de pulverización en seco es el rebote relativamente alto. Dependiendo de la superficie de aplicación en cuestión (hastial o bóveda), se perderá entre un 15 % y un 35 % del hormigón. La pérdida promedio normal es del 20 % al 25 %. Para reducir significativamente la recuperación elástica,

se pueden utilizar las nuevas categorías de aditivos mencionadas anteriormente (25).

El uso de microsílíce en polvo o un sistema de control de hidratación (como DELVO®CRETE) puede ayudar, y la pérdida promedio se puede reducir hasta en un 15%. Otro defecto que se suele citar es: el rendimiento de los equipos es bajo, aunque las máquinas modernas permiten aplicaciones superiores a los 10 m³ / h. Por supuesto, esto es imposible de lograr con la aplicación manual, pero es imposible de lograr con un brazo robótico. Por lo tanto, considerando el aumento de los costos de desgaste, desde un punto de vista económico, la producción de más de 8 metros cúbicos por hora es crucial (25).

- Vía húmeda

Este método es el único que se utiliza en un gran número de grandes proyectos subterráneos en Escandinavia, Italia y en todo el mundo. En los últimos 10 a 15 años, el uso de hormigón proyectado en aplicaciones de soporte de rocas ha crecido exponencialmente, lo que ha impulsado su rápido desarrollo. De 1971 a 1980, el proceso húmedo de Escandinavia logró un desarrollo notable y, con él, la transformación completa de su mercado de hormigón proyectado. Cambió de 100% seco a 100 % húmedo, y la aplicación cambió de manual a robótica. Este cambio fundamental solo ocurrió en Noruega. Desde aproximadamente 1976, se han agregado cada vez más microsílíce y fibras metálicas al hormigón proyectado procesado en húmedo. El noruego es sin duda líder en tecnología de hormigón proyectado húmedo, tanto en la teoría como en la práctica. Vale la pena utilizar este incidente como referencia para el uso moderno del hormigón proyectado para el soporte de rocas. No sé por qué los cambios en Escandinavia no ocurrieron en ningún otro país. Quizás se pueda encontrar una explicación analizando la situación en Noruega (26).

La mala reputación de la tecnología de proyección húmeda se debe a un equipo y un conocimiento deficientes del método. Estos factores dan como resultado la producción de hormigón de muy baja calidad. Para hacer circular la mezcla en el equipo, se utiliza un contenido de agua muy alto, con una relación agua / cemento

tan alto como 1.0. Debido a la tecnología existente en la industria del hormigón, es completamente factible producir hormigón proyectado húmedo con una resistencia a la compresión de 28 días superior a 60 MPa. En la actualidad, la tecnología también se utiliza para construir nuevos edificios (en lugar del método de colocación original) y reparar las plataformas petrolíferas del Mar del Norte. Teniendo en cuenta los estrictos requisitos que debe cumplir y los materiales utilizados en la construcción submarina, esto demuestra la alta calidad del método (12).

Hormigón denso proyectado húmedo consiste en agregar agua a la mezcla antes de la proyección, en este caso la cantidad de agua utilizada se define según el proyecto a realizar, no dependiendo de la capacidad del eyector y su finalidad. Estas aplicaciones pueden evitar la generación de polvo y reducir el desgaste del equipo. El aditivo acelerador se agrega junto con el concreto fresco durante la pulverización. El hormigón proyectado llega a la bomba a través de un denso chorro húmedo, donde se ha mezclado toda el agua necesaria, acelerando así la pulverización en la boquilla, es decir, aire comprimido. Este método es muy recomendable debido a su alta adherencia, compacidad y excelente relación costo-beneficio. El hormigón para granallado de flujo denso se utiliza principalmente para el refuerzo estructural de columnas, vigas y losas; estabilidad de taludes; construcción de pistas de hielo y piscinas; muros de contención; presas y canales de aducción; construcción de túneles y muros de hormigón armado y ciertos tipos de Daños Vertido de hormigón de la estructura del edificio. Hay varias ventajas de usar hormigón proyectado de flujo denso húmedo. Las siguientes son las principales ventajas (12):

- ✓ No origina polvo;
- ✓ Poco consumo de aire comprimido;
- ✓ Fácil adherencia y aumento de fuerza;
- ✓ Menos pérdida de material durante el lanzamiento;
- ✓ Optimización del tiempo de servicio;
- ✓ Menor desgaste del equipo utilizado;
- ✓ Ahorro de material, etc.

Cuando se va a utilizar hormigón proyectado denso de corriente húmeda, es muy importante utilizar materiales de alta calidad, lo que garantiza un servicio con resultados de alta calidad, durabilidad y seguridad (12).

- **Insumos para el shotcrete**

- ✓ Cemento: dado que los agregados utilizados reaccionan con los álcalis del cemento, debe ser cemento especialmente bajo en álcali. En general, no se recomienda el uso de cemento con aire agregado porque los factores externos como el tipo de equipo, la presión del aire y la longitud de la manguera son efectivos en el piso. Las características que buscar en cemento para ser utilizado en hormigón proyectado (20):

- Si el agua subterránea de la superficie del hormigón proyectado contiene más de 380 mg / lt de SO₄, se debe utilizar cemento resistente a los sulfatos con un contenido de C3A inferior al 3 %.
- Si se va a utilizar cemento Portland normal, su superficie específica debe estar entre 3500-4500 cm² / g.
- Se debe evitar en la medida de lo posible el uso de cemento importado. Si bien los precios de dichos cementos son bajos, se consideró inconveniente en términos de continuidad logística y garantía de calidad.
- Se ha observado que cuanto menos tiempo se almacena el cemento a utilizar en el hormigón proyectado, la resistencia in situ se acerca a la resistencia calculada.
- Si se utilizará cemento con aditivos de escoria para una alta resistencia, el aditivo de escoria no debe exceder el 20 %. Si se va a utilizar el aditivo monómero, no debe exceder el 3 %, de lo contrario el hormigón proyectado se endurece excesivamente y no puede realizar las deformaciones esperadas.

- ✓ Agregado: La selección del tamaño de agregado máximo ideal depende de muchos factores. Ciertos factores; el rendimiento de la contracción, el tamaño de la colocación y la rigidez del sustrato. Un punto muy importante en la selección del tamaño de grano es prestar atención al hecho de que debe ser 1/3 del diámetro de la manguera. En general, se prefiere el material redondo natural porque es fácil de transmitir. El análisis por tamizado del agregado debe ser

suave. Normalmente, es deseable no utilizar mezclas con discontinuidad en los tamaños de grano. Además, en forma de aplicación en seco, es conveniente que el agregado tenga una humedad de alrededor del 3-6% para asegurar una adecuada mezcla con el cemento. Esta humedad también es necesaria para evitar la formación de polvo durante la pulverización. Sin embargo, la mayor cantidad de agua en la mezcla provoca bloqueos y bloqueos en la línea de transmisión (20).

Debe evitarse el uso de grava con un diámetro uniforme. Para una alta resistencia, la grava debe ser piedra triturada, la arena a utilizar (0-4 mm.) Debe tener una distribución de grano adecuada y el 50 % debe ser arena natural. El único inconveniente de utilizar piedra triturada es que el desgaste esperado del equipo aumenta en un 25-45 %. La arena que se va a utilizar que no sea árida debe consistir en granos duros. El polvo que saldrá de esta forma provocará una disminución de la adherencia entre el hormigón y la superficie. Se ha observado que la adición de 5-7 % de harina de piedra en mezclas de sistemas húmedos aumenta la resistencia del hormigón proyectado, así como su capacidad de bombeo.

- ✓ Agua: el agua de amasado debe estar limpia y libre de sustancias que puedan dañar la armadura o el hormigón. Se recomienda utilizar agua potable. En casos dudosos, se requiere un análisis químico. Además, si es necesario, se realiza una prueba de fraguado en pasta de cemento o una prueba de resistencia a la compresión en concreto a varios niveles de edad. Estas muestras se preparan con agua para usar en una mezcla y agua (20).

- ✓ Aditivos: el uso de aditivos en el hormigón proyectado no es como en el hormigón convencional, debido a las limitaciones del equipo de proyección. (Anónimo, 2005). A continuación, se muestran algunos de los aditivos que se utilizan comúnmente en los sistemas de hormigón proyectado (20):

- Aceleradores de fraguado: muchos aceleradores reducen la resistencia a los 28 días en un 25-40 % dependiendo de la compatibilidad del cemento y el acelerador. Los aceleradores pueden reducir la resistencia a las heladas del aerosol. Algunos pueden ser muy cáusticos y, por lo tanto, peligrosos para la seguridad. Por estas razones y por ser costosos, los aceleradores solo deben usarse en cantidades mínimas y si es necesario para lograr el resultado deseado. En los últimos años, se han impuesto limitaciones a los aceleradores que contienen álcali en las especificaciones y reglamentos de construcción. Por otro lado, los aditivos de aluminato son sensibles al tipo de cemento y pueden no ser compatibles con todos los cementos (20).

- Puzolanas: los materiales puzolánicos se pueden utilizar como sustituto del cemento hasta en un 30 por ciento o como aditivo en mezclas tanto húmedas como secas. Los materiales puzolánicos más utilizados son las cenizas volantes y el humo de sílice. Si se va a usar cemento Portland normal, las cenizas volantes no deben usarse más del 15 % del peso del cemento. La incorporación de cenizas volantes a la mezcla generalmente mejora la capacidad de bombeo del hormigón proyectado de mezcla húmeda, pero no se usa comúnmente en mezcla seca (20).

- Látex: en el hormigón proyectado endurecido, mejoran propiedades como la permeabilidad, la abrasión y la resistencia química. Cabe señalar que una vez que los materiales de látex se secan o estratifican, actúan como rompedores de adherencia (20).

- Potenciador de la adherencia: los potenciadores de la adherencia generalmente no se recomiendan para trabajos de pulverización porque la adherencia es excelente entre pulverizaciones y especialmente en preparaciones subterráneas. Los potenciadores de la adherencia no deben utilizarse en trabajos de pulverización sin investigar sus efectos en cada situación (20).

- Aditivo de silicato: este aditivo aumenta la adherencia y la fuerza de adherencia y la impermeabilidad al agua del hormigón proyectado. El punto por considerar en el uso es que los micro silicatos son extremadamente delgados, lo que evita que el hormigón proyectado transpire, lo que puede causar un agrietamiento prematuro (20).
- Aditivos químicos: los aditivos incorporadores de aire no se usan fácilmente en el hormigón proyectado de mezcla seca, pero deben usarse en aplicaciones de mezcla húmeda sujetas a saturación crítica en condiciones de congelación (20).

- **Equipos en la implementación del *shotcrete***

La maquinaria y el equipo utilizados deben mantenerse siempre en buen estado. La falla que pueda ocurrir durante la aplicación resultará en la eliminación de la mezcla preparada y requerirá la limpieza de todas las tuberías. Como regla general; Al final de cada turno o después de que finalice el proceso de pulverización, la bomba y todas las líneas de transmisión deben limpiarse y las piezas gastadas deben reemplazarse a intervalos regulares. Deben preferirse los mezcladores que se limpian automáticamente en cada pausa. La cámara de mezcla debe inspeccionarse y, si es necesario, limpiarse al menos una vez al día para evitar cualquier acumulación. En el método húmedo, los requisitos para el hormigón normal deben cumplirse en la preparación de la mezcla (27).

La disposición de mezcla debe tener la capacidad de entregar correctamente la mezcla a la manguera de entrega y la punta de rociado también debe ser capaz de expulsar la mezcla entrante con un flujo suave. Con un tamiz que se coloca en la entrada de material del sistema de mezcla, la máquina se puede proteger de objetos extraños y partículas gruesas, y se pueden evitar fácilmente las irregularidades en la transmisión. En el método húmedo, la mezcla se administra a la boquilla de pulverización con aire comprimido y la pulverización se proporciona con el aire comprimido añadido allí (27).

En el método seco, dirige la mezcla que esparce en el agua presurizada dada en un orden controlable manualmente. El flujo de agua a presión debe controlarse fácilmente mediante el elemento de pulverización. El extremo de la manguera de suministro debe poder rociar el hormigón en forma cónica. La desigualdad o la asimetría indican que la boquilla de pulverización está desgastada o que la adición de agua no está funcionando como se esperaba. Se debe tener cuidado de que la presión del agua sea constante y no fluctúe. En el método de mezcla seca, las máquinas de tipo rotor se utilizan más comúnmente. La mezcla, que se introduce en la cámara cónica de material, se mezcla con un mezclador y llena las cámaras del rotor con su propio peso. Hay placas de desgaste de goma en la parte inferior y superior del rotor para evitar que el material y el aire se escapen. La sustitución frecuente de estas placas por desgaste constituye uno de los elementos de coste más importantes de este método. Se puede realizar una lubricación continua entre estas placas de goma para aumentar la lubricidad y reducir la fricción. Por lo tanto, el rotor se puede apretar más y se puede reducir la formación de polvo (27).

- Presión de aire, suministro de material y volumen

En el método de mezcla seca, los diámetros de la tubería de suministro-manguera están en el rango de 25-80 mm. Selección del diámetro de la manguera; Se tienen en cuenta la distancia de transmisión, la capacidad de aplicación y el diámetro máximo del agregado. Como regla general, el diámetro de la manguera no debe ser inferior a tres veces el diámetro máximo de grano. En este método, el desgaste de las líneas de transmisión es otro problema que aumenta el costo. Para reducir el desgaste, es posible utilizar agregados de forma redonda. Se utilizan tubos de acero en las partes que son estables en cuanto a ser más resistentes a la abrasión en las líneas de transmisión, y mangueras de goma con estructura flexible se utilizan en las partes cercanas a la boquilla de pulverización (13).

Es necesario prelubricar con lechada de cemento antes de su uso para evitar obstrucciones en las líneas de transmisión de las máquinas de mezcla húmeda. Además, es necesario limpiar la bomba y toda la línea de transmisión después de que se complete cada aplicación o antes de que el enchufe comience en el estado

de espera. Para un compresor que puede proporcionar una presión constante de 6-7 atmósferas, se debe establecer un equilibrio calculable entre la presión de aire, el suministro de material y la cantidad de aire. La cantidad de aire utilizada en el transporte de material es importante para un funcionamiento correcto y sin problemas y para que no haya obstrucciones en la manguera. La cantidad de material transmitido también debe estar a un nivel que permita al operador trabajar cómodamente (6).

La presión de aire requerida en la boquilla del pulverizador depende de la cantidad de material entregado, la longitud de la manguera, el diámetro de la manguera y la capacidad de dar la velocidad de pulverización que proporcionará una pulverización óptima (para reducir la salpicadura) a la superficie. Se puede dar una presión de salida general en transmisiones verticales (6).

- Presión y cantidad de agua

En el método de pulverización, el operador debe ajustar constantemente la cantidad de agua que sale de la boquilla para adaptarse a la cantidad de salida de material, que muestra diferencias inevitables. La presión de esta agua ajustada debe ser lo suficientemente alta para penetrar no solo alrededor del material que sale sino también hasta su eje longitudinal. Por tanto, la presión del agua que se va a dar aumenta en función del diámetro de la manguera. Esta presión debe ser al menos 1 atmósfera más que la presión que se producirá en el cabezal de la manguera (28).

2.2.2 Sostenimiento en mina

a) Definición

Es parte del trabajo minero que incide en la velocidad y producción de la mina. Realizarlo de una manera adecuada con un adecuado criterio, aumenta la seguridad de las labores. Por ello, la buena estructura del sostenimiento evita los accidentes tanto al operario como a los equipos. Asimismo, se debe tener en cuenta la caída de material desde el techo de la mina, ya que hasta ahora representa un riesgo en los trabajadores (18).

- **Importancia**

En cualquier explotación minera, el sostenimiento de labores es un trabajo es algo sumamente importante ya que este protege de cualquier accidente laboral. El sostenimiento es importante porque permite que los colaboradores puedan desempeñar sus actividades sin estar expuestos a ningún riesgo o peligro dentro de las excavaciones mineras (11).

- **Sostenimiento subterráneo**

El sostenimiento es el conjunto de estructuras que son colocados en el proceso de excavación de una construcción subterránea y que su propósito es proporcionar equilibrio alrededor a la cavidad. Juntamente con la excavación, que está muy estrechamente relacionado, el sostenimiento representa la espina dorsal de la obra subterránea, es que de ambos es depende la economía y la seguridad. Es preciso mencionar que el sostenimiento se relaciona de manera directa con el acabado final, debido a que, en ocasiones se le designo como parte del revestimiento final (29). Asimismo, se puede definir como soporte de rocas que mediante procedimientos y materiales usados con la finalidad de brindar mejor resistencia a las cargas que ocasionan las rocas alrededor del área de excavación subterránea. El sistema de sostenimiento que se da en intersecciones en labores horizontales, se instala el sostenimiento apto de acuerdo con las sugerencias geomecánicas. Cuando ocurre la intersección de la labor minera y la estructura mineralizada primero se iniciará el avance con un solo sentido y luego se determina mediante evaluación geomecánica la distancia óptima para seguir avanzando hacia el sentido contrario.

- **Tipos de sostenimiento**

En el proceso de construcción del túnel, el ambiente de la excavación necesita estabilizar o alcanzar su estabilización en un tiempo adecuado, en otras palabras, que se evite el desplazamiento, las deformaciones, fracturas y roturas o cualquier incidencia que pueda manifestar la inseguridad o que pueda generar riesgos, ya que estos pueden generar la suspensión de la obra y por ende no cumplir con el tiempo programa de la construcción. Reforzar y estabilizar son dos acciones muy

diferentes, a pesar de que los efectos sean similares, ya que en muchas ocasiones estos términos llegan a confundirse.

Al realizar la consolidación o estabilización de un ambiente de excavación, se realiza por medios artificiales como son las inyecciones, drenajes, congelamiento, pre refuerzo, concreto lanzado entre otros; que de alguna manera que modificaran su rigidez, resistencia, campo tensional en algunos casos favoreciendo el contacto en discontinuidades ya existentes; cuando se refuerza el entorno, solo se realiza con elementos de sostenimiento resistentes; la separación de esfuerzos que se generan cuando se realiza la excavación, así como los mecanismos y fenómenos que establecerán la estabilidad. O que se mencionó anteriormente está muy ligado a la litología de materiales, en condiciones naturales de esfuerzo de un terreno con el tipo de discontinuidad del comportamiento del macizo, así como la fractura, resistencia y deformidad de la roca o suelo. Por lo que tener en cuenta lo anterior es fundamental para la elección de sistemas de estabilización, soporte y reforzamiento; por lo que se debe diseñar los diferentes sistemas. A continuación, se muestra los elementos de sostenimiento más comunes (29):

- ✓ Concreto lanzado.
- ✓ Anclas comunes de fricción.
- ✓ Barras de acero de refuerzo adheridas.
- ✓ Pernos de sujeción de grandes bloques.
- ✓ Marcos metálicos.
- ✓ Marcos de celosía (marcos noruegos).
- ✓ Barras de fibra de vidrio.

Estos elementos mencionados, no modifican el estado ni las propiedades de esfuerzo del terreno, Solo funcionan cuando el entorno circundante de la excavación tiende a deformarse o cuando los bloques sueltos o las masas rocosas tienden a separarse y caer. Cuando sea necesario, deben instalarse firmemente en el suelo y generalmente muy cerca del frente, solo así se pueden obtener los buenos resultados resultantes (29).

- **Clasificación de los sostenimientos**

Con el fin de incluir la mayoría de los sistemas de soporte comúnmente utilizados en excavaciones subterráneas y cubrir completamente cada función, se proponen las siguientes clasificaciones (29):

- ✓ Soporte convencional o estructural. Se refiere a anillos, marcos, dovelas, etcétera.
- ✓ Sostenimiento inducido por estabilización o consolidación. Incluye las inyecciones, la congelación, concreto lanzado, etc.
- ✓ Sostenimiento pasivo o por reforzamiento de la masa. Tales como anclas comunes de fricción, barras adheridas, concreto lanzado, segmentos de marcos, marcos de celosía (noruegos), etc.

