



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Ventajas técnico económicas del shotcrete
reforzado con fibras de acero comparado con el
sostenimiento estructural, en labores mineras de
tipo de roca IVA– IVB, según RMR en la unidad
minera Carahuacra, E.U.A. Yauli, Volcan Compañía
Minera S.A.A.**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

John Pool De La Cruz Coronel

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. BENJAMÍN RAMOS ARANDA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a la Empresa Minera Volcan, por facilitarme los trabajos del área de Geomecánica y también por impartir su experiencia de muchos años de estudio.

La investigación ha resultado de un largo proceso de aprendizaje que no habría podido terminarse sin la ayuda del asesor Ing. Benjamín Ramos Aranda de la facultad de minas, a quien quiero expresar mis agradecimientos y gratitud.

A mi padre Rafael, por los valores y fortaleza que me inculco en la vida,

A mi madre Lucinda, por el cariño y paciencia a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Pool y Magaly por el apoyo incondicional, que con su aliento de cada uno de ellos forjaron mí día a día, en esta noble profesión que me satisface plenamente.

ÍNDICE

| | |
|--------------------------|------|
| Carátula | i |
| Asesor | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Dedicatoria | iv |
| Índice | v |
| Índice de tablas | ix |
| Índice de figuras | x |
| Resumen | xiii |
| Abstract | xiv |
| Introducción | xv |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1 | Planteamiento y formulación del problema | 16 |
| 1.1.1 | Planteamiento del problema | 17 |
| 1.1.2 | Enunciado del problema | 17 |
| 1.2 | Objetivos | 17 |
| 1.2.1 | Objetivo general | 17 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 17 |
| 1.3 | Justificación e importancia | 18 |
| 1.4 | Hipótesis de la investigación | 19 |
| 1.4.1 | Formulación de la hipótesis | 19 |
| 1.5 | Identificación de variables | 19 |
| 1.6 | Operacionalización de variables | 20 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | | |
|-------|------------------------|----|
| 2.1 | Antecedentes | 21 |
| 2.2 | Bases Teóricas | 22 |
| 2.2.1 | Volcan Compañía Minera | 23 |
| 2.2.2 | U.E.A. Yauli | 24 |
| 2.2.3 | Mina Carahuacra | 25 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.3.1 | Ubicación | 25 |
| 2.2.3.2 | Accesibilidad | 26 |
| 2.2.3.3 | Geología regional | 26 |
| 2.2.3.4 | Estratigrafía | 27 |
| 2.2.3.5 | Principales Unidades Litológicas | 29 |
| 2.2.3.6 | Intrusivos | 30 |
| 2.2.3.7 | Estructuras Geológicas | 31 |
| 2.2.3.8 | Ocurrencia de Mineralización | 32 |
| 2.2.3.9 | Explotación subterránea | 35 |
| 2.2.3.10 | Ciclo de Minado | 38 |
| 2.2.3.11 | Sostenimiento y estabilización de macizo rocoso | 41 |
| 2.2.3.12 | Concreto lanzado “Shotcrete” | 42 |
| 2.2.3.13 | Diseño de la mezcla para proyección por vía húmeda | 45 |
| 2.2.3.14 | Shotcrete con refuerzo de fibras | 49 |
| 2.2.3.15 | Diseño de la mezcla para el Shotcrete | 56 |
| 2.2.3.16 | Planta de concreto San Cristóbal | 60 |
| 2.2.3.17 | Ensayos de Shotcrete | 63 |
| 2.2.3.18 | Diseño de soporte de rocas | 65 |
| 2.2.3.19 | Cálculos analíticos y numéricos | 66 |
| 2.2.3.20 | Evaluación de métodos de diseño de cálculo y empíricos | 67 |
| 2.2.4 | Indicadores financieros | 74 |
| 2.2.4.1 | Valor Actual Neto VAN | 74 |
| 2.2.4.2 | Tasa Interna de Retorno TIR | 75 |
| 2.3 | Nomenclatura | 76 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 3.1 | Método y alcances de la investigación | 77 |
| 3.1.1 | Tipo de investigación | 77 |
| 3.1.2 | Nivel de investigación | 77 |
| 3.1.3 | Método de investigación | 77 |
| 3.2 | Diseño de la investigación | 78 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.2.1 | Diseño general | 78 |
| 3.2.2 | Diseño específico | 78 |
| 3.3 | Población y muestra | 78 |
| 3.3.1 | Universo | 78 |
| 3.3.2 | Muestra | 78 |
| 3.4 | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 79 |
| 3.4.1 | Método y procedimiento | 79 |
| 3.4.1.1 | Método | 71 |
| 3.5 | Procesamiento de experiencias | 80 |
| 3.5.1 | Técnica de recojo de datos | 80 |
| 3.5.2 | Secuencia de toma de datos | 81 |
| 3.6 | Técnicas de tratamiento de datos | 85 |
| 3.6.1 | Tratamiento de datos | 85 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.1 | Clasificación del macizo rocoso | 93 |
| 4.2 | Ensayos de capacidad de absorción de energía | 99 |
| 4.3 | Ensayos de resistencia a la compresión | 119 |
| 4.4 | Resultados de otros ensayos | 121 |
| 4.5 | Análisis económico | 122 |
| 4.6 | Discusión de resultados | 131 |
| | Conclusiones | 133 |
| | Recomendaciones | 135 |
| | Referencias bibliográficas | 136 |
| | Anexos | 137 |
| | Anexo 1. Ficha técnica del aditivo súper plastificante Glenium TC 1300 | 138 |
| | Anexo 2. Ficha técnica del aditivo acelerante Master Rock SA 160 | 140 |
| | Anexo 3. Ficha técnica de la fibra de acero Sika Lho 45/35 NB | 142 |
| | Anexo 4. Tablas de cálculo de volumen de shotcrete para espesores de 2" y 3" | 147 |
| | Anexo 5. Columna estratigráfica del área Carahuacra | 148 |
| | Anexo 6. Unidad de producción unidad Carahuacra | 149 |

| | |
|---|-----|
| Anexo 7. Estándar Sostenimiento con Shotcrete Pump | 156 |
| Anexo 8. Pets Sostenimiento con shotcrete vía húmeda con robot | 163 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. <i>Columna estratigráfica del área</i> | 28 |
| Tabla 2. <i>Porcentajes mínimos y máximos de agregado según Tamiz</i> | 47 |
| Tabla 3. <i>Longitud total mínima de fibra</i> | 52 |
| Tabla 4. <i>Diseño de mezcla de shotcrete (Diseño sostenimiento estructural)</i> | 58 |
| Tabla 5. <i>Diseño de mezcla de shotcrete (Shotcrete Pump)</i> | 59 |
| Tabla 6. <i>Parámetros del Sistema de Clasificación RMR</i> | 73 |
| Tabla 7. <i>Diseño de Shotcrete Vía Húmeda mina Carahuacra. Noviembre 2018</i> | 80 |
| Tabla 8. <i>Programa de sostenimiento para tajos Breasting. Noviembre 2018</i> | 81 |
| Tabla 9. <i>Fechas de obtención y relación de muestras obtenidas en mina</i> | 82 |
| Tabla 10. <i>Fechas de ensayos de capacidad de absorción de energía para los paneles de Shotcrete</i> | 86 |
| Tabla 11 <i>Fechas de obtención y ensayo de muestras de “Shotcrete Pump”</i> | 89 |
| Tabla 12. <i>Fechas de obtención y ensayo de muestras de sostenimiento estructural</i> | 89 |
| Tabla 13. <i>Resultados de ensayos de capacidad de absorción de energía</i> | 90 |
| Tabla 14. <i>Resultados promedio de energía absorbida por cada tipo de dosificación</i> | 90 |
| Tabla 15. <i>Mapeo Geomecánico RMR del Tajo TJ_135E x AC_133, Nivel 1070</i> | 95 |
| Tabla 16. <i>Mapeo Geomecánico RMR del Tajo SN_732E x AC_572, Nivel 1180</i> | 96 |
| Tabla 17. <i>Mapeo Geomecánico RMR del Tajo Sn732W x AC_572, Nivel 1180</i> | 97 |
| Tabla 18. <i>Resultados de ensayos de capacidad de absorción de energía</i> | 116 |
| Tabla 19. <i>Precios unitarios de insumos y materiales utilizados en la producción de Shotcrete para el sostenimiento estructural, y costo de un metro cúbico del mismo</i> | 122 |
| Tabla 20. <i>Precios unitarios de insumos y materiales utilizados en la producción de Shotcrete Pump, y costo de un metro cúbico del mismo</i> | 123 |
| Tabla 21. <i>Flujo de Caja y Estimación de valores VAN y TIR para el Proyecto de Shotcrete Pump</i> | 124 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Distribución de minas y plantas de Volcan Compañía Minera | 23 |
| <i>Figura 2.</i> Ubicación de propiedades mineras de Volcan..... | 24 |
| <i>Figura 3.</i> Ubicación de la unidad de producción Carahuacra | 25 |
| <i>Figura 4.</i> Plano Geológico Regional | 27 |
| <i>Figura 5.</i> Mapa Geológico | 32 |
| <i>Figura 6.</i> Modelo de mineralización de la veta Carahuacra en el domo de Yauli | 33 |
| <i>Figura 7.</i> Modelo de mineralización de la veta San Carahuacra en el domo de Yauli .. | 34 |
| <i>Figura 8.</i> Cuadro de métodos de explotación en la mina San Carahuacra..... | 35 |
| <i>Figura 9.</i> Método de explotación Corte y Relleno Ascendente Tipo Breasting..... | 37 |
| <i>Figura 10.</i> Diagrama del ciclo de minado en la mina Carahuacra | 39 |
| <i>Figura 11.</i> Tipos de sostenimiento | 41 |
| <i>Figura 12.</i> Tipos de Shotcrete | 42 |
| <i>Figura 13.</i> Cuadro de materiales e insumos de la mezcla de Shotcrete | 45 |
| <i>Figura 14.</i> Curvas de distribución recomendadas para los agregados de Shotcrete..... | 46 |
| <i>Figura 15.</i> Cuadro de materiales e insumos de la mezcla de concreto..... | 49 |
| <i>Figura 16.</i> Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del Shotcrete..... | 50 |
| <i>Figura 17.</i> Características geométricas de las fibras de acero..... | 51 |
| <i>Figura 18.</i> Dimensiones de panel para ensayos de capacidad de absorción energía. . . . | 53 |
| <i>Figura 19.</i> Proceso de lanzado de concreto en el panel para ensayos | 54 |
| <i>Figura 20.</i> Gráfico de carga – deformación | 55 |
| <i>Figura 21.</i> Curva de absorción de energía..... | 55 |
| <i>Figura 22.</i> Diseños de sostenimiento (Shotcrete vía húmeda) | 57 |
| <i>Figura 23.</i> Sostenimiento estructural | 58 |
| <i>Figura 24.</i> Sostenimiento con Shotcrete Pump | 59 |
| <i>Figura 25.</i> Planta de concreto - San Cristóbal..... | 60 |
| <i>Figura 26.</i> Diagrama de flujo de procesos de la planta de concreto - San Cristóbal. | 61 |
| <i>Figura 27.</i> Abastecimiento de Shotcrete a los equipos Mixers en la planta de concreto San Cristóbal..... | 62 |
| <i>Figura 28.</i> Lanzado de concreto con el Robot Alpha20, perteneciente a E.E. Robocon | 63 |
| <i>Figura 29.</i> Medición de Slump en interior mina | 63 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 30.</i> Tabla GSI de la Mina Carahuacra..... | 70 |
| <i>Figura 31.</i> Relación entre el tiempo libre de autosoporte de una excavación subterránea con la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski..... | 72 |
| <i>Figura 32.</i> Procedimiento de investigación..... | 79 |
| <i>Figura 33.</i> Proceso de preparación de paneles para la obtención de la muestra de sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete)..... | 83 |
| <i>Figura 34.</i> Paneles de sostenimiento estructural obtenidos en interior mina..... | 83 |
| <i>Figuras 35 y 36.</i> Proceso y medición de Slump de Shotcrete en la planta de concreto, antes que sea transportado a interior mina..... | 83 |
| <i>Figura 37, 38 y 39.</i> Ensayos de resistencia a la compresión a edades tempranas..... | 84 |
| <i>Figura 40, 41 y 42.</i> Obtención, preparación y ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días..... | 84 |
| <i>Figura 43, 44 y 45.</i> Preparación y ejecución de la prueba de rebote..... | 85 |
| <i>Figura 46 y 47.</i> Equipo para ensayos de capacidad de absorción de energía (antes y después de realizar el ensayo)..... | 88 |
| <i>Figura 48 y 49.</i> Panel cuadrado antes y después de ser ensayado..... | 88 |
| <i>Figura 50 y 51.</i> Sostenimiento estructural (izquierda) y Shotcrete Pump (derecha) en el Tajo TJ_135E x AC_133, Nivel 1070..... | 92 |
| <i>Figura 52.</i> Relación de tiempo de autosoporte del Tajo SN_732W x AC_572..... | 98 |
| <i>Figura 53.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 1..... | 101 |
| <i>Figura 54.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 2..... | 103 |
| <i>Figura 55.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 3..... | 105 |
| <i>Figura 56.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 4..... | 107 |
| <i>Figura 57.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 5..... | 109 |
| <i>Figura 58.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 6..... | 111 |
| <i>Figura 59.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 7..... | 113 |
| <i>Figura 60.</i> Resultado del Ensayo de la Muestra 8..... | 115 |
| <i>Figura 61.</i> Histograma de Resultados de Energía Absorbida para cada muestra..... | 116 |
| <i>Figura 62.</i> Resultados promedio de capacidad de absorción de energía para todos los paneles ensayados | 117 |
| <i>Figura 63.</i> Gráfico de Área bajo la Curva Fuerza – Deformación que representa la Tenacidad de la Muestra 3. | 118 |
| <i>Figura 64.</i> Gráfico de Área bajo la Curva Fuerza – Deformación que representa la Tenacidad de la Muestra 4. | 118 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 65.</i> Gráfico de Evolución de Resistencias a la Compresión de Shotcrete a edad corta o temprana en el Tajo SN_732E x AC_572, Nivel 1180, febrero 2018 | 119 |
| <i>Figura 66.</i> Gráfico de evolución de resistencias a la compresión de Shotcrete a los 28 días, periodo enero – marzo 2018..... | 120 |
| <i>Figura 67.</i> Gráfico de medición de Slump de Shotcrete fresco en el Tajo SN_732W x ac_572, Nivel 1180, marzo 2018..... | 121 |
| <i>Figura 68.</i> Costo de sostenimiento programado y ejecutado en el primer trimestre de 2018 | 125 |
| <i>Figura 69.</i> Consumo de malla electro soldada (m ²) comparado en el primer trimestre de los años 2017 y 2018 | 126 |
| <i>Figura 70.</i> Costo de sostenimiento comparado en el primer trimestre de los años 2017 y 2018 | 126 |
| <i>Figura 71.</i> Producción programada y ejecutada en el primer trimestre de 2018..... | 127 |
| <i>Figura 72.</i> Escenarios real y asumido de costos de sostenimiento utilizando Shotcrete Pump y sostenimiento estructural, y beneficios que genera el uso del primero..... | 128 |
| <i>Figura 73.</i> Resultados de los estudios de tiempo y beneficios del Shotcrete Pump..... | 129 |

RESUMEN

Actualmente, el shotcrete es un elemento de sostenimiento usado cada vez con mayor frecuencia en la minería subterránea, Volcan Compañía Minera S.A.A. no ajeno a ello, aplica la tecnología de concreto para generar una adecuada estabilización del macizo rocoso; sin embargo, cuando este es de baja calidad (roca tipo IV A – IV B) según RMR, obliga a incrementar su dimensionamiento (sostenimiento estructural) para garantizar la estabilidad de la labor, dilatando el tiempo de instalación del sostenimiento y el ciclo de minado, generando un incremento en el costo del mismo.

El uso del sostenimiento estructural (capa de concreto de espesor de 2” + malla electro soldada fijada con pernos + capa adicional de concreto de espesor de 1”) permite estabilizar el macizo rocoso de baja calidad geomecánica, pues su buen performance contrarresta la alta concentración de esfuerzos del macizo rocoso circundante; sin embargo, dilata la Etapa de Sostenimiento. Este sistema de soporte genera un costo alto de la Etapa de Sostenimiento (\$11.5/ton) que representa el 26 % del costo total del Ciclo de Minado (\$44.5/ton). Los principales factores que influyen en el incremento del costo son el consumo excesivo de malla electro soldada; el consumo adicional de pernos de roca. Del mismo modo, al hacer más lento el ciclo de minado, consecuentemente evita generar una mayor producción o avance (menor cantidad de disparos).

Sin embargo, con el presente trabajo de investigación se ha desarrollado e implementado una nueva alternativa de sostenimiento denominada “Shotcrete Pump”, para el que se realizó un análisis económico, que generó valores de VAN y TIR positivos, ensayos de laboratorio y pruebas de campo, obteniéndose resultados satisfactorios y superando las características del sostenimiento estructural, la resistencia a la compresión es superior en 4.17 % a los 28 días, los valores de tenacidad y absorción de energía son superiores 18.72 %, en comparación con el sostenimiento estructural antes mencionado. La aplicación de Shotcrete Pump, ha permitido reducir el tiempo de instalación del sistema de soporte a casi la mitad, pasando de 11.5 a 5.25 horas, obteniendo así un ciclo de explotación más rápido y un mejor performance, garantizando mayor seguridad según la calidad de macizo rocoso a fortificar. El ahorro generado se refleja en la disminución del costo de sostenimiento (9.5 \$/ton) en el primer trimestre de 2018 vs 11.5 \$/ton en el mismo periodo de 2017, 2 \$/ton menos, lo que representa 15 % menos en costos de suministros y servicios de sostenimiento.

ABSTRACT

Currently, the launch is a sustaining element used more and more frequently in underground mining, Volcan Compañía Minera S.A.A. not oblivious to this, applies concrete technology to generate adequate stabilization of the rock mass; However, when this is of low quality (rock type IV A - IV B) according to RMR, it forces to increase its dimensioning (structural support) to guarantee the stability of the work, delaying the installation time of the support and the mining cycle, generating an increase in the cost of it.

The use of structural support (2 "thick concrete layer + electro-welded mesh fixed with bolts + 1" thick concrete layer) allows to stabilize the rock mass of low geomechanical quality, because its good performance counteracts the high concentration of efforts of the surrounding rocky massif; However, it dilates the Support Stage. This support system generates a high cost of the Sustainability Stage (\$ 11.5 / ton) that represents 26% of the total cost of the Mining Cycle (\$ 44.5 / ton). The main factors that influence the increase in cost are the excessive consumption of electrowelded mesh; The additional data consumption of the rock. The same way, by slowing the mining cycle, consequently avoids generating a higher production or advance (fewer shots).

"Projected concrete pump", for the economic analysis, the generation of positive values of VAN and TIR, laboratory tests and field tests, obtaining satisfactory results and surpassing the characteristics of the structural support, the resistance to compression is superior in 4.17 % at 28 days, holding values and energy absorption are higher 18.72%, compared to structural support before. The application of sprayed concrete pump, has allowed to reduce the time, the installation of a support system to almost half, from 11.5 to 5.25 hours, thus obtaining a faster exploitation cycle and better performance, ensuring greater security according to the quality of the rock mass to be fortified. The savings generated is reflected in the decrease in the support cost (9.5 \$ / ton) in the first quarter of 2018 vs. \$ 11.5 / tonne in the same period of 2017, 2 \$ / ton less, which represents 15% less in costs of supplies and support services.

INTRODUCCIÓN

El uso de elementos para el sostenimiento del macizo rocoso en este caso (Shotcrete vía Húmeda) ha llevado al hombre a ir perfeccionando cada vez más las técnicas de sostenimiento en la explotación de minas subterráneas. Con el transcurso de los años se han desarrollado y probado diferentes elementos, cada vez se adecua en mejor forma a las necesidades requeridas. Estos elementos son cada vez más livianos, resistentes y fácil de instalar. Para mejorar la performance en cuanto a seguridad en las minas subterráneas y como ayuda en el entrenamiento de los mineros que realizan el trabajo de la instalación del sostenimiento del terreno.

En el presente trabajo de tesis se ha determinado el nuevo diseño shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump), en términos prácticos, esto significa que, con esta mayor proporción de fibras, la capa de shotcrete puede agrietarse y deformarse y aún conservar una gran capacidad de carga, así mismo nos permitió reducir el tiempo de instalación de sostenimiento y consecuentemente dinamizar el ciclo de minado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, el shotcrete es un elemento de sostenimiento usado cada vez con mayor frecuencia en la minería subterránea, Volcan Compañía Minera S.A.A. no ajeno a ello, aplica la tecnología de concreto para generar una adecuada estabilización del macizo rocoso; sin embargo, cuando este es de baja calidad (roca tipo IV A – IV B) obliga a incrementar su dimensionamiento (sostenimiento estructural) para garantizar la estabilidad de la labor, dilatando el tiempo de instalación del sostenimiento y el ciclo de minado, generando un incremento en el costo del mismo.

El uso del sostenimiento estructural (capa de concreto de espesor de 2” + malla electro soldada fijada con pernos + capa adicional de concreto de espesor de 1”) permite estabilizar el macizo rocoso de baja calidad geomecánica, pues su buen performance contrarresta la alta concentración de esfuerzos del macizo rocoso circundante; sin embargo, dilata la Etapa de Sostenimiento, pues implica lanzar la primera capa de concreto (0.5 horas), esperar el tiempo inicial de fraguado (4 horas), instalar la malla con pernos (2.5 horas), lanzar la segunda capa de concreto (0.5 horas) y finalmente esperar que transcurra el tiempo de fraguado (4 horas) para poder continuar con la siguiente

actividad del Ciclo de Minado; es decir, se tiene que esperar toda una guardia para terminar las actividades de sostenimiento.

Este sistema de soporte genera un costo alto de la Etapa de Sostenimiento (\$11.5/ton) que representa el 26 % del costo total del Ciclo de Minado (\$44.5/ton). Los principales factores que influyen en el incremento del costo son el consumo excesivo de malla electro soldada (3700 m² mensuales); el consumo adicional de pernos de roca, pues se instalan a un menor espaciamiento, para poder ceñir la malla a la primera capa de shotcrete, incrementándose así la cantidad instalada (hasta 10 pernos adicionales por disparo) en comparación a la instalación directa sobre el shotcrete; y el volumen de concreto, que instalado en dos etapas (la primera capa lanzada directamente sobre el terreno y la segunda sobre la malla electro soldada), aumenta el costo de los servicios de transporte y lanzado. Del mismo modo, al hacer más lento el ciclo de minado, consecuentemente evita generar una mayor producción o avance (menor cantidad de disparos).