El hormigón proyectado es un sistema muy versátil. Puede realizar la función de estabilizar el sistema y fortalecer el sistema, y bajo ciertas condiciones, también puede realizar la función de soporte estructural. Hay otros sistemas que tienen la capacidad de lograr simultáneamente funciones de estabilidad y refuerzo. Como ejemplo, se puede mencionar varias formas de las llamadas Marchiavanti, desde barras simples o perfiles cortos laminados en caliente colocados antes del avance para formar una corona protectora, hasta tubos largos perforados, que se colocan en posiciones similares y se inyectan con estabilizar el terreno. y crear una visera protectora para varios avances consecutivos. Este sistema también se llama delantero o "paraguas" (29).

- **Sostenimiento en mina con *shotcrete* vía húmeda**

- Rebote

En el proceso de mezclado húmedo, la tasa de rebote es del 12% (peso). Las siguientes condiciones reducirán la recuperación elástica: mayor contenido de cemento, mezcla más fina, tamaño máximo de agregado más pequeño, suficiente contenido de humedad del agregado, gradación más fina e inclusiones de microsílíce. También debe recordarse que el manejo adecuado de la boquilla afectará el rebote mínimo. El porcentaje de rebote es una mezcla compactada con la superficie a soportar. La primera capa de la mezcla lanzada tiene un alto rebote,

que disminuye gradualmente a medida que aumenta el grosor. El porcentaje de rebotes en cualquier situación depende de (6):

- ✓ La efectividad de la hidratación:
 - Presión de agua.
 - Forma de la boquilla.
 - Caudal aire comprimido (ambas vías).
 - Operador shotcretero

- ✓ La relación agua/cemento: diseño de la mezcla.
 - Cantidad de cemento.

- ✓ Granulometría del agregado: áridos más gruesos, mayor rebote.
- ✓ La velocidad de la boquilla: presión de aire.
 - Dimensión de la boquilla.
 - Frecuencia en el giro de la boquilla

- ✓ El ángulo y la distancia del impacto: ángulo de proyección
 - Radio de abertura en proyección de boquilla.
- ✓ El espesor de la aplicación: recomendación geomecánica.
 - Operador.
 - Distancia a la pared (Vía seca, vía húmeda).
 - La presión del agua debe estar entre 3 y 7 bar para asegurar una buena compactación e hidratación total del material.

El material de rebote no debe reutilizarse en la máquina de hormigón proyectado; sin embargo, puede usarse agregando cemento que tenga una mala relación con el nuevo rebote. La tecnología de vertido de hormigón proyectado comienza desde la parte inferior del hastial para reducir la pérdida de hormigón debido al rebote (6).

➤ Volumen de lanzado

Siempre que sea posible, el hormigón proyectado debe aplicarse en todo su espesor de diseño en una sola capa. Se puede aplicar en capas o espesores simples, según la posición de trabajo. En minas, el espesor de cada disparo de

hormigón proyectado es generalmente de 2 ", 3" y 4 ". En paredes verticales, se puede aplicar en capas o espesores simples. En cualquier caso, el espesor de la capa está determinado principalmente por el requisito de que el hormigón proyectado no caiga (30).

Para hacer el calculo del volumen del shotcrete se emplea la siguiente formula:

$$V = PxLxexRxRe$$

Donde:

V= Volumen requerido

P= perímetro de la seccion pormedio de labor.

L= Longitud de avance

e= Espesor de la capa Shotcrete

R=Rugosidad

Re= Rebote.

Para el cálculo del volumen colocado y pegado se emplea la siguiente formula:

$$F.C = Vht - \frac{\%D}{Vmcp}$$

$$Vmcp = Vht - \frac{\%D}{F.C}$$

Donde:

Vcmp= Volumen de mezcla compactado

F.C= factor de compactación

D= Desperdicios (% mermas y rebote)

Vht= Volumen de mezcla hidratado total

La compactación va a depender de varios parámetros, como el impacto del chorro y el surtido de las árido, con los árido usados y con una presión de aire a la entrada de la manguera se obtendrá una compactación de orden 1.35.

➤ Costo

Cuando se evalúan los factores económicos, debe estar centrado en algunos costos como el costo de los materiales de mezcla de concreto, la inversión en equipos. El primer problema que se encuentra después de decidir qué tipo de

shotcrete se va a usar, ya sean de sistemas secos o húmedos, ambos son adecuados para el trabajo a realizar (20).

La consideración más importante es la distancia entre el equipo de mezcla de hormigón proyectado. En el sistema húmedo, se añaden retardadores a la mezcla. Esto aumenta el costo y aumenta la fuerza esperada. Los factores que más importancia se debe tener son los siguientes (20):

- ✓ Capacidad: la capacidad de aplicación de hormigón proyectado del sistema seco es 1/3 de la del sistema húmedo está al nivel de prácticas de las capacidades de aplicación en el sistema húmedo en promedio $6 \text{ m}^3 / 20 \text{ m}^3$. El cambio y la práctica de construcción será 4 horas como máximo, ya que será interrumpido por las operaciones. Por tanto, en la continuidad se debe preferir el sistema húmedo cuando esté disponible. El sistema seco en términos de capacidad el límite superior de aplicabilidad económica del sistema es de 5 m^3 por hora (30).

- ✓ Rebote: parte del concreto proyectado se coloca sobre la superficie dura en el sitio de rociado, rebota golpeando la armadura o el hormigón previamente realizado. Esto se recupera, hormigón inutilizable, presión de pulverización, cantidad de cemento y agua, el tamaño de grano más grande del agregado, la cantidad y forma del refuerzo y la pulverización; depende del grosor de la capa, la distancia y el ángulo de la boquilla desde la superficie. Aunque también, pueden reducirse mediante modificaciones, la pendiente de la superficie de pulverización es importante; incluso si la salpicadura es grande al principio, luego, el primer hormigón disminuye a medida que comienza a pegarse. A medida que el material rebota, el contenido de cemento del hormigón que queda en la superficie es alto; esto, aunque aumenta la resistencia del hormigón, hace que el hormigón sea susceptible a grietas por retracción. Asimismo, el agregado de grano más fino aumenta en el concreto, como resultado de las salpicaduras de las partículas, la curva del tamiz cambia ligeramente. La cantidad de cemento salpicado es pequeña y varía alrededor de $50 \text{ kg} / \text{m}^3$ (30).

El factor más importante que afecta la economía de la aplicación en el método de pulverización en seco; ya que tiene alta tasa de rebote. La cantidad de rebote y las propiedades de la mezcla varían de 15-35 % dependiendo de la ubicación de la superficie de aplicación y la experiencia del operador. El costo del hormigón proyectado se verifica a intervalos, por ejemplo, se fabrica según el hormigón que se acepta como un 10 % de rebote (30).

Los costos de operación y lanzamiento de *shotcrete* por medio de un equipo en la superficie por metro cubico, el traslado con mixer hacia el interior de la mina es:

Tabla 2. Costo por m³ de shotcrete

| Sostenimiento con <i>shotcrete</i> vía húmeda | Costo en dólares (\$) |
|---|-----------------------|
| Lanzado con robot Alpha 20 | 65 |
| Elaboración de concreto | 55 |
| Transporte del mixer a una distancia de 7 km | 160 |
| Total | 280 |

Tomada de Costos por metro cúbico de shotcrete - Robocon S.A.C. ,2018, p 26

Los elementos variables del costo en la elaboración están dados mayormente por lo insumos que se van a emplear, siendo lo que mayor incidencia tiene en la elaboración por metro cúbico el aditivo acelerante, la fibra y el cemento. Para enfocar la reducción y gasta se dará en la mejora continua del diseño y la aplicación del *shotcrete* (13).

➤ Nivel de polvo

El método por vía húmeda, del mismo modo que el cambio de acelerantes de aluminatos cáusticos por otros productos que son libres de álcalis y no cáusticos, representan una gran oportunidad de mejora en cuanto a disminuir el nivel de polución o generación de partículas dentro del área de trabajo. Uno de los factores más perjudiciales cuando se realiza excavaciones es el polvo, por lo que aplicando el Shotcrete de vía húmeda disminuye en gran proporción la cantidad de material

particulado. Para determinar la cantidad de material particulado se realiza con equipo de flujo alto (6).

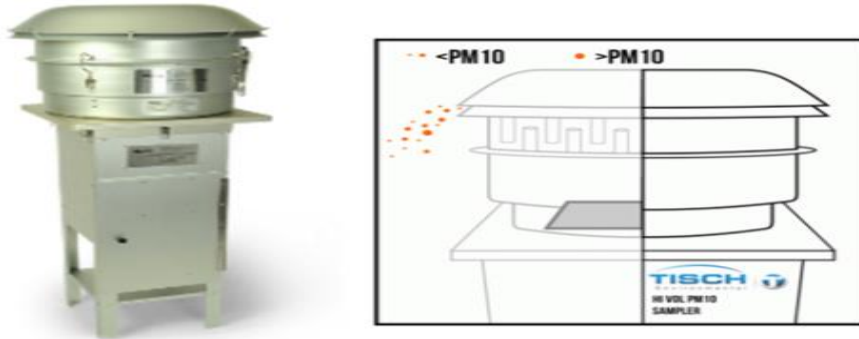


Figura 1. Hi Vol
Tomada de Sanambiente Bendezú R. et al., Sanambiente,2017, p. 2

➤ Pérdida de material

Para calcular la pérdida del material se aplicará la siguiente formula.

$$\% \text{ Variación de Volumen por Hdratación} = \frac{V_{st} - V_{ht}}{V_{st}} \times 100$$

Donde:

V_{ht}= Volumen hidratado total

V_{st}= Volumen seco total

Para el cálculo del volumen hidratado total se aplica la siguiente formula.

$$V_{ht} = V_{st}(100\% - 21.5\%)$$

Para el cálculo del volumen de rebote se empleará la siguiente fórmula.

$$V_r = V_{rh}$$

Donde:

V_r=Volumen de rebote.

V_{rh}=Volumen de rebote hidratado.

Por lo que finalmente se determinará el porcentaje de rebote, el cual se determina con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Rebote} = \frac{V_{rh} \times 100}{V_{ht}}$$

- **Eficiencia en el sostenimiento en mina**

La eficiencia del sostenimiento en mina es un término que engloba la resistencia, el tipo de material y otro aspecto que influyen de manera directa en la seguridad, los costos entre otros (13).

- **Proceso de preparación del *shotcrete***

El *shotcrete* solo se puede aplicar sobre una superficie limpia. Si se va aplicar el *shotcrete* multicapa, debe asegurarse de una buena adherencia entre las capas. Para ello, en la superficie, la capa de polvo acumulada debe limpiarse. Por lo tanto, el *shotcrete* multicapa es como una sola capa. La superficie sobre G. Eficiencia en el sostenimiento en mina la que se aplicará el *shotcrete* debe prepararse previamente mediante pulverización con aire comprimido y agua o arena. En la limpieza con arena, la superficie se humedece durante unas horas antes de la aplicación. Las superficies secas no absorberán el agua del *shotcrete*. Las superficies de hormigón antiguo tardan mucho antes de que comience el proceso de *shotcrete*. Debe mantenerse húmedo día a día. Este proceso conecta el hormigón viejo y el nuevo y reduce las diferencias de contracción que se producirán allí. Sin duda, el *shotcrete* libre en la superficie no debe haber flujo de agua. El exceso de agua en la superficie da como resultado una alta relación agua-cemento (a / c) por lo tanto, la adherencia en la interfaz crítica entre el *shotcrete* y el sustrato hace que se produzca una disminución de la fuerza (24).

La superficie no debe congelarse durante la fabricación del *shotcrete*, por lo que es mejor que el hormigón esté fresco y no debe absorber calor del hormigón durante la solidificación. Todo el concreto dañado, las grandes grietas, el deterioro, suelto y podrido de la superficie de concreto viejo debe ser removido de forma completa. El concreto contaminado con productos químicos o aceites debe estar astillado. Asimismo, deben evitarse cambios repentinos en el grosor de la reparación. Alrededor de la reparación se puede aserrar a una profundidad compatible con el tipo y la profundidad de la reparación. Aserradura si es desfavorable, los bordes se astillan con una ligera inclinación hacia el centro del área de reparación. Deben

evitarse las esquinas pronunciadas. En hormigón macizo, que se basa en material roto o su cimentación. para minimizar el daño causado, moldear con éxito (31).

Se puede seleccionar el uso de herramientas eléctricas. El Shotcrete no debe colocarse sobre una superficie de hormigón lisa, la superficie debe limpiarse con arena. debe ser martillado con medios mecánicos adecuados. Una vez extraído del molde, solo queda material sólido sobre la superficie de hormigón viejo. Se debe revisar la superficie de concreto viejo para determinar si hay algún efecto mecánico, este problema es especialmente importante ya que puede haber residuos de piezas rotas en la superficie (32).

➤ Funciones de apoyo del *shotcrete* en sistemas de soporte subterráneo

En términos generales, el revestimiento de *shotcrete* se utiliza principalmente en estructuras subterráneas de la siguiente manera (33):

- ✓ El concreto fresco proyectado ingresa entre fracturas y grietas y aumenta la resistencia al corte.
- ✓ Con la adherencia y resistencia al cizallamiento que proporciona el *shotcrete*, la fractura y la carga creada por los bloques de roca delimitados por las grietas se transfiere al macizo rocoso circundante, lo que permite que la roca se transporte sola.
- ✓ Si la conexión entre los elementos rocosos es baja; se aplica el spray a la superficie. La cubierta de hormigón funciona como una cáscara en términos de estática y proporciona soporte de carga.
- ✓ Buena resistencia temprana al colapso y desprendimiento de estratos terrestres. proporciona arqueamiento y evita que se afloje a medida que aumenta su fuerza con el tiempo y minimiza las deformaciones.
- ✓ Las propiedades de mezcla y las cantidades de aditivos se pueden organizar como se desee; el desarrollo de la fuerza se puede cambiar. Es muy útil para controlar la descarga de rocas/suelo y los eventos de abolladuras, esto da resultados útiles.
- ✓ Pavimento de *shotcrete* de espesor adecuado funciona como elemento de soporte primario o complementario en el transporte (33).

Además de las ventajas mencionadas anteriormente en términos de mecánica de rocas, la aplicación de *shotcrete* brinda los beneficios como (33):

- ✓ El transporte, la colocación y la compactación del hormigón se realizan juntos.
- ✓ Ahorro de material y mano de obra ya que se coloca sin necesidad de moldes.
- ✓ Es económico porque proporciona la aplicación inmediata cuando se abre la superficie de excavación,
- ✓ Puede aplicarse en secciones de apertura de diferentes tamaños y geometrías (33).

➤ Equipo de shotcrete vía húmeda

Existen diferentes tipos y tamaños de equipos lanzadores, ya sea para vía seca o vía húmeda, el requerimiento va a depender de la cantidad y tipo de *shotcrete* que se va necesita. Los equipos de hormigón proyectado de mezcla húmeda se pueden definir como bombas de hormigón simples. El cemento, los áridos y los aditivos se mezclan directamente en el mezclador y se envían a la bomba. La mezcla alimentada de la bomba es directamente llevada a la boquilla con aire comprimido o transmitido por bombeo mecánico. Hay tres tipos como el tipo de pistón, tipo de compresión y tipo de aire comprimido. Las máquinas de hormigón proyectado pueden trabajar con tamaños de grano de hasta 22-25 mm y su capacidad horaria es de 12-15m³ (20).



Figura 2. Equipo shotcrete vía húmeda
Tomada de Túneles y obras subterráneas - Rey A. et al., Sika S.A.U, Madrid, España, 2010, p 145

En el método de mezcla seca, tipo rotor y neumático con cámaras cilíndricas tiene dos tipos de máquinas disponibles. Las máquinas del tipo de rotor se utilizan

más comúnmente. La mezcla que se utiliza se llena en la tolva cónica de material, mientras se mezcla con el mezclador, llena las cámaras del rotor con su propio peso. Un rotor, mientras se llenan las cámaras del otro lado, se empuja con presión hacia la línea de transmisión con aire comprimido de la parte superior e inferior del rotor donde las placas de desgaste de goma en la pieza están para evitar que se escape el material y el aire.

El reemplazo frecuente de estas placas por desgaste es el costo más importante en este método; ya que, constituye uno de sus artículos. El deslizamiento entre estas placas de goma se realiza mediante una lubricación continua para aumentar la fricción. Asimismo, el rotor se puede apretar más para reducir la formación de polvo (30). Este equipo consta de dos cámaras, sistema de rotor y martillo (de acuerdo con lo que dispone la mina), los equipos con rotor cuentan una capacidad entre 10 a 30 m³ por hora de funcionamiento con un diámetro máximo de grano de 20 mm, está conformado por un brazo lanzador y una bomba de concreto. A este equipo se le agrega la mezcla húmeda para ser lanzado con una presión de aire de viene desde la manguera. En principio se tiene que hacer una limpieza de las válvulas para luego realizarle un engrasamiento. Es importante tener todas las salidas limpias de forma constante con la finalidad de evitar las obstrucciones y que estas puedan causar algún tipo de problema operativo (34).

2.3 Definición de términos básicos

- ✓ Arena: la arena está compuesta por un conjunto de partículas de roca degradadas. La geología define la arena como la fracción de tamaño de partícula de suelos o sedimentos con tamaños entre 0.06 y 2 mm. Se forma en la superficie terrestre a partir de la erosión de las rocas y, al ser producto de procesos sedimentarios, la arena aparece en una etapa intermedia del ciclo de vida de las rocas (35).

- ✓ Aditivo: son productos químicos que se añaden al concreto en el proceso de mezclado con la finalidad de mejorar las propiedades de una mezcla (36).

- ✓ Adherencia: es la capacidad de poder unirse a una superficie, es la atracción, o unión de forma física entre dos sustancias (36).
- ✓ Concreto: el hormigón es un material de construcción que consiste en una mezcla homogénea de cemento, agua, áridos y aditivos químicos o minerales (20).
- ✓ Costos: el costo es la suma de los factores de producción (trabajo, capital, tierra) gastados para producir una unidad de bien (o más) (24).
- ✓ Eficiencia: en un sentido amplio, la eficiencia se define como un concepto abstracto que mide la sensibilidad y efectividad de las herramientas para lograr metas económicas (14).
- ✓ Fibra metálica: es un conjunto de elementos muy finos metálicos de diámetro pequeño y longitud corta, cuya finalidad es formar hilos que evitan el agrietamiento (20).
- ✓ Fibra sintética: su fabricación es de materiales sintéticos que permite la resistencia al medio alcalino a largo plazo, asimismo, impide el agrietamiento (35).
- ✓ Material particulado: está compuesto por pequeñas partículas de suelo o diversos desechos, así como por pequeñas y finas moléculas transportadas por el suelo, producto de objetos o en el aire (30).
- ✓ Mina subterránea: son aquellas excavaciones que están por debajo de la superficie, que permiten la extracción de minerales (15).
- ✓ Resistencia de concreto: la resistencia a la compresión es la muestra para resistir la fuerza uniaxial o triaxial (35).

- ✓ Rebote de proyección: también conocido como rechazo a la parte del *shotcrete* que no llega a adherirse en la superficie donde se está trabajando, ocasionando que se desprenda el material (36).

- ✓ Rotor: el rotor se llama partes giratorias de las máquinas automáticas. Las secciones del rotor, también conocidas como inducido, generalmente describen otro ensamblaje mecánico alrededor del eje. También se conoce como parte de los motores asíncronos y formando el mecanismo giratorio. Aparte de esto, los rotores son un componente de movimiento en el generador eléctrico o en el depósito de los motores y en los sistemas electromagnéticos del alternador (31).

- ✓ Sostenimiento: son estructuras metálicas o de madera que se usan con la finalidad de dar soporte y evitar el desplazamiento de material (27).

- ✓ Válvulas: la válvula se puede definir como una tapa o herramienta que se mueve entre dos tuberías para detener el flujo de agua y líquidos similares en la tubería, cambiar la dirección del flujo o liberarlo. Es una herramienta que reduce la presión en sistemas donde la presión del fluido es importante (26).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

El método de investigación que se usó fue el método científico, este se basó en los pasos del método científico que fomenta un proceso para obtener conocimiento, específicamente saber la eficiencia del *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado para mejorar la eficiencia del sostenimiento en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

Por otro lado, la investigación tuvo un alcance explicativo, porque buscó explicar cuáles fueron los efectos de la implementación del *shotcrete* vía húmeda semimecanizado en el sostenimiento en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación usó el diseño preexperimental; ya que en este diseño no existe la comparación entre dos grupos diferentes, mas solo consistió en la administración de un estímulo en la modalidad pre test y post test; además es importante precisar que este tipo de diseño de investigación muestra como la variable puede influir en la validez interna (37), que en este caso el grupo a observar fue sostenimiento luego de usar el *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

M: O1 –X – O2

Donde:

M: Muestra

X: Tratamiento aplicado al sostenimiento de la mina Sumaq Rumi.

O1: Observación de la eficiencia de sostenimiento de mina antes de la aplicación de *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado en la unidad minera.

O2: observación de la eficiencia de sostenimiento de mina después de la aplicación de *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado en la unidad minera.

Los procedimientos que se realizaron fueron los siguientes:

1. Se solicitó el permiso correspondiente al gerente de la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
2. Se comunicó a los operarios acerca de la investigación que se realizará.
3. Firmaron el consentimiento informado.
4. Se realizó la inspección del sostenimiento realizado antes de implementar el uso del *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado.
5. Se registró todos los datos necesarios para su posterior comparación.
6. Se inspeccionó la mezcladora que fue adaptada a un minicargador.
7. Se probó el funcionamiento de la mezcladora adaptada al minicargador.
8. Se implementó todas las señaléticas de seguridad en el área de trabajo.
9. Se aseguró de que iluminación sea la adecuada.
10. Se capacitó a los operarios sobre el uso de la mezcladora adaptada al minicargador.
11. Se realizó una prueba simulada del manejo y operación de la mezcladora adaptada al minicargador.
12. Se aprobó al operario en el manejo de la mezcladora adaptada al minicargador.
13. Se inspección el área de trabajo.
14. Se identificó las áreas donde presentan riesgo para el trabajador juntamente con el ingeniero de seguridad.
15. Se minimizaron los riesgos identificados en el área de trabajo.
16. Se revisó todos los implementos de seguridad para los colaboradores.
17. Se proporcionó a los colaboradores los implementos de seguridad.

18. Se imprimió el instrumento.

19. Se realizó la recopilación de todos los datos en la ficha de observación antes de la aplicación del Shotcrete vía húmeda semi mecanizado.

3.3 Población y muestra

La población de la investigación estuvo constituida por los laborales de nivel 60 de la unidad minera Sierra Sumaq Rami.

Para la investigación la muestra estuvo constituida el baipás – 148 Este. Quienes fueron la parte representativa de la población.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se aplicó la técnica de la observación. En esta investigación esta técnica brindó ayuda en la recopilación de los datos y la obtención de la información que fue necesaria la implementación de *shotcrete* vía húmeda semi mecanizado para mejorar la eficiencia en el sostenimiento en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. Por otro lado, se elaboró una ficha de observación en el cual se recopiló los datos necesarios del incremento del volumen lanzado de concreto, el porcentaje de pérdida de material por rebote, los costos por metro cubico de lanzado y el nivel de polvo en las labores.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)

4.1.1. Seguimiento del proceso de *shotcrete*

El objetivo del seguimiento del proceso de *shotcrete* fue mejorar su calidad, siendo más eficiente logrando una resistencia temprana de 4Mpa en menor tiempo de 4 horas, para lo cual se requirió cumplir la dosificación usando las herramientas (recipientes medidores) y tener el equipo lanzador en su estado óptimo, complementando con una implementación de un diseño que estamos en revisión. Para cumplir con el objetivo se subsanaron las siguientes observaciones.

- ✓ Manómetro en mal estado, no cuenta con manómetro para la visualización de presión de aire el cual se recomienda un mínimo de 4 bares.
- ✓ No se contaban con recipientes con medidas para la dosificación del concreto.
- ✓ Se realizó el *slump* del *shotcrete* al inicio de la preparación antes del lanzado y se obtuvo 11", el cual es mucho para un lanzado, por tal motivo no estaba ayudando en el fraguado inicia. Inmediato se hizo la corrección a 8 3/4" luego a 30min 7 1/5" a una hora 6 1/5" estuvo dentro de la pérdida de *slump* para la distancia a recorrer para que pueda ser lanzado por la Aliva.
- ✓ El personal de Innovation realizó el ajuste de diseño realizando pruebas de pérdida de *slump* cada media hora. Definiéndose en que la Aliva debe lanzar sin ningún problema con *slump* de 8 a 8 3/4 pulgadas la cual se evidenció en las

pruebas realizadas lanzándolo sin ningún problema, se debe de trabajar el concreto dentro de ese rango para ayudar en las fraguas iniciales.

- ✓ No se contaba con difusor de aditivo para vía húmeda en la puntera.
- ✓ Conexiones de aire y aditivo en mal estado ocasionando fugas durante en el lanzado, pudiendo ocasionar algún accidente.

Para realizar correctamente el seguimiento del *shotcrete* se propusieron las siguientes recomendaciones:

- ✓ Proveer de recipientes graduadas (balde) y tener también algunos en bodega de Stock, para facilitar el cumplimiento de la dosificación.
- ✓ Programa de mantenimiento preventivo de la bomba de aditivo.
- ✓ Abastecer de los accesorios críticos que deben cambiarse, se están realizando trabajos bajo malas condiciones del equipo y están acondicionando los accesorios que ya están en mal estado. Mantener un stock mínimo en la Unidad, que garantice la operatividad correcta del equipo.

4.2.1. Volumen de lanzado

En la Tabla 3 se muestran los elementos utilizados para el lanzamiento de concreto por diseño seco y diseño húmedo.

Tabla 3. Volumen por diseño seco y húmedo de shotcrete

| Elemento | Diseño seco | Diseño húmedo (1.5 m ³) | Diseño húmedo (2 m ³) |
|---------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Cemento (kg) | 480 | 118 | 157.3 |
| Agua (l) | 180 | 56 | 74.7 |
| Agregado fino (kg) | 1535 | 378 | 504.0 |
| Fibra de acero (kg) | 30 | 6 | 8.0 |
| Aire (Bar) | 0 | 3.5 | 4.7 |
| Aditivo (l) | 36.4 | 6.5 | 8.7 |
| Volumen (m ³) | 2 | 1.5 | 2.00 |
| Volumen (litros) | 2000 | 1500 | 2000 |

Tomada de la información brindada por la empresa

Los materiales empleados fueron cemento, agua, agregado fino, fibra de acero, aditivo y presión de aire. Entre ambos diseños, seco y húmedo, se diferencia la

cantidad utilizada de los materiales empleados para producir 2000 litros de concreto o 2 m³ de concreto. En la Tabla 3 y Figura 3 se observa que para producir 2 m³ de concreto, se necesita 480 kg y 157.3 kg de cemento, para el diseño seco y húmedo respectivamente; notablemente, se observa una diferencia entre las cantidades. De similar manera, la cantidad de agua es menor pasando de 180 litros a 74.7 litros. En cuestión del agregado fino, la cantidad necesaria en vía húmeda fue aproximadamente la tercera parte. Por parte de la fibra de acero en el diseño húmedo se emplearon 8 kg, mientras que en el diseño seco se utilizó 30kg. Finalmente, la cantidad de aditivos en el diseño seco fue de 36.4, mientras que el diseño seco fue de 8.7 litros.

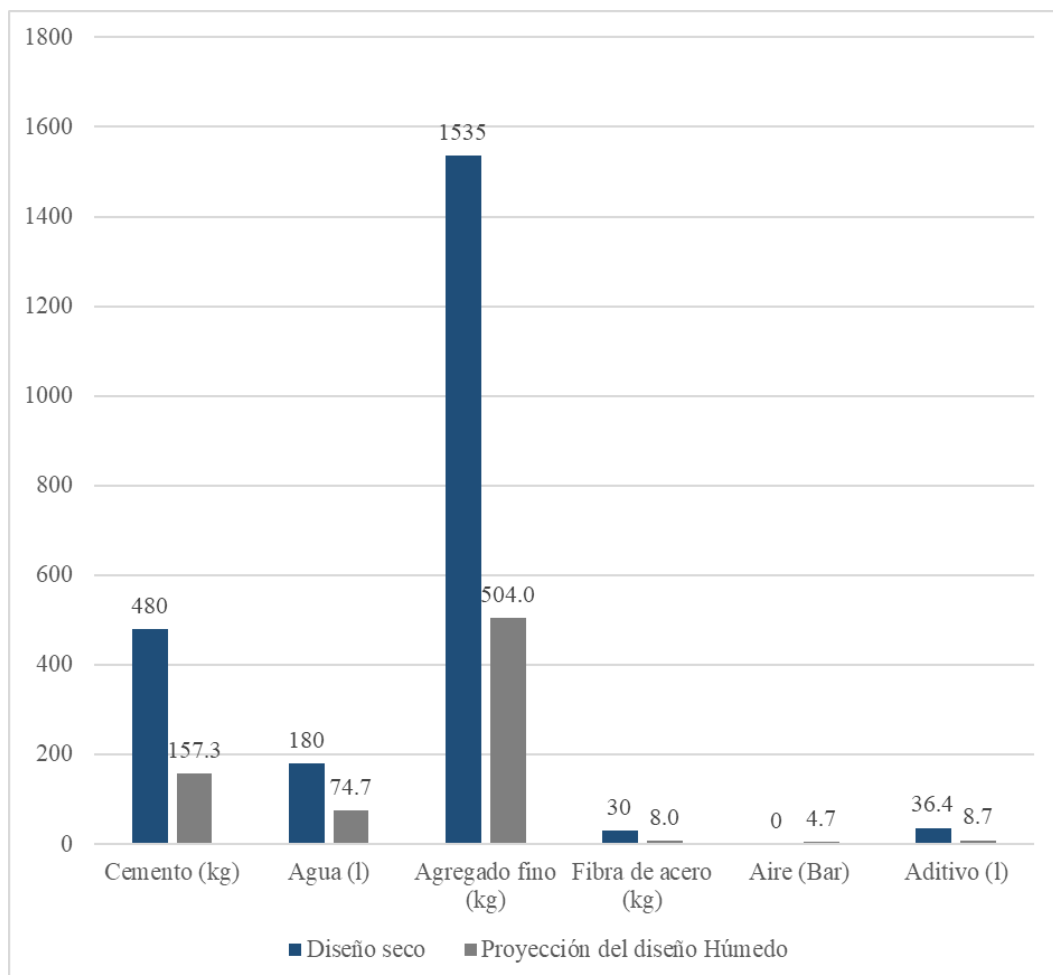


Figura 3. Diferencia en materiales para producir shotcrete por vía seca y húmeda

Los materiales empleados para producir 2m³ de concreto, es distinto para el diseño seco y el diseño húmedo. En este sentido, si se emplease la misma cantidad

de materiales utilizados en el diseño seco, para el diseño húmedo, el volumen total de concreto sería significativamente superior; tomando en cuenta que para producir 2m³ en el diseño húmedo, en promedio, se requiere la tercera parte de materiales.

4.2.2. Pérdida de material

La pérdida de material es un aspecto a tener en cuenta en todo proceso productivo; el objetivo de una metodología es minimizar la pérdida de concreto; en este contexto, se comparó la pérdida de material por vía seca y vía húmeda.

Tabla 4. Pérdida por rebote

| Categoría | Seca | Húmeda |
|---------------------------|-------|--------|
| Volumen (m ³) | 2 | 1.5 |
| w de mezcla recogida | 406.2 | 156.3 |
| % rebote | 8.98% | 5.18% |

Tomada de información brindada por la empresa

En la Tabla 4, se detalla que en vía seca, de 2m³ de concreto, se tiene una pérdida del 8.98 %; equivalente a 179.6 m³; mientras que de 1.5 m³ de concreto por vía húmeda, la pérdida por rebote fue del 5.18%; equivalente a 77.7 m³. Se nota que en vía húmeda, la pérdida por rebote es menor; sin embargo, para realizar mejores comparaciones del rebote de material, se realizó con los mismos volúmenes de concreto; lo cual se detalla en la Tabla 5 y Tomada de *información brindada por la empresa*

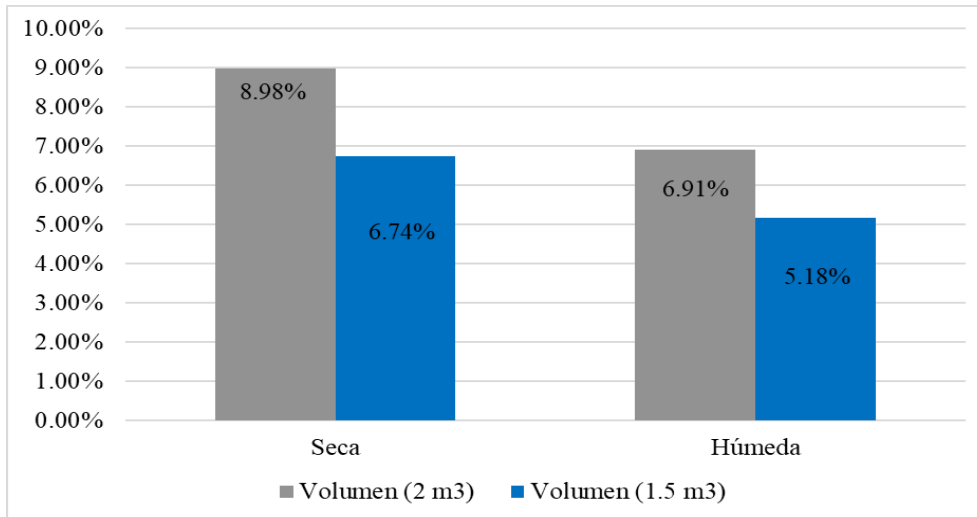


Figura 4.

Tabla 5. Comparación por pérdida por rebote

| Volumen (m³) | % de rebote | |
|--------------|-------------|--------|
| | Seca | Húmeda |
| 2 | 8.98% | 6.91% |
| 1.5 | 6.74% | 5.18% |

Tomada de información brindada por la empresa

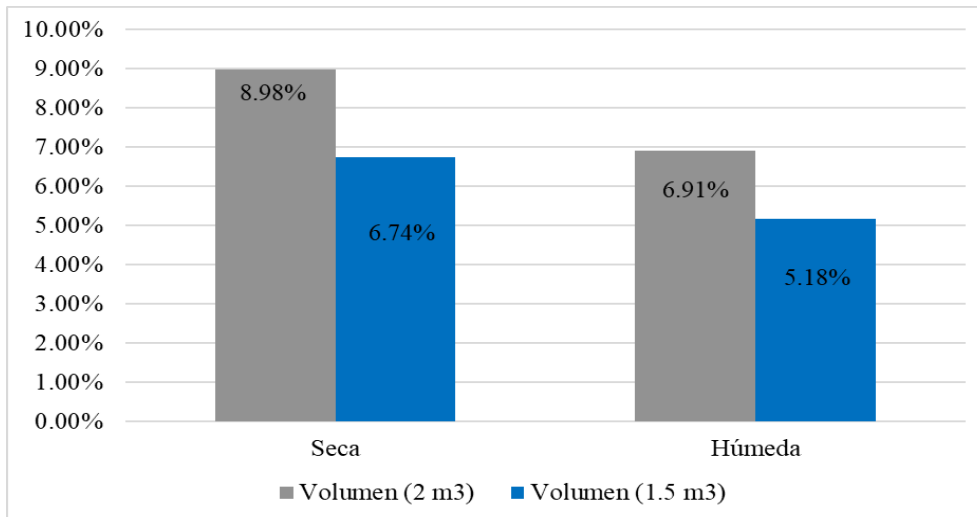


Figura 4. Diferencia en porcentaje de pérdida en rebote

En la Tabla 5 y Tomada de *información brindada por la empresa*

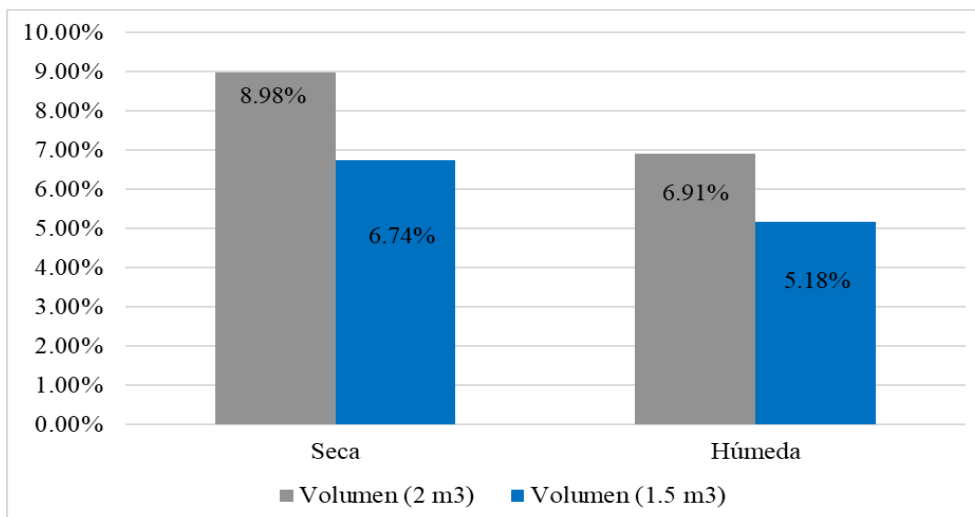


Figura 4, se observa que en la producción de 2m³, el porcentaje de rebote por vía seca fue mayor que la húmeda; siendo de 8.98 % y 6.91 %, respectivamente; existiendo una diferencia de 2.07 % puntos porcentuales, que equivale a 41.4 m³. De igual manera, en la producción de 1.5 m³ de concreto, la pérdida por vía seca fue de 6.74% y vía húmeda fue de 5.18 %; representando un total de 23.4 m³. De estos datos se evidencia notablemente que, la pérdida de material es mucho menor en vía húmeda. Asimismo, cabe señalar que en ambos métodos el porcentaje de pérdida estuvo dentro de los estándares, ya que, para vía seca, el rango de pérdida está entre 15 % a 25 %, y para vía húmeda, el rango según norma ACI 506 R es de 10 %.