Estos inconvenientes son el principal cuello de botella en la etapa de sostenimiento, por lo cual, en el presente proyecto de investigación se considera la búsqueda de una nueva alternativa de sostenimiento denominada “Shotcrete Pump”, con propiedades óptimas de trabajabilidad, resistencia, tenacidad y capacidad de absorción de energía; obtenidas a través de ensayos de laboratorio y pruebas en campo basados en las Normas Internacionales de Concreto, para conseguir un igual o mejor performance que el sostenimiento estructural antes mencionado, que garantice un factor de seguridad recomendable según la calidad de macizo rocoso a estabilizar y reducir el tiempo de la Etapa de Sostenimiento en el Ciclo de Minado y el costo del mismo.

1.1.2 Enunciado del problema

1.1.2.1 Problema general

- ¿Cuáles son las ventajas técnico-económicas del uso de shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump), sobre el uso del sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete), en labores mineras de roca de tipo IVA - IVB, en la Unidad Minera Carahuacra, U.E.A. Yauli, Volcan Compañía Minera S.A.A.?

1.1.3 Problemas específicos

- ¿De qué manera se puede superar los valores de capacidad de absorción de energía y ensayo a la compresión?
- ¿De qué manera se puede reducir el tiempo y el costo de sostenimiento?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar las ventajas técnico-económicas del nuevo diseño de shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump), en comparación con el sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete), en labores mineras de roca de tipo IV A – IV B, en la Unidad Minera Carahuacra, U.E.A. Yauli, Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.2.2 Objetivos específicos

- Aumentar en un 20% los valores de absorción de energía y ofrecer una mayor resistencia a la compresión (5% más a los 28 días).
- Reducir el tiempo y costo de sostenimiento dentro del ciclo de minado.

1.3 Justificación e importancia

La estabilización del macizo rocoso en las operaciones mineras subterráneas es una labor de gran importancia, pero a la vez de alto costo, que requiere gran parte de tiempo en el ciclo de minado, pudiendo interferir con los avances y producción. En la minería el desprendimiento y caída de roca constituyen el mayor causante de accidentes incapacitantes y mortales de acuerdo a las estadísticas. Por lo tanto, se requiere diseños de sostenimiento rápido, seguro y de bajo costo. El Shotcrete en sus diversos diseños cumple estos requerimientos, pero poseen limitaciones que deben analizarse para mejorarlos.

El presente proyecto de investigación pretende contribuir con una alternativa de sostenimiento, específicamente para terrenos de baja calidad geomecánica (roca tipo IV

A-IV B) a costos competitivos y condiciones técnicas ventajosas, que brinde condiciones seguras de trabajo para los colaboradores y equipos inmersos en las operaciones. Por consiguiente, los resultados que se puedan conseguir con el desarrollo del mismo pueden generar un ciclo de minado más dinámico (reducción del tiempo de instalación de sostenimiento), eficiente (cumplimiento de los programas de avances y producción en menor tiempo), seguro (factor de seguridad que garantice la estabilidad de la labor de acuerdo al tiempo de exposición) y económico (ahorros en materiales, insumos y servicios de sostenimiento).

1.4 Hipótesis de la investigación

1.4.1 Hipótesis general

- El Shotcrete Pump permite determinar Las ventajas técnico económicas del uso del nuevo diseño en comparación con el sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete) en labores mineras de roca de tipo IV A – IV B, en la Unidad Minera Carahuacra, U.E.A. Yauli, Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El aumento de dosificación de fibra metálica permite superar los valores de capacidad de absorción de energía y tenacidad.
- El análisis técnico económica permite Reducir el tiempo y costo de sostenimiento

1.5 Identificación de variables

- **Variable independiente**

- Aplicación del Shotcrete Pump

- **Variables dependientes**

- Ventajas técnico-económicas

1.6 Operacionalización de variables

| OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES | | | |
|--|--|---|---|
| Variable | Definición Conceptual | Definición operacional | |
| | | Dimensión de la variables | Indicadores |
| VI: SHOTCRETE PUMP | <ul style="list-style-type: none"> Se denomina Shotcrete Pump a una nueva alternativa de diseño de concreto, en el que se han considerado los principios relacionados a la función y aportes de las fibras de acero de acuerdo a su dosificación. Este diseño contempla una cantidad mayor de fibras de acero (60 kg) en una única capa de shotcrete 3", posteriormente complementada con pernos Hydrabolt 7' espaciados a 1.20 m. El objetivo de su uso es sustituir el sostenimiento estructural para hacer el ciclo de minado más dinámico y rentable. | Método de shotcrete PUMP | <ul style="list-style-type: none"> Dosificación de fibras(kg) Nivel de avance de minado(m) |
| VD: VENTAJAS TÉCNICO- ECONÓMICAS | <ul style="list-style-type: none"> Son los análisis que se realizan mediante estudios de laboratorio para determinar la cantidad de valores de absorción de energía y esfuerzo a la compresión. Así mismo, determina el consumo de suministros que se necesitara para el nuevo diseño. | Ensayo de laboratorio Consumo de suministros | <ul style="list-style-type: none"> Valores de absorción de energía Valores de ensayo a la compresión Reducción de costos |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el trabajo de investigación “Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA” los autores concluyen que para las operaciones de CMHSA, fue fundamental la no utilización de la malla electro soldada, aplicación que responde a un análisis técnico de las bondades del shotcrete reforzado con fibras en cuanto a su ductilidad y tenacidad, lo que se traduce en contribuir a aminorar el riesgo de exposición del personal en las zonas de intersección. La eliminación del uso de la malla electro soldada en todas nuestras fases de minado (avances y producción) es el resultado de haber implementado tipos de shotcrete en función al RMR y nivel de daño generado por los explosivos utilizados. (1)

En este trabajo de investigación “Aplicación del método de deformación controlada en la ejecución de labores de avance en CMHSA” concluye que, producto de la investigación resulta que la malla electro soldada a nivel de sostenimiento en conjunto con el shotcrete reforzado con fibras no tiene aporte estructural significativo, por lo que mediante pruebas de campo y validaciones a nivel de laboratorio determinan que para relaciones de aspecto de la fibra $45 < l/\varnothing \leq 65$, y para dosificaciones de fibra entre 30 kg/m^3 y 40 kg/m^3 , se obtienen energías de absorción entre $744 \leq E \leq 1463$ (Joules), que permiten controlar las deformaciones del macizo rocoso y así operar la mina de manera eficiente. (2)

La Asociación de Construcción de Noruega (2004) en su Publicación N° 7 “Especificaciones Técnicas para soporte de roca, Guía y Métodos de Ensayo”, indica que, en zonas de alteración, soportadas por concreto reforzados con fibra metálica en combinación con pernos, el shotcrete actúa en la zona de alteración y los pernos en las zonas de macizo rocoso de modo más competente. En el caso que se presenten condiciones más adversas, como zonas de argilización, contactos litológicos o minerales con alto grado de alteración, se debe incrementar la ductilidad del concreto, incrementando el volumen de fibra. Los resultados de las pruebas de laboratorio del Instituto de Construcción de Noruega muestran que los volúmenes de fibra menores a 40 kg/m^3 no tienen influencia significativa en la resistencia del shotcrete. Cuando ocurre una falla en el shotcrete reforzado con mayor cantidad de fibra, la falla inicial será seguida por un fracturamiento irregular debido a la ductilidad ofrecida por la fibra metálica. En este caso el concreto lanzado puede poseer una resistencia residual importante en casos de alta deformación. (9)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Volcan Compañía Minera

Volcan Compañía Minera es una empresa minera polimetálica y uno de los mayores productores de zinc, plomo y plata en el mundo. La Compañía está considerada como uno de los productores de menor costo en la industria debido a la calidad de sus depósitos de mineral. (15)

Volcan inició sus operaciones en 1943 en las alturas del abra de Ticlio. Todas las operaciones se encuentran en la Sierra Central de Perú e incluye las unidades económicas administrativas Yauli, Chungar, Alpamarca y Cerro de Pasco. Estas cuatro unidades incluyen en total diez minas subterráneas, dos minas a tajo abierto, seis plantas concentradoras y una planta de lixiviación (Figura 1).

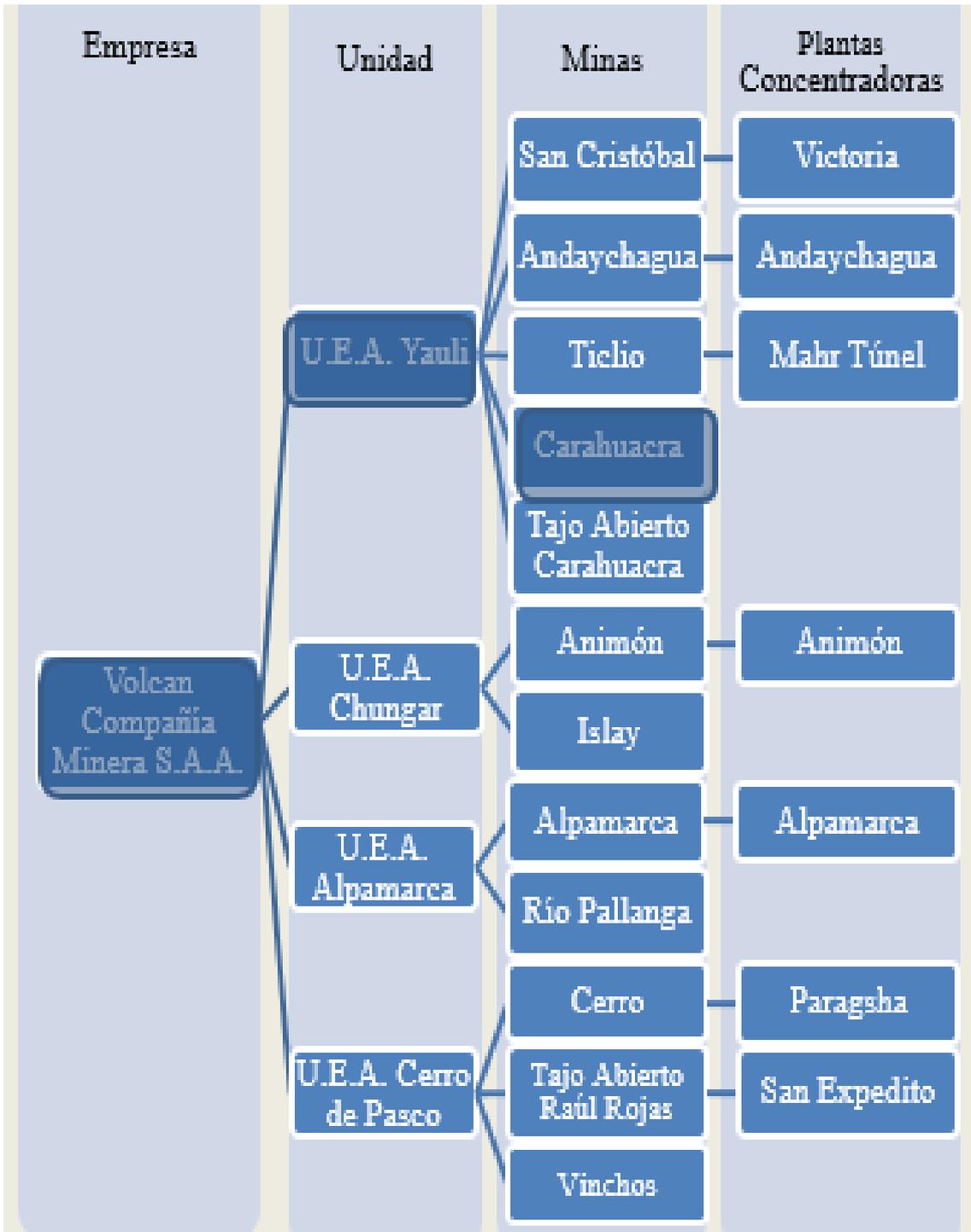


Figura 1. Distribución de minas y plantas de Volcan Compañía Minera S.A.A.
Fuente: elaboración propia

2.2.2 U.E.A. Yauli

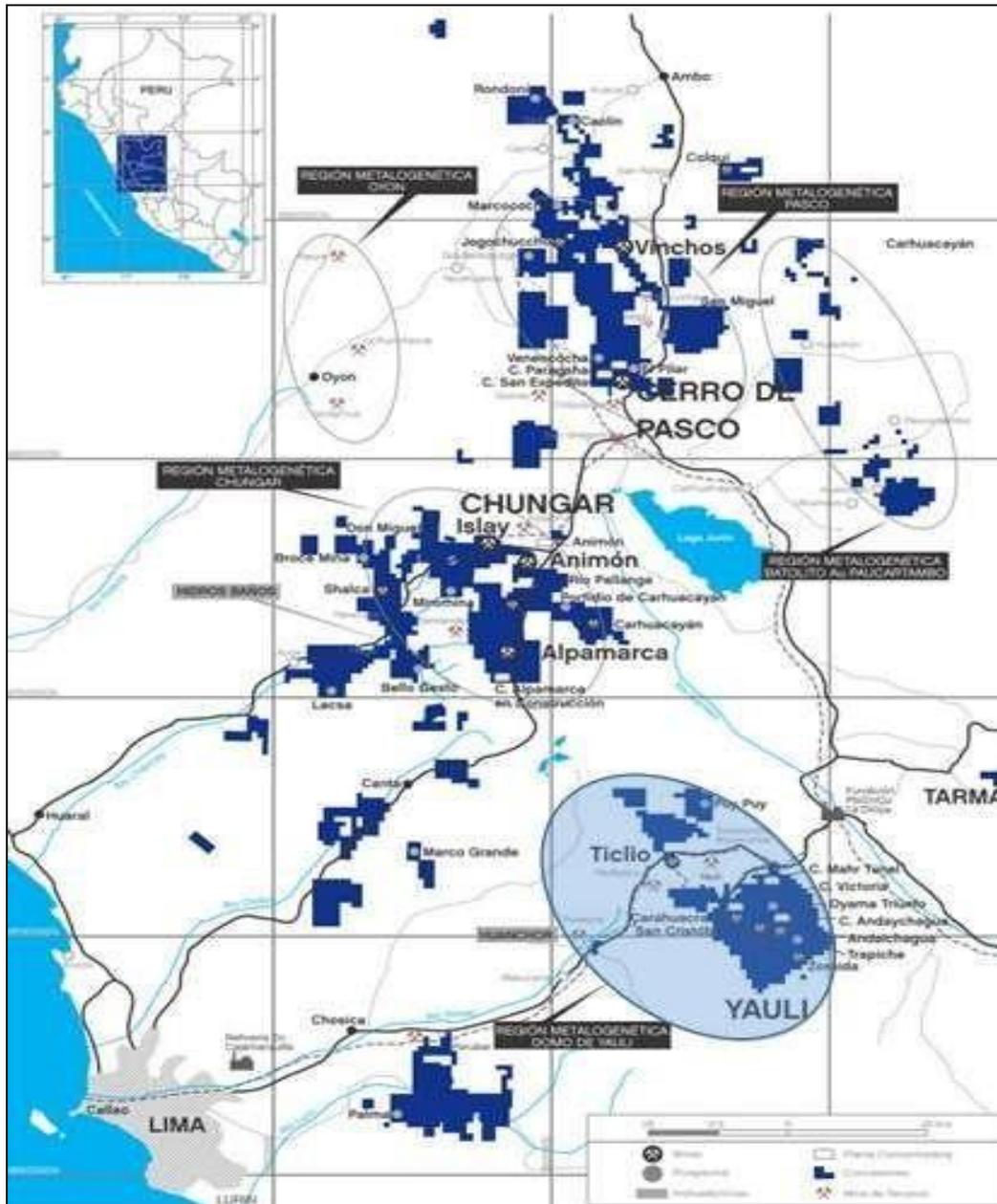


Figura 2. Ubicación de propiedades mineras de Volcan

Fuente: Memoria Anual Volcan Compañía Minera, 2018, pág. 25

La Unidad Económica Administrativa Yauli está conformada por las minas San Cristóbal, Andaychagua, Ticlio y Carahuacra; ubicadas en la provincia de Yauli, departamento de Junín. Los distritos mineros de Morococha y San Cristóbal, ubicados en Yauli y considerados de clase mundial, presentan mineralogías relacionadas a sistemas epitermales polimetálicos, cuerpos de reemplazamiento y sistemas de vetas polimetálicas, así como mineralización relacionada a pórfidos y skarns, lo cual indica el gran potencial del área. (15)

2.2.3 Mina Carahuacra

2.2.3.1 Ubicación

La mina de Carahuacra, políticamente está ubicada en el distrito de Yauli, provincia del mismo nombre, del departamento de Junín (Figura 3). Geográficamente se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes centrales del Perú; a 110 km, en línea recta, de la ciudad de Lima. Sus coordenadas geográficas son: (15)

- 76° 05' de Longitud Oeste
- 11° 43' de Latitud Sur



- En la Figura 3, se presenta la Unidad de producción. (Para mayor visualización, esta imagen la hemos considerado como Anexo 6)

Figura 3. Ubicación de la unidad de producción Carahuacra

Fuente: Estudio Geomecánico de la mina Carahuacra, 2018, Capítulo II, pág. 1

2.2.3.2 Accesibilidad

La mina Carahuacra se encuentra a 110 km de la ciudad de Lima, desde donde es fácilmente accesible, utilizando la carretera central, de la cual, cerca de la localidad de Pachachaca, parte un ramal de 7 km que conduce a Carahuacra. (15)

2.2.3.3 Geología regional

La mina Carahuacra está localizada en el flanco occidental del “Anticlinal de Yauli” que es una amplia estructura regional de naturaleza domática. El Complejo Domal de Yauli, que representa una ventana de formaciones paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones mesozoicas. (15)

El Paleozoico tiene 2 pisos, el inferior formado por el grupo Excelsior y el superior por el grupo Mitú, el Excelsior está aflorando a lo largo del anticlinal de Chumpe en la parte oeste del domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este, el Mitú aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha. Cuerpos intrusivos y capas extrusivas testifican la actividad ígnea de la zona. (15)

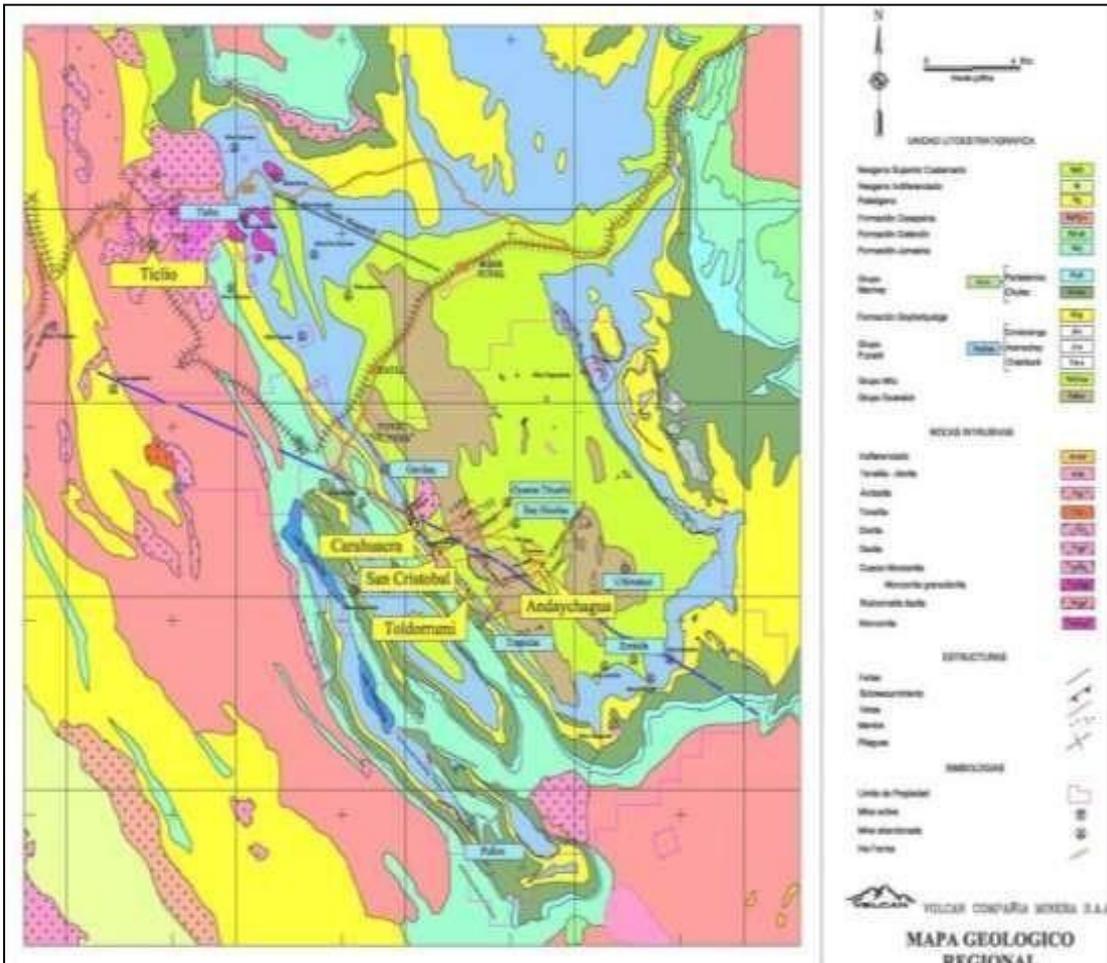


Figura 4. Plano Geológico Regional

Fuente: Estudio Geomecánico de la mina Carahuacra, 2003, pág. 2

2.2.3.4 Estratigrafía

En el área de Carahuacra, la estratigrafía se extiende desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

En la Tabla 1, se presenta la columna estratigráfica del área de estudio. (Para mayor visualización, esta imagen la hemos considerado como Anexo 5)

Tabla 1. Columna estratigráfica del área

| ERA | SISTEMA | EPOCA | EDADES PISOS | UNIDAD LITOLÓGICA | GRAFICO | FORMACION SEDIMENTARIA | FORMACION IGNEA | MINERALIZACION |
|------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|---|---------|---|--|---|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | | | | | Sedimentos no consolidados | | |
| | TERCIARIO | | | CAPAS ROJAS CASAPALCA | | Discordancia erosional Conglomerados calcareos Calizas Lutitas Calcareas Calizas arenosas arenosas | Intrusivos intermedios Cuadro-Dioritas Intrusivo Acido tipo Champe Granitos | |
| MESOZOICO | CRETACEO | INFERIOR | COMANCHEADO | FORMACION JUMASHA | | Discordancia erosional Calizas masivas y Dol. poco fosiliferas Basalto | Cuellos de Basaltos a través de todas las Formaciones | Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Cu. |
| | | NEOCOMICO | NEOCOMIANO TOARCLANO PLEIENSACHLANG | GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC | | Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert Calizas y Dolomías | | |
| | | (EOCRET.) | | GRUPO GOYLLAR | | Alternancia de Clz Margosas Fosil. Que Basalto Montero Areniscas Limolitas rojizas | Diorita + Gabro | |
| | JURASICO | INFERIOR O EOCRET. | NEOCOMIANO TOARCLANO PLEIENSACHLANG | FORMACION CONDORSINGA | | Calizas gris claras y dol Blancas amarillentas Basalto Montero Bx Calcareas Chert, Dol. | | Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb. con sobreimpresión de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos. |
| TRIASICO | SUPERIOR O MESOTRIASICO | RETTANO NORIANO | HETTANGIANO | GRUPO PUCARA FORMACION ARAMACHAY FORMACION CHAMBARA | | Calizas con Yeso Calizas y Dolomías | | |
| PALEOZOICO | PERMICO | ERTIOSICO SUPERIOR | OCHOA | GRUPO MITU | | Discordancia erosional Lentes de areniscas y conglomerados rojicos | Derrames de Dacita y Andesitas Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuadro-Monzonitica | Mineralización estratoligada de Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mn. |
| | | MEDIO 299 y 216 | GUADALUPE LEONARDO | | | | Volcanicos Volcanolíticos morados | Mineralización Hidrotermal en Venas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb. |
| | DEVONICO | SUPERIOR | CHAUTAUQUAN | GRUPO EXCELSIOR | | Discordancia erosional Filtas Mármoles fosiliferos Cuarcitas | Volcanicos verdes | Mineralización estratoligada de Ni, Co Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe |

Fuente: Estudio Geomecánico de la mina Carahuacra, 2003, pág. 3

2.2.3.5 Principales Unidades Litológicas

a) Grupo Excélsior (Silúrico – Devónico)

Las rocas más antiguas que afloran en el área son las del grupo Excélsior y conforman el núcleo del anticlinal Chumpe. Harrison, determinó una potencia de 1800 m para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Este grupo está constituido por filitas (lutitas metamorfoseadas) con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos marmolizados con fósiles (crinoideos); todo el conjunto está intensamente plegado, con la formación de una esquistosidad subparalela a los planos axiales de los pliegues. La mineralización es reconocida, principalmente en filones, además de la descrita por Kobe, que reconoce dos tipos: un tipo manto en la mina Ultimátum de Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra estrictamente estrato-ligada ubicada en el anticlinal Ultimátum, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S. (10)

b) Grupo Mitú (Pérmico)

Discordantemente sobre las rocas del grupo Excélsior yacen una serie de volcánicos, constituidos por derrames andesíticos, y dacíticos, brechas, aglomerados y tufos, formando una serie que localmente es conocida como volcánicos Catalina; hacia el techo de esta serie volcánica, particularmente hacia el NE aparece una serie vulcano-sedimentaria con conglomerados y areniscas. La mineralización en este grupo es ampliamente reconocida a lo largo de todo el domo de Yauli, siendo principalmente en la forma de filones y diseminada. Debido a su naturaleza irregular la potencia total del grupo Mitú es variable, al oeste de la mina San Cristóbal la potencia de los volcánicos, Catalina es aproximadamente 800 m, la edad del grupo Mitú fue considerada como del Carbonífero superior por Mc Laughlin (1940) y posteriormente asignada al Pérmico. (11)

c) Grupo Pucará (Triásico Superior - Liásico)

Un conjunto de facies calcáreas denominado grupo Pucará reposa en marcada discordancia sobre el grupo Mitú; este conjunto está dividido en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga (en el área solo existiría la parte superior del Aramachay y Condorsinga); estando íntimamente relacionado a la mineralización

económica del área, constituida principalmente por esfalerita, hematita, minerales de plata, carbonatos como siderita, rodocrosita, etc.

d) Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. Durante la segunda fase hay un cambio brusco respecto a la primera, depositándose areniscas medianas hasta muy gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles actualmente silicificados, en un ambiente húmedo e importante actividad ígnea evidenciada por sills de basalto. En San Cristóbal, su potencia alcanza 100 m. El grupo Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico inferior-Valanginiano-Aptiano. (15)

2.2.3.6 Intrusivos

A lo largo del anticlinal de Yauli se observan pequeños Stocks de monzonita cuarcífera, dique de andesita y diaclasa. En Carahuacra un dique de diabasa corta la apófisis norte del intrusivo Carahuacra y reconocido en el túnel Victoria sin ningún cambio. (15)

a) Intrusivo Carahuacra

Se observa al Este de la mina intruyendo formaciones premezozoicas. Es alargado en una dirección N-S y es de 1,100 m de longitud por 850 m de ancho con una apófisis de 550 m de longitud en su lado norte. Tiene textura porfirítica y consiste predominantemente de feldespatos, menor proporción de biotita y cuarzo en una matriz afanítica, identificado como cuarzo monzonita. (15)

2.2.3.7 Estructuras geológicas

a) Plegamiento

La estructura regional dominante es el domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O; es asimétrico, su flanco Este buza entre 30° y 40° mientras su flanco Oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O. El anticlinal Chumpe está en el extremo Oeste, su flanco occidental tiene un buzamiento de 55° al SO, mientras que el oriental buza 30° al NE; el núcleo de este anticlinal está formado por rocas del grupo Excelsior; el flanco occidental está compuesto por calizas Pucará y areniscas Goyllarisquizga; en el flanco oriental se extienden las rocas del grupo Mitú por varios kilómetros y sobre estas las del grupo Pucará. Es considerado como el extremo suroeste del domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar. (15)

Dos periodos principales de tectónica son reconocidos en la región; el primero del Pérmico inferior, denominado Tectónica Tardihercínica, que dio lugar a un intenso plegamiento de las filitas Excelsior; el segundo denominado Tectónica Andina, que plegó principalmente las rocas mesozoicas, comenzó a fines del Cretácico y continuó durante el Terciario, reconociéndose tres etapas en la Cordillera de los Andes; el "Peruano" a fines del Cretácico, el "Incaico" a principios del Terciario, y a este le siguió un período de actividad ígnea; y finalmente el "Quechua" a mediados del Terciario. (15)

b) Fracturamiento

El fracturamiento en mina Carahuacra, parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del domo de Yauli. Probablemente a fines del Cretácico, plegamiento "Peruano" fuerzas de compresión de dirección NE - SO comenzaron a formar el anticlinal Chumpe, a medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento "Incaico", los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes, dando lugar a la

formación de repetidas fallas inversas acompañadas de pliegues de arrastre (Los sobre escurrimientos y fallas inversas encontrados al oeste de San Cristóbal, en las calizas del grupo Pucará, pueden pertenecer a este sistema. Fuerzas tensionales al cesar momentáneamente las compresivas dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenadas por los diques de alaskita que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal. (15)

Al seguir actuando las fuerzas de compresión dieron lugar a la formación de fracturas de cizalla de rumbo E - O; la veta principal San Cristóbal y la veta Virginia al pasar a las filitas, veta Prosperidad. (15)

Durante el Plegamiento "Quechua", el anticlinal Chumpe continuó siendo afectado por fuerzas de compresión, además de la intrusión de los stocks de monzonita cuarcífera, produjeron un levantamiento y arqueamiento del anticlinal, lo cual produjo fracturas de tensión; Virginia, Ferramina, San Cristóbal, Catalina, Polonia, en la zona de los volcánicos. (15)

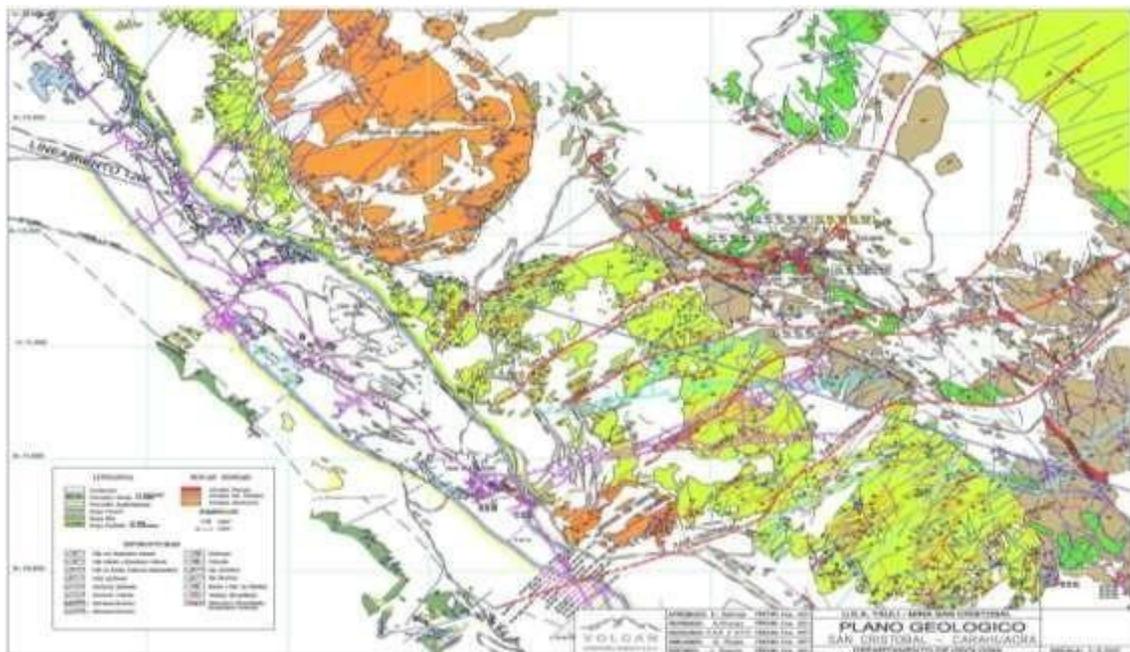


Figura 5. Mapa Geológico

Fuente: Estudio Geomecánico de la mina Carahuacra, 2013, pág. 32

2.2.3.8 Ocurrencia de la mineralización

La complejidad geológica del distrito ha dado lugar a la formación de una variedad de depósitos minerales que se extienden ampliamente en esta (Figura 6).

Después de la última etapa del plegamiento "Quechua" y la formación de las fracturas de tensión, vino el período de mineralización; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los stocks de monzonita cuarcífera, invadieron el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo, es necesario aclarar que en los últimos años se trata de explicar el origen de los mantos como exhalativo-sedimentario (mineralización Jurásica), que se emplazaría en forma conjunta a la deposición de las calizas, mediante el aporte de mineral a partir de grifones; y el de los cuerpos como un sistema mixto (mineralización Jurásica-Terciaria).

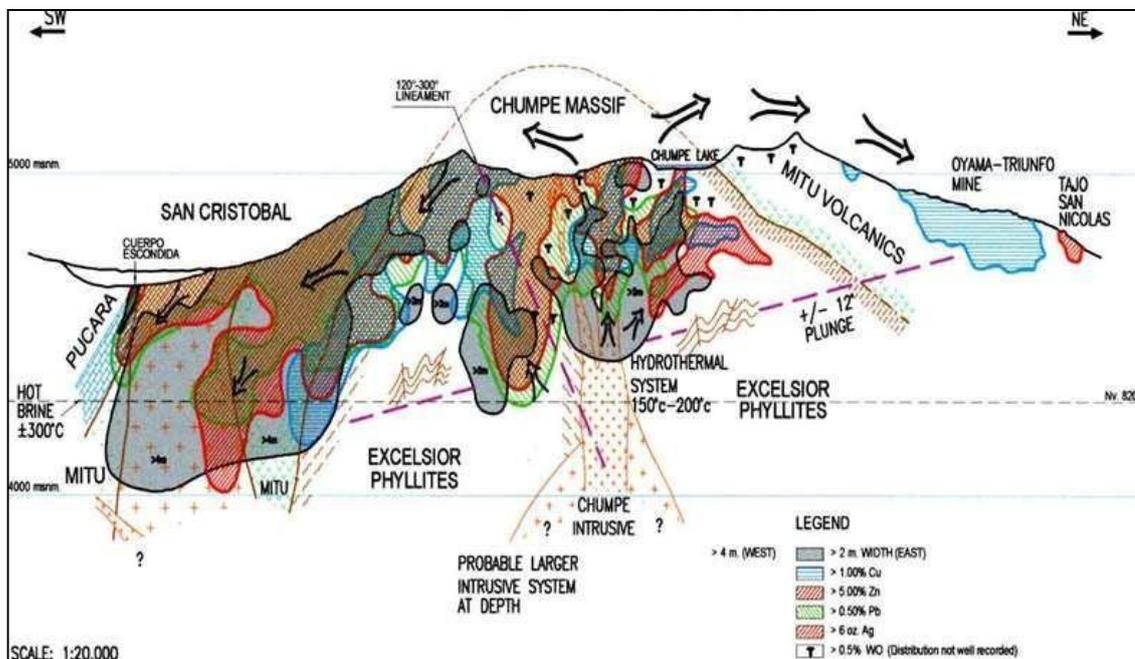


Figura 6. Modelo de mineralización de la veta San Cristóbal en el domo de Yauli Fuente: Estudio Geomecánico de la mina San Cristóbal, 2013, pág. 32

a) **Vetas**

Las vetas o filones se formaron principalmente por relleno de fracturas (Figura 6), siendo mejor mineralizadas aquellas que se formaron a lo largo de fracturas de tensión; las fallas de cizalla por contener mucho panizo no fueron bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran localizadas en todo el distrito minero, con su mayor desarrollo en los volcánicos del grupo Mitú. (15)

b) Mantos

Los mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal (Figura 6), en las calizas Pucará; a partir del contacto con los volcánicos Mitú, se ubican concordantemente con la estratificación. (15)

c) Cuerpos

Al igual que los mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal, en las calizas Pucará, y se forman por la unión de varios mantos o en la intersección de una veta con algún manto (Figura 7).

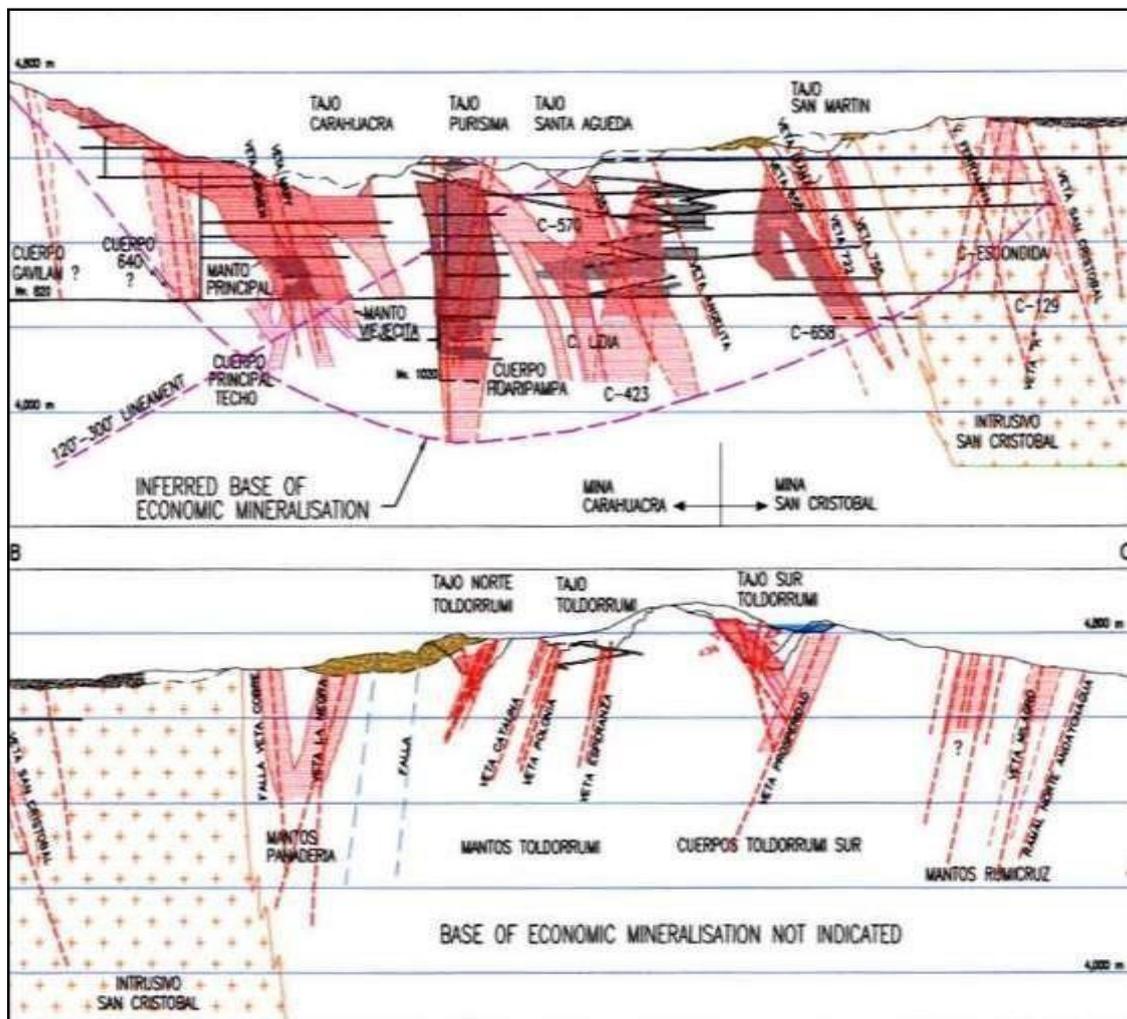


Figura 7. Modelo de mineralización de la veta Carahuacra en el domo de Yauli
Fuente: Estudio Geomecánico de la mina Carahuacra, 2013, pág. 34

2.2.3.9 Explotación subterránea

La Unidad de Producción Carahuacra, se dedica a la extracción de minerales tales como plata, plomo y zinc, los cuales se encuentran asociados a gangas de caliza y silicatos con presencia de pirita. La mineralización se debe al relleno hidrotermal y al metasomatismo de contacto entre intrusitos y calizas, donde predominan las rocas metamórficas. (15)

La forma de explotación es mediante labores subterráneas y los ciclos de minado son mecanizados. La potencia del yacimiento varía entre 0.8 m y 10 m. El buzamiento es subvertical (varía entre 50° y 75°) y vertical facilitando el minado subterráneo mediante los métodos de Corte y Relleno Ascendente, denominado también “*Over Cut and Fill*” y “*Bench and Fill*”. (15)

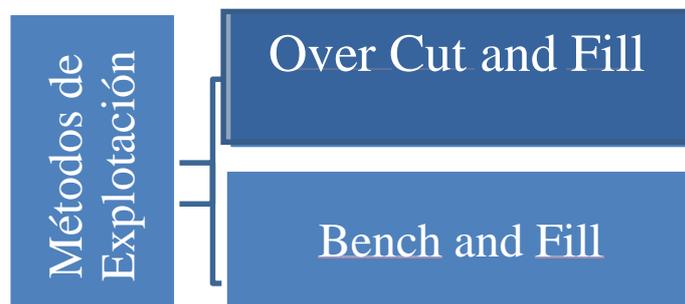


Figura 8. Métodos de explotación en la mina Carahuacra Fuente: elaboración propia

El minado es en forma de tajadas o cortes por la variante en “*Breasting*” (Figura 9), se perfora en horizontal teniendo como piso el relleno del nivel inferior. Se prepara una rampa principal de +/-12 % de gradiente en la caja piso o techo de la estructura para facilitar los accesos del equipo de perforación y limpieza. Luego de interceptar la estructura y de acuerdo a la calidad geomecánica del terreno involucrado, se realiza la explotación con perforación en horizontal (con cara libre hacia abajo). El mineral roto es cargado y extraído según el avance. Este método es empleado en vetas inclinadas y que requiera un minado selectivo permitiendo la flexibilidad de la operación, donde el mineral roto que tenga un bajo valor sea dejado en el tajo, entre otras consideraciones. La explotación es lenta, abastece regular cantidad de mineral, pero no permite la

acumulación o almacenamiento. Cuando todo el corte ha sido disparado, el volumen extraído es rellenado para el soporte de las cajas con material estéril (relleno detrítico) o con relleno hidráulico o una combinación de ambos, proporcionando una plataforma para el siguiente corte. Los accesos hacia la estructura mineralizada son en negativo para poder batir por lo menos tres cortes por tajo. (15)

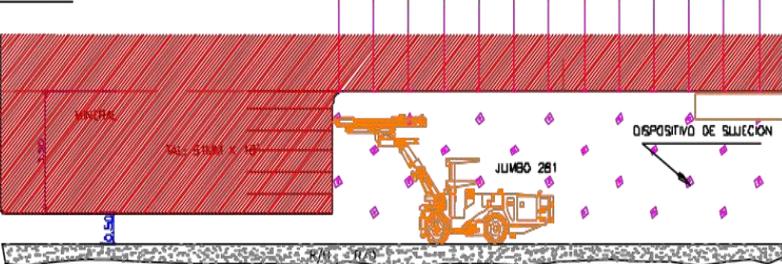
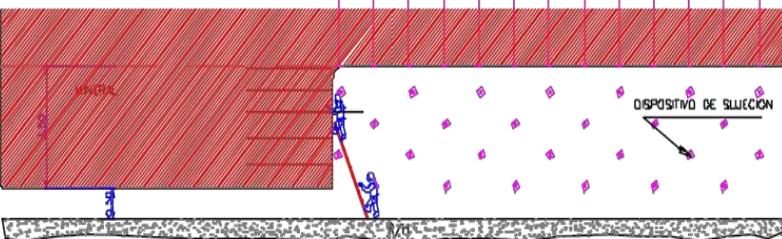
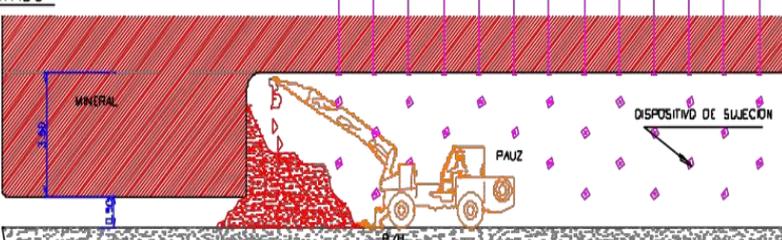
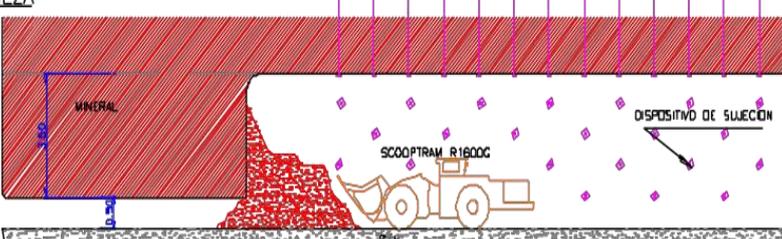
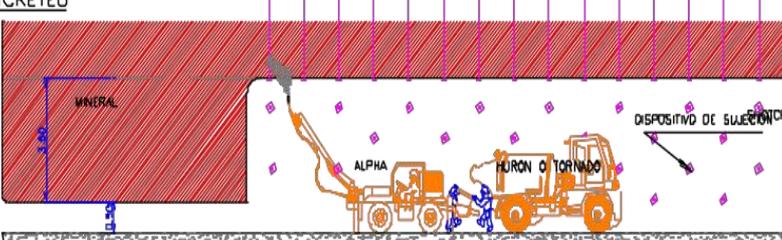
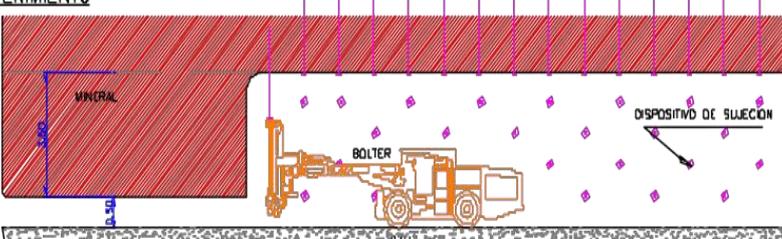
| | |
|---|---|
| <p>1. <u>PERFORACION</u></p>  | <p>PERFORACION (4m * 4m)</p> <p>N° Tald/perf : 26 Tiempo Perfo. : 1.3 hr Rendimiento : 50 m/hr Diámetro de broca: 45 mm Tipo de explosivo : Semexa 80% 1-1/8"x8"</p> |
| <p>2. <u>VOLADURA</u></p>  | <p>VOLADURA (4m * 4m)</p> <p>N° Tald/diap : 15 Tiempo Carga. : 0.6 hr Factor Carga : 0.18 Kg/m³</p> |
| <p>3. <u>DESATE</u></p>  | <p>DESATE (4m * 4m)</p> <p>Tiempo Perfo. : 0.75 hr</p> |
| <p>4. <u>LIMPIEZA</u></p>  | <p>LIMPIEZA</p> <p>Capacidad Eq : 6 yd³ Toneladas/dispera : 150 tn Rendimiento : 55 Ton/hr</p> |
| <p>5. <u>SHOTCRETEO</u></p>  | <p>SOSTENIMIENTO SHOTCRETE</p> <p>Rendimiento Instalacion: 5 m³/hr Ratio de produccion : 60 tms/m³ RC de Shotcrete : 350 kg/cm²</p> |
| <p>6. <u>SOSTENIMIENTO</u></p>  | <p>SOSTENIMIENTO CON PERNOS</p> <p>Rendimiento instalacion 18 Un/hr Ratio de produccion : 26 tms/un Tipo de perno : Splitset o Hydrabolt Tipo Split set : 1 tn/pie Tipo Hydrabolt : 12 tn/un Tipo Helicoidal : 2.5 tn/pie Longitud de perno : 1-1/2x7 pies</p> |