4.2.3. Costos por vía mecanizada y convencional

Tabla 6. Diferencia en costos unitarios

| Elemento | Sección | U.M. | Mecanizado | Convencional | |
|-----------------------|---------|------|---------------------|--------------------|--------|
| | | | Total US \$/unid | Total US\$/unid | |
| Bp-Cx-Ca-Roca Regular | 4.00 | 3.50 | US\$/ml | 342.86 | 355.61 |
| Bp-Cx-Ca-Roca Regular | 3.50 | 3.50 | US\$/ml | 324.66 | 330.51 |
| Bp-Cx-Ca-Roca Mala | 3.50 | 3.50 | US\$/ml | 288.23 | 277.31 |

Tomada de información brindada por la empresa

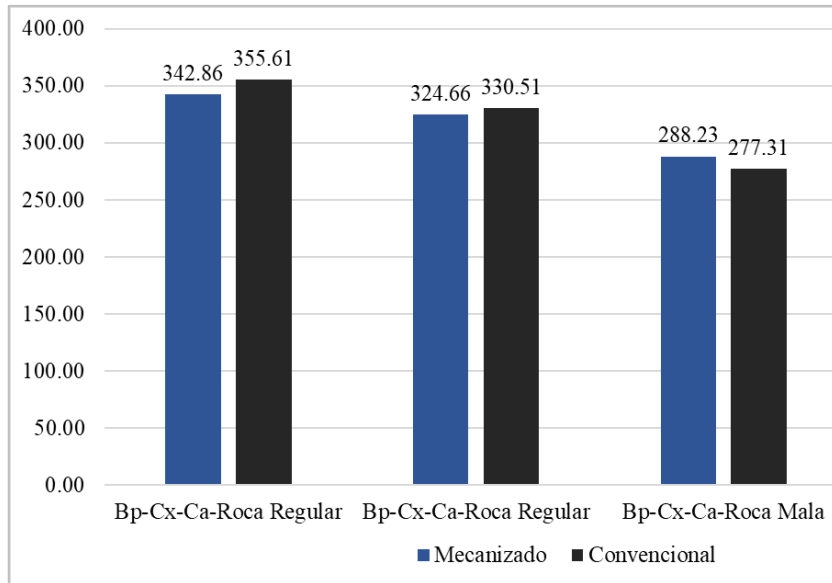
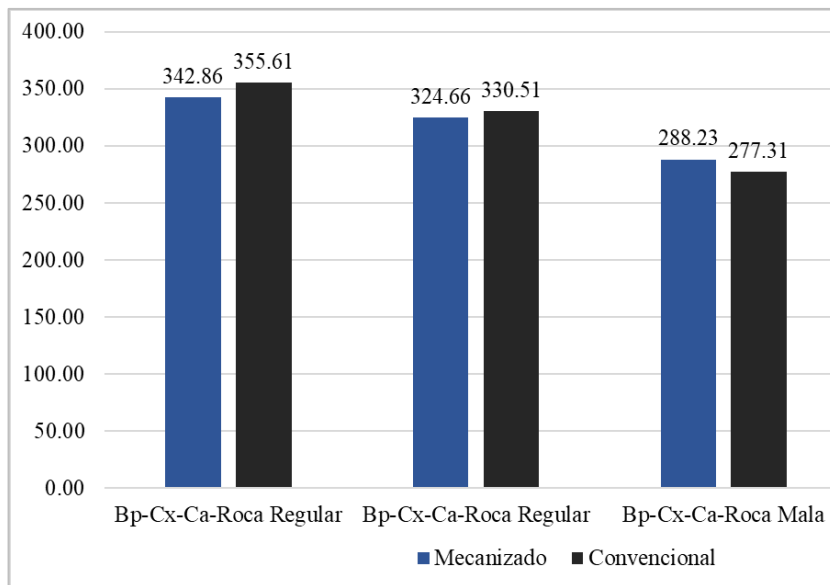


Figura 5. Diferencia en precios unitarios



En la

Figura 5 y Tabla 6 se observan la diferencia para los precios unitarios de 4 elementos en el proceso de *shotcrete* por el método convencional y el mecanizado. Se observa que los precios para roca regular son menores en 12.75 y 5.85, para el método mecanizado. Sin embargo, para el elemento de roca mala, el costo en mecanizado resultó ser mayor en 10.92. Es decir, existe una diferencia de precios unitarios entre el método convencional y el método mecanizado; siendo el método mecanizado mucho más barato.

4.2.4. Resultados de la prueba en mina *shotcrete* vía húmeda

Tabla 7. Diseño de mezcla del shotcrete

| Diseño de mezcla para 1 m ³ de shotcrete | | |
|---|-----------------------------|----------|
| Tipo de mezcla | Vía húmeda | Unidad |
| Materiales | Peso Seco kg/m ³ | |
| Cemento Pacasmayo Tipo I | 425 | Kilos |
| Agua | 180 | Litros |
| Arena (Gradación 2) | 1614 | Kilos |
| Súper Plastificante Neoplas 2000 HP | 3.80 | Litros |
| Fibra Metálica 65/35 | 20.0 | Kilos |
| Relación: a/c | 0.42 | Factor |
| Slump Pulg. | 9 1/4" | Pulgadas |
| Peso unitario/m ³ | 2263 | Kilos |
| Resistencia temprana del shotcrete a 3 horas | | |
| Equipo - Pistola Hilti | 3.45 | MPa |

Tomada de información brindada por la empresa

En la Tabla 7 se muestra el diseño de mezcla del *shotcrete* por vía húmeda. El Diseño de *shotcrete* se realizó con el objetivo de alcanzar un *shotcrete* de alta adherencia a la roca, alta resistencia a la compresión, alta resistencia a la flexión y buena durabilidad. Asimismo, el diseño estuvo sujeto a ajustes por % de humedad del agregado, con el fin de mejorar su resistencia. En cual se espera que a las 3 horas tenga un valor de 3.45 Mpa. Por otro lado, en la



Figura 6 se logró observar que, sí se cumplió con la resistencia temprana, alcanzando el valor propuesto de 3.45 Mpa.



Figura 6. Resistencia temprana del shotcrete vía húmeda

Nota. Tomado de la información brindada por la empresa. (Con Pistola Hilti y clavos de 103 mm)

Después de las 3 horas de lanzado, se alcanzó una resistencia temprana alcanzada de 3.45 MPa. Con respecto a la consistencia, la implementación del control de la consistencia del *shotcrete* durante su producción y lanzado, se rigió en base a:

- ✓ Prueba de Slump o Asentamiento del Concreto con el Cono de Abrams.
- ✓ Norma ASTM C-143
- ✓ Rango de consistencia del shotcrete 9" a 7"
- ✓ Labor XC 9185, Slump de lanzado 8 ¾" con fibra metálica DSI 20kg/m³.

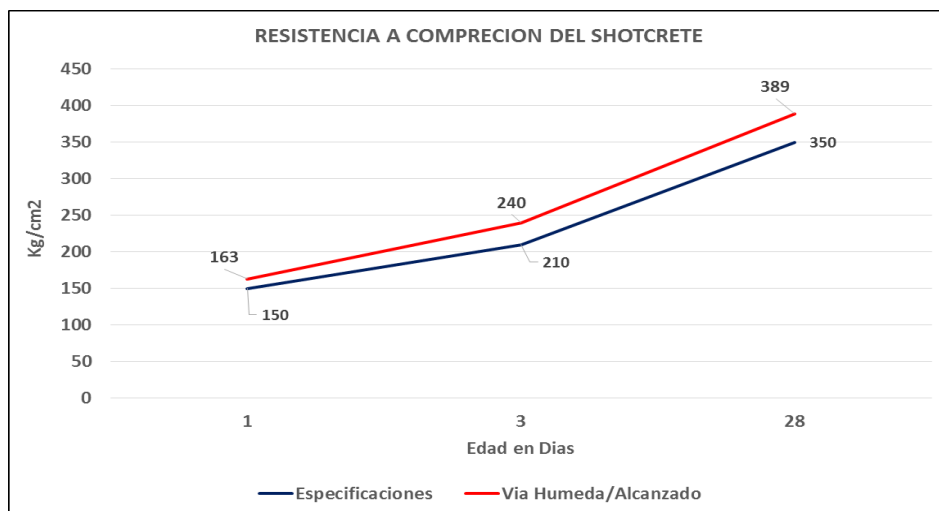
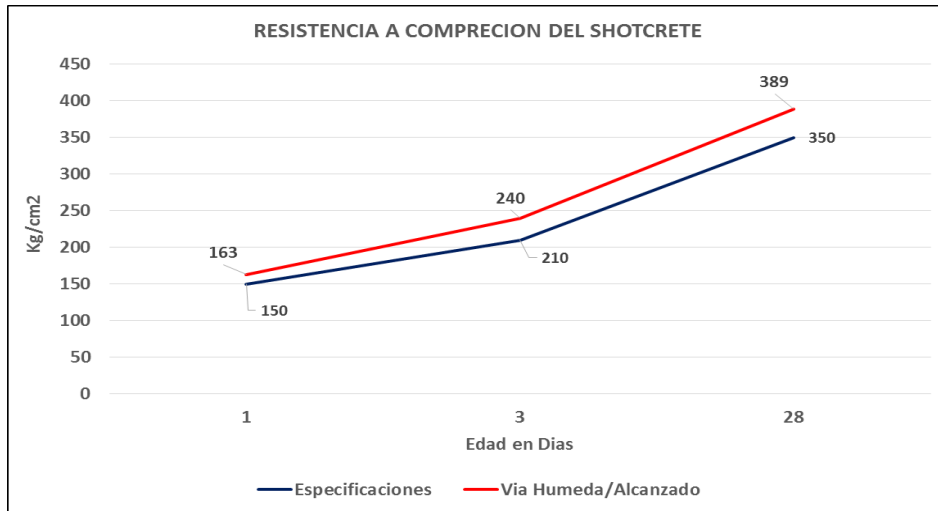
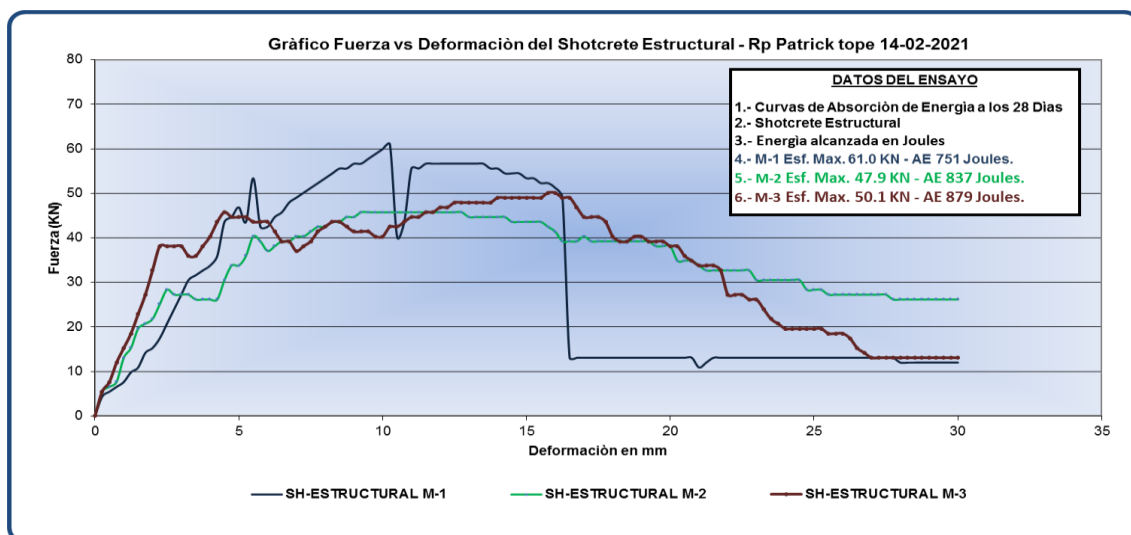


Figura 7. Desarrollo de la resistencia a la compresión del shotcrete vía húmeda Tomada de información brindada por la empresa



En la

Figura 7 se observa la resistencia a la compresión del *shotcrete* al primer día, a los 3 días y a los 28 días, se puede observar que el valor de la resistencia va aumentando conforme más días de fraguado se tiene. Cabe señalar que las resistencias a compresión fueron obtenidas de núcleos diamantinos en la labor y siguiendo la Norma ASTM C-39. Asimismo, al primer día se obtuvo una resistencia de 163 kg/cm², a los 3 días aumentó a 240 kg/cm², alcanzando un valor de 389 kg/cm² a los 28 días. El buen desarrollo de resistencias a compresión y flexión del *shotcrete* dependerá de una buena producción y técnica de lanzado.



**Figura 8 Pruebas de absorción de energía del shotcrete
Tomada de información brindada por la empresa**

Con respecto a la absorción de energía del *shotcrete*, las muestras fueron tomadas de acuerdo con la Norma EN 14488-5. Se observa que la mayor deformación fue de 10 mm, el cual se da a más de 60 KN. Esta prueba es sumamente relevante ya que cuando se somete una estructura de *shotcrete* a una carga, como la vibración causada por el tráfico de vehículos o la presión del agua en un túnel, parte de la energía se disipa a través de la deformación del material. Si el *shotcrete* no puede absorber suficiente energía, puede producirse una falla estructural, lo que puede poner en peligro la seguridad de los trabajadores y los usuarios de la estructura. Asimismo, en la Tabla 8 se detalla la relación de Pruebas de absorción de energía del *shotcrete*. Obteniéndose una fuerza en Joules de 666 y un máximo de 1062.

Tabla 8. Absorción de energía del shotcrete estructural

| Relación de Pruebas de Absorción de Energía del Shotcrete - EFNARC 14488-5 | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------------|--------------|-------------------|----------------|---------------|---|------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Fecha de muestreo | Edad/Días | Fecha de ensayo | Zona | Labor | Marca de fibra | Tipo de fibra | Dosificación de fibra kg/m ³ | Joules obtenidos | Joules mínimo | Joules máximo | Joules promedio |
| 17/03/2020 | 28 | 14/04/2020 | Chilcas Bajo | Rp Patrick | DSI | Malla | 20 | 689 | 666 | 997 | 831 |
| 07/10/2020 | 28 | 04/11/2020 | Valeria V | Rp Patrick - Tope | | Malla | 20 | 600 | 666 | 997 | 831 |
| 07/10/2020 | 28 | 04/11/2020 | Valeria V | Rp Patrick - Tope | | Malla | 20 | 1062 | 666 | 997 | 831 |
| 07/10/2020 | 28 | 04/11/2020 | Valeria V | Rp Patrick - Tope | | Malla | 20 | 1001 | 666 | 997 | 831 |
| 14/02/2021 | 28 | 14/03/2021 | Valeria V | Rp Patrick | DSI | Malla | 20 | 751 | 666 | 997 | 831 |
| 14/02/2021 | 28 | 14/03/2021 | Valeria V | Rp Patrick | DSI | Malla | 20 | 837 | 666 | 997 | 831 |
| 14/02/2021 | 28 | 14/03/2021 | Valeria V | Rp Patrick | DSI | Malla | 20 | 879 | 666 | 997 | 831 |

Tomada de información brindada por la empresa

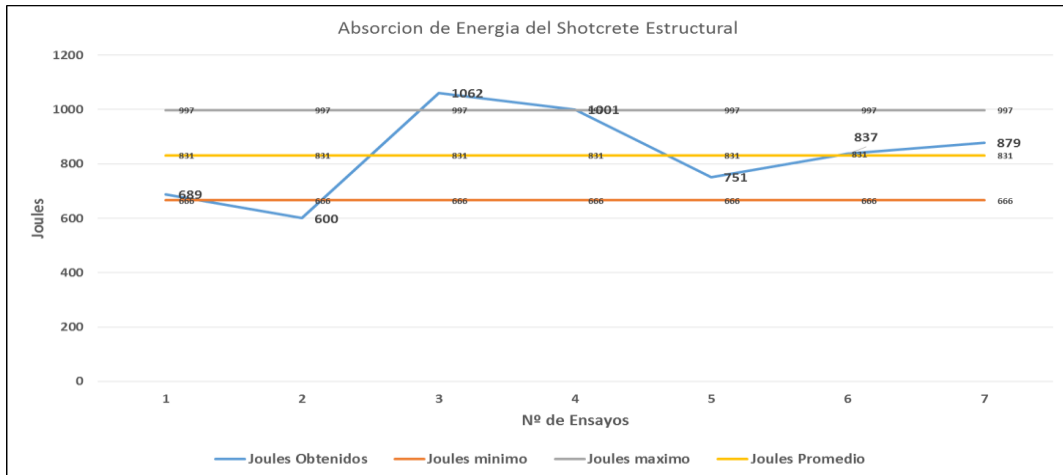


Figura 9. Control estadístico de la absorción de energía del shotcrete Tomada de información brindada por la empresa

La absorción de energía del *shotcrete* deberá estar dentro de un rango mínimo de 666 Joules y máximo 997 Joules de resistencia. Además, como fue mencionado, esta prueba es sumamente relevantes, ya que la absorción de energía del *shotcrete* es un aspecto crucial en la seguridad y estabilidad de las estructuras construidas con este material para garantizar que pueda absorber suficiente energía para prevenir fallas estructurales



Figura 10. Tipos de refuerzos del shotcrete Tomada de información brindada por la empresa

El *shotcrete* se puede reforzar con:

- ✓ Mallas de acero electrosoldadas
- ✓ Fibra de acero 65/35 encolada



**Figura 11. Control de espesor de la capa de shotcrete
Tomada de información brindada por la empresa**



De la

Figura 11 se observa que el spesor de la capa de *shotcrete* fue de 2" y 4".

4.2.5. Resultados de la prueba en mina *shotcrete* vía seca

Tabla 9. Diseño de mezcla del *shotcrete* vía seca

Diseño de mezcla para *shotcrete* - vía seca

| | | | | | | | |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|---------|--------|
| Volumen m ³ | 1 | 0,5 | 0,25 | Unidad | 1 m ³ | 1 Bolsa | Unidad |
| Material | Peso | Peso | Peso | | Peso | Ceme | |
| | Seco | Seco | Seco | | Seco | nto | |
| | Kg/m ³ | Kg/m ³ | Kg/m ³ | | Kg/m ³ | | |

| | | | | | | | |
|--|---|---------|-------|--------|-----------|---------|--------------------|
| Cemento Pacasmayo Tipo I | 425 | 213 | 106 | Kilos | 10 | 42,5 | Bolsas |
| Agua | 180 | 90 | 45 | Litros | 180 | 18 | Litros |
| Arena | 1697 | 849 | 424 | Kilos | 300 | 30 | Lampadas |
| Fibra metálica | 20,0 | 10 | 5,0 | Kilos | 1 (bolsa) | 2 (kg) | - |
| Relación: a/c | 0,42 | 0,42 | 0,42 | Factor | 0,42 | 0,42 | Factor |
| Peso unitario | 2322 | 1161 | 581 | Kilos | 2322 | 232 | kg/m ³ |
| Dosificación del acelerante de fragua | del 20 a 22 | 10 a 11 | 5 a 6 | Litros | 20 a 22 | 2 a 2,2 | l/m ³ |
| NOTA | 1 1/2 vagón, equivale a 1m3 de shotcrete vía seca | | | | | | |
| DESARROLLO DE RESISTENCIA DEL SHOTCRETE - EDAD HORAS/DÍAS | | | | | | | |
| 4 Horas - Hilti | 3,85 | | | | | | MPa |
| 1 Día - Diamantina | 119 | | | | | | kg/cm ² |
| 3 Días - Diamantina | 155 | | | | | | kg/cm ² |
| 28 Días - Diamantina | 268 | | | | | | kg/cm ² |

Tomada de información brindada por la empresa

En la Tabla 9 el diseño de *shotcrete*, se realizó con el objetivo de alcanzar un *shotcrete* de alta adherencia, alta resistencia a la compresión, alta resistencia a la flexión y buena durabilidad. Aprovechando los avances tecnológicos del mismo (Matriz y Refuerzo). Cabe señalar que el diseño estuvo sujeto a ajustes por % de humedad del agregado, más que nada para que se logre garantizar la resistencia a la compresión del *shotcrete*.



Figura 12. Producción de shotcrete vía seca
Tomada de información brindada por la empresa

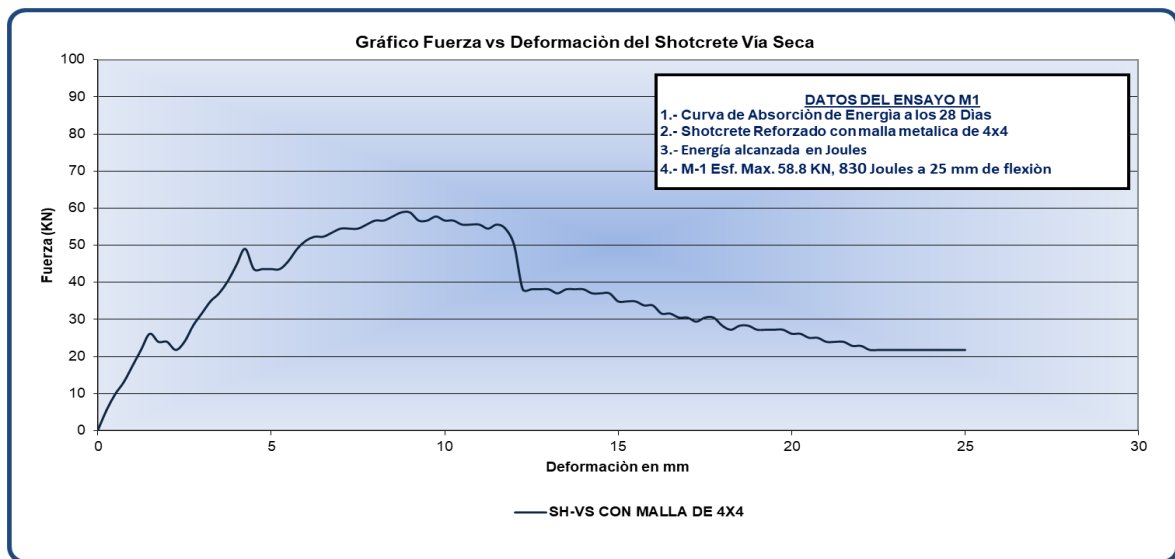
Para la producción del *shotcrete* por vía seca se prosiguen con 4 pasos, el primero es limpiar el vagón, luego cubicarlo, verificar su capacidad y observar su volumen. En las pruebas, el volumen para 1m³ de shotcrete vía seca fue de 1 ½ vagón.