Figura 9. Método de explotación corte y relleno ascendente tipo *Breasting*
Fuente: Plan de minado de la mina Carahuacra, 2015, pág. 104

También se emplea el método *Bench and Fill* o Taladros Largos, que se caracteriza por su gran productividad debido a que la preparación se realiza en su mayor parte dentro de mineral, el minado se ejecuta desde los niveles para predetermined los intervalos verticales, los subniveles son desarrollados entre los niveles principales, el mineral es derribado con taladros largos desde los subniveles. (15)

La extracción de mineral del tajo se realiza hacia echaderos ubicados junto a la rampa principal y utilizando Scoops de 4.1 yd³ y 6.0 yd³, las cámaras de mineral se encuentran en niveles inferiores y el traslado a superficie es mediante volquetes de 20 a 30 TM o por el sistema de locomotoras y carros mineros en el Nv.820. La longitud óptima de cada tajo es de 300 m y la distancia de nivel a nivel de 50 m. Los accesos normalmente tienen de 35 m a 50 m con una gradiente de -15 % a +15 %. La perforación de estos tajos es con Simba, malla de 1.5 a 1.8 m y brocas de 2 1/2" de diámetro. (15)

El nivel de producción actual de la mina es de 4 500 TMS de mineral por día, empleándose para la extracción subterránea scoops y dumpers; para el acarreo y transporte se utilizan volquetes. El desmonte extraído de la mina se acumula en los botaderos de desmonte y como relleno detrítico en los tajos explotados. Una vez extraído el mineral, este es transportado hasta la Planta concentradora de Victoria y a la Planta concentradora Mahr Túnel mediante volquetes. (15)

2.2.3.10 Ciclo de minado

Las fases o etapas del ciclo de minado son: perforación, voladura, desatado, sostenimiento, acarreo, transporte y relleno. El tiempo de explotación depende de la longitud del tajo encontrándose entre 15 y 30 días, para el caso de los tajos *Breasting*.

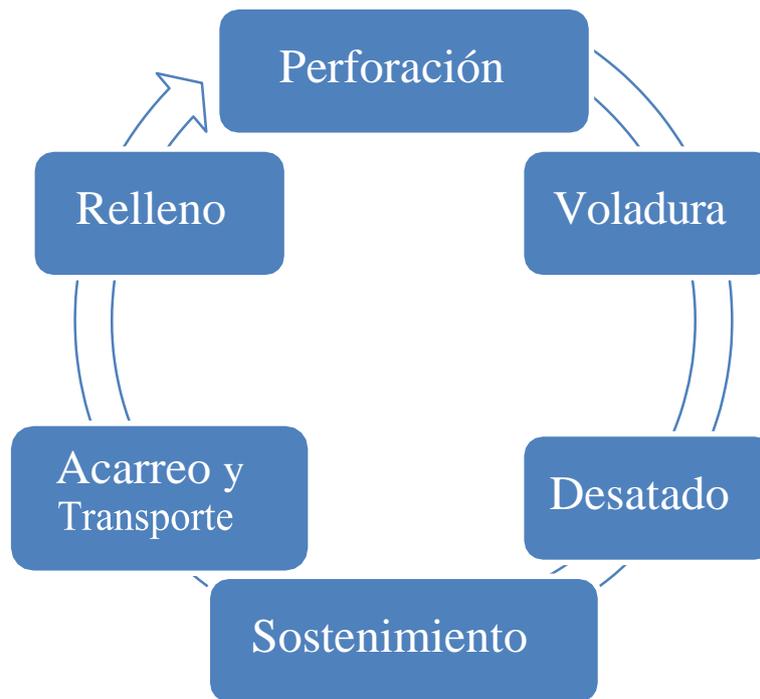


Figura 10. Ciclo de minado en la mina San Carahuacra
Fuente: elaboración propia

a) Perforación

Para la perforación se emplean Jumbos Hidráulicos en la mayor parte de la mina y Simbas en Tajos de Taladros Largos, el tipo de perforación puede ser vertical y horizontal. La perforación vertical y horizontal se realiza en los tajos de Taladros Largos y *Breasting* respectivamente, mientras que en labores de avance se perfora de acuerdo a la pendiente de la labor, el ratio de perforación se encuentra en 39 mp/hr. (15)

b) Voladura

Para la voladura se tiene una malla que permite tener una secuencia de salida de los taladros, a fin de generar primero la cara libre. La cantidad de explosivo a usar es de aproximadamente 40 kg para frentes de sección de 3,5 x 4,0, de acuerdo a las características geomecánicas. El factor de potencia (kg de explosivos/ TM rotas) en voladura de frentes es de 0,45 y en Tajos *Breasting* de 0,22. (15)

Los taladros perforados tanto en frentes y tajos se cargan con dinamita, según la distribución de la secuencia de salida y con iniciador con retardos de detonación. Para cargar los taladros se usa atacadores de madera; primero se prepara el cebo, luego se carga

cada taladro, para después unirlos a través del cordón detonante y disparar. Los horarios de disparo son 7:00 horas (guardia A), 19:00 horas (guardia B). (15)

c) Desatado

Después de transcurrir el tiempo suficiente de postvoladura, y regada la carga disparada, se realiza el desatado de rocas en el techo y parte de los hastiales si fuese necesario, para lo cual se emplean barretillas de 6, 8, 10 y 12 pies, así mismo después de la limpieza se realiza el desatado minucioso y de ser necesario se utiliza equipos *Scaler*, para proporcionar una labor segura para el personal y equipos. (15)

d) Sostenimiento

Existen diferentes tipos de elementos de sostenimiento, el uso de uno u otro tipo depende de la evaluación geomecánica, el más utilizado es el lanzado de concreto y colocación de pernos Hydrabolt para lo cual se cuenta con seis equipos emperadores (Boltec y Bolter). El armado de cimbras o cuadros es otro tipo de sostenimiento cada vez menos usado en zonas de mayor inestabilidad. (15)

e) Acarreo y transporte

Para el acarreo dentro de los tajos se cuenta con Cargadores de bajo perfil (“Scoops” diesel de 4.1 a 6 yd³) que trasladan el mineral y el desmonte de mina hasta los echaderos. Los echaderos conducen por gravedad el mineral hasta las cámaras de acumulación de mineral y de aquí se descarga a los volquetes de 24 a 30 TM de capacidad que lo trasladan a una cancha en superficie. Desde esta cancha el mineral se lleva hacia las plantas concentradoras. El material estéril extraído de la mina es depositado en botaderos de desmonte ubicados en la periferia del Tajo abierto de Carahuacra Norte. (15)

f) Relleno

Detrítico: el material utilizado para este tipo de relleno es obtenido de las labores de avance y se utilizan cargadores de bajo perfil (Scoops) para el traslado del material hacia

los tajos a rellenar, se utiliza en mayor proporción en Tajos de Taladros Largos. (15)

2.2.3.11 Sostenimiento y estabilización del macizo rocoso

Se denomina así al conjunto de elementos que se instalan durante la ejecución de una labor subterránea para compensar los desequilibrios de los esfuerzos provocados por dicha excavación en el macizo rocoso, con el propósito de asegurar la estabilidad de la labor y garantizar la seguridad del personal y equipos.

- **Tipos de sostenimiento**

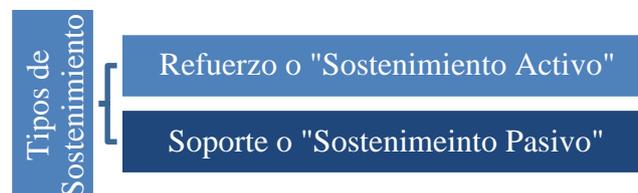


Figura 11. Tipos de sostenimiento
Fuente: elaboración propia

- Refuerzo:** también se le denomina “Sostenimiento Activo”, es el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral del macizo rocoso mejorando las propiedades mecánicas de éste. El principal objetivo es conservar la resistencia inherente del macizo rocoso de tal forma que se autosoporte; por ejemplo, pernos de anclaje, cables de acero, etc.
- Soporte:** también se le denomina “Sostenimiento Pasivo”, es el soporte del macizo rocoso, donde los elementos de sostenimiento son externos al macizo rocoso y dependen del movimiento del mismo. El objetivo principal es realmente soportar el macizo rocoso, es decir, soportar el peso de los bloques de roca intacta delimitados por discontinuidades o las zonas de roca disturbada, a través de elementos estructurales; por ejemplo, cuadros de madera, cimbras metálicas, malla electro soldada, shotcrete, etc.

2.2.3.12 Concreto Lanzado “Shotcrete”

El Instituto Americano del Concreto en el código ACI 506R-05 “Guía al shotcrete”, en su acápite 1.4 define al shotcrete como “mortero o concreto aplicado neumáticamente

y proyectado a alta velocidad”. Esta definición es complementada por la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras EFNARC, el cual establece como definición: “mezcla de cemento, agregado y agua proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea”.

Tomando una tercera definición para este material, la enciclopedia digital Wikipedia presenta una definición afín a las anteriores, sin embargo, agrega: “La mezcla que se utiliza para este tipo de hormigón es relativamente seca y se consolida por la fuerza del impacto, desarrollando una fuerza de compresión similar al hormigón normal o al hormigón de alta resistencia, dependiendo de la dosificación usada”.

El shotcrete comenzó a utilizarse hace casi 110 años. Los primeros trabajos con shotcrete fueron realizados en los Estados Unidos por la compañía Cement-Gun (Allentown, Pensilvania) en 1907. Un empleado de la empresa, Carl Ethan Akeley, necesitaba una máquina que le permitiera proyectar material sobre mallas para construir modelos de dinosaurios, e inventó el primer dispositivo para proyectar materiales secos para construcciones nuevas. Cement-Gun patentó el nombre “Gunita”, un concreto que contenía agregados finos y un alto porcentaje de cemento. Hoy en día todavía se utiliza ese nombre. (3)

La tecnología del shotcrete comprende los procesos de mezcla seca y de mezcla húmeda.

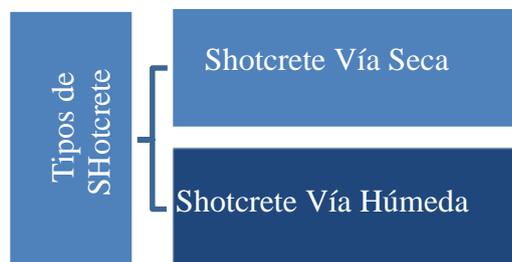


Figura 12. Tipos de Shotcrete
Fuente: elaboración propia

- **Shotcrete vía seca**

Las primeras aplicaciones del shotcrete se hicieron mediante la vía seca; en este método, los componentes del shotcrete seco o ligeramente prehumedecidos, son alimentados a una tolva con agitación continua. El aire comprimido es introducido a través de un tambor giratorio o caja de alimentación para transportar los materiales en un flujo continuo hacia la manguera de suministro. El agua es adicionada a la mezcla en la boquilla. Este método genera altos costos operativos debido al desgaste y daños en las máquinas de rotor. Para mantener estos costos dentro de límites razonables, es necesario configurar bien las máquinas, hacer cambios oportunos de piezas y utilizar procedimientos adecuados de pulverización. (3)

- **Shotcrete vía húmeda**

El uso del método por vía húmeda comenzó después de la Segunda Guerra Mundial. En el proceso de mezcla húmeda, los componentes del shotcrete y el agua son mezclados antes de la entrega al equipo de transporte, la cual luego suministra la mezcla hidráulicamente hacia la boquilla, donde es añadido el aire para proyectar el material sobre la superficie rocosa. (3)

Adecuadamente aplicado, el shotcrete puede ser estructuralmente sólido y durable, con buenas características de adhesión con la roca y alta resistencia. Estas propiedades favorables se consiguen con buenas especificaciones y materiales, preparación adecuada de la superficie, buenas prácticas de mezclado, aplicación del shotcrete y supervisión.

- **Ventajas de Shotcrete vía húmeda**

a) **Economía:** la capacidad de proyección ha aumentado considerablemente desde los tiempos de maquinarias de mezclado en seco hasta los robots de vía húmeda modernos. Si bien los costos de inversión en los nuevos robots de vía húmeda aumentaron, al mismo tiempo hubo una caída del costo de colocación del shotcrete y del tiempo de preparación por cada ciclo. Gracias a los sistemas robóticos integrados, la aplicación del shotcrete comienza a los pocos minutos de la llegada de los equipos al frente. Asimismo, con el uso de equipos apropiados y con personal capacitado, se obtienen

pérdidas por rebote entre 5 y 10 %, es decir 25 % menos que por el método de vía seca.

- b) Ambiente de trabajo:** los operarios del proceso por vía seca estaban acostumbrados a trabajar en medio de una gran cantidad de polvo. Se emitía polvo no solo desde la boquilla, sino también desde la máquina de proyección. Los resultados de las mediciones de polvo en el ambiente de trabajo eran más de tres veces la cantidad permisible. El método por vía húmeda mejoró significativamente las condiciones del ambiente de trabajo, trayendo consigo mayor seguridad para los trabajadores.
- c) Calidad:** todavía se piensa equivocadamente que el método por vía húmeda no ofrece resultados de alta calidad. Lo cierto es que si se utilizan aditivos reductores de agua (baja relación agua/cemento), se pueden obtener resistencias a la compresión superiores a 300 MPa aplicando shotcrete por vía húmeda. A diferencia del método por vía seca, el de vía húmeda ofrece una calidad homogénea.
- d) Instalación:** con el método vía húmeda se utiliza un concreto ya mezclado en la planta de concreto. En cualquier momento del proceso es posible inspeccionar y controlar la relación agua/cemento y, por lo tanto, la calidad. La consistencia puede ser ajustada por medio de aditivos. Con el método de vía húmeda es más fácil producir una calidad constante a lo largo del proceso de proyección. El aire tiene la función de aumentar la velocidad de lanzamiento de concreto a fin de lograr una buena compactación y adherencia a la superficie, por lo que debe lanzarse a una presión ideal de 7 bares, para evitar obtener resistencia a la compresión menor, así como también adherencia deficiente y mayor rebote. (3)

2.2.3.13 Diseño de la mezcla para proyección por vía húmeda

Los elementos necesarios para producir un buen shotcrete con el método por vía húmeda son:

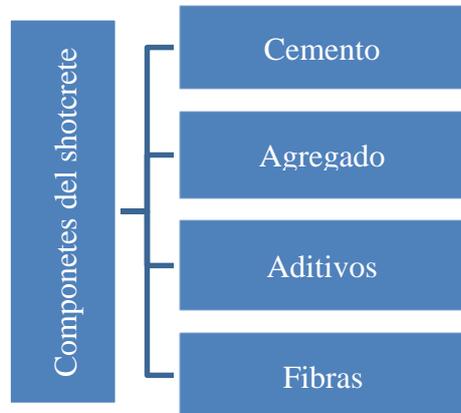


Figura 13. Cuadro de materiales e insumos de la mezcla de shotcrete
Fuente: elaboración propia

- **Cemento**

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas, posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo. El cemento que se utiliza normalmente es el Portland Estándar Tipo I. (4)

- **Agregado**

La calidad del agregado es un asunto primordial en el shotcrete. Es importante que la distribución del tamaño de grano y otras características sean lo más uniforme posibles. Particularmente importantes son la cantidad y las características de los finos; es decir, el tamaño de grano y el análisis granulométrico.

Para la proyección de shotcrete debe tenerse en cuenta un diámetro máximo de 8

mm, debido a limitaciones del equipo de lanzado y para evitar grandes pérdidas por rebote. La experiencia ha mostrado que con agregados de más de 10 mm se incrementa drásticamente el rebote. Por otro lado, debe haber suficiente cantidad de finos, menores de 0.2 mm, para formar una capa inicial sobre la superficie de la roca.

El contenido de material fino en el Tamiz N° 0,125 mm debe oscilar entre un límite inferior de 4 - 5 % y uno superior de 8 - 9 %. Los materiales finos demasiado pequeños producen segregación, mala lubricación y riesgo de atascamiento. Sin embargo, en caso de usar concreto con fibra, el sobrante de material fino es importante tanto para el bombeo como para la compactación. Un contenido elevado de material fino produce un concreto cohesivo. La insuficiencia del material fino puede compensarse utilizando más cemento; para compensar el exceso de dicho material, se aumenta la dosificación de aditivos reductores de agua. (3)

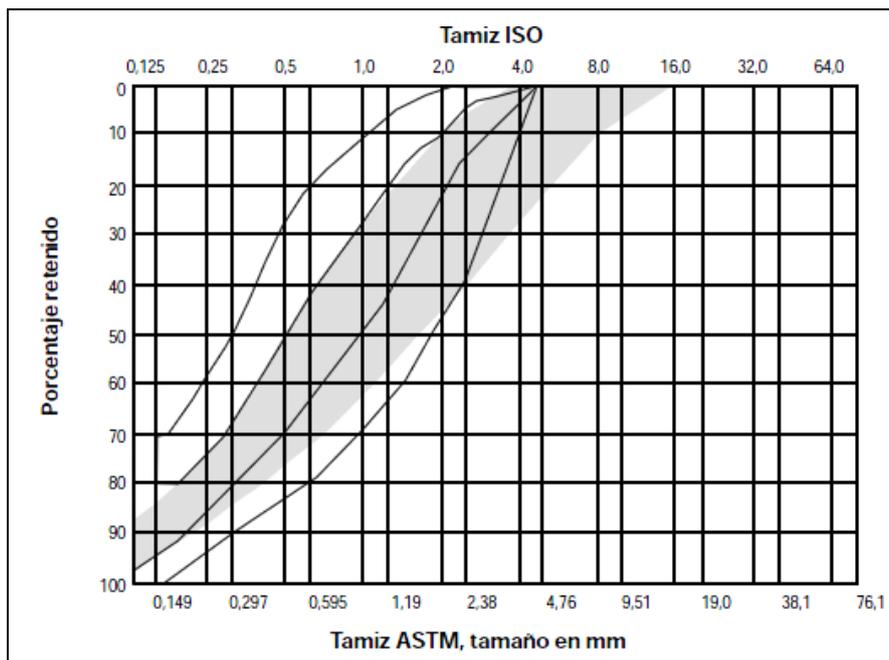


Figura 14. Curvas de distribución recomendadas para los agregados de shotcrete
Fuente: Melbye, T. 2001, pág. 30

La curva de distribución del tamaño de grano para el agregado debe caer en la región sombreada de la Figura 14. En lo posible, la cantidad de partículas de 8 mm no debe exceder el 10 %; en caso contrario, las partículas rebotarán durante la proyección sobre superficies duras (al comenzar la aplicación), o penetrarán el concreto ya colocado produciendo cavidades difíciles de rellenar.

Durante el tamizado, almacenamiento y manejo de los agregados, deben eliminarse partículas de tamaño superior a 8 mm, ya que pueden bloquear la boquilla y dificultar la limpieza.

Tabla 2. Porcentajes mínimos y máximos de agregado según Tamiz

| TAMIZ | Min. % | Max. % |
|-------|--------|--------|
| 0,125 | 4 | 12 |
| 0,25 | 11 | 26 |
| 0,5 | 22 | 50 |
| 1,0 | 37 | 72 |
| 2,0 | 55 | 90 |
| 4,0 | 73 | 100 |
| 8,0 | 90 | 100 |
| 16,0 | 100 | 100 |

Fuente: Melbye, T. 2001, pág. 31

Es importante efectuar una buena clasificación de los agregados, y ninguna fracción debe constituir más del 30 % del total. El contenido de material triturado y de forma irregular no debe exceder el 10 %. A menudo, la mejora de la curva granulométrica de una arena natural mediante el uso de material triturado supone aumentos en la demanda de agua y disminución de la facilidad de bombeo y de la compactación. Por tanto, antes de utilizar materiales triturados como agregados, deben hacerse pruebas comparativas para determinar si la adición de dichos materiales mejora los resultados.

- **Aditivos**

Los aditivos tienen como finalidad lograr propiedades específicas en el concreto fresco y en el endurecido mediante el método de proyección por vía húmeda.

a) Plastificantes y super plastificantes

Los super plastificantes/plastificantes tienen un efecto excelente en la dispersión de finos, y por lo tanto son aditivos ideales para el shotcrete.

Los aditivos plastificantes o reductores de agua tienen la función de mejorar la trabajabilidad del concreto y su capacidad de cohesión en el estado plástico; pueden

provocar un aumento importante del asentamiento con la misma relación agua/cemento, o bien dicha relación puede reducirse para alcanzar el mismo asentamiento que se obtendría para una mezcla carente del reductor de agua. La disminución de la relación agua/cemento está asociada con un aumento en la resistencia, con una mejor facilidad de bombeo. Los aditivos super plastificantes usualmente son conocidos como reductores de agua de alto rango porque pueden utilizarse en altas dosis sin problemas de retardo de fraguado ni de inclusión excesiva de aire.