Tabla 10. Control de calidad del shotcrete

| Resistencia a la compresión del shotcrete - Damantinas - ASTM C-39 | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------------|-----------------|----------------------|-------|----------------|----------|------------------|------|-------------|---------------|-------------------|----------|
| Nro de serie | Fecha de moldeo | Edad (días) | Fecha de rotura | Labor | E.E. | Tipo de Mezcla | Fibra Kg | Aditivo en Lt/m3 | a/c | Marca Fibra | Tipo de Fifra | Equipo de Lanzado | Promedio |
| 0001 | 18/03/2021 | 1 | 19/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 77 |
| 0002 | 18/03/2021 | 1 | 19/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 82 |
| 0003 | 18/03/2021 | 1 | 19/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 77 |
| 0004 | 18/03/2021 | 3 | 21/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 185 |
| 0005 | 18/03/2021 | 3 | 21/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 187 |
| 0006 | 18/03/2021 | 3 | 21/03/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 171 |
| 0007 | 18/03/2021 | 28 | 15/04/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 297 |
| 0008 | 18/03/2021 | 28 | 15/04/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 302 |
| 0009 | 18/03/2021 | 28 | 15/04/2021 | Rp 9143 Estc.9147 | Tauro | VS | 40 | 25,0 | 0,42 | Sika | 45/35 | Ocmer 14 | 284 |

Tomada de información brindada por la empresa

Las resistencias a compresión fueron obtenidas de núcleos diamantinos – labor. El buen desarrollo de las resistencias del *shotcrete* dependerá de la producción y una buena técnica de lanzado. Esto es crucial, ya que la resistencia a la compresión del *shotcrete* vía seca también puede afectar la durabilidad de la estructura. Si el material no tiene la resistencia adecuada, puede deteriorarse con el tiempo y requerir reparaciones costosas.



**Figura 13. Absorción de energía del shotcrete
Tomada de información brindada por la empresa**

La absorción de energía del *shotcrete* reforzado fue realizado con malla de 4"x4. Esta propiedad es crítica en aplicaciones de sostenimiento de roca en la minería subterránea, ya que la exposición a cargas y vibraciones es una parte integral del proceso de excavación. Además, es necesario señalar que la absorción de energía del *shotcrete* vía seca está influenciada por varios factores, como la densidad, la porosidad, la resistencia a la compresión y la elasticidad del material. Un *shotcrete* de alta calidad y densidad tendrá una mayor capacidad para absorber y disipar la energía de los impactos, lo que significa que será más resistente a la deformación y la falla en situaciones de carga y vibraciones extremas.



Figura 14. Refuerzos del shotcrete
Tomada de información brindada por la empresa

Según la Figura 14, el shotcrete se puede reforzar con:

- ✓ Mallas de acero electrosoldadas
- ✓ Fibra de acero 45/35 suelta
- ✓ Fibra de acero 65/35 encolada



Figura 15. Control de espesor
Tomada de información brindada por la empresa



En la

Figura 15 se detalla que el espesor de la capa de *shotcrete* fue de 2" y 4".

4.2 Prueba de hipótesis

Para la prueba de las hipótesis, se realizó en base a argumentos y los datos obtenidos con los controles de calidad, las pruebas de rebote y los precios unitarios.

4.2.1. Prueba de la primera hipótesis específica

i. Hipótesis por contrastar:

Se evidenciará un incremento significativo en el volumen de lanzado de concreto, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

ii. Pruebas:

En el documento de ha hallado que el volumen de lanzado por vía húmeda es mayor que en vía seca. En este sentido para para producir 2 m³ de concreto, se necesitan 480 kg y 157.3kg de cemento, para el diseño seco y húmedo respectivamente; en cuestión del agregado fino, la cantidad necesaria en vía húmeda fue aproximadamente la tercera parte. En este sentido, para cubrir una misma área el volumen de lanzado es menor en vía húmeda. De acuerdo con el Colegio de Ingenieros del Perú (38), para una proyección de 6446 m³, con vía seca es necesario un total de 10.743 m³ y con el método por vía húmeda es de 8595 m³; existiendo una diferencia de 2148 m³.

La diferencia en el volumen de lanzado entre ambos métodos, principalmente, es porque la relación agua cemento en vía húmeda es óptima que en vía seca; además, por emplear mayor cantidad de agua, hace que la mezcla sea más suelta, más plástica que le permite tener mayor cohesión al momento de adherirse a una determinada superficie. Asimismo, por la presión de aire, necesaria en la proyección mecanizada, la compactación se hace más concisa, favoreciendo que el volumen de capas y resistencia del concreto esté dentro de los requerimientos.

iii. Conclusión:

El volumen lanzado de concreto es mucho mayor aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado, que el método por vía seca.

4.2.2. Prueba de la segunda hipótesis específica

i. Hipótesis por contrastar:

El porcentaje de material por rebote disminuirá en 10 % a 30 %, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

ii. Pruebas:

En el estudio se evidenció que el porcentaje de rebote para vía seca, en un volumen de 2m³, fue de 8.98 % y 6.91 % para vía húmeda; existiendo una reducción de 2.07 puntos porcentuales; lo cual equivale al 23.05 % del rebote por vía seca; con esto se comprueba que la reducción de pérdida de material disminuyó entre un 10 % y 30 %. Con lo cual la hipótesis planteada resulta ser verdadera. Asimismo, entre las variables que afectan el rebote en el *shotcrete*, está la cantidad de agua; en este sentido, el método por vía húmeda al tener un mejor control del agua el rebote es menor que en vía seca. Adicionalmente, según los estudios revisados, el rebote por vía seca está en un rango de 30% a 40%; mientras que con vía húmeda es de 5% a 15%; esto confirma que el lanzado de *shotcrete* por vía húmeda, es menor que el de vía seca.

Esta propiedad del *shotcrete* por vía húmeda, es gracias a que su permeabilidad es menor, porque las partículas de la vía húmeda son menores que en vía seca, lo

cual se traduce en partículas de cemento más pequeñas, que ayudan a su adherencia (adherencia de sustratos) sobre la superficie lanzada; por tanto, mejora la cohesión de la mezcla, permitiendo la proyección de *shotcrete* en capas más gruesa que de vía húmeda, lo cual al final se traduce en que el rebote de material es menor. Finalmente, para que se tenga un buen control del rebote, se determinó la cantidad de *shotcrete* que no se adhiere a la superficie sobre el cual se lanza el concreto; siendo lo óptimo (como fue mencionado) entre 5 % a 15 %.

iii. Conclusión:

Existen diferencias en el porcentaje de rebote de concreto por vía seca y vía húmeda, resultando ser menor el porcentaje de pérdida aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado.

4.2.3. Prueba de la tercera hipótesis específica

i. Hipótesis por contrastar:

La reducción será significativa en los costos por m³ lanzado, aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

ii. Pruebas:

En cuanto a los precios unitarios, se comparó entre 4 elementos en el proceso de *shotcrete* por el método convencional y el mecanizado. Los precios para roca regular fueron de 12.75 y 5.85, para el método convencional y mecanizado. Sin embargo, para el elemento de roca mala, el costo en mecanizado resultó ser mayor en 10.92. Es decir, el método mecanizado fue mucho más barato.

Asimismo, con el método mecanizado la mano de obra empleada es menor, en una relación de 5 a 2; es decir, la operación de *shotcrete* como mínimo y necesario requiere de 2 operadores; mientras que el método no mecanizada requiere mayor número de personal; lo cual influye sobre el costo por m³. Asimismo, el uso de maquinaria y equipo entre el método por vía seca y húmeda tiene una relación de 1 a 3; esto indica que 3 equipos de proyección, trabajando a una misma potencia, de vía seca tienen el mismo rendimiento que un solo equipo mecanizado de vía

húmeda; en ambos casos con el mismo requerimiento de aire. En este sentido, la proyección por vía húmeda se traduce en un ahorro por equipos y ahorro por m³; además, el ahorro de energía contribuye a la reducción de costos por método mecanizado en vía húmeda.

iii. Conclusión:

Los precios unitarios por la metodología mecanizada son menores que los costos por la vía convencional; por tanto, aplicando el *shotcrete* vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, se redujo significativamente los costos por m³ lanzado.

4.2.4. Prueba de la cuarta hipótesis específica

i. Hipótesis por contrastar:

El porcentaje de polvo en las labores disminuirá en un 50 %, aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

ii. Pruebas:

El polvo al ser partículas de minerales y tierra, forman una película perjudicial en el concreto y agregado; esto afecta negativamente al fraguado del concreto; por esta razón el control del polvo en los túneles de minería es esencial para la seguridad de los trabajadores y rendimiento de las operaciones. En el estudio de evidenció que la cantidad de polvo generado fue muy inferior por el método de vía húmeda que de seca; tal como se puede observar en la

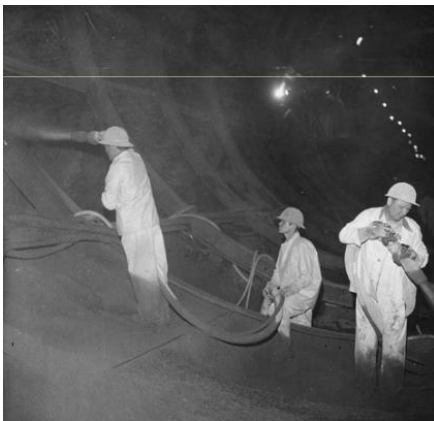




Figura 16 y

Figura 17; que durante la proyección del concreto el polvo es muy inferior por vía húmeda que por vía seca.

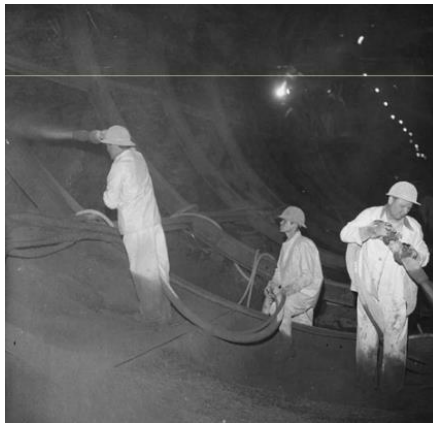


Figura 16. Generación de polvo por vía húmeda



Figura 17. Generación de polvo por vía seca

Esta característica del *shotcrete* por vía húmeda, es debido al afecto del agua, que trabaja como un contenedor y amortiguador del polvo. Esto porque el concreto al tener contacto directo con la tierra o la roca; además de su potencia, hace que el polvo generado sea mínimo. Esto lo corrobora el Colegio de Ingenieros del Perú

(38), al indicar que gracias a que, en vía húmeda se logra una mezcla más homogénea se reduce la pérdida de concreto y la generación de polvo.

El operador *shotcretero* y su ayudante, deben protegerse del rebote de material y la nube de polvo que se pueda generar, por lo cual deben contar con todos los equipos de seguridad necesarios; además, que, con una nube de polvo, no se logra realizar el trabajo correctamente. Por esta razón, es preferible trabajar con el *shotcrete* en vía húmeda para garantizar la seguridad de los trabajadores y el rendimiento del trabajo.

iii. Conclusión:

El porcentaje de polvo en las labores disminuyó notablemente al aplicar el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

4.2.5. Prueba de la hipótesis general

i. Hipótesis por contrastar:

Las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete*, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, serán incrementar el volumen de lanzado de concreto, disminuir la pérdida de material por rebote, reducir los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores.

ii. Pruebas:

En el estudio se ha evidenciado que el volumen de concreto lanzado es mayor por vía húmeda que por vía seca; lo cual también se refleja en un menor porcentaje de rebote de material, reduciendo los costos de operación y trabajo por m³, en vía húmeda. Además, que producto de la humedad del concreto, la cantidad de polvo es menor que en vía seca. Asimismo, con el equipo mecanizado se logra un mejor dominio de superficies grandes, que es posible realizarlo con solo dos operarios, llegando a porcentaje de rebote inferiores al 10 %.

Al comparar el método por vía seca y húmeda, el seco es mucho más efectivo en volúmenes pequeños, como para reparaciones o para completar vacíos, y tomando en cuenta que se mejor en distancias largas, superficies pequeñas, etc.; mientras que, el método por vía húmeda tiene mejor rendimiento en soporte de rocas. En la Tabla 11 se detallan las diferencias entre los métodos.

Tabla 11. Diferencia entre vía seca y vía húmeda

| Item | Vía húmeda | Vía seca |
|------------------|--|--|
| Aplicaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Mejor para altos volúmenes. | <ul style="list-style-type: none"> • Mejor para volúmenes bajos. |
| Equipamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial mayor. • Costo de mantenimiento bajo. | <ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial menor. • Alto costo de mantenimiento. |
| Mezclado | <ul style="list-style-type: none"> • Acepta agregados húmedos. • Mayor productividad. | <ul style="list-style-type: none"> • No acepta agregados húmedos, porque reduce su rendimiento. • Menor productividad. |
| Rendimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Tasa de colocación y lanzado de 3 a 10 m³/h con equipo mecanizado | <ul style="list-style-type: none"> • Tasa de colocación entre 6 y 10 m³/h. |
| Rebote | <ul style="list-style-type: none"> • Rebote entre el 5 % y 15 %. | <ul style="list-style-type: none"> • Rebote entre el 30 % y 60 %. |
| Polución (polvo) | <ul style="list-style-type: none"> • Baja polución en la zona de trabajo. | <ul style="list-style-type: none"> • Alta producción de polución. |
| Aplicaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Mínimo 2 operarios. • Menor costo de mano de obra. | <ul style="list-style-type: none"> • Mínimo de 4 operarios. • Mayor costo de mano de obra. |

iii. Conclusión:

Se logró mejorar la eficiencia en la aplicación de *shotcrete*; es decir, se incrementó el volumen de lanzado de concreto, se disminuyó la pérdida de material por rebote, se redujeron los costos por m³ lanzado y se redujo el nivel de polvo en las labores.

4.3 Discusión de resultados

En primer lugar, se demostró que hay un incremento significativo entre el método por vía seca y vía húmeda. Similar resultado encontró Hernández (9) quien en México realizó la mezcla del *shotcrete*, obteniendo que la muestra tuvo 7 tuvo un

valor de 6.9 cm, y sin aditivo 0.7; el peso volumétrico más alto lo obtuvo la muestra 2 con un valor de 2186 kg/m³ y el porcentaje de aire mayor lo obtuvo la muestra 7 con un valor de 5.7 %. Evidenciándose al incremento significativo del volumen de la muestra con aditivo *shotcrete*; beneficiando en el uso menor de moldaje y su rápida colocación en comparación con el hormigón convencional.

En el estudio de Martínez (10), también se encontraron similitudes con los resultados presentes, su investigación también analizó el *shotcrete*, en este caso aplicándolo a túneles, al añadirlo, en su estudio encontró que el concreto con 5kg de fibra la deformación fue de 10 mm con una fuerza de 4 toneladas, el *shotcrete* con 5 kg de fibra sin aditivo fue de 3 mm con una fuerza de 4.6 toneladas, el *shotcrete* con 5 kg de fibra y con aditivo obtuvo el siguiente resultado, la deformación fue de 12 mm con una fuerza de 5.7 toneladas.

Otro resultado que corroboró lo obtenido en el estudio fue el de Banthia (5), en su estudio describió y modeló los avances del concreto armado con el *shotcrete*, el modelo predijo con precisión una disminución en el volumen con un aumento en el contenido de SF. Las tenacidades fueron proporcional a la fracción de volumen de fibra. El proceso utilizado para el *shotcrete*, seco o húmedo, influyeron no solo en los valores de volumen, sino también la resistencia y tenacidad.

En relación con la teoría, el rebote es un proceso de mezclado húmedo, la tasa de rebote es del 12 % (peso). Las siguientes condiciones reducirán la recuperación elástica: mayor contenido de cemento, mezcla más fina, tamaño máximo de agregado más pequeño, suficiente contenido de humedad del agregado, gradación más fina e inclusiones de microsílice. También debe recordarse que el manejo adecuado de la boquilla afectará el rebote mínimo. El porcentaje de rebote es una mezcla compactada con la superficie a soportar. La primera capa de la mezcla lanzada tiene un alto rebote, que disminuye gradualmente a medida que aumenta el grosor (6).

Además, se encontró que el porcentaje de material de rebote (desperdicio) es menor el método por vía húmeda que vía seca. En el estudio de Martínez (10) se encontró un resultado similar, el autor también analizó al *shotcrete*, señalando que el *shotcrete* se puede revestir entre 5 -15 cm y generar menos desperdicios si es empleado por la vía húmeda. Resultado similar fue obtenido por Galan (14), realizado en Suiza, determinando qué efectos tiene el *shotcrete*. Demostró que el rebote generado por la vía húmeda es menor a diferencia de la vía seca, con ello se logró determinar el efecto del relleno en las propiedades como la resistencia, con la piedra caliza, ya que puede ayudar a compensar las pérdidas iniciales de resistencia del *shotcrete*; asimismo, los resultados presentados son muy relevantes para la industria del hormigón proyectado. Otro de los resultados similares fue obtenido por Camarena (18), quien señaló que, se logró diseñar y optimizar el lanzado de *shotcrete* vía húmeda, ya que esta tuvo un rebote bajo; asimismo, se mejoró el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda y la resistencia del concreto.

Como menciona la teoría, cada que se pueda, el hormigón proyectado debe aplicarse en todo su espesor de diseño en una sola capa. Se puede aplicar en capas o espesores simples, según la posición de trabajo. En minas, el espesor de cada disparo de hormigón proyectado es generalmente de 2 ", 3" y 4 ". En paredes verticales, se puede aplicar en capas o espesores simples. En cualquier caso, el espesor de la capa está determinado principalmente por el requisito de que el hormigón proyectado no caiga (30). La compactación va a depender de varios parámetros, como el impacto del chorro y el surtido de las árido, con los árido usados y con una presión de aire a la entrada de la manguera se obtendrá una compactación de orden 1.35 (30).

Se logró demostrar que los costos son menores en vía húmeda, en el estudio de Camarena (18) se obtuvo un resultado relativamente diferente, ya que en todos los costos que se realizó en su estudio para la optimización del *shotcrete* se tuvo al costo más alto de *shotcrete* transportado siendo en el mes de marzo con un costo total de \$ 320,995.82. Pero, resaltó que los costos se minimizaron en un 18% con respecto al concreto tradicional. En la investigación de Martinez (10) también se

redujeron los costos, obteniendo que se tienen ahorros de hasta un 6% en toda la obra civil de un túnel, teniendo en cuenta que nuestro túnel tipo de 1000 m tendría un valor de \$ 28.600.000.000 y los ahorros serían de \$1.653.000.000. Otro de los resultados que apoyaron al presente resultado fue que Cornejo (11), en su tesis se redujo los costos de sostenimiento a S/. 800.57 el m³ de *shotcrete* vía húmeda de S/. 817.376 el m³ de lanzado de *shotcrete*. Realizó una comparativa del *shotcrete* vía húmeda y vía seca, se tiene una reducción de costo de S/. 17.806 por cada m³ de *shotcrete* lanzado.

En relación con los costos se encontró que es fundamental que se considere la distancia del equipo para la mezcla de hormigón proyectado, en el sistema húmedo, se añaden retardadores a la mezcla. Esto aumenta el costo y aumenta la fuerza esperada (20). Se debe de considerar a la capacidad y rebote. Por ello, el factor más importante que afecta la economía de la aplicación en el método de pulverización en seco; ya que tiene alta tasa de rebote. La cantidad de rebote y las propiedades de la mezcla varían de 15-35 % dependiendo de la ubicación de la superficie de aplicación y la experiencia del operador. El costo del hormigón proyectado se verifica a intervalos, Por ejemplo, se fabrica según el hormigón que se acepta como un 10% de rebote (30).

Se demostró que el porcentaje de polvo se disminuye con la aplicación del *shotcrete* con vía húmeda. En la investigación de Hernández (9) se obtuvo un resultado similar, señalando que el porcentaje de polvo luego del aplicativo de *shotcrete*, se encontró que, al ser en vía húmeda, este porcentaje se redujo a gran escala, esto a causa del porcentaje de agua que presentó. El autor mencionó que *shotcrete* presentó la mayoría de las propiedades como la resistencia, durabilidad, flexibilidad, compresión y sostenimiento; beneficiando en el uso menor de moldaje y su rápida colocación en comparación con el hormigón convencional. Entre los resultados obtenidos por Martínez (10) se logró demostrar que el polvo en la mezcla fue reducido al aplicar al *shotcrete* de vía húmeda, finalizando comentando que el *shotcrete* a diferencia del convencional logró reducir el porcentaje de polvo.

Respecto a las teorías, al emplear el *shotcrete* por vía húmeda, de la misma manera que el cambio de acelerantes de aluminatos cáusticos por otros productos que son libres de álcalis y no cáusticos, representan una gran oportunidad de mejora en cuanto a disminuir el nivel de polución o generación de partículas dentro del área de trabajo. Uno de los factores más perjudiciales cuando se realiza excavaciones es el polvo, por lo que aplicando el *shotcrete* de vía húmeda disminuye en gran proporción la cantidad de material particulado. Para determinar la cantidad de material particulado se realiza con equipo de flujo alto (6).

Se demostró que hay mejoras en la eficiencia con la aplicación del *shotcrete* por vía húmeda, se disminuyó la pérdida de material por rebote, se redujeron los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores; también se logró aumentar el volumen. En la investigación de Hernández (9) se obtuvo que luego de analizar el *shotcrete*. Encontró que los resultados fueron que el revenimiento con aditivo la muestra 7 tuvo un valor de 6.9 cm, y sin aditivo 0.7; el peso volumétrico más alto lo obtuvo la muestra 2 con un valor de 2186 kg/m³ y el porcentaje de aire mayor lo obtuvo la muestra 7 con un valor de 5.7 %. El costo se redujo en 20 % y llegó a concluir que el *shotcrete* presentó la mayoría de las propiedades como la resistencia, durabilidad, flexibilidad, compresión y sostenimiento; beneficiando en el uso menor de moldaje y su rápida colocación en comparación con el hormigón convencional. Para Banthia (5) el proceso utilizado para el *shotcrete*, seco o húmedo, influyeron no solo en los valores de rebote, sino también la resistencia, la tenacidad y la durabilidad a largo plazo de las fibras reforzadas de *shotcrete*. En la investigación de Cornejo (11), se encontró que al aplicar una capa de *shotcrete* e 5.08 cm con 20 kg de fibra metálica la absorción de energía fue de 1431 Joules y el *shotcrete* con 40 kg de fibra obtuvo una absorción de energía de 1500 Joules. Mencionando finalmente que sostenimiento con *shotcrete* con 40 kg de fibra optimiza el costo y el sostenimiento ya que tiene buena resistencia a la absorción de energía.

A nivel teórico, es necesario mencionar que el hormigón proyectado es un tipo de hormigón seco y húmedo que se obtiene mediante la proyección de un mortero compuesto por una mezcla de cemento, agua y árido sobre el hormigón anterior.

La superficie se prepara a alta velocidad con aire a presión. Por sus múltiples ventajas, como la de poder moldearse como se desee y aplicarse sobre cualquier superficie (20). El proceso de hormigón proyectado es probablemente el método más versátil para aplicaciones de hormigón. Durante sus casi 90 años de historia, el hormigón proyectado se ha utilizado en superficies de muchas formas, como roca, acero, otro hormigón o materiales de construcción como piedra, mampostería y cualquier forma de encofrado. También es ideal para reparar y reforzar estructuras de hormigón y mampostería (*shotcrete*) (7).

A modo de resumen, una de las propiedades relevantes del *shotcrete*, ya sea vía seca o húmeda viene a ser la resistencia a la compresión, que es una propiedad clave que afecta la seguridad, la estabilidad y la durabilidad de las estructuras subterráneas. Los ingenieros y los contratistas deben asegurarse de que el *shotcrete* esté diseñado y construido de manera adecuada para garantizar que tenga la resistencia adecuada para soportar cargas de compresión y mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas.

Asimismo, la aplicación del *shotcrete* se puede hacer por vía húmeda o vía seca. Una de las ventajas del *shotcrete* vía húmeda, es que tiene una mayor resistencia inicial y un menor tiempo de fraguado, lo que permite una mayor rapidez en la aplicación y una mayor productividad. Además, es posible agregar aditivos que mejoren la resistencia y durabilidad del material. En cuanto en el de vía seca, se requiere una menor cantidad de agua y cemento, lo que puede reducir el costo en el transporte y almacenamiento de los materiales. Además, el proceso de mezclado genera menos residuos de cemento y agua que deben ser eliminados adecuadamente. Sin embargo, tiene una resistencia inicial menor y un mayor tiempo de fraguado en comparación con el de vía húmeda, lo que puede disminuir la productividad. Además, la aplicación del material puede ser menos uniforme, lo que puede requerir aplicaciones adicionales para lograr el espesor deseado.

En cuanto a cómo pueden mejorar la eficiencia del sostenimiento en una unidad minera, ambas formas de aplicar el *shotcrete* pueden ser efectivas, dependiendo de las necesidades específicas de la mina. Si se necesita una mayor rapidez en la

aplicación y una mayor resistencia inicial, el *shotcrete* vía húmeda puede ser más adecuado. Si se requiere una reducción en el costo de los materiales y una menor generación de residuos, el *shotcrete* vía seca puede ser más conveniente. En ambos casos, es importante asegurar que el sostenimiento esté diseñado adecuadamente y que se sigan las prácticas de seguridad necesarias para garantizar la estabilidad de la mina.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las mejoras en la eficiencia de la aplicación de *shotcrete* aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. Se incrementó el volumen de lanzado de concreto, se disminuyó la pérdida de material por rebote, se redujeron los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores.
2. En el estudio se encontró que, la cantidad utilizada de los materiales empleados para producir 2 m³ de concreto, se necesitaron 480 kg y 157.3kg de cemento, para el diseño seco y húmedo respectivamente; asimismo, la cantidad de agua fue menor pasando de 180 litros a 74.7 litros. Por el lado de agregado fino, la cantidad necesaria en vía húmeda fue aproximadamente la tercera parte, con respecto a la cantidad de aditivos en el diseño seco fue de 36.4, mientras que el diseño seco fue de 8.7 litros. Por lo tanto, el incremento del volumen de lanzado fue mucho mayor con la metodología por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
3. Se determinó que el porcentaje de pérdida de material por rebote aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semimecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, fue de 6.91 % para una producción de 2m³, mientras que por vía seca la pérdida fue de 8.98%; una diferencia de 2.07 % puntos porcentuales, que equivale a 41.4 m³ de material perdido. Cabe señalar que en ambos métodos el porcentaje de pérdida estuvo dentro de los estándares, ya que, para vía seca, el rango de pérdida está entre 15 % a 25 %, y para vía húmeda, el rango, según norma ACI 506 R, es de 10 %.
4. Se calcularon los costos por m³ lanzado aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. Es así como los precios para roca regular fueron de 12.75 y 5.85, para el método mecanizado. Sin embargo, para el elemento de roca mala, el costo en mecanizado resultó ser mayor en 10.92. Entonces, la reducción fue significativa

en los costos por m³ lanzado, aplicando el nuevo *shotcrete* vía húmeda, esto ya que resultó ser un método eficiente; asimismo, pese a las distancias en el transporte y los recursos y equipos requeridos, también presentaron eficiencia, todo ello, ya que consideraron tanto a la capacidad del hormigón proyectado y al rebote, siendo los puntos fundamentales. Además, para el método mecanizado solo se requiere de 2 operarios, mientras que por el método convencional mínimo son de 4; esto se traduce en menor costo por mano de obra.

5. Se determinó que el nivel de polvo en las labores aplicando el nuevo *shotcrete* por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumim, disminuyó en un 50 %; esto gracias a que la humedad del concreto y su fácil adherencia en una superficie permite que el polvo no se genere en volúmenes grandes.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el método *shotcrete* vía húmeda semimecanizado en el sostenimiento de rocas, túneles y otros necesarios en la unidad minera Sierra Sumaq Rumim,
2. Se recomienda que los operadores mineros, buscar otros aditivos que permitan tener un mejor volumen de lanzado, estos deben de lograr adaptarse al contexto y resulte óptimo, también se les sugiere que busquen optimizar completamente al *shotcrete*, en caso sea la mejor opción para aplicarla.
3. Se sugiere a la minera, capacitar a sus operadores respecto al método *shotcrete*, para optimizar el uso de los recursos presentes, y contar con menos desperdicio de material.
4. A las mineras se les sugiere realizar estudios previos de la mezcla que se va a emplear, buscando que, al momento de aplicar al *shotcrete* se pueda adaptar fácilmente mediante la vía húmeda y contar con menores costos por m³.
5. Es recomendable que los operadores de la mezcla mantengan a la mezcla en un buen nivel de humedad, para reducir al porcentaje del polvo, el cual resulta perjudicial si se presenta en un lugar cerrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PUTZMEISTER. Tendencias: Putzmeister opina sobre el futuro del shotcrete. *Putzmeister*. [En línea] Putzmeister, 12 de abril de 2018. [Citado el: 12 de noviembre de 2021.] <https://bestsupportunderground.com/futuro-del-shotcrete/>.
2. CAJAHUARINGA, Zabelly. *Soluciones de shotcrete: equipos y aditivos: Método Eficaz de Sostenimiento en Minería*. [En línea] Lima : Sullair del Pacífico , 13 de julio de 2021, Rumbo Minero, Vol. I. [Citado el: 13 de noviembre de 2021.] <https://rumbominero.com/ED138/index.php?pag=36>
3. PUTZMEISTER. Ventajas del shotcrete robotizado por vía húmeda frente a la proyección manual por vía seca. *Putzmeister*. [En línea] Putzmeister, 24 de junio de 2019. [Citado el: 12 de noviembre de 2021.] <https://bestsupportunderground.com/ventajas-shotcrete-robotizado-via-humeda/>.
4. TECNOLOGÍA MINERA. *Evolución del Shotcrete en el Perú*. 16, Perú : Revista Digital Internacional de Minería y Energía , 19 de octubre de 2022, Vol. I. <https://virtual.construtivo.com/edicion/tm103/>.
5. BANTHIA, N. Advances in sprayed concrete (shotcrete). *ScienceDirect* 1, Canadá :2019, 1, pp 289-306.
6. BERNARD, Stefan. *Shotcrete: Elements of a System*. Los Angeles : Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 9781138112384.
7. HARMSEN, Teodoro. *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2002.
8. GUEVARA, Valentina. Estudio del comportamiento en durabilidad del hormigón proyectado (Shotcrete), mediante ensayos de migración de cloruros. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2017.

9. HERNÁNDEZ, Francisco. Métodos empleados en la evaluación de la calidad del concreto lanzado. Tesis (Título de Maestro en Ingeniería). Ciudad Distrital de México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
10. MARTÍNEZ, Jorge. Análisis del concreto lanzado como revestimiento definitivo para túneles. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
11. CORNEJO, Juan. Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima : Universidad Cesar vallejo, 2020.
12. BEAUPRÉ, Denis. *Rheology of high performance shotcrete*. Columbia : The University of british Columbia, 1994.
13. BERNARD, Erick. *Shotcrete: More Engineering Developments*. New York : CRC Press, 2004. 978-0-415-35898-9.
14. GALAN, Isabel; et. al. Filler Effect in Shotcrete. *Austria : Revista Materials*, 2019, (32) 12, pp 2-24.
15. BERNANDO, G; GUIDA, A; MECCA. Advancements in shotcrete technology. *California : WIT Transactions on The Built Environment*, 2015, 153. 1743-3509.
16. BOZA, Ronny. Aplicación de Shotcrete para cumplir el Programa de Producción de la E.E. Miro Vidal y Compañía S.A.C en U.M. Animón Cía. Minera Volcan S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo : Universidad Nacional de Centro del Perú, 2019.
17. TAPIA, Juan. Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras - INPECON SAC - Mina Chipmo Cia Minera Buenaventura Unidad Orcopampa. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa :Universidad Nacional San Agustín e Arequipa, 2017.

18. CAMARENA, Franklin. Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costo y mejorar la producción de lanzado de la E.E Robocon S.A.C en la mina San Cristobal - Cía Minera Volcan S.A.A. Tesis (Título Profesional de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú., 2016.
19. TOLEDO, Fernando; ROMERO, Alfonso; LEÓN, Elard. Ingeniería del concreto lanzado reforzado para el sostenimiento de rocas deleznable en excavaciones subterráneas. *Lima : Revista del Instituto de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 2016, (19) 37,
20. GUZMÁN, Sergio y OHAZ, Milenko. *Shotcrete Guía Chilena del hormigón proyectado*. Santiago de Chile : Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2015.
21. U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Standard practice for Shocrete*. Washington : U.S Army Corps of Engineers, 1993.
22. WORKING GROUP. *AFTES Recommendations on Fibre Reinforced Sprayed Concrete Technology and practice*. Washington : Tunnelling and Underground Space Technology, 1996. pág. 43. 0886-7798.
23. OSINERGMIN. *Guía decriterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterranea*. Lima : OSINERGMIN, 2017.
24. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO. *Concreto y cemento Investigación y desarrollo*. México : Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2015.
25. CONCRETE INSTITUTE. *Shotcreting in Australia*. Australia : Concrete Institute, 2010. 0 909375 79 8.
26. INTERNATIONAL TUNNELLING ASSOCIATION. *Shotcrete for Rock Support: a Summary Report on the State of the Art in 15 Countries*. Great Britain. : Tunnelling and Undergrou~wl Space Technology, 1993. 441-170.

27. INGEOPRES. *Excavación y explotación de túneles y obras subterráneas*. [ed.] Francisco Esquitino Martín. Madrid : Promat, 2012.
28. JOLIN, Marc y MORGAN, Dudley. *Shotcrete: Materials, Performance and Use Modern concrete technology*. California : CRC Press, 2013. 9781032039718.
29. ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*. México D.F : Estados Unidos Mexicanos, 2012.
30. KING, Elwyn. *Shotcrete*. Oxford : Tunnel Engineering Handbook, 1996.
31. MELBYE, Tom. *Shotcrete para soporte de rocas*. México : Degussa Construction Chemicals International, 2002.
32. ROBOCON. *Manual de Shotcrete*. Lima : Robocon Shotcreting Systems, 2011.
33. HÖFLER, Jürgen, SCHLUMPF, Jürg y JAHN, Markus. *Manual Sika sobre hormigón proyectado*. Cuarta. Zürich : Putzmeister, 2011.
34. REY, Alberto, PARDO, Gabriel y HURTADO, Raúl. *Túneles y obras subterráneas*. Madrid : Sika S.A.U., 2010.
35. BLANCO, José y ENRÍQUEZ, Juan. *Glosario de términos de seguridad en construcción*. México : Fondo Bibliográfico de la construcción, 2010.
36. CONSTRUCCIÓN ENERGÉTICA ASÍSMICA. *Glosario de términos constructivos usados en este manual*. Santiago de Chile : LP Bulding Product, 2017.
37. ESPINOZA, Ciro. *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2010. 978-612-00-0222-3.
38. DIAZ, Jorge. *Shotcrete vía húmeda su importancia como elemento de sostenimiento en minería*. UNICON. Lima : Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1
Matriz de consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLES Y DIMENSIONES | METODOLOGÍA | MUESTRA | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|--|---|--|--|---|--|
| <p>Problema General:</p> <p>¿Cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de Shotcrete aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuánto será el incremento en el volumen de lanzado de concreto aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi? ¿Cuánto será el porcentaje de pérdida de material por rebote | <p>Objetivo General:</p> <p>Determinar cuáles serán las mejoras en la eficiencia de la aplicación de Shotcrete aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar cuánto será el incremento en el volumen de lanzado de concreto aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi. Determinar cuánto será el porcentaje de pérdida de material | <p>Hipótesis General:</p> <p>Las mejoras en la eficiencia de la aplicación de Shotcrete, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi, serán incrementar el volumen de lanzado de concreto, disminuir la pérdida de material por rebote, reducir los costos por m³ lanzado y el nivel de polvo en las labores.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se evidenciará un incremento significativo en el volumen de lanzado de concreto, | <p>Variable Dependiente:</p> <p>Sostenimiento en mina con Shotcrete vía húmeda.</p> <p>Variable Independiente:</p> <p>Eficiencia del sostenimiento en mina</p> | <p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicado</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Explicativo</p> <p>Método General:</p> <p>Científico</p> <p>Diseño:</p> <p>Preexperimental</p> | <p>Población:</p> <p>labores del nivel -60 de la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.</p> <p>Muestra:</p> <p>BYPASS-148 Este.</p> | <p>Técnicas:</p> <p>Observación</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Ficha de observación</p> |

aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?

- ¿Cuánto reducir los costos por m3 lanzado aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?
- ¿En cuánto se reducir el nivel de polvo en las labores aplicando el nuevo Shotcrete por vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi?

por rebote aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- Calcular en cuánto se reducirán los costos por m3 lanzado aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
- Determinar en cuánto se reducirá el nivel de polvo en las labores aplicando el nuevo Shotcrete por vía húmeda con un sistema Semi mecanizado en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

- El porcentaje de material por rebote disminuirá en 10% a 30%, aplicando el método por vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
- La reducción será significativa en los costos por m3 lanzado, aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.
- El porcentaje de polvo en las labores disminuirá en un 50%, aplicando el nuevo Shotcrete vía húmeda con un sistema semi mecanizado, en la unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

Anexo 2 Instrumento

UNIVERSIDAD CONTINENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL SISTEMA SHOTCRETE
UNIDAD MINERA SIERRA SUMAQ RUMI

Código:

Buen día, esta ficha de observación pretende recopilar información sobre el el costo de Shotcrete vía humeda semi mecanizado. La sinceridad con que respondan a las afirmaciones será de gran utilidad con fines de investigación. Asimismo se indica que las respuestas brindadas se conservarán de forma discreta y confidencial.