Hoy en día se utilizan con frecuencia combinaciones de lignosulfonato, naftaleno y melamina a fin de obtener el mejor concreto posible. Los naftalenos/melaminas (super plastificantes) son químicamente diferentes a los lignosulfonatos (plastificantes); la melamina forma una película lubricante en las superficies de la partícula, el naftaleno carga eléctricamente las partículas de cemento de forma tal que se repelen entre sí, y el lignosulfonato disminuye la tensión superficial del agua. Cuando las partículas de cemento están bien dispersas, no solo fluyen mejor, sino que cubren mejor los agregados. El mayor asentamiento logrado por los super plastificantes convencionales depende de las condiciones de tiempo y temperatura. (3)

En los últimos años ha entrado al mercado una nueva generación de super plastificantes de alto rendimiento. Glenium, utilizado en la preparación de shotcrete, en la Planta de Concreto Betonmac de la mina San Cristóbal es uno de ellos, es un súper plastificante basado en un éter policarboxílico modificado que proporciona una excepcional reducción del agua y una mayor retención de la trabajabilidad sin retardar el desarrollo de la resistencia inicial.

b) Acelerantes de shotcrete libres de álcalis

Los acelerantes controlan el tiempo de fraguado del concreto proyectado después de su aplicación, se utilizan en forma líquida o en polvo. Actualmente existen en el mercado productos libres de álcalis y no cáusticos de buen rendimiento, que hacen posible, aplicaciones de shotcrete de alta calidad, eficientes y económicos. Ya no se justifica el uso de productos peligrosos tales como los tradicionales aluminatos cáusticos y silicatos sódicos industriales cáusticos. (3)

Debido a su compleja composición química, los acelerantes libres de álcalis son más costosos que los acelerantes tradicionales. Sin embargo, el precio de los acelerantes tiene una influencia prácticamente despreciable en el costo total del shotcrete. Mucho más importantes son los ahorros de tiempo y de rebote que se obtienen, así como también el mejoramiento de la calidad y del ambiente de trabajo, ya que factores como el polvo y el rebote han disminuido significativamente, y las quemaduras de la piel se han convertido en cosa del pasado.

2.2.3.14 Shotcrete con refuerzo de fibras

El concreto reforzado con fibras es un material novedoso que está siendo desarrollado de forma acelerada gracias al mejoramiento de las nuevas fibras, tecnología y técnicas de aplicación del concreto.

Las fibras añadidas al shotcrete pueden ser de acero, de vidrio, sintéticas o hechas de materiales naturales. La inclusión de estas adiciones tiene como propósito mejorar las propiedades del shotcrete tales como ductilidad, tenacidad, resistencia a la flexión y resistencia al impacto, e incluso pueden incrementar ligeramente la resistencia a la compresión.

- **Clases de fibra**

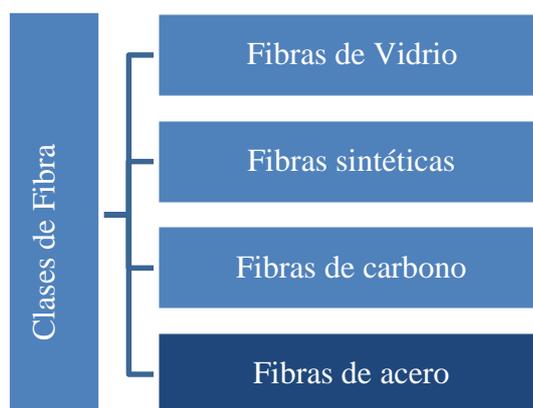


Figura 15. Cuadro de materiales e insumos de la mezcla de concreto
Fuente: elaboración propia

a) **Fibras de vidrio:** las fibras de vidrio no sirven como un material permanente porque al cabo de cierto tiempo se fragilizan y son destruidas por la parte básica de la matriz

de concreto. Por tanto, no deben utilizarse en ningún tipo de concreto, shotcrete o morteros con base de cemento.

- b) *Fibras sintéticas (fibras de polipropileno):*** las fibras de plástico son resistentes y duraderas (embebidas en el concreto), pero sus propiedades mecánicas son similares a las del concreto y no mejoran las propiedades ni imparten viscosidad al concreto; por tal motivo no sirven para aplicaciones de soporte de roca, pero sí son apropiadas en los casos en que se requiere refuerzo para contrarrestar la contracción (en particular, contracción plástica). Tienen un efecto muy eficiente en la distribución de micro fisuras durante la fase plástica del endurecimiento, y también reducen el rebote en la proyección por vía húmeda. Además, tienen un efecto positivo en la resistencia al fuego.
- c) *Fibras de carbono:*** desde el punto de vista técnico las fibras de carbono tienen propiedades mecánicas ideales para el soporte de rocas, pero en la práctica no se utilizan debido a que son sumamente costosas.
- d) *Fibras de acero:*** estas son las fibras más utilizadas para el shotcrete. Existen varias clases y calidades disponibles en el mercado, pero solo algunas reúnen los requisitos establecidos para el shotcrete reforzado con fibra. Están fabricadas de alambre de acero trefilado en frío de primera calidad; provistas de terminaciones en forma de gancho, proporcionan un anclaje inmejorable. Los parámetros críticos de las fibras de acero son la geometría, relación Longitud/Diámetro (L/D), método de anclaje, resistencia a la tensión, cantidad en la mezcla y calidad del acero. (5)



Figura 16. Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del shotcrete
Fuente: fotografía tomada por el autor

La función principal de las fibras de acero en el shotcrete es aumentar la ductilidad del mismo. Si bien es posible obtener una elevada resistencia a la flexión sin necesidad de fibras, la ductilidad está directamente relacionada con el tipo y la cantidad de las fibras de acero.

Las fibras de acero están caracterizadas geométricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del shotcrete, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas, es decir la longitud L, la forma y el diámetro D. De la relación entre longitud L y el diámetro D se obtiene la relación de aspecto o esbeltez L/D. (7)

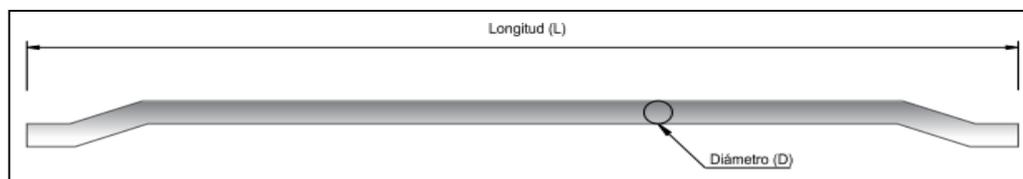


Figura 17. Características geométricas de las fibras de acero

Fuente: Manual Técnico de Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo de Hormigón Maccaferri, 2010, pág. 13

Para poder definir las especificaciones del concreto reforzado con fibras de acero, debe realizarse un análisis que consta de tres pasos, que se detallan a continuación:

- **Dosificación mínima necesaria para el traslape de la fibra**

De acuerdo a la Norma Europea EN 14487-1, la(s) distancia(s) media entre las fibras de acero debería ser menor de $0.45l_f$, para asegurar el traslape mínimo entre ellas.

El valor de un traslape mínimo entre las fibras podría estimarse como:

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \times (df)^2 \times lf}{4pf}} \quad \text{Ecuación 01}$$

Donde:

- l_f es la longitud de fibra
- df es el diámetro equivalente de la fibra

- pf es el porcentaje de la fibra
- s debe ser menor de 0.45 lf para asegurar un traslape mínimo. (Mc Kee, 1969)

Para el caso de la Fibras acero Sika LHO 45/35 NB, tenemos los siguientes datos:

- lf = 35 mm.
- df = 78 mm.
- pf = ¿?

Consecuentemente, la dosificación mínima de fibra será:

$$0.16 = \frac{\sqrt[3]{\pi \times 0.77^2 \times 0.45}}{4pf}$$

$$pf = 18.64 \text{ Kg/m}^3$$

- Longitud total mínima de la fibra

De acuerdo a la Teoría de Mc Kee, también se recomienda una longitud mínima total de fibra de alambre. A fin de asegurar el efecto de red mínimo para proporcionar un proceso específico de varias trayectorias que genere la redistribución de las cargas mediante puentes de acero en las fibras, se recomienda una longitud mínima de fibra de acero de 10 000 m por metro cúbico de concreto.

Tabla 3. Tabla de Longitud total mínima de fibra

| Relación de esbeltez L/D | Mínimo Kg/cm ³ | L | D | Fibra/Kg | Longitud total de fibra |
|--------------------------|---------------------------|----|------|----------|-------------------------|
| 45 | 18.64 | 35 | 0.78 | 10125 | 10920 |

Fuente: elaboración propia

- Dosificación en base al comportamiento

La Norma Europea EN 14487-1 hace mención a las diferentes formas de especificar la ductilidad del concreto reforzado con fibras de acero en términos de resistencia residual

y la capacidad de absorción de energía. También hace mención que ambas formas no son exactamente comparables.

El valor de absorción de energía medido en un panel se puede establecer cuando se enfatiza la cantidad de energía que ha de absorberse durante la deformación del macizo rocoso. El propósito de usar fibras de acero como refuerzo del concreto es mantener la resistencia a la flexotracción del concreto, es decir, que el concreto resista esfuerzos de flexotracción en cualquier punto de la capa de concreto. (6)

- **Absorción de energía**

Para comprobar el comportamiento del shotcrete reforzado con fibras de acero en una excavación subterránea, se ha desarrollado en Francia por la Compañía Ferroviaria Nacional SNFC y el primer Laboratorio Alpes Essais, una prueba relacionada con este comportamiento. Esta prueba de punzonamiento y flexión sobre un panel simula con mucha efectividad el comportamiento del concreto lanzado en una excavación bajo la presión del macizo rocoso alrededor de los pernos de anclaje. (6)

Las pruebas sobre los paneles están publicadas también en las recomendaciones de la EFNARC y están incluidas en la Norma Europea EN 14487 para el concreto lanzado. El panel que se utiliza (600 x 600 x 100 mm), de acuerdo a la EN 14488-5, está diseñado para determinar la energía absorbida en la curva de carga-deformación.

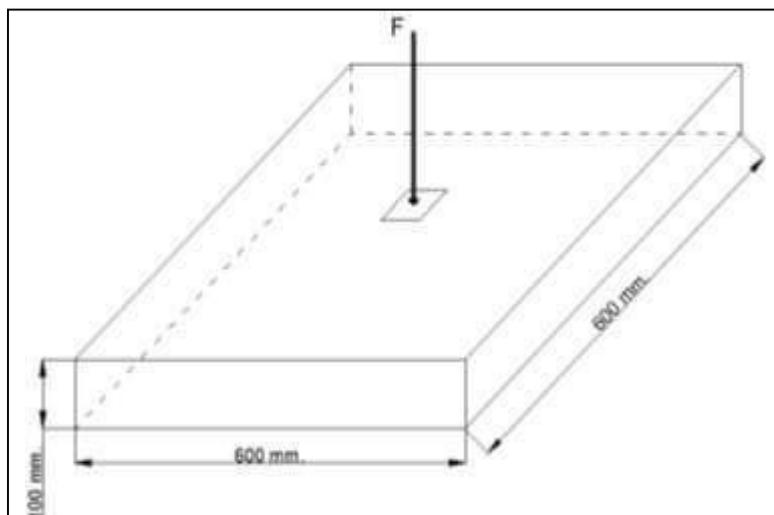


Figura 18. Dimensiones de panel para ensayos de capacidad de absorción de energía
Fuente: elaboración propia

El lanzado se llevará rigurosamente a cabo en las mismas condiciones que se recomienda para la ejecución en la excavación, teniendo en cuenta el equipo y los métodos de lanzado. (Ver Figura 19).

Este tipo de prueba permite comparar diferentes tipos de fibra y dosificaciones relacionadas con el propósito deseado.

El panel de prueba se sostiene por los cuatro lados y se aplica una carga puntual al centro a través de una superficie de contacto de $100 \times 100 \text{ mm}^2$. Se registra la curva de carga-deformación y la prueba continúa hasta alcanzar una deflexión de 25 mm, en el centro del panel.



Figura 19: Proceso de lanzado de concreto en el molde de Panel para Ensayos
Fuente: fotografía tomada por el autor

Una vez que se alcanza la carga máxima y se produce el efecto de redistribución de carga máxima, las fibras empiezan a deformarse y se da el proceso de “*pull out*” (resistencia a la extracción por deslizamiento del concreto endurecido). La forma de la fibra y la resistencia del acero determinan si las fibras se rompen o preferentemente tengan un efecto “*pull out*”.

Las curvas de Carga – Deformación o deflexión indican que durante la prueba se han desarrollado numerosas fracturas. Las fibras de acero puentean las fisuras generando una distribución perfecta de la carga.

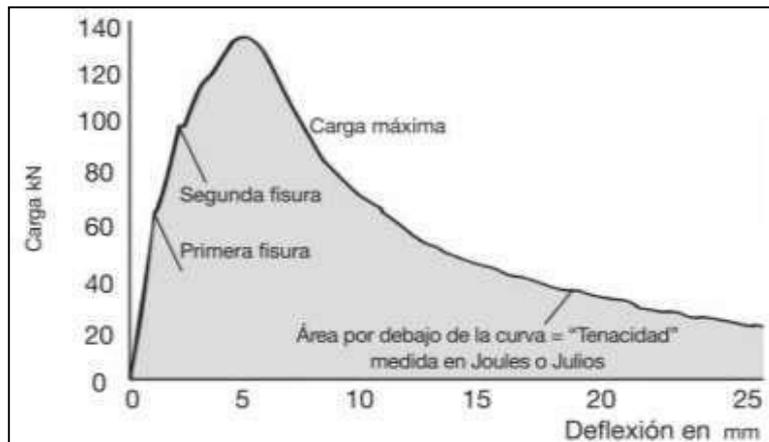


Figura 20. Gráfico de Carga – Deformación
Fuente: Dramix, 2011, pág. 10

Para la matriz de concreto, la cantidad de absorción de energía está influenciada por el tipo de fibra y la dosificación de fibra. Cuanto más elevado sea el contenido de fibra, mejor será el comportamiento del shotcrete reforzado con fibras de acero.

De la curva de Carga - Deformación se dibuja una segunda curva resultado de la absorción de energía (Joules) en función de la deformación o deflexión del panel. Este método intenta simular el comportamiento real del revestimiento.

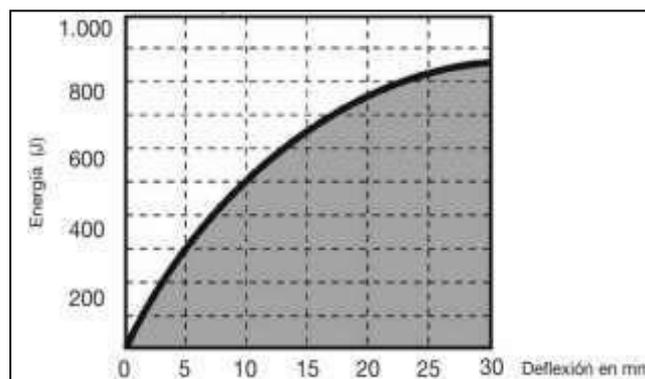


Figura 21. Curva de absorción de energía
Fuente: Dramix, 2011, pág. 10

De acuerdo a resultados de ensayos, las especificaciones de las normas distinguen tres clases de concreto lanzado reforzado con fibra:

- 500 Joules (para terrenos relativamente competentes y baja deformación)
- 700 Joules (para terrenos de regular competencia geomecánica y baja deformación)
- 1000 Joules o más (para terrenos de baja competencia y alta deformación)

Estos valores se han propuesto para el concreto de resistencia a la compresión uniaxial de 300 kg/cm^2 , que normalmente es especificado para soportes temporales, sometidos a baja deformación.

- **Resistencia residual**

De acuerdo a la Norma ASTM C1609/1609-05 se denomina Resistencia Residual a la resistencia postfisura del shotcrete reforzado con fibras de acero. La clasificación de la resistencia residual se basa en la especificación del nivel de resistencia a cierto grado de deformación de acuerdo a la Norma de EN 14488-3. Esto significa que la resistencia residual superará los 3 MPa, en un rango entre 0.5 mm y 1 mm de deflexión. (6)

2.2.3.15 Diseño de la mezcla para el shotcrete

El shotcrete reforzado con fibra requiere el uso de aditivos para poder contrarrestar los efectos negativos que tienen las fibras sobre el bombeo y la proyección. Además, es importante que la adherencia entre el acero y la matriz de concreto sea óptima, lo cual se logra con un agregado de tamaño máximo de 8 mm. Se requiere un contenido mayor de material fino (mín. 400 kg). Es necesario aumentar el asentamiento a un mínimo de 10 – 14 cm. Esto significa que el shotcrete reforzado con fibra requiere una dosis mayor de super plastificante. (3)

Por razones de anclaje, el tamaño de las fibras debe ser al menos el doble del tamaño del agregado máximo. La fibra debe tener un largo no superior a 50 a 60 % del diámetro de la manguera de bombeo. Esto significa que, para la proyección manual, la máxima longitud de fibra normal es 25 mm; para robots con mangueras de 65 mm, es posible hacer la proyección con una longitud de fibra hasta de 45 mm. Las fibras de acero pueden añadirse antes, después o durante la dosificación de los materiales del concreto. Si se produce aglomeración de fibras (bolas), puede eliminarse modificando la secuencia de

dosificación. Es importante recordar que las fibras también se pierden con el rebote y que por lo tanto el contenido y la eficiencia en el concreto proyectado están determinados por este factor y no por la dosis teórica de fibra de acero.

La cantidad de agua en una mezcla afecta en mucho todas las propiedades del concreto endurecido y es el factor que más influye en la durabilidad, a más bajo contenido de agua en una mezcla mayor es la durabilidad del material. El parámetro de análisis es la relación agua/cemento. La relación agua/cemento es 0.41 para los diseños manejados en la mina San Cristóbal.

Los diseños que se presentan en el presente trabajo son los que se muestran en el siguiente cuadro:

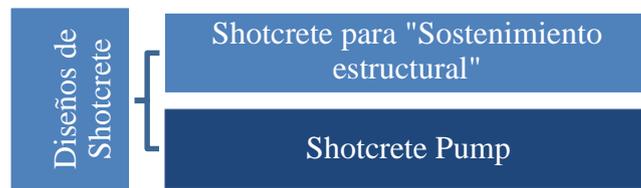


Figura 22. Diseños de sostenimiento (shotcrete vía húmeda)
Fuente: elaboración propia

- **Sostenimiento estructural**

Se denomina sostenimiento estructural al diseño que consiste en la instalación de una primera capa de concreto c/f de espesor de 2", luego la instalación de malla electro soldada ceñida a la superficie de la capa de concreto con pernos Hydrabolt 7' y una segunda capa de concreto s/f sobre malla de 1" de espesor, para cubrirla y conseguir un comportamiento estructural.

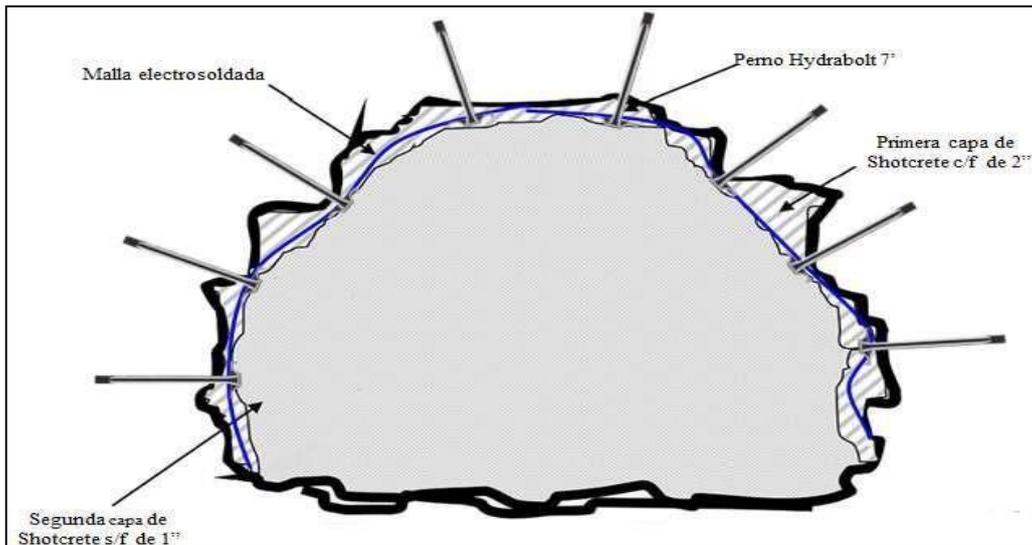


Figura 23. Sostenimiento estructural
Fuente: elaboración propia

El diseño de concreto utilizado para ambas capas de concreto del Sostenimiento Estructural, está dado de acuerdo a la dosificación siguiente:

Tabla 4. Diseño de mezcla de shotcrete (Diseño sostenimiento estructural)

| Diseño de mezcla para 1 m ³ de shotcrete | |
|---|------------|
| Cemento Portland Tipo I | 400kg |
| Agregados | 1675kg |
| Aditivo Estabilizador Delvo | 1.25litros |
| Aditivo Super Plastificante Glenium TC1300 | 3.2litros |
| Aditivo Acelerante MasterRoc SA 160 | 23litros |
| Agua | 165litros |
| Fibra de acero Sika LHO 45/35 NB | 20kg |

Nota. 20 kg para la primera capa de shotcrete, la segunda no lleva fibra Fuente: elaboración propia

- **Shotcrete Pump**

Se denomina Shotcrete Pump a una nueva alternativa de diseño de concreto, en el que se han considerado los principios relacionados a la función y aportes de las fibras de acero de acuerdo a su dosificación. Este diseño contempla una cantidad mayor de fibras de acero (60 kg) en una única capa de shotcrete 3'', posteriormente complementada con pernos Hydrabolt 7' espaciados a 1.20 m. El objetivo de su uso es sustituir el sostenimiento estructural para hacer el ciclo de minado más dinámico y rentable.

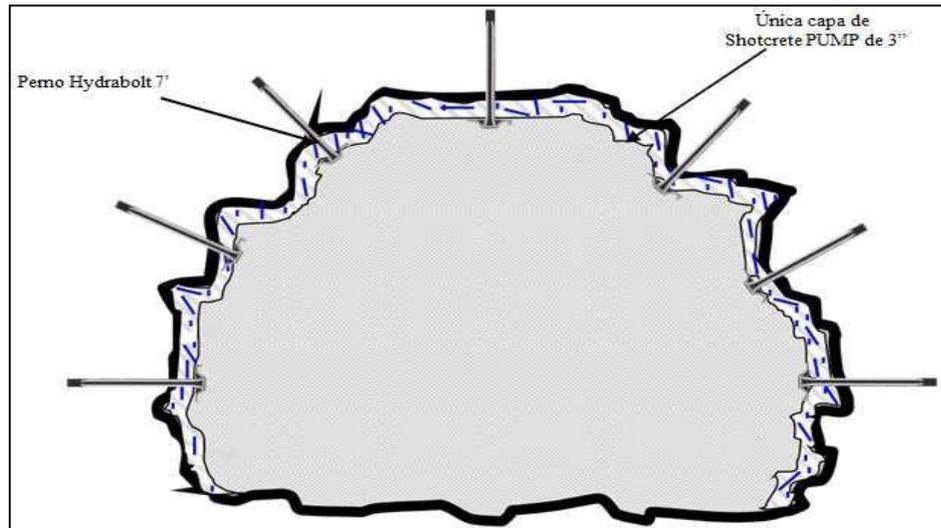


Figura 24. Sostenimiento con Shotcrete Pump
Fuente: elaboración propia

El diseño de Shotcrete Pump, está dado de acuerdo la dosificación siguiente:

Tabla 5. Diseño de mezcla de shotcrete (Shotcrete Pump)

| Diseño de mezcla para 1 m ³ de shotcrete | |
|---|-----------|
| Cemento Portland Tipo I | 400kg |
| Agregados | 1672kg |
| Aditivo Estabilizador Delvo | 0litros |
| Aditivo Super Plastificante Glenium TC1300 | 3.5litros |
| Aditivo Acelerante MasterRoc SA 160 | 23litros |
| Agua | 165litros |
| Fibra de acero Sika LHO 45/35 NB | 60kg |

Fuente: elaboración propia

Estos diseños y dosificaciones se desarrollan mediante los estándares y las especificaciones técnicas de tratamientos del concreto según las normas internacionales EFNARC y ASTM para la aplicación de concreto lanzado. La preparación de la mezcla se realiza en la Planta de Concreto Automatizada Betonmac, luego se abastece a los equipos de transporte que se dirigen a las labores mineras para proyectar el concreto en las paredes a sostener.

2.2.3.16 Planta de concreto San Cristóbal

Se encuentra ubicada en superficie, frente a las oficinas de Huaripamapa, esta planta ha sido fabricada por la firma argentina Betonmac y fue instalada a comienzos del año 2011 con una capacidad de producción de 30 m³/hora, posteriormente fue ampliada a 40 m³/hora, capacidad con la que se cuenta hasta la fecha.

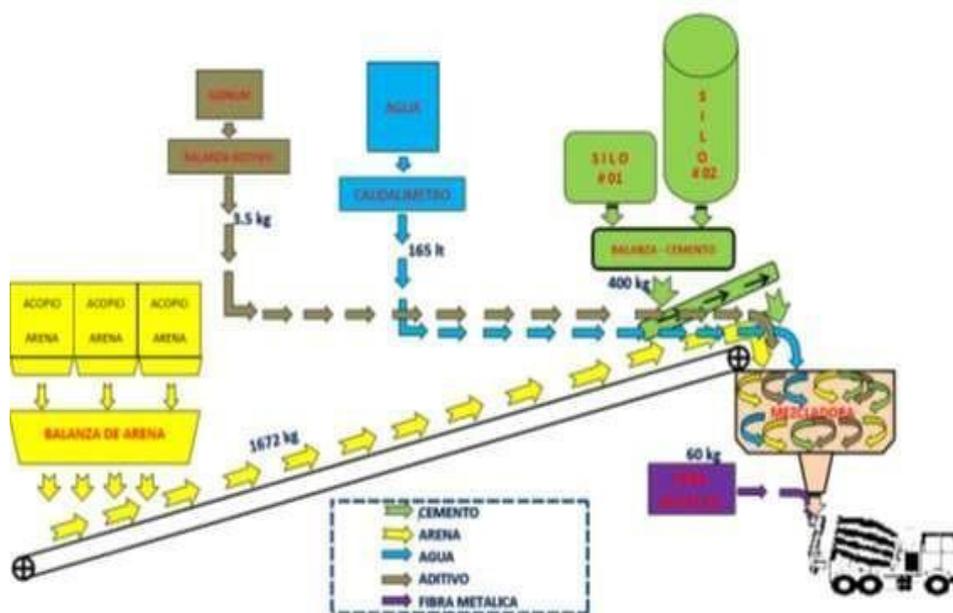


Figura 25. Planta de Concreto - San Cristóbal

Fuente: fotografía tomada por el autor

La planta es alimentada por energía eléctrica y realiza de manera automatizada la dosificación y mezcla de cemento, agregados y aditivos; mediante el empleo del software Betonmac. El agregado grueso o arena es vertido a las tolvas usando un cargador frontal. Para las operaciones de minado en la mina San Cristóbal se requiere mensualmente la elaboración de 4 500 m³ de shotcrete, aproximadamente.

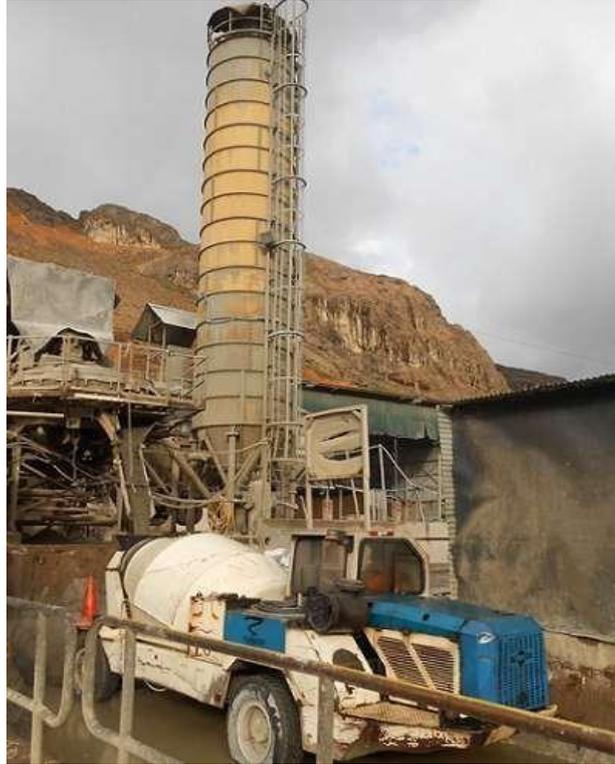
La planta está compuesta por tres centros de acopio o galpones de agregado, a partir de los cuales se abastece con el cargador frontal a la balanza de agregados; otros componentes importantes son las balanzas de aditivo súper plastificante y de cemento, esta última es alimentada a partir de dos silos (uno vertical de 90 Ton y otro horizontal de 40 Ton). El agua es suministrada y regulada a través de un caudalímetro; estos componentes son mezclados para finalmente ser incorporados en la tolva o cuba del equipo de transporte (Huron o Tornado); mientras que la fibra es adicionada de forma manual, directamente a la tolva del equipo, de acuerdo a las dosificaciones adecuadas para cada diseño, en el caso de la dosificación indicada para el shotcrete pump se agregan 60 kg, como se observa en la Figura 26.



*Figura 26. Diagrama de Flujo de Procesos de la Planta de Concreto - San Cristóbal, para la producción de Shotcrete Pump
Fuente: Planta de Concreto Betonmac, marzo 2015*

- **Equipos de transporte y lanzado de shotcrete por vía húmeda**

Para garantizar una proyección uniforme, los últimos desarrollos en maquinarias procuran un transporte sin pulsaciones de la mezcla por vía húmeda y un lanzado de calidad bajo óptimas condiciones. El shotcrete elaborado en la planta de concreto es trasladado a interior mina mediante el uso de equipos mixers de la firma Normet modelos Huron y Tornado de 3 y 4 m³ de capacidad respectivamente. El recorrido promedio que realiza un mixer para llegar a la labor de destino es 8 km. Para lo cual necesita cerca de 70 minutos, ciclo que debe realizar de nuevo para abastecer shotcrete a otra labor. Teniendo en cuenta que diariamente se despachan 160 m³, son 40 los viajes que se realizan, por lo que se cuenta con una flota de 13 vehículos. La operación de transporte es llevada por la Empresa Especializada Robocon Servicios S.A.C.



*Figura 27. Abastecimiento de concreto a los Equipos Mixers en la Planta de San Cristóbal
Fuente: fotografía tomada por el autor*

El lanzamiento de concreto constituye la etapa final del proceso. El concreto trasladado por los mixers es llevado hasta el frente de labor donde se encuentra el robot lanzador de concreto (Equipos Alpha 20) fabricados por la firma chilena Semmco.

La capacidad máxima de lanzamiento de estos equipos es de $20 \text{ m}^3/\text{hora}$, la cual depende del abastecimiento continuo y la presión de aire que proporcione la mina, el cual debe estar en razón de $7 - 15 \text{ m}^3/\text{min}$, con una presión de 7 bares. El alcance efectivo de lanzamiento es de hasta 9 m de distancia. Se cuenta con una flota de 6 equipos de lanzamiento.



*Figura 28. Lanzado de concreto con el Robot Alpha20, perteneciente a E.E. Robocon
Fuente: fotografía tomada por el autor*

Para iniciar el lanzado la zona deberá estar ventilada, iluminada, desatada y lavada., además contar con las herramientas necesarias. Cada vez que se inicia la aplicación del concreto lanzado (shotcrete) se mide el Slump del concreto con el cono de Abrams.



*Figura 29. Medición de Slump en Interior Mina
Fuente: fotografía tomada por el autor*

2.2.3.17 Ensayos de shotcrete

a) Desarrollo de resistencia temprana

Deben tenerse en cuenta las variables que inciden en el desarrollo de la resistencia

temprana, dependiendo del requerimiento del concreto o mortero proyectado, debe hacerse una distinción entre:

- Desarrollo de resistencia muy temprana en el rango de unos pocos minutos hasta una hora (6 min, 10 min, 30 min y 1 hora).
- Desarrollo de resistencia temprana en el rango de una hora hasta máximo un día (2, 3 y 4 horas). Después de eso se necesita el desarrollo de resistencia normal.

El desarrollo de la resistencia está influenciado por los siguientes factores:

- Contenido y tipo de cemento
- Contenido de agua
- Temperaturas del concreto y del ambiente
- Espesor de la capa
- La fuerte influencia del acelerante que tiene el propósito de aumentar significativamente la resistencia desde los primeros minutos hasta las primeras horas.

El desarrollo de resistencia muy temprana y temprana es especificado para soporte de roca. El concreto proyectado se utiliza principalmente para estabilización, pero también con frecuencia para el relleno de cavidades.

En los primeros minutos después de la aplicación del concreto proyectado, la adherencia es decisiva y determina el ratio de aplicación; sin embargo, nunca es posible aplicar más concreto proyectado del que el terreno es capaz de absorber. El desarrollo de resistencia muy temprana define la velocidad de colocación y por lo tanto el desempeño del contratista. (4)

Una resistencia a la comprensión medible se obtiene después de aproximadamente una hora. Este desarrollo de resistencia determina cuándo se puede continuar con la siguiente etapa del ciclo de minado; en el caso de la mina San Cristóbal, se tiene que esperar cuatro horas para continuar con la etapa complementaria de sostenimiento, el empernado.

b) Resistencia final

Junto con las resistencias muy temprana y temprana, hay requerimientos mecánicos para el concreto proyectado endurecido, generalmente a los 28 días. Para un mejor control, se realizan los ensayos de resistencia a las 24 horas, 1 día, 3 días, 7 días y finalmente a los 28 días (Resistencia Final). El nivel de resistencia se basa en los requerimientos de diseño.

La resistencia a la compresión se mide sobre probetas tomadas de la mezcla fresca en la Planta de Concreto o de los paneles obtenidos en interior mina, pero estas representan el concreto proyectado aplicado ya que las características pueden cambiar considerablemente debido al proceso de proyección. Los acelerantes de fraguado empleados y la habilidad del operador de la boquilla o lanzador tienen una enorme influencia en la resistencia final obtenida. El concreto proyectado normalmente está diseñado como una piel delgada con capacidad de soporte de carga y por lo tanto deberá poseer cierta ductilidad. Esta puede lograrse con malla de refuerzo, pero la utilización de fibras para refuerzo de mortero y el concreto proyectado es ideal para la obtención de un material flexible. El concreto proyectado reforzado con fibras de acero es un material de sobresaliente desempeño y capacidad de carga. (4)

Es decir, las propiedades del concreto proyectado se evalúan en muestras extraídas directamente de la estructura o de paneles de prueba tomados paralelamente durante la aplicación bajo condiciones de máxima similitud y luego llevadas para muestreo. Los paneles proyectados con dimensiones definidas se emplean también en la prueba de placa o de capacidad de absorción de energía para determinar la resistencia a la flexotracción y la ductilidad del concreto proyectado reforzado con fibras de acero.

2.2.3.18 Diseño de soporte de rocas

Un gran avance se percibe en los últimos años en relación a las herramientas computacionales, tanto en hardware como en software, de tal manera que los equipos actuales han aumentado sus prestaciones de servicios y accesibilidad. Así como en casi todas las disciplinas se han elaborado nuevos programas o herramientas informáticas, también lo ha sido el cálculo y el diseño de excavaciones, tanto en superficie como

subterránea. Lo anterior es desarrollado en conjunto con modelos físicos y matemáticos, que el trabajo multidisciplinario ha incorporado como una herramienta de amplio dominio en el análisis y en el propio diseño. (Carbajal A., 2008)

2.2.3.19 Cálculos analíticos y numéricos

Las herramientas de cálculo son componentes importantes del diseño de soporte de rocas. Para poder calcular cargas, esfuerzos, deformaciones, capacidad de soporte, etc., es necesario establecer los parámetros de entrada y disponer de fórmulas y programas computarizados a fin de elaborar modelos numéricos. Esto requerirá efectuar, en mayor o menor grado, una serie de tareas como las expuestas a continuación:

- Muestreo y ensayos de parámetros del macizo rocoso
- Mediciones de esfuerzos de rocas (in situ), frecuentemente en taladros largos
- Análisis de efectos a mayor escala de los parámetros medidos en el laboratorio
- Análisis de las labores a excavar y de las secuencias de excavación
- Identificación de los parámetros del material de soporte de rocas, a través de un mapeo geomecánico detallado

Los cálculos analíticos son rápidos y apropiados para obtener aproximaciones preliminares. Especial mención se debe hacer a lo realizado por Hoek, en su libro "*Support of Underground Excavation in Hard Rock*", donde describe y utiliza herramientas computacionales tales como *Dips*, *Undwedge*, *Phases*, *Wedge*, *Examine*, *Slide* y otros, cuyas herramientas fueron desarrolladas en aplicaciones reales.

Frecuentemente se ejecutan análisis numéricos (análisis de elementos finitos) como modelos bidimensionales en computadoras. La obtención de resultados puede tomar días de preparación y de ejecución, incluso para casos relativamente sencillos. Una vez que se hayan llevado a cabo ciertas tareas básicas, se pueden realizar análisis de sensibilidad y nuevos cálculos tomando en cuenta las informaciones actualizadas.

2.2.3.20 Evaluación de métodos de diseño de cálculo y empíricos

Para el diseño de soporte de rocas es posible utilizar métodos empíricos, los cuales consisten en caracterizar y clasificar la roca inmediatamente después de su exposición, seguido por la instalación del soporte de roca recomendado. Este abordaje toma en cuenta la variabilidad real de las condiciones de roca (y no depende de suposiciones con respecto a dicha calidad).

Dentro de la mecánica de rocas se utilizan dos términos para describir las propiedades del macizo rocoso; clasificar y caracterizar.

En la práctica no hay mucha diferencia entre el proceso de clasificación y caracterización del macizo rocoso. La caracterización del macizo rocoso describe a la roca con énfasis en el color, forma, peso, propiedades, etc. La clasificación del macizo rocoso es cuando uno ordena y combina diferentes características de un macizo rocoso en diferentes grupos o clases, siguiendo un sistema o principio específico. Se trata de los términos descriptivos que constituyen la principal diferencia entre la caracterización y clasificación. (7)

Los sistemas de clasificación y/o caracterización del macizo rocoso pueden ser de gran utilidad en la etapa inicial de un proyecto cuando poca o ninguna información detallada está disponible. Sin embargo, esto supone el correcto uso del sistema seleccionado. Los sistemas de clasificación toman en consideración factores, que se cree que afectarán a la estabilidad. Los parámetros son por lo tanto frecuentemente relacionados con las discontinuidades tales como el número de familias de juntas, distancia de juntas, la rugosidad, la alteración y el relleno de las juntas, las condiciones de agua subterránea y algunas veces también la resistencia de la roca intacta y la magnitud del esfuerzo. La clasificación del macizo rocoso es un método indirecto y no mide las propiedades mecánicas como módulo de deformación. El resultado es una estimación de la estabilidad cuantificado en términos subjetivos tales como malo, regular, bueno y muy bueno. El valor obtenido por algunos de los sistemas de clasificación se utiliza para estimar o calcular la resistencia del macizo rocoso utilizando un criterio de falla. También se puede utilizar para estimar el soporte de roca necesario. Según lo mencionado por Riedmüller y sus colaboradores, un solo número no puede describir la anisotropía del

macizo rocoso y el comportamiento dependiente del tiempo. (7) (13)

Los dos sistemas de clasificación del macizo rocoso más usados hoy en día son el RMR de Bieniawski y el índice Q-system de Barton. Estos sistemas de clasificación incluyen el RQD (*rock quality designation*, designación de la calidad de roca) que fue presentado por D.U. Deere en 1964 como un índice de la evaluación cuantitativa de la calidad de la roca. Además del RMR, RQD y el Q-system, existen muchos otros tales como el RSR, URCS, GSI, etc. (7)

Puesto que los diferentes sistemas de clasificación y/o caracterización se centran en diferentes parámetros, usualmente se recomienda utilizar por lo menos dos métodos para la clasificación del macizo rocoso (8).

Los parámetros más utilizados son la resistencia de la roca intacta, condiciones de las discontinuidades y la condición del agua subterránea. Al analizar un macizo rocoso, tanto a pequeña como a gran escala, debe de tenerse en cuenta las características de las juntas. Al utilizar los sistemas de clasificación y/o caracterización de macizos rocosos (GSI, RQD, RMR, Q-system), se sugiere a menudo que solo las discontinuidades naturales, que son de origen geológico o geomorfológico, se deben de tomar en cuenta. Sin embargo, es a menudo difícil, si no imposible, para juzgar si una discontinuidad es natural o artificial, después de actividades tales como perforación, voladura y excavación. (7)

- **Sistema de Clasificación Geomecánica GSI**

La clasificación GSI *Geological Strength Index* por sus siglas en inglés o Índice de Resistencia Geológica se utiliza para definir la calidad del macizo rocoso de las excavaciones; así mismo, para determinar el tipo de sostenimiento que requiere para asegurar la estabilidad de la zona de trabajo, teniendo en cuenta la condición estructural y superficial de la misma, en un sector delimitado.

La condición estructural del macizo rocoso considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cuatro categorías consideradas para la mina San Cristóbal, se definen así:

- Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada o brechada (T)

La condición superficial del macizo rocoso incluye la resistencia de la roca intacta y se determina utilizando un martillo o picota. Además, considera las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cuatro categorías consideradas se definen así:

- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

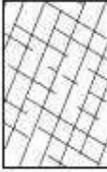
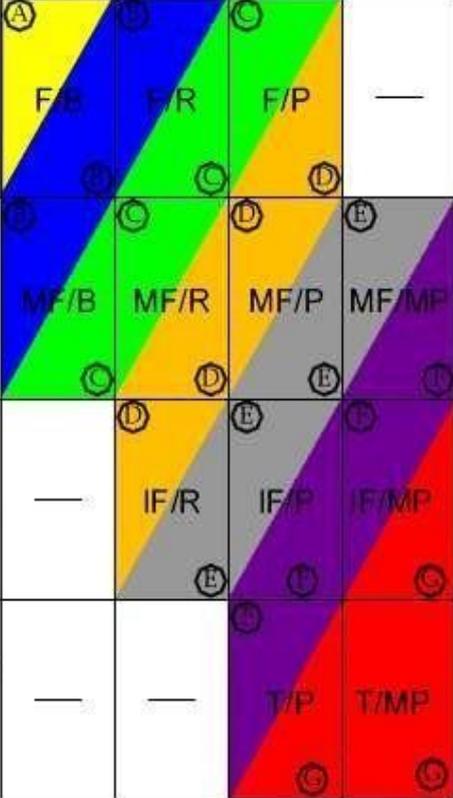
|  RECOMENDACION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) MINA SAN CRISTOBAL | | | | | |
|--|--|--|---|--|---|
| PARA LABORES TEMPORALES (< 01año) DE 3.5x3.5m. A 10.0 x 5.2m.  Sin Sostenimiento / Perno Split Sets puntuales  Pernos Split Sets sistemático  Malla + Pernos Split Set  Shotcrete 2" c/f + (Pernos Split Set o Pernos Hydrabolt)  Shotcrete 3"+ P. Hydrabolt  Sh. de 2" + malla + P. Hyd. + sh. / Sh.2"(shotcrete pump)+ Hyd.  Cuadros de madera | | CONDICION SUPERFICIAL | | | |
| PARA LABORES PERMANENTES (> 01año) DE 3.5x3.5m. A 4.5x4.5m.  Sin Sostenimiento / Pernos Hydrabolt puntuales  Pernos Hydrabolt sistemático  Malla + Pernos Hydrabolt  Shotcrete 2" c/f + Pernos Hydrabolt  Shotcrete 3"+ P. Hydrabolt  Sh. de 2" + malla + P. Hyd. + sh. / Sh.2"(shotcrete pump)+ Hyd.  Cimbras | | BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente meteorizadas. La muestra de roca se fractura con muchos golpes de picota. (Rc 100-250MPa). | REGULAR (R) Superficies lisas moderadamente alterada no se puede rayar con la navaja. La muestra de roca se fractura con uno o dos golpes firmes de picota. (Rc 25-100MPa). | POBRE (P) Superficies pulidas, muy meteorizadas. La muestra de roca se indenta superficialmente con la punta de la picota o barretilla y puede ser rayada con una navaja con dificultad. (Rc 5-25MPa). | MUY POBRE (MP) Superficies pulidas con capas de arcilla. La muestra de roca se desmenuza con un golpe de la picota o barretilla, o se indenta profundamente con la punta de la picota o barretilla. (Rc <5MPa). |
| ESTRUCTURA | | | | | |
|  FRACTURADA (F) Macizo Rocoso con fracturas cerradas, relleno de material duro, forma bloques cúbicos formados por 3 familias de fracturas. (6 a 11 fracturas por metro) (RQD 70% - 90%) |  | | | | |
|  MUY FRACTURADA (MF) Macizo Rocoso con fracturas ligeramente abiertas y/o relleno semiduro (oxidos, material granular). Más de 4 familias de fracturas. (12 a 20 fracturas por metro) (RQD 40% - 69%) | | | | | |
|  INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) Plegada y/o fallada con bloques angulosos con poco contenido de finos formados por muchas intersecciones de sets (> 21 fracturas por metro) (RQD < 40%) | | | | | |
|  TRITURADA O BRECHADA (T) Macizo Rocoso extremadamente fracturado con bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos. (RQD No tiene) | | | | | |

Figura 30. Tabla GSI de la mina Carahuacra
 Fuente: Departamento de Geomecánica Mina Carahuacra

- **Sistema de Clasificación Geomecánica RMR**

Bieniawski, en 1976, publicó su clasificación de masas rocosas llamada Clasificación Geomecánica RMR o *Rock Mass Rating*. Con el pasar de los años, este sistema ha sido refinado sucesivamente cambiando los índices asignados a cada uno de los parámetros de clasificación. El sistema que se presenta data de 1989 y es el más reciente. Bieniawski utilizó 6 parámetros para clasificar el macizo rocoso: (12)

- 1) Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta
- 2) *Rock Quality Designation* (RQD)
- 3) Espaciamiento de discontinuidades
- 4) Condición de discontinuidades
- 5) Condición de agua subterránea
- 6) Orientación de discontinuidades

Para aplicar este sistema, el macizo rocoso debe dividirse en áreas llamadas dominios estructurales; cada uno de estos debe clasificarse separadamente. La periferia de los dominios estructurales generalmente coincide con una estructura mayor o cambio del tipo de roca. En algunos casos, cambios significantes en el espaciamiento o características de las discontinuidades, dentro de un mismo tipo de roca, pueden hacer necesario dividir la masa rocosa en varios dominios estructurales pequeños. El sistema RMR se presenta en la Tabla 6, los cuales proporcionan los índices para cada uno de los seis parámetros listados arriba. Estos índices se suman y dan un valor final RMR.