I. INFORMACIÓN GENERAL DEL OBSERVADOR

1.1. APELLIDOS Y NOMBRES:

1.2. EDAD SEXO: FEMENINO MASCULINO DNI

II. SHOTCRETE

MATERIAL DISTANCIA

HORA INICIO NOMBRE DEL OPERARIO (S)
HORA DE FIN

SHOTCRETE VÍA SECA

| HORA INICIO | | HORA FIN | |
|---------------------|--|----------|------|
| NOMBRE DEL OPERARIO | | | EDAD |

| | |
|--|--|
| Cantidad de mezcla seca (m3) | |
| Transporte | |
| Mangueras | |
| Manejo de Boquilla | |
| Rendimiento | |
| Rendimiento por equipo | |
| Volumen de lanzado de concreto (m3) | |
| rebote | |
| Costo de Shotcrete | |
| Cantidad me material particulado (polvo) | |
| Costo por m3 de hormigón | |

| | |
|--------------|--|
| OBERVACIONES | |
|--------------|--|

| SHOTCRETE VÍA HÚMEDA | | | |
|--|--|----------|--|
| HORA INICIO | | HORA FIN | |
| NOMBRE DEL OPERARIO | | EDAD | |
| Cantidad de mezcla húmeda (m3) | | | |
| Transporte | | | |
| Mangueras | | | |
| Manejo de Boquilla | | | |
| Rendimiento | | | |
| Rendimiento por equipo | | | |
| Volumen de lanzado de concreto (m3) | | | |
| rebote | | | |
| Costo de Shotcrete | | | |
| Cantidad me material particulado (polvo) | | | |
| Costo por m3 de hormigón | | | |
| OBERVACIONES | | | |

Anexo 3

Informe de calidad





| Innovation & Mining Solutions | | DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA TEMPRANA - METODO "A" / EN 14488 - | | | | SIERRA SUN | |
|--|------------------------|---|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------|--|
| N° DE REPORTE : 1 | | ATENCIÓN: Ing. DAVID REINOSO | | | | | |
| RESISTENCIA : F'c 300 kg/cm ² @ 28 días | | | | | | | |
| TIPO DE MUESTRA : VIA SECA | | CC: | | | | | |
| OBRA / MINA : SIERRA SUN | | RESPONSABLE DE ENSAYO : SUP. Jos Meléndez Calderón | | | | | |
| HORA DE LANZADO : 11:15 Hrs | | FECHA DE PRUEBA : 10 de octubre de 2020 | | | | | |
| CURVA DE CALIBRACIÓN USADA : II (Agregado de ϕ 0 a 16mm) | | | | MÉTODO DE ENSAYO : A | | | |
| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | FUERZA A LA PENETRACIÓN (Kp) | PROMEDIO (Kp) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | | |
| | | | | | N/mm ² | Kg/cm ² | |
| 11:45 | 0:30 | 15.3 | 17, 22, 17, 17, 22, 17, 17, 22, 17, 22 | 19.0 | 0.3 | 3.5 | |
| 12:15 | 1:00 | 15.3 | 32, 32, 32, 42, 37, 37, 37, 37, 37, 37 | 36.0 | 0.6 | 6.6 | |
| 12:45 | 1:30 | 15.3 | 42, 42, 47, 42, 42, 47, 47, 47, 42, 47 | 45.0 | 0.8 | 9.2 | |

DESARROLLO DE FRAGUADO / RESISTENCIA TEMPRANA

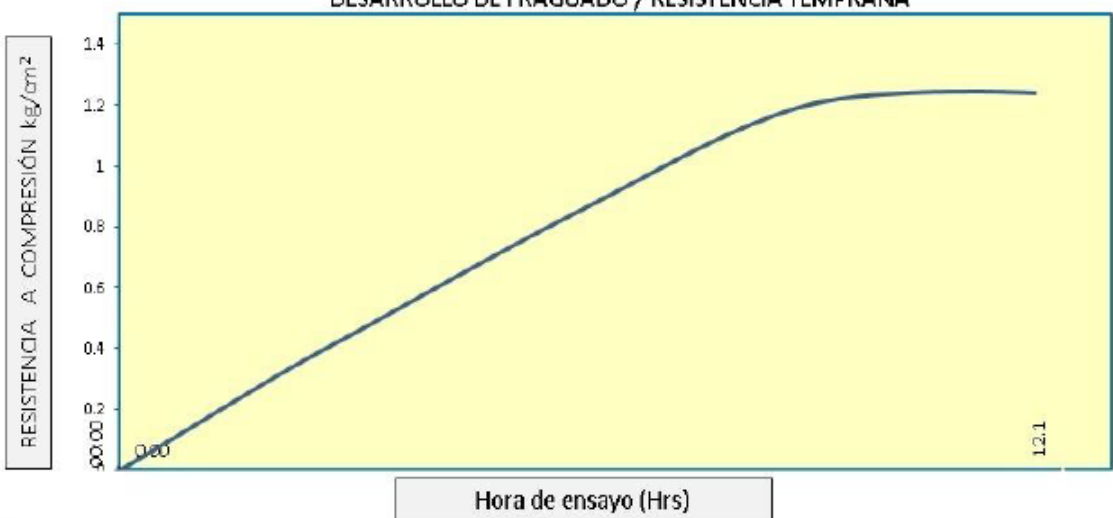
Hora de ensayo (Hrs)

| | |
|--|--|
| Equipo empleado: PENETROMETRO TIPO INFLADOR. | Descripción del método: Este método mide la fuerza requerida para empujar una aguja de ciertas dimensiones definidas, de una distancia determinada en el hormigón proyectado. Este dispositivo, indica la resistencia mediante la compresión de una aguja, además, está equipado con un indicador deslizante para poder tomar las lecturas en Kp, y posteriormente convertirlas en K/cm ² . (Ver Anexo A) |
| OBSERVACIONES: PRESION DE AIRE 2 BARES NO HAY UNA ADECUADA COMPACTACION DEL SHOTCRETE DEL SHOTCRETESE ESTUVO LANZADO CON 5.6% DE ADITIVO 14 LTS/M3, NO SE CONSEGUIA FRAGUA INICIAL RAPIDA | |
| RECOMENDACIONES: MEJORAR LA PRESION Y CAUDAL DE AIRE EN EL LANZADO (4 BARES) Y AUMENTAR EL ACELERANTE AL 9.5% (SIN RESTRICCIÓN) PARA EQUILIBRAR LA TEMPERATURA AMBIENTE CON LA TEMPERATURA DE MEZCLA Y MEJORAR LA FRAGUA INICIAL | |

No se realizó la prueba de Método B por motivo de que no tendríamos lectura ya que la prueba del método A salieron bajas.

|  | | DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA TEMPRANA - METODO "A" / EN 14488 - | | | |  | |
|---|------------------------|---|--|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| N° DE REPORTE : 2 | | ATENCIÓN: Ing DAVID REINOSO | | | | | |
| RESISTENCIA : F'c 300 kg/cm2. @ 28 días | | CC: | | | | | |
| TIPO DE MUESTRA : | | RESPONSABLE DE ENSAYO : SUP QAQC Joe Meléndez Calderón | | | | | |
| OBRA / MINA : SIERRA SUN RP 911 NV -20 | | HORA DE LANZADO : 16 : 15 Hrs | | | | | |
| | | | | | | FECHA DE PRUEBA : 11 de octubre de 2020 | |
| CURVA DE CALIBRACIÓN USADA : II (Agregado de ϕ 0 a 76 mm) | | | | MÉTODO DE ENSAYO : A | | | |
| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | FUERZA A LA PENETRACIÓN (Kp) | PROMEDIO (Kp) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | | |
| | | | | | N/mm ² | Kg/cm ² | |
| 16:45 | 0:30 | 15.3 | 37 , 42 , 47 , 52 , 47 , 37 , 47 , 47 , 47 , 42 | 44.5 | 0.8 | 8.1 | |
| 17:15 | 1:00 | 15.3 | 52 , 62 , 52 , 52 , 67 , 52 , 62 , 57 , 62 , 57 | 57.5 | 1.0 | 10.5 | |
| 17:45 | 1:30 | 15.3 | 67 , 67 , 67 , 62 , 67 , 67 , 67 , 67 , 67 , 67 | 66.5 | 1.2 | 12.1 | |

DESARROLLO DE FRAGUADO / RESISTENCIA TEMPRANA



Hora de ensayo (Hrs)

| | |
|--|--|
| Equipo empleado: PENETROMETRO TIPO INFLADOR | Descripción del método: Este método mide la fuerza requerida para empujar una aguja de ciertas dimensiones dehrucas, de una distancia determinada en el hormigón proyectado. Este dispositivo, indica la resistencia mediante la compresión de una aguja, además, está equipado con un indicador deslizando para poder tomar las lecturas en Kp, y posteriormente convertirlos en K/mm2. (Ver Anexo A) |
| OBSERVACIONES: PRESION DE AIRE 3 BARES Y EN BOMBEO 3.5 BARES SE ESTUVO LANZADO CON 9.5 % DE ADITIVO 26 LTS/M3, MEJORÓ LA FRAGUA INICIAL. SE CONSIGUIÓ A 1.5 HORAS 12 KG/CM2 | |

3. La prueba Método B con ajustes correspondientes se realizó el día 11/10/2020 a horas 20:15, las pruebas se realizó en un tiempo de 4 horas después de realizar el muestreo de panel.

DATOS LABOR NV -20 RP 911.

Temperatura ambiente : 16.2°C.
 Temperatura Concreto : 28.3°C.
 Presión de aire : 3.5 bar.
 Aditivo Acelerante : 26 lts /m3.

| PRUEBA / HORA 20:15 | KN | mm |
|---------------------|-----|----|
| C1 | 2.1 | 20 |
| C2 | 2.1 | 18 |
| C3 | 2.1 | 23 |
| C4 | 2 | 18 |
| C5 | 2 | 13 |

ENSAYO DE CALCULO PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL SHOTCRETE

| Fecha: 11/10/2020 | | Tª Ambiente: 15.6 °C | Tª Mezcla: 2 30 °C | Ensayado por: SUP QAQC Jea Meléndez Calderón | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|--|---|--|---|
| GEMIN | | Lugar: | | Labor de Lanzado: RP 911 NV -20 | | | | | |
| Tamaño del árido: 3/8" | | Cemento: TIPO I | Acelerante: Acelerante HAA MACFREE PLUS 9.5 % 26 litros / m3 | | | | | | |
| ① HORA | ② Tiempo tras completarse en gunitado ①- t ₀ | ③ Tipo de perno / Longitud Total L _{tot} | ④ Saliente NVS | ⑤ Penetración h _{nom} = L _{tot} - NVS | ⑥ Lectura de la carga de tracción N _u | ⑦ Carga de tracción real N _u ' | ⑧ N _u ' / h _{nom} ⑦/⑤ | ⑨ Media N _u ' / h _{nom} Σ N _u ' / h _{nom} / 10 | ⑩ Resistencia del Shotcrete F _c (MPa) |
| (h : min) | (h : min) | mm. | mm. | mm. | kN | N | N / mm. | N / mm. | |
| TODAS LAS MEDICIONES Y CALCULOS ESTAN EN EL MISMO ORDEN DE COLOCACION DE PERNOS | | | | | | | | | |
| 16:15:00 p.m. | 20:15 | 80 | 20 | 60 | 2.1 | 2100 | 35.0 | 47.9 | 6.6 |
| | | | 18 | 62 | 2.1 | 2100 | 33.9 | | |
| | | | 23 | 57 | 2.1 | 2100 | 36.8 | | |
| | | | 18 | 62 | 2.0 | 2000 | 32.3 | | |
| | | | 13 | 67 | 2.0 | 2000 | 29.9 | | |
| | | | 20 | 60 | 2.1 | 2100 | 35.0 | | |
| | | | 18 | 62 | 2.1 | 2100 | 33.9 | | |
| | | | 23 | 57 | 2.1 | 2100 | 36.8 | | |
| | | | 18 | 62 | 2.0 | 2000 | 32.3 | | |
| | | | 13 | 67 | 2.0 | 2000 | 29.9 | | |
| Σ = | | | | | | | 335.6 | | |

OBSERVACIONES: EL ensayo se realizo a las 4 horas en interior mina panel trapezoidal

OBSERVACIONES:

CON LAS PRUEBAS REALIZADAS Y PARAMETROS RECOMENDADOS SE LLEGO A U7NA RESISTENCIA DE 6.6 MPA A 4 HORAS.

4. La prueba de rebote con ajustes correspondientes se realizó el día 16 /10/2020 a horas 23:50, las pruebas se realizó en un tiempo de 4 horas después de realizar el muestreo de panel.

DATOS LABOR NV -20 RP 930.

Temperatura ambiente : 18.2°C.
 Temperatura Concreto : 27.8°C.
 Presión de aire : 3.5 bar.
 Aditivo Acelerante : 26 lts /m3.

| Innovation & Mining Solutions | | DISEÑO DE MEZCLA Y DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REBOTE | | | | SIERRA POLI | |
|-------------------------------|--------------------------|--|--------------------|----------------|-------------|-----------------------------------|--|
| MATERIAL | PROCEDENCIA / MARCA | DISEÑO SECO (kg/m ³) | | | | | |
| CEMENTO | A TIPO I | 480.0 | | | | | |
| AGUA | DE LA ZONA | 180.0 | | | | | |
| AGREGADO FINO | CANTERA ANCON-HUARAL | 1535.0 | | | | | |
| FIBRA DE ACERO | F53N | 30.0 | | | | | |
| AIRE | | 0.0 | | | | | |
| ADITIVO ACELERANTE | MACFREE AF | 36.4 | AL 0% | | | | |
| | | 2261.4 | | | | | |
| CANTIDAD DE M3 | 2 | TOTAL | 4522.8 | | | | |
| % DE REBOTE | | | | | | | |
| | | | | | | W de mezcla recogida 406.2 | |
| # balde | Peso | # balde | Peso | # balde | Peso | % de Rebote 8.98 | |
| 1 | 26.9 | 16 | | 31 | | | |
| 2 | 26.5 | 17 | | 32 | | | |
| 3 | 27.8 | 18 | | 33 | | | |
| 4 | 26.2 | 19 | | 34 | | % / m3 4.49 | |
| 5 | 27.2 | 20 | | 35 | | | |
| 6 | 26.9 | 21 | | 36 | | | |
| 7 | 26.5 | 22 | | 37 | | | |
| 8 | 26.5 | 23 | | 38 | | | |
| 9 | 26.8 | 24 | | 39 | | | |
| 10 | 27.2 | 25 | | 40 | | | |
| 11 | 26.4 | 26 | | 41 | | | |
| 12 | 27.5 | 27 | | 42 | | | |
| 13 | 26.4 | 28 | | 43 | | | |
| 14 | 26.9 | 29 | | 44 | | | |
| 15 | 26.5 | 30 | | 45 | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | |
| Labor: RP 930 | Presion de aire: 3.5 bar | | Inicio de lanzado: | 23:50 | | sábado, 17 de octubre de 2020 | |
| Nivel: -20 | | | Fin de lanzado: | 00:40 | | | |

OBSERVACIONES:

SE REALIZO PRUEBA DE REBOTE CON 2M3 EL CUAL OBTUVIMOS UN 8.98% DE REBOTE, POR EL CUAL ESTAMOS DENTRO DE LO PERMITIDO YA QUE EL % DE REBOTE EN VIA SECA ES DE 15% A 25%.

EVIDENCIAS DE ACTIVIDADES REALIZADAS.

ALMACENAMIENTO DE BIG BAG EN SUPERFICIE.



Almacenamiento inadecuado, el almacenamiento de los Big Bag en superficie, debe ser en una superficie aislada de la humedad y con techo para evitar el contacto con zonas húmedas y así no se hidrate el concreto.

COMO SE APILA LOS BIG BAG DENTRO INTERIOR MINA PARA EL LANZADO



El apilar de los Big bag en interior mina es la incorrecta, la cual se evidencia perdida de material.

BOMBA DE ADITIVO EN MAL ESTADO.



La valvula de retención en mal estado, la cual permite que el agua pase directamente al cilindro de aditivo y este se contamine, fue uno de los problemas el cual también el shotcrete no alcanzaba la fragua inicial.

MUESTREO DE PANELES TRAPEZOIDALES Y REALIZACION DE PRUEBAS CON LOS AJUSTES CORRESPONDIENTES.

Actividad Minera



En las pruebas realizados de edades tempranas con el Método A se llegó a una resistencia de 1.2 MPA a 1.5 horas, con el Método B, se llegó a una resistencia de 6.6 MPA a 4 horas.



PRUEBA DE REBOTE.



En la prueba de rebote se realizo con un lanzado de 2 M3, la la cual como se evidencia se llevo a un porcentaje de rebote de 8.98 %.

CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE GEMIN.



|  | | LISTA DE ASISTENCIA | | Registro: FOI-SIG-02 Fecha de emisión: 01/01/2020 Rev: 01 | |
|---|-------------------------|--|----------------------|--|---------------|
| SIERRA POLI SAC. Av. El Derby 055 Interior 301 RUC: 20603830416 | | Rubro: Exploración, Explotación, Servicios Auxiliares y administrativos, Producción y Comercialización de Zinc | | N° Trabajadores en Centro laboral: | |
| <input type="checkbox"/> INDUCCIÓN | | <input type="checkbox"/> ENTRENAMIENTO | | <input checked="" type="checkbox"/> CAPACITACIÓN | |
| <input type="checkbox"/> REINDUCCIÓN | | <input type="checkbox"/> REUNIÓN | | <input type="checkbox"/> SIMULACRO DE EMERGENCIA | |
| <input type="checkbox"/> OTROS, ESPECIFICAR | | | | | |
| TEMA: SHOTCRETE IMPRODUCIA COMO ELEMENTO DE SOSTENIMIENTO EN MINA | | | | | |
| EXPOSITOR: JOE SMITH MELENDEZ COLADERÓN FIRMA | | | | HORA INICIO: 7:00 | |
| FECHA: 19/10/2020 | | | | HORA TERMINO: 7:45 | |
| LUGAR: SALA DE CAPACITACIÓN | | | | DURACION: 0:45 min. | |
| N° | APELLIDOS Y NOMBRES | DNI/C.E. N° | ÁREA / ECM Y CONEXAS | FIRMA | OBSERVACIONES |
| 1 | Aumancia Locaqui Amador | 41139028 | MINA | | |
| 2 | Bautista Rivera M | 20090397 | MINA | | |
| 3 | Cuamata Jairo Pasalo | 41035044 | MINA | | |
| 4 | Bautista Htrago Luis | 72076734 | MINA | | |
| 5 | Vera Jancampa Remigio | 40456022 | MINA | | |
| 6 | Alvarado Pérez Rony | 74236124 | MINA | | |
| 7 | Escobar Anacleto Ruyid | 41564634 | MINA | | |
| 8 | Chavez Tomas Alfonso | 74533164 | MINA | | |
| 9 | Paredo Valero Freddy | 41305034 | MINA | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| RESPONSABLE DEL REGISTRO: | | | | | |
| NOMBRE: | | JOE SMITH MELENDEZ COLADERÓN | |  FIRMA | |
| CARGO: | | SUP. COLI000 | | | |
| FECHA: | | 19/10/2020 | | | |

Activar Windows

Usa el Centro de Ayuda para activar Windows

Anexo 4

Trabajos realizados

1. Verificación de presión de aire en la cual hay deficiencias falta de manómetro de presión de aire en el equipo, fugas y trabajos en paralelo cerca de las labores de lanzado.
2. Corrección de distancia de lanzado de más de 1.8 metros a 1.2 metros máximo de la puntera de proyección hacia la zona a sostener.
3. Corrección de tiempo de mezclado y preparación.
4. Corrección de dosificación y slump de 11" a 8 ¾".
5. Resistencias iniciales.
6. Muestreo de paneles trapezoidal y cuadrado.

EVIDENCIAS:



Manómetro de la aliva ara la visualización de la presión de aire inoperativo



No se cumple la distancia de lanzado entre la puntera de proyección con el área a sostener la distancia debe ser máximo 1.2 metros



Puntera de proyección desgastada afectando la compactación, adherencia del shotcrete y no cuenta con difusor de aditivo para vía húmeda.



No cuentan con recipientes adecuados con medida para el control de dosificación del concreto, tanto para agua y aditivo super-plastificante.



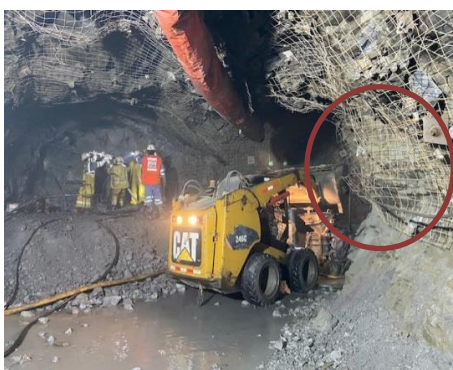
Trabajos simultáneos de perforación y lanzado utilizando la misma línea de aire perjudicando la presión de aire necesaria para el sostenimiento de shotcrete.