La correlación de la calidad de roca RMR, las dimensiones de spam y el tiempo de autosoporte se muestran en la Figura 31, ábaco desarrollado en función de datos históricos, que nos permite tener una referencia del tiempo máximo de exposición de una labor sin sostenimiento (autosoporte), de acuerdo a la calidad de macizo rocoso.

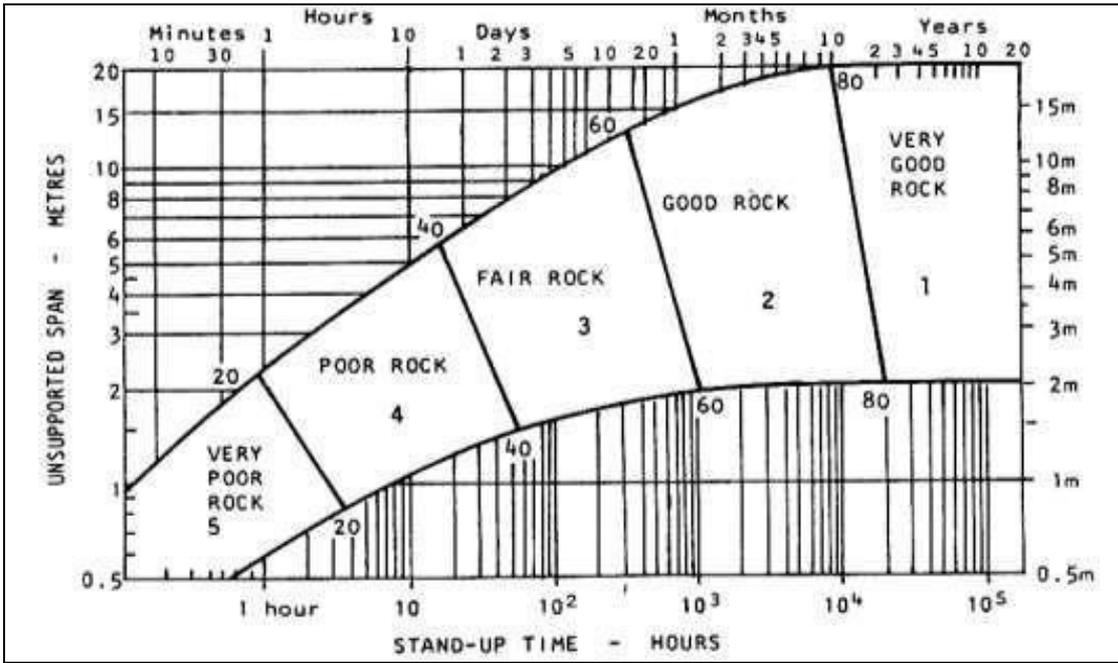


Figura 31. Relación entre el tiempo de autoaporte de una excavación subterránea con la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski
 Fuente: Hoek, E. 1985, pág. 54

2.2.4 Indicadores financieros

2.2.4.1 Valor Actual Neto VAN

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto (en inglés *Net Present Value*), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja (en inglés *cash-flow*) futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo cero (0) de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado del producto entre el coste medio ponderado de capital y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado. (14)

En las transacciones internacionales es necesario aplicar una tasa de inflación particular, tanto para las entradas (cobros), como para las de salidas de flujos (pagos).

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

Ecuación 02

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde,

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión

n es el número de períodos considerado k , d o TIR es el tipo de interés

Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad.

Cuando el VAN toma un valor igual a cero (0), k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

2.2.4.2 Tasa Interna de Retorno TIR

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples, es la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. (14).

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

Ecuación 03

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Donde,

F_t es el Flujo de CAJA en el periodo.

n es el número de periodos.

I es el valor de la inversión inicial.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).

Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

r representa el costo de oportunidad.

La estabilización del macizo rocoso en las operaciones mineras subterráneas es una labor de gran importancia, pero a la vez de alto costo, que requiere gran parte de tiempo en el ciclo de minado, pudiendo interferir con los avances y producción. En la minería, el desprendimiento y caída de roca constituye el mayor causante de accidentes incapacitantes y mortales de acuerdo a las estadísticas. Por lo tanto, se requiere diseños de sostenimiento rápido, seguro y de bajo costo. El shotcrete en sus diversos diseños cumple estos requerimientos, pero poseen limitaciones que deben analizarse para mejorarlos.

El presente proyecto de investigación pretende contribuir con una alternativa de sostenimiento, especialmente para terrenos de baja calidad geomecánica (roca tipo IV A - IV B) a costos competitivos y condiciones técnicas ventajosas, que brinde condiciones seguras de trabajo para los colaboradores y equipos inmersos en las operaciones. Por consiguiente, los resultados que se puedan conseguir con el desarrollo del mismo pueden generar un ciclo de minado más dinámico (reducción del tiempo de instalación de sostenimiento), eficiente (cumplimiento de los programas avances y producción en menor tiempo), seguro (factor de seguridad que garantice la estabilidad de la labor de acuerdo al tiempo de exposición) y económico (ahorros en materiales, insumos y servicios de sostenimiento).

2.3 Nomenclatura

RMR: *Rock Mass Rating*.

EFNARC: *European Federation of National Associations Representing for Concrete*

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

ACI: *American Concrete Institute*

L/D: Relación de Aspecto de la Fibras Longitud/Diámetro. LHO: *Loose - Hooked End-
No Secondary Anchory*

NB: *Normal Low Carbon – Bright Steel*.

MPa: Mega Pascales.

Ø: Diámetro

In: Pulgadas.

m s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, está dirigida a determinar, a través del conocimiento científico, los medios (metodologías, protocolos y/o tecnologías) por los cuales se puede cubrir una necesidad reconocida y específica. (16)

3.1.2 Nivel de investigación

El diseño de investigación es descriptivo – explicativo, este describe los datos y características de la población o fenómeno de estudio, las investigaciones explicativas buscan especificar los fenómenos que son sometidos a una experimentación debido al contacto y observación directa.

3.1.3 Método de investigación

Se emplea como método general el método deductivo; y analítico.

Método deductivo: la aplicación del shotcrete pump reforzado con fibras de acero; se analizó mediante datos de laboratorio y los resultados óptimos para la etapa del sostenimiento.

El método analítico se utilizó para determinar la cantidad de fibra que se requiere para controlar el macizo rocoso.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño general

- Experimental

3.2.2 Diseño específico

- Pre-experimental

3.3 Población y muestra

3.3.1 Universo

El universo de investigación está conformado por el conjunto de labores mineras subterráneas de avance y producción emplazadas en macizo rocoso cuyos valores de RMR oscilan entre 25 y 35, clasificados como roca tipo IV A - IV B; donde se instalarán los diseños de concreto Shotcrete Pump y sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete).

3.3.2 Muestra

La muestra de investigación está delimitada por las labores designadas como piloto (Tajos de explotación Breasting), donde se hará seguimiento del performance de los diseños de concreto Shotcrete Pump y sostenimiento estructural (Shotcrete - Malla – Shotcrete).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Método y procedimiento

3.4.1.1 Método

El procedimiento a realizar en la investigación se ilustra mediante un gráfico en la Figura 32.

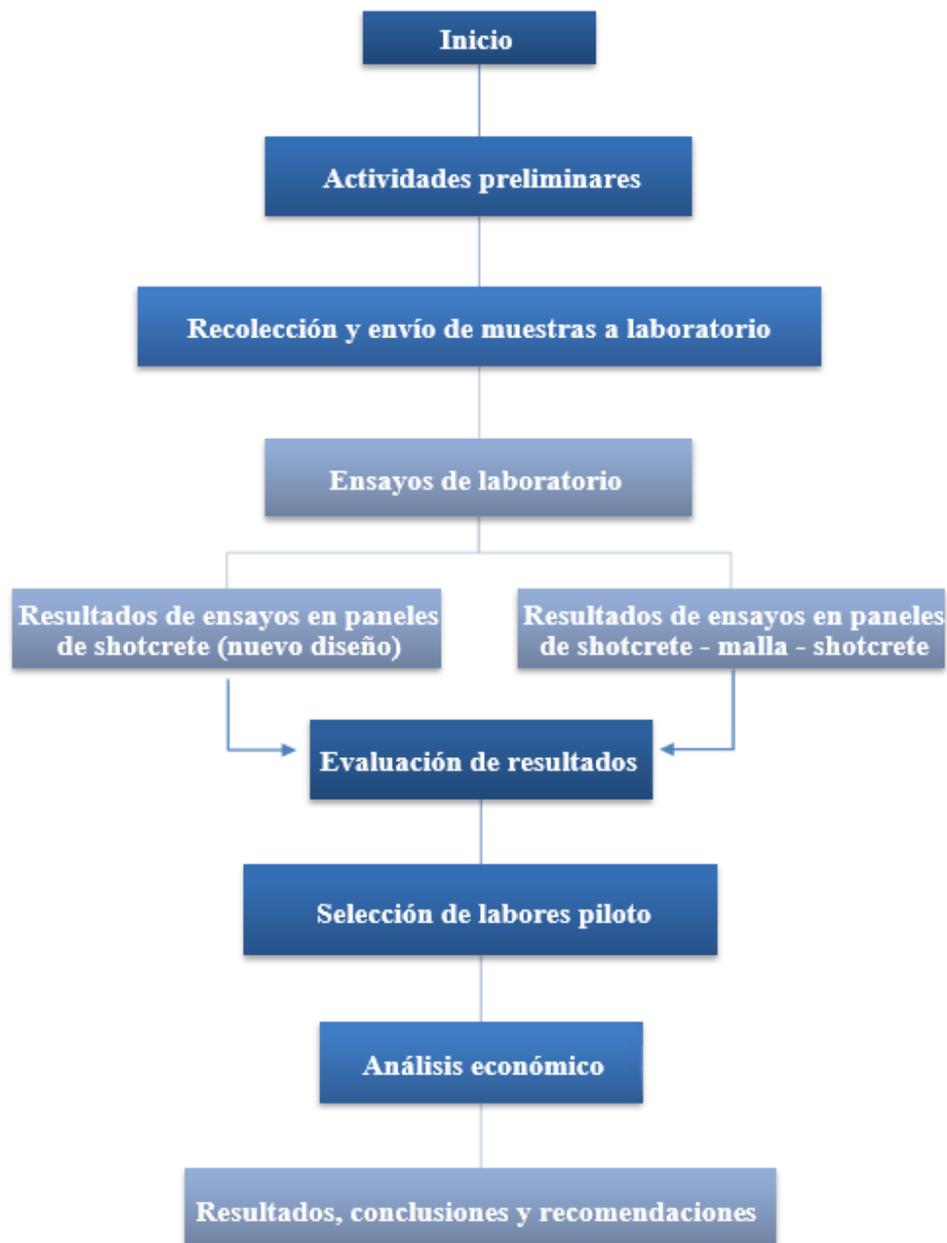


Figura 32. Procedimiento de investigación
Fuente: elaboración propia

3.5 Procesamiento de experiencias

3.5.1 Técnica de recojo de datos

A. Actividades preliminares

Primero se revisaron las dosificaciones actuales de los diseños de shotcrete de la Planta de Concreto Betonmac. La conclusión fue que se tenía un único diseño de concreto con las dosificaciones de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7. Diseño de Shotcrete Vía Húmeda – Planta de Concreto Betonmac

Código: IS300H

Fecha: 14-nov-17

| Insumo | Peso en Seco (Kg) | Volumen Absoluto (m3) |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Cemento Portland Tipo I | 400.00 | 0.1270 |
| Agregados | 1675.00 | 0.6590 |
| Agua | 165.00 | 0.1650 |
| Aditivo Glenium TC1300 | 35.00 | 0.0032 |
| Fibra de acero SikaLHO 45/35 NB | 20.00 | 0.0060 |
| Aire (%) | 1.00 | 0.0300 |
| Aditivo Acelerante MasterRoc SA160 | 30.00 | 0.0200 |
| Total | 2264.00 | 1.0110 |

Nota: estos datos solo se aplicaron con el agregado provisto por las canteras de Yauli

Fuente: Planta de Concreto Betonmac, noviembre 2017

Así mismo, se revisó el Programa Mensual de Sostenimiento, correspondiente a noviembre de 2017, como se observa en la Tabla 8, en el que se identificó que el sostenimiento estructural era común en Tajos Breasting, este tipo de labor se caracteriza por presentar macizo rocoso de baja calidad geomecánica, con valores de RMR que oscilan entre 25 y 35 (Roca IVA – IVB).

Tabla 8. Programa de sostenimiento para Tajos Breasting

| NIVEL | LABOR | RECOMENDACIÓN | ETAPA | RMR |
|-------|------------------|-----------------------|-----------|-----|
| 1070 | TJ_135E x AC_133 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 35 |
| 1180 | SN_572W x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 32 |
| 1180 | SN_572E x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 33 |
| 1070 | TJ_135E x AC_133 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 32 |
| 1070 | TJ_135E x AC_133 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 34 |
| 1180 | SN_572W x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 33 |
| 1180 | SN_572E x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 31 |
| 1070 | TJ_135E x AC_133 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 32 |
| 1180 | SN_572W x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 32 |
| 1180 | SN_572E x AC_572 | Sh2"+Malla c/Hyd+Sh1" | BREASTING | 32 |

Fuente: Programa de Sostenimiento Mensual del Departamento de Geomecánica - CARAHUACRA, correspondiente al mes noviembre, 2017

Analizando estos dos factores; es decir, contar con un único diseño de shotcrete y tener como común denominador el uso de sostenimiento estructural en Tajos Breasting, cuya clasificación geomecánica RMR oscila entre 25 y 35; surge la idea de implementar una nueva alternativa de sostenimiento. Con la competencia y experiencia del personal del Departamento de Geomecánica y de la Planta de Concreto Betonmac, se plantearon algunas alternativas teóricas sobre la variación en la dosificación de la fibras de acero, por lo que si decidimos tomar muestras (paneles) de shotcrete considerando diferentes dosificaciones de fibras de acero y malla electro soldada para enviar a un Laboratorio de Estructuras Antisísmicas Externo, para poder determinar los valores de Tenacidad y Absorción de Energía, y sustentar el reemplazo de la malla electro soldada por una mayor dosificación de fibras de acero.

También se realizaron las coordinaciones para la elección del Laboratorio donde se ejecutarán los Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía. Se consideró realizar las pruebas de absorción de energía en el Laboratorio de la Planta de Concreto de la U.E.A. Chungar.

3.5.2 Secuencia de toma de datos

A. Recolección de muestras (paneles) y envío a Laboratorio de Concreto

Después de seleccionar el Laboratorio donde se realizarán los ensayos en mención; se programó la obtención de los paneles, para lo cual se planificó la preparación de los moldes y el posterior llenado con shotcrete.

El shotcrete fue producido en la Planta de concreto Betonmac de la mina San Cristóbal y transportado por Equipos Mixer (Tornados) de la Empresa Robocon S.A. alrededor de 30 minutos a interior mina, donde finalmente se obtuvieron los paneles durante el proceso de lanzado, bajo condiciones normales de temperatura, ventilación, presión de aire, etc.

Los paneles se obtuvieron en diferentes fechas y con diferentes tipos y dosificaciones de fibra (40, 60, y 20 kg con malla electro soldada), como se observa en la Tabla 9. Además, para todos los casos, se obtuvo una relación de agua cemento de 0.41.

Se tomaron en total ocho paneles en moldes de madera cuadrados de dimensiones nominales de 600 mm de ancho x 600 mm de largo x 100 mm de espesor, de acuerdo a la Norma EFNARC, seis con diferentes dosificaciones de fibras (dos de cada diseño) y dos con el diseño de sostenimiento estructural (shotcrete - malla – shotcrete).

Tabla 9. Fechas de obtención y relación de muestras obtenidas en mina

| Fecha | Código | Número | Tipo de Fibra | Cantidad de Fibra |
|-----------|-----------|--------|----------------------|-------------------------------|
| 15/2/2018 | Muestra 1 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 40 kg |
| 15/2/2018 | Muestra 2 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 40 kg |
| 15/2/2018 | Muestra 3 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 60 kg |
| 15/2/2018 | Muestra 4 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 60 kg |
| 19/2/2018 | Muestra 5 | # 1 | Fibra Metálica 65/35 | 40 kg |
| 19/2/2018 | Muestra 6 | # 2 | Fibra Metálica 65/35 | 40 kg |
| 20/2/2018 | Muestra 7 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 20 kg + Malla Electro soldada |
| 20/2/2018 | Muestra 8 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 20 kg + Malla Electro soldada |

Fuente: elaboración propia

Los ocho paneles fueron codificados como Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3, Muestra 4, Muestra 5, Muestra 6, Muestra 7 y Muestra 8



Figura 33. Proceso de preparación de Paneles para la obtención de la Muestra de Sostenimiento Estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete)
Fuente: fotografía tomada por el autor



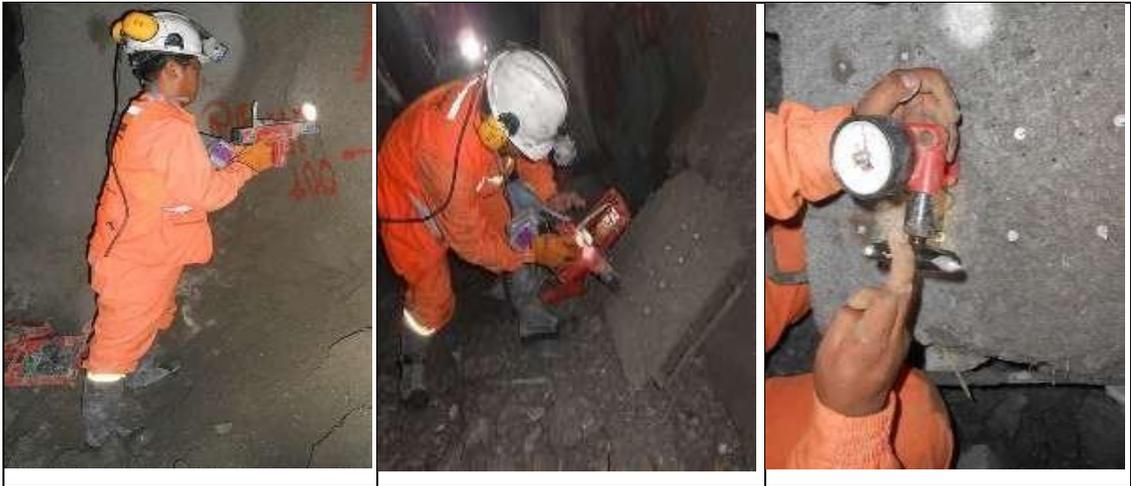
Figura 34. Paneles de Sostenimiento estructural obtenidos en interior mina
Fuente: fotografía tomada por el autor

La secuencia de trabajo de obtención de paneles, también ameritó realizar controles de shotcrete adicionales como mediciones de Slump tanto en interior mina como en el Laboratorio de Concreto Betonmac.



Figuras 35 y 36. Proceso y Medición de Slump de shotcrete en la Planta de Concreto, antes que sea transportado a interior mina
Fuente: fotografías tomadas por el autor

Así mismo, se realizaron ensayos de Resistencia a la Compresión a edades muy tempranas, tempranas y a los 28 días. Para los primeros, se tomaron los datos utilizando los equipos Penetrómetro, Pistola Hilti y Pull Off Test del shotcrete proyectado en la labor y en los paneles, en la propia labor, con las frecuencias especificadas para este tipo de pruebas (6 min, 10 min, 30 min, 1 hora, 2 horas, 3 horas y 4 horas).



Figuras 37, 38 y 39. Ensayos de Resistencia a la Compresión a edades tempranas

Además, se tomaron muestras de concreto fresco (probetas) y se obtuvieron cores de los paneles obtenidos en mina para realizar los ensayos de Resistencia a la Compresión a edades posteriores hasta los 28 días en el equipo para este tipo de prueba en el Laboratorio de la Planta de Concreto, las pruebas se realizaron en los periodos de tiempo normados (a 1 día, 3 días, 7 días y finalmente 28 días).



Figuras 40, 41 y 42. Obtención, preparación y ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días
Fuente: fotografías tomadas por el autor

También se realizaron las Pruebas de Rebote para registrar el volumen de shotcrete desperdiciado al momento de ser proyectado sobre la superficie de macizo rocoso de la

labor, con el objetivo de comparar dichos volúmenes en ambos casos, teniendo en cuenta que, para el caso del sostenimiento estructural, el shotcrete es lanzado en dos etapas (la primera directamente sobre la superficie del macizo rocoso y la segunda sobre la malla fijada con pernos Hydrabolt).



Figuras 43, 44 y 45. Preparación y ejecución de la prueba de rebote

Finalmente, después que los paneles fueron llenados en mina, bajo las mismas condiciones a la que es sometido el shotcrete proyectado a diario en las labores mineras, fueron retirados después de haber transcurrido 4 días, para ser almacenados en agua o curados en las instalaciones de la Planta de Concreto Betonmac de la mina San Cristóbal hasta ser enviados al Laboratorio de la Planta de Concreto de la mina Animón, U.E.A. Chungar, el cual fue definido para las pruebas.

3.6 Técnicas de tratamiento de datos

3.6.1 Tratamiento de datos

A. Ensayos de laboratorio

Después de haber transcurrido aproximadamente un mes desde la obtención de los paneles, estos fueron ensayados en el Equipo de Estructuras Antisísmicas del Laboratorio de la Planta de Concreto de la mina Animón (Ver Figuras 46 y 47), el tipo de ensayo que se realizó fue el Ensayo de Capacidad de Absorción de Energía, que permite evaluar la capacidad de tenacidad de las fibras y/o malla electro soldada. De este tipo de ensayos, destaca por su mayor difusión, el ensayo de la Norma Europea EFNARC (*European Federation of National Associations of Specialist Contractors and Material Suppliers for*

the Construction Industry). Estos ensayos se centran en el estudio de la tenacidad y la flexotracción de las fibras y mallas, es decir, la capacidad de absorción de energía después de la fisuración del concreto.

Los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo al procedimiento estándar especificado en la Norma Europea EN 14488-5. Los paneles fueron ensayados a diferentes edades, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Fechas de ensayos de capacidad de absorción de energía para los paneles de shotcrete

| Fecha | Código | Número | Edad | Condición |
|-----------|-----------|--------|---------|------------------------|
| 15/3/2018 | Muestra 1 | # 1 | 30 días | Condiciones estándares |
| 15/3/2018 | Muestra 2 | # 2 | 30 días | Condiciones estándares |
| 15/3/2018 | Muestra 3 | # 1 | 30 días | Condiciones estándares |
| 15/3/2018 | Muestra 4 | # 2 | 30 días | Condiciones estándares |
| 16/3/2018 | Muestra 5 | # 1 | 27 días | Condiciones estándares |
| 16/3/2018 | Muestra 6 | # 2 | 27 días | Condiciones estándares |
| 16/3/2018 | Muestra 7 | # 1 | 26 días | Condiciones estándares |
| 16/3/2018 | Muestra 8 | # 2 | 26 días | Condiciones estándares |

Fuente: elaboración propia

El equipo tiene una capacidad de carga de 10 000 psi o 100 kN. El ratio de deformación durante los ensayos es controlado por una señal analógica (indicador de carga). El ensayo puede iniciar con el indicador de carga estabilizado en 1 kN.

Cada panel que fue almacenado en agua en el laboratorio hasta un día antes del ensayo, fue sacado del depósito donde fue curado y posteriormente trasladado al equipo, para ser ensayado según el siguiente procedimiento:

1. Se marcó el punto medio en la cara lisa del panel.
2. Se colocó el panel en el equipo con la cara lisa centrado contra la base metálica.
3. Se orientó la carga central apuntando al centro del panel (donde fue marcado).
4. Se localizó la parte superior del panel en el centro (sobre una hoja delgada de cartón).

De acuerdo con la Norma Europea EN 14488-5 los paneles cuadrados deben colocarse en la base metálica (base cuadrangular), sobre una plataforma de otro material (cartón). El panel fue colocado entre la carga central orientada y la base metálica (celda

para especímenes).

5. Se preparó la celda de carga para el ensayo, bajando el indicador de carga por debajo de 1 kN.
6. Cuando se inició el ensayo, se evidenció la carga aplicada en el indicador analógico, de acuerdo a la Norma EN 14488-5 el ratio de deflexión central debe ser de 1 mm/min promedio para paneles cuadrados, pero basados en otros resultados de experiencias anteriores, puede ser menor.
7. El ensayo terminó automáticamente cuando la deflexión central fue de 30 mm.
8. Luego el panel fue retirado del equipo para contar y tomar las medidas a lo largo de las roturas generadas y sobre las superficies de rotura.
9. Se calculó la capacidad de absorción de energía de acuerdo a los estándares indicados en la norma, es decir como el área bajo la curva de carga –deformación desde cero hasta 25 mm en el eje de las abscisas. Los resultados fueron corregidos para los espesores cuando hubo una variación a partir de los 100 mm.
10. Adicionalmente, se calculó la capacidad de absorción de energía después de corregir las curvas de carga - deformación para comportamientos no lineales durante la fase temprana de carga.



Figuras 46 y 47. Equipo para ensayos de capacidad de absorción de energía (antes y después de realizar el ensayo)

Fuente: Laboratorio de Planta de Concreto Animón, U.E.A. Chungar



Figuras 48 y 49. Panel cuadrado antes y después de ser ensayado

Fuente: Laboratorio de Planta de Concreto Animón, U.E.A. Chungar

B. Ensayo de absorción de energía para muestra de Shotcrete Pump

Se ensayaron seis paneles con distintas dosificaciones de fibra de acero (40 kg y 60 kg) y con diferentes características (relación de aspecto 45/35 y 65/35), de la marca Sika Fiber, la cual se utiliza en el diseño de shotcrete en la Unidad Minera San Cristóbal. Se ensayaron las dos muestras de cada dosificación, como se ve en la Tabla 11.

Tabla 11. Fechas de obtención y ensayo de muestras de “Shotcrete Pump”

| Fecha de obtención | Fecha de ensayo | Código | Número | Tipo de fibra | Cantidad de fibra |
|--------------------|-----------------|-----------|--------|----------------------|-------------------|
| 15/2/2018 | 15/3/2018 | Muestra 1 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 40 kg |
| 15/2/2018 | 15/3/2018 | Muestra 2 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 40 kg |
| 15/2/2018 | 15/3/2018 | Muestra 3 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 60 kg |
| 15/2/2018 | 15/3/2018 | Muestra 4 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 60 kg |
| 19/2/2018 | 16/3/2018 | Muestra 5 | # 1 | Fibra Metálica 65/35 | 40 kg |
| 19/2/2018 | 16/3/2018 | Muestra 6 | # 2 | Fibra Metálica 65/35 | 40 kg |

Fuente: elaboración propia

C. Ensayo de absorción de energía para muestra de sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete)

Se ensayaron dos paneles con la misma dosificación de fibra de acero, 20 kg de Sika Fiber LHO 45/35 (dosificación actual) y con la malla electro soldada de 8 mm de diámetro de acero colocada en la zona intermediada del molde (Shotcrete – Malla – Shotcrete), como se aprecia en la Tabla 12.

Tabla 12. Fechas de obtención y ensayo de muestras de Shotcrete-Malla-Shotcrete

| Fecha de Obtención | Fecha de Ensayo | Código | Número | Tipo de Fibra | Cantidad de Fibra |
|--------------------|-----------------|-----------|--------|----------------------|-------------------|
| 20/2/2018 | 16/3/2018 | Muestra 7 | # 1 | Fibra Metálica 45/35 | 20 kg + Malla |
| 16/2/2018 | 16/3/2018 | Muestra 8 | # 2 | Fibra Metálica 45/35 | 20 kg + Malla |

Fuente: elaboración propia

D. Evaluación de resultados

Una vez llevados a cabo los ensayos, siguiendo el procedimiento establecido en las normas internacionales de concreto EFNARC ya descrito, se obtuvieron los resultados

mostrados en la Tabla 13, los cuales fueron emitidos por el personal responsable de Laboratorio de Concreto la Unidad Minera Animón.

Tabla 13. Resultados de ensayos de capacidad de absorción de energía

| Fecha | Código | Número | Energía Absorbida |
|------------------|------------------|------------|-----------------------|
| 15/3/2018 | Muestra 1 | # 1 | 1578.48 Joules |
| 15/3/2018 | Muestra 2 | # 2 | 1379.90 Joules |
| 15/3/2018 | Muestra 3 | # 1 | 1670.91 Joules |
| 15/3/2018 | Muestra 4 | # 2 | 1643.21 Joules |
| 16/3/2018 | Muestra 5 | # 1 | 1032.66 Joules |
| 16/3/2018 | Muestra 6 | # 2 | 1602.07 Joules |
| 16/3/2018 | Muestra 7 | # 1 | 1261.69 Joules |
| 16/3/2018 | Muestra 8 | # 2 | 1432.01 Joules |

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran valores de absorción de energía por encima de 1000 Joules en todos los casos; sin embargo, es evidente que los valores más altos se obtuvieron en las Muestras 3 y 4, es decir, para la dosificación de fibra 45/35 con 60 kg. La dosificación de estas muestras es a la que en el presente trabajo de investigación denominamos “Shotcrete Pump”.

En la Tabla 14 se presenta el resumen con los resultados promedio para cada dosificación, siendo 1657.06 Joules la energía absorbida promedio por la dosificación de Shotcrete Pump.

Tabla 14. Resultados promedio de Energía Absorbida por cada tipo de dosificación

| Tipo de fibra | Cantidad de fibra | Energía absorbida |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Fibra Metálica 45/35 | 40 kg | 1479.19 Joules |
| Fibra Metálica 45/35 | 60 kg | 1657.06 Joules |
| Fibra Metálica 65/35 | 40 kg | 1317.36 Joules |
| Fibra Metálica 45/35 | 20 kg + Malla Electro soldada | 1346.85 Joules |

Fuente: elaboración propia

E. Selección de labores piloto

Después de analizar los resultados de los ensayos, se designaron las labores piloto para instalar este nuevo diseño de shotcrete, en coordinación con el área de Operaciones

de Seguridad y Mejora Continua.

Para la elección de estas labores, se tuvo en cuenta las características geomecánicas y el uso masivo de Sostenimiento estructural indicados en el Programa de Sostenimiento del mes de noviembre (ver Anexo 1).

Los Tajos Breasting fueron los designados como “labores piloto”. La particularidad común de estas labores es que se encuentran emplazados en rocas metamórficas (Filita con alto grado de alteración y argilización), es decir, macizo rocoso de baja calidad geomecánica (Roca Tipo IV A – IV B) y consecuente clasificación geomecánica con valores de RMR que oscilan entre 25 y 35, y GSI IF/R-P.

Los Tajos seleccionados para el seguimiento del performance de este nuevo diseño fueron:

- ✓ Tajo TJ_135E x AC_133, Nivel 1070, en la Zona Baja,
- ✓ Tajo SN_732E x AC_572, Nivel 1180 en la Zona Baja,
- ✓ Tajo SN_732W x AC_572, Nivel 1180, en la Zona Baja.

Estos Tajos entraron en observación desde el momento del primer lanzado de Shotcrete Pump y para aplicar los controles necesarios: Medición de Slump, Mediciones de Rebote y Ensayos de Resistencia a la Compresión, además de la inspección visual durante el tiempo de exposición de la labor hasta antes de entrar a la etapa de relleno (periodo promedio de un mes).



Figuras 50 y 51. Tajo T_J_135E x AC_133, Nivel 1070, en la Zona Baja, donde se observa el sostenimiento estructural antes (izquierda) y después (derecha) de la implementación de Shotcrete Pump

Fuente: fotografías tomadas por el autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Clasificación del macizo rocoso

Para clasificar al macizo rocoso de las labores piloto: Tajo TJ_135E x AC_133, en la Zona Baja, Tajo SN_732E x AC_572 y Tajo SN_732W x AC_572 en la Zona Baja, se hizo uso de los Sistemas de Clasificación Geomecánica RMR y GSI, que son los que actualmente se utilizan en la Unidad Minera San Cristóbal.

La clasificación GSI para los tajos se realizó utilizando la Tabla GSI de la mina Carahuacra (ver Anexo 1), y los resultados son los siguientes:

- Tajo TJ_135E x AC_133: GSI Caja Techo: IF/R GSI Caja Piso: IF/R GSI Veta: IF/R-P
- Tajo SN_732E x AC_572: GSI Caja Techo: IF/R GSI Caja Piso: IF/R-P GSI Veta: IF/P
- Tajo SN_732W x AC_572: GSI Caja Techo: IF/R GSI Caja Piso: IF/R-P GSI Veta: IF/R-P

Estos tajos se encuentran emplazados en Filita con alto grado de alteración y argilización, macizo rocoso de baja calidad geomecánica. Los valores de RMR promedio que se encontraron en la caja, techo, caja piso y veta oscilan entre 25 y 35 (Roca IVA –

IVB). Estos valores fueron obtenidos utilizando el sistema de clasificación RMR de Bieniawski, para el cual se asignaron los valores respectivos a los distintos parámetros considerados en el Formato de Clasificación de Macizo Rocosos RMR, como se observa en las Tablas 15, 16 y 17. (12)

Tabla 15. Mapeo Geomecánico RMR del Tajo TJ_135E x AC_133, Nivel 1070

| YAULI | | Registro N°: GMSC - 0848 | Labor: TJ_135E x AC_133 | | | | Nivel: 1070 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|----------------------|---|---------------------|----------|----|
| VOLCAN COMPANIA MINERA S.A. | | | Refer. Topográfica: A 7 m. de Y6 | | | | Fecha: 08/02/2018 | | | | | | | |
| DATOS DE MAPEO GEOMECAÁNICO RMR | | | Litología | | Familia de Discontinuidade | Azimut de la Labor | | | | | | | | |
| Hecho por: Ing. De La Cruz Coronel John <td colspan="2">Filita argilizada</td> <td>3</td> <td></td> | | | Filita argilizada | | 3 | | | | | | | | | |
| Condición de Exposición: | | | Fresca, Decolorada, <u>Descompuesta</u> , Desintegrada (Subrayar) | | | | | | | | | | | |
| Dimensión de la lab | | | Buzamiento Veta: | | | | | | | | | | | |
| Parámetro | σc Resistencia a la Compresión | RQD | CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES | | | | | Agua Subterránea | Orientación de Discontinuidades | | | | | |
| | | | Espaciamiento entre Discontinuidades | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | | | Meteorización | | | | |
| Valores | 15 12 7 4 2 | 20 17 13 8 | 20 15 10 8 6 | 6 4 2 1 | 6 5 4 1 | 6 5 3 1 | 6 4 2 1 | 6 5 3 1 | 15 10 7 4 | 0 -2 -5 -10 | | | | |
| Tramo de mapeo (m) | 1.- > 250 Mpa 2.- 100 - 250 Mpa 3.- 50 - 100 Mpa 4.- 25 - 50 Mpa 5.- 5 - 25 Mpa | 1.- 90 - 100% 2.- 75 - 90% 3.- 50 - 75% 4.- 25 - 50% | 1.- > 2 m 2.- 0.6 - 2 m 3.- 200 - 600 mm 4.- 60 - 200 mm | 1.- < 1 m 2.- 1 - 3 m 3.- 3 - 10 m 4.- 10 - 20 m | 1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm | 1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente Rugosa 4.- Lisa | 1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5mm 3.- Relleno duro > 5mm 4.- Relleno blando < 5 mm | 1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada | 1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo | RMR Básico | 1.- Muy favorable 2.- Favorable 3.- Regular 4.- Desfavorable | RMR Ajustado | | |
| 6 | 7 | 6 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 7 | 39 | -5 | 34 | | |
| 6 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 7 | 33 | -5 | 28 | | |
| 6 | 7 | 3 | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 7 | 35 | -5 | 30 | | |
| 6 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 7 | 30 | -5 | 25 | | |
| CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR | | | | | | | | | | | L = 5 m. | | L = 1 m. | |
| TIPO DE ROCA | RMR | DESCRIPCION | TAS | Fract | RQD | Fract | RQD | | | | | | | |
| I | 91 - 100 | MUY BUENA "A" | | 40 | 81 | 1 | 100 | | | | | | | |
| | 81 - 90 | MUY BUENA "B" | 1 año aprox. | 41 | 80 | 2 | 98 | | | | | | | |
| | | | | 42 | 79 | 3 | 96 | | | | | | | |
| | | | | 43 | 79 | 4 | 94 | | | | | | | |
| | | | | 44 | 78 | 5 | 91 | | | | | | | |
| | | | | 45 | 77 | 6 | 88 | | | | | | | |
| | | | | 46 | 77 | 7 | 84 | | | | | | | |
| II | 71 - 80 | BUENA "A" | | 47 | 76 | 8 | 81 | | | | | | | |
| | 61 - 70 | BUENA "B" | 3 meses aprox. | 48 | 75 | 9 | 77 | | | | | | | |
| | | | | 49 | 74 | 10 | 74 | | | | | | | |
| | | | | 50 | 74 | 11 | 70 | | | | | | | |
| III - A | 51 - 60 | REGULAR "A" | 1 mes aprox. | 51 | 73 | 12 | 66 | | | | | | | |
| | | | | 52 | 72 | 13 | 63 | | | | | | | |
| III - B | 41 - 50 | REGULAR "B" | 2 semanas aprox. | 53 | 71 | 14 | 59 | | | | | | | |
| | | | | 54 | 71 | 15 | 56 | | | | | | | |
| IV - A | 31 - 40 | MALA "A" | 1 Semana aprox. | 55 | 70 | 16 | 52 | | | | | | | |
| IV - B | 21 - 30 | MALA "B" | 1 día aprox. | 56 | 69 | 17 | 49 | | | | | | | |
| | | | | 57 | 68 | 18 | 46 | | | | | | | |
| | | | | 58 | 68 | 19 | 43 | | | | | | | |
| V | 0 - 20 | MUY MALA | 8 horas aprox. | 59 | 67 | 20 | 41 | | | | | | | |
| | | | | 60 | 66 | 21 | 38 | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | 61 | 66 | 22 | 35 |
| Caja Techo | | | | | | | | | | | 62 | 65 | 23 | 33 |
| Veta | | | | | | | | | | | 63 | 64 | 24 | 31 |
| Caja Piso | | | | | | | | | | | 64 | 63 | 25 | 29 |
| Contacto Litológico Caja Techo - Veta | | | | | | | | | | | 65 | 63 | 26 | 27 |
| | | | | | | | | | | | 66 | 62 | 27 | 25 |
| | | | | | | | | | | | 67 | 61 | 28 | 23 |
| | | | | | | | | | | | 68 | 61 | 29 | 21 |
| | | | | | | | | | | | 69 | 60 | 30 | 20 |
| | | | | | | | | | | | 70 | 59 | 31 | 20 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Mapeo Geomecánico RMR del Tajo SN_732E x AC_572, Nivel 1180

| YAULI | | Registro N°: GMSC - 0818 | Labor: SN_732E x AC_572 | Nivel: 1180 | CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|--|--|---|---|----------------------|---------------------------------|------------|--------------|
|  | | | Refer. Topográfica: A la altura del Pto. YG | Fecha: 20/02/2018 | TIPO DE ROCA | RMR | DESCRIPCION | TAS | L = 5 m. | | L = 1 m. | | |
| DATOS DE MAPEO GEOMECAÁNICO RMR | | | | Litología | | | | | Familia de Discontinuidade | Azimut de la Labor | Fract. | RQD | Fract. |
| Hecho por: Ing. De La Cruz Coronel John | | Condición de Exposición: Fresca, Decolorada, <u>Descompuesta</u> , Desintegrada (Subrayar) | | Filita argilizada | | 3 | | | | 40 | 81 | 1 | 100 |
| Parámetro | σc Resistencia a la Compresión | RQD | Espaciamento entre Discontinuidades | CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES | | | | | | Agua Subterránea | Orientación de Discontinuidades | RMR Básico | RMR Ajustado |
| | | | | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Meteorización | Subterránea | | | | |
| Valores | 15 12 7 4 4 | 20 17 13 8 | 20 15 10 8 | 6 4 2 1 | 6 5 4 1 | 6 5 3 1 | 6 4 2 1 | 6 5 3 1 | 15 10 7 4 | 0 -2 -5 -10 | | | |
| Tramo de mapeo (m) | 1.- > 250 Mpa 2.- 100 - 250 Mpa 3.- 50 - 100 Mpa 4.- 25 - 50 Mpa 5.- 5 - 25 Mpa | 1.- 90 - 100% 2.- 75 - 90% 3.- 50 - 75% 4.- 25 - 50% | 1.- > 2 m 2.- 0.6 - 2 m 3.- 200 - 600 mm 4.- 60 - 200 mm | 1.- < 1 m 2.- 1 - 3 m 3.- 3 - 10 m 4.- 10 - 20 m | 1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm | 1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente Rugosa 4.- Lisa | 1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5 mm 3.- Relleno duro > 5 mm 4.- Relleno blando < 5 mm | 1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada | 1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo | | | | |
| 4 | 7 | 6 | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 7 | 37 | -5 | 32 | |
| 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 7 | 33 | -5 | 28 | |
| 4 | 7 | 6 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 36 | -5 | 31 | |
| 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 7 | 31 | -5 | 26 | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | 61 | 66 | 22 | 35 | |
| Caja Techo | | | | | | | | | 62 | 65 | 23 | 33 | |
| | | | | | | | | | 63 | 64 | 24 | 31 | |
| | | | | | | | | | 64 | 63 | 25 | 29 | |
| Veta | | | | | | | | | 65 | 63 | 26 | 27 | |
| | | | | | | | | | 66 | 62 | 27 | 25 | |
| Caja Piso | | | | | | | | | 67 | 61 | 28 | 23 | |
| | | | | | | | | | 68 | 61 | 29 | 21 | |
| Contacto Litológico Caja Techo - Veta | | | | | | | | | 69 | 60 | 30 | 20 | |
| | | | | | | | | | 70 | 59 | 31 | 20 | |

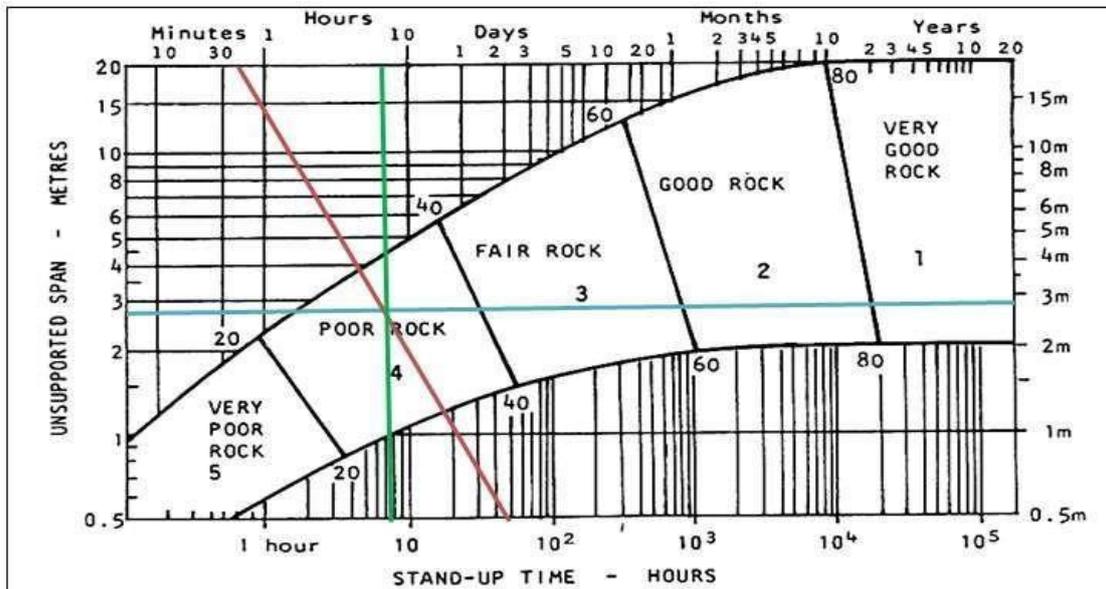
Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Mapeo Geomecánico RMR del Tajo SN_732W x AC_572, Nivel 1180

| YAULI | | Registro N°: GMSC - 0864 | | Labor: SN_732W x AC_572 | | Nivel: 1180 | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|---|--|--|---|---|----------------------|---------------------------------|------------|--------------|----------|----|
| VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.S. | | | | Refer