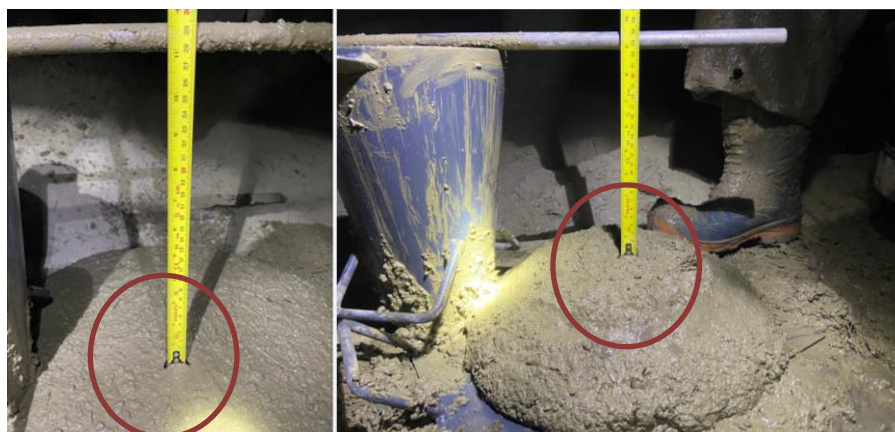
Desprendimiento de shotcrete por lanzar con baja presión de aire y no respetando la distancia de lanzado máximo 1.2 metros entre la puntera de proyección y el área a sostener influyendo en la compactación y adherencia del shotcrete.



Conexiones en mal estado ocasionando fugas de aditivo y aire durante el lanzado, afectando tanto en la compactación, adherencia, resistencia y fragua inicial del shotcrete.



Estándares de servicios tanto como manga de ventilación e iluminación para una buena visualización del área a lanzar no se está cumpliendo, manga de ventilación e iluminación sin direccionar y a más de 30 metros del frente de lanzado.



En la imagen lado izquierdo es la dosificación de como estaban trabajando Gemin con un slump de 11" el actual es mucho para un shotcrete de tipo c y afectando en las resistencias y fraguado inicial, en la imagen lado derecho se ajusto el diseño y se estadarizo para un slump de 8 3/4" el cual se definio que se lanzara en ese slump minimo 8" y maximo 8 3/4"



Se realizaron pruebas bajo las condiciones sub-estandar por parte de la empresa Gemin.

- Obtubimos una Resistencia inicial con metodo A = 1.2 MPA a 1 hora 30 min.
- Obtubimos una resistecia inicial con metodo B = 3.58 MPA a 4 horas.



**REGISTROS PARA LA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA TEMPRANA CON DINAMOMETRO/SET HILTI
UNE EN 14488-2**

N° DE REPORTE : CONTROL INTERNO **ATENCIÓN:** Freddy Picho Torre.
José Miguel Paredes.

TIPO DE SHOTCRETE : 1 Mpa @ 1 hora, 2 Mpa @ 3 horas/ $f_c = 30$ Mpa (28).

APLICADOR : INNOVATION AND MINIG SOLUTIONS

CIA. MINERA : SOCIEDAD MINERA "SUMAQ RUMI"

ASESOR TÉCNICO: Joe Smith Meléndez Calderón.

HORA DE MUESTREO : 11: 37 Hrs. **FECHA DE PRUEBAS** : **viernes 15 de Octubre de 2021**

CURVA DE CALIBRACIÓN USADA : II (Agregado de $\phi 0$ a 16 mm)

MÉTODO DE ENSAYO : **Penetrómetro**

| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | FUERZA A LA PENETRACIÓN (N) | PROMEDIO (N) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | |
|-------------------------|------------------------|----------------------|--|--------------|--------------------------|--------------------|
| | | | | | Mpa | Kg/cm ² |
| 12:07 | 0:30 | | 405 , 498 , 490 , 572 , 485 , 551 , 564 , 412 , 470 , 527 | 497.4 | 0.89 | 9.1 |
| 12:37 | 1:00 | | 523 , 528 , 542 , 540 , 539 , 552 , 523 , 528 , 544 , 591 | 541.0 | 0.97 | 9.9 |
| 13:07 | 1:30 | | 657 , 673 , 649 , 654 , 648 , 652 , 649 , 661 , 675 , 659 | 657.7 | 1.18 | 12.0 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| FULMINANTE UTILIZADO : VERDE | | | | | | MÉTODO DE ENSAYO : B | | |
|------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | LONGITUD TOTAL DEL CLAVO (mm) | NVS, PARTE SALIENTE DEL CLAVO (mm) | PARTE PERFORADA DEL CLAVO (mm) | LECTURA DEL PULL OUT (N) | RELACIÓN PULL OUT/PERFORACIÓN (N/mm) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm ²) |
| 15:37 | 4:00 | 19.80 | 103 | 20.0 | 83 | 1500 | 25 | 3.58 |
| | | | | 21.0 | 82 | 1600 | 24 | |
| | | | | 19.0 | 84 | 1500 | 25 | |
| | | | | 20.0 | 83 | 1600 | 25 | |
| | | | | 21.0 | 82 | 1500 | 25 | |
| | | | | 20.0 | 83 | 1500 | 25 | |
| | | | | 21.0 | 82 | 1600 | 24 | |
| | | | | 19.0 | 84 | 1500 | 25 | |
| | | | | 20.0 | 83 | 1600 | 25 | |
| | | | | 21.0 | 82 | 1500 | 25 | |

OBERVACIONES :

Las siginetes pruebas fueron realizadas bajo las condicionones sub estandares que viene trabajando la empresa Gemin.



Muestreo de paneles trapezoidales y cuadrados para el ensayo de flexotracción y Resistencias.

Anexo 5

Ajuste de dosificación para obtención de resistencia inicial y soporte técnico.

1. OBJETIVO.

- a) Controlar y verificar el proceso de dosificación, transporte y lanzado de concreto para garantizar un sostenimiento de calidad que brinde la seguridad al proceso de minado.
- b) Informar sobre las oportunidades de mejora del proceso al cliente para levantar las observaciones y tener un producto de calidad terminado.

2. NORMAS

REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- Norma Internacional ISO 9001, Sistema de Gestión de la Calidad,
- Normas referidas a la fabricación del Concreto:

| ASTM | NTP | ACI | NCH | EN |
|---|--|------------|---|---------------|
| - ASTM C-143-78 (slump) | | | | EN 14488-5 |
| - ASTM C-31 (temperatura en curado de muestras) | N.T.E. | | | |
| - ASTM C-39 5 (resistencia a la compresión) | E.60, Concreto armado Cap. 4, requisitos de durabilidad ítem | | NC H 163:2013 | |
| - ASTM C-33 G2 (granulometría) | 4.1.-4.2.2 | | en la Tabla 2. | |
| - ASTM C143/C143M – 10a1 Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico | NTP 339.114 ítem 7.1.2. NTP 339.114 ítem 12.8 | CI 506R | Car acterística s físicas árido fino | |
| - ASTM C-39, Standard Test Method for Compressive | | | | |

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
| <p>Strength of Cylindrical Concrete Specimens</p> <p>- Resistencia al arrancamiento de testigos mediante tracción directa (Adherencia del shotcrete al sustrato rocoso)</p> <p>—</p> | | | <p>EN 14488-4.</p> |
|--|--|--|--------------------|

3. DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS.

Se realizarán los siguientes trabajos.

3.1. Verificación del proceso de dosificación, desvíos y mejoras.



Se estaba utilizando puntera de proyección desgastada



Se solicito cambio de de puntera de proyeccion nueva.



Se estaba utilizando difusor color amarillo de vía seca para lanzar vía húmeda.



Se solicito cambio de difusar color rojo para lanzado de vía húmeda



Se estaba utilizando recipiente sin medida en la dosificación.



Se proporciono recipientes con medidas tanto para agua como para aditivo superplastificante para tener un mejor control en la dosificacion.



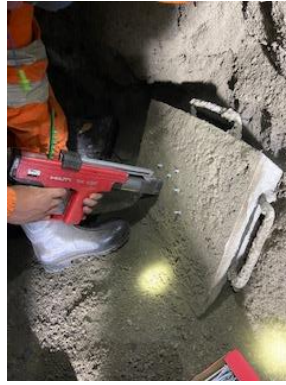
Slump de 11" de como se venía trabajando, afectando el fraguado y resistencia inicial.



Diseño y Slump de 8 ½" corregido mejorando el fraguado y resistencia inicial.



Se realizaron pruebas del método A y B con la dosificación que se venía manejando y no se lograron obtener lecturas 2 horas, 3 horas y 4 horas.



Se realizaron pruebas del método A y B, con la dosificación ajustada y el Slump el cual se recomienda lanzar con slump entre 8" a 8 ¾" registrando lecturas de resistencias iniciales a 90 minutos 1.15 MPA, a 2 horas 2.08 MPA, a 3 Horas 3.32 MPA, mejorando



Se realizado Capacitaciones a las guardias, sobre la dosificación y la importancia que deben tener en el preparado de shotcrete cumpliendo todas las medidas de seguridad, procedimientos y estándares.

3.2. Ensayo de resistencias iniciales método A y B.

METODO A:



**REGISTROS PARA LA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA TEMPRANA CON PENETROMETRO/SET HILTI
UNE EN 14488-2**

| | |
|--|---|
| N° DE REPORTE : 001 | ATENCIÓN : Freddy Picho Torre. |
| TIPO DE SHOTCRETE : 1 Mpa @ 1 hora, 2 Mpa @ 3 horas/f'c = 30 Mpa (28). | José Miguel Paredes. |
| LABOR : | |
| CIA. MINERA : SIERRA SUN | |
| HORA DE MUESTREO : 23 : 15 Hrs. | ASESOR TÉCNICO : Joe Smith Meléndez Calderón |
| | FECHA DE PRUEBAS : sábado 23 de Octubre de 2021 |

CURVA DE CALIBRACIÓN USADA : II (Agregado de ϕ 0 a 16 mm)

MÉTODO DE ENSAYO : Dinamómetro

| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | FUERZA A LA PENETRACIÓN (N) | PROMEDIO (N) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN | |
|-------------------------|------------------------|----------------------|---|--------------|--------------------------|--------------------|
| | | | | | Mpa | Kg/cm ² |
| 23:45 | 0:30 | 22.3 | 467 , 424 , 339 , 359 , 355 , 395 , 375 , 436 , 307 , 327 | 378.5 | 0.68 | 6.9 |
| 0:15 | 1:00 | 22.5 | 311 , 481 , 548 , 505 , 445 , 525 , 575 , 481 , 506 , 480 | 485.7 | 0.87 | 8.9 |
| 0:45 | 1:30 | 23.1 | 655 , 629 , 650 , 640 , 634 , 645 , 625 , 648 , 602 , 674 | 640.1 | 1.15 | 11.7 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

METODO B A 2 HORAS:

| FULMINANTE UTILIZADO : VERDE | | | | | | MÉTODO DE ENSAYO : B | | |
|------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|
| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | LONGITUD TOTAL DEL CLAVO (mm) | NVS, PARTE SALIENTE DEL CLAVO (mm) | PARTE PERFORADA DEL CLAVO (mm) | LECTURA DEL PULL OUT (N) | RELACIÓN PULL OUT/PERFORACIÓN (N/mm) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm ²) |
| 1:15 | 2:00 | 22.30 | 103 | 10.0 | 93 | 1100 | 12 | 2.09 |
| | | | | 10.0 | 93 | 1100 | 12 | |
| | | | | 10.0 | 93 | 1200 | 13 | |
| | | | | 11.0 | 92 | 1100 | 12 | |
| | | | | 15.0 | 88 | 1600 | 18 | |
| | | | | 10.0 | 93 | 1100 | 12 | |
| | | | | 10.0 | 93 | 1100 | 12 | |
| | | | | 10.0 | 93 | 1200 | 13 | |
| | | | | 11.0 | 92 | 1100 | 12 | |
| | | | | 15.0 | 88 | 1600 | 18 | |

OBSERVACIONES

LOS SIGUIENTES ENSAYOS FUERON REALIZADOS BAJO LAS CONDICIONES EN QUE SE ESTA TRABAJANDO LA EMPRESA GEMIN AUN FALTA ALGUNAS OBSERVACIONES PARA LEVANTAR Y ASI OTIMIZAR MUCHO MEJOR LOS RESULTADOS.

METODO B A 3 HORAS:

| FULMINANTE UTILIZADO : VERDE | | | | | | MÉTODO DE ENSAYO : B | | |
|------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| HORA DE LECTURA (hh:mm) | HORA ACUMULADA (hh:mm) | TEMPE. AMBIENTE (°C) | LONGITUD TOTAL DEL CLAVO (mm) | NVS. PARTE SALIENTE DEL CLAVO (mm) | PARTE PERFORADA DEL CLAVO (mm) | LECTURA DEL PULL OUT (N) | RELACIÓN PULL OUT/PERFORACIÓN (N/mm) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm ²) |
| 2:15 | 3:00 | 22.30 | 80 | 11.0 | 69 | 1700 | 25 | 3.32 |
| | | | | 10.0 | 70 | 1600 | 23 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1500 | 22 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1700 | 25 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1400 | 20 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1700 | 25 | |
| | | | | 10.0 | 70 | 1600 | 23 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1500 | 22 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1700 | 25 | |
| | | | | 11.0 | 69 | 1400 | 20 | |

OBSERVACIONES

LOS SIGUIENTES ENSAYOS FUERON REALIZADOS BAJO LAS CONDICIONES EN QUE SE ESTA TRABAJANDO LA EMPRESA GEMIN AUN FALTA ALGUNAS OBSERVACIONES PARA LEVANTAR Y ASI OTIMIZAR MUCHO MEJOR LOS RESULTADOS.



LISTA DE ASISTENCIA

Registro: FOR-SIG-02
 Fecha de emisión: 01/01/2020
 Rev: 01

| SIERRA POLI SAC. Av El Derby 055 Interior 301 RUC: 20603830416 | | Rubro: Exploración, Explotación, Servicios Auxiliares y administrativos, Producción y Comercialización de Zinc | N° Trabajadores en Centro laboral: | REGISTRO N° | |
|---|--|---|--|----------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> INDUCCIÓN | <input type="checkbox"/> ENTRENAMIENTO | <input checked="" type="checkbox"/> CAPACITACIÓN | <input type="checkbox"/> SIMULACRO DE EMERGENCIA | | |
| <input type="checkbox"/> REINDUCCIÓN | <input type="checkbox"/> REUNIÓN | <input type="checkbox"/> OTROS, ESPECIFICAR | | | |
| TEMA: DOSIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTO DE CANTADO SIERRA POLI | | | | | |
| EXPOSITOR: Ing. Smith Meléndez Cabelón | | FIRMA: <i>[Firma]</i> | HORA INICIO: 09:00 | HORA TERMINO: 09:20 | |
| FECHA: 23/10/2021 | | | DURACION: | | |
| LUGAR: Suc. 03 C/01 | | | | | |
| N° | APELLIDOS Y NOMBRES | DNI / C.E. N° | AREA / ECM Y CONEXAS | FIRMA | OBSERVACIONES |
| 1 | JOHAN SERRA DEYLAH | 71241096 | | <i>[Firma]</i> | |
| 2 | ALAYDA DELGADO CANELO | 41541563 | | <i>[Firma]</i> | |
| 3 | CONDOR ORTIZ WILMER | 47485954 | | <i>[Firma]</i> | |
| 4 | RIOS ROMERO HELIO | 44780433 | | <i>[Firma]</i> | |
| 5 | VILLALBA MORA HUCTOR | 41926844 | | <i>[Firma]</i> | |
| 6 | LAPANA ZARATE EGRO | 10105171 | | <i>[Firma]</i> | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| RESPONSABLE DEL REGISTRO: | | | | FIRMA | |
| NOMBRE: | | | | | |
| CARGO: | | | | | |
| FECHA: | | | | | |



LISTA DE ASISTENCIA

Registro: FOR-SIG-02
Fecha de emisión: 01/01/2020
Rev: 01

| SIERRA POLI SAC Av. El Derby 055 Interior 301 RUC: 20603830416 | | Rubro: Exploración, Explotación, Servicios Auxiliares y administrativos, Producción y Comercialización de Zinc | N° Trabajadores en Centro laboral: | REGISTRO N° | |
|--|--|--|--|-------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> INDUCCIÓN | <input type="checkbox"/> ENTRENAMIENTO | <input checked="" type="checkbox"/> CAPACITACIÓN | <input type="checkbox"/> SIMULACRO DE EMERGENCIA | | |
| <input type="checkbox"/> REINDUCCIÓN | <input type="checkbox"/> REUNIÓN | <input type="checkbox"/> OTROS, ESPECIFICAR | | | |
| TEMA: <u>DESIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTO DE LAVADO DE SUPERFICIE</u> | | | | | |
| EXPOSITOR: <u>JOSÉ HILDEBRANDO CALDERÓN</u> | | FIRMA: | HORA INICIO: <u>22:30</u> | | |
| FECHA: <u>23/10/21 TURNO NOCHE</u> | | HORA TERMINO: | | | |
| LUGAR: <u>De 03 / 141</u> | | DURACION: | | | |
| N° | APELLIDOS Y NOMBRES | DNI/CE N° | ÁREA/ECM Y CONEXAS | FIRMA | OBSERVACIONES |
| 1 | <u>Vera Jarama P.</u> | <u>40976082</u> | <u>PLA</u> | | |
| 2 | <u>Tuesta Paredes Wilson</u> | <u>72212615</u> | <u>PLA</u> | | |
| 3 | <u>Almonacid Edoqui Antonio</u> | <u>41139078</u> | <u>MINO</u> | | |
| 4 | <u>Risostomo Soto JC</u> | <u>44430102</u> | <u>PLA</u> | | |
| 5 | <u>Wagner Durandis Sifra</u> | <u>41450926</u> | <u>PLA</u> | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| RESPONSABLE DEL REGISTRO: | | | | | |
| NOMBRE: | | FIRMA: | | | |
| CARGO: | | | | | |
| FECHA: | | | | | |

DOSIFICACIÓN POR TANDA:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| AGUA | : 100 LITROS. |
| SUPERPLASTIFICANTE | : 500ML. |
| AGREGADO | : 1 Big bag. |
| Acelerante | : 1.8 LITROS / MIN. |

OBSERVACIONES POR LEVANTAR:

- Cambio de potenciómetro de la bomba de aditivo para poder regular el caudal.
- Mejorar las condiciones de las instalaciones de aire tanto de la salida de mina como de las entradas al equipo para evitar fugas.
- Mejorar las condiciones de instalaciones en la bomba de aditivo para evitar fugas.
- Cambio de tambora de la aliva, la cual ya esta desgastada y afecta en la proyección del lanzado no siento constante y generando vacíos en donde solo proyecta aditivo.
- Realizar una mejor coordinación para evitar trabajos simultáneos con presión de aire cerca a la labor en donde se esta realizando sostenimiento de shotcrete para así evitar baja presión de aire durante el Lanzado.
- Seguir concientizando al personal del área de lanzado de Shotcrete.

VALOR AGREGADO POR INMS.

- Soporte técnico.
- Se facilitará 2 manómetros para ser instalados en el equipo aliva para tener un mejor control de la presión de aire durante el lanzado.
- Se implementará un tanque para agua temperada de 1 M3 y así poder mejorar en las resistencias iniciales requeridas.

RECOMENDACIONES:

- Realizar un cronograma de capacitación para el personal.
- El personal debe cumplir con las indicaciones dadas por el personal de soporte de INMS ya que esto debe ser sostenible en el tiempo, la dosificación, procedimientos y estándares para obtener resistencias iniciales deseadas.
- Se recomienda un supervisor permanente para los trabajos de lanzado.
- Tener un programa de mantenimiento de los equipos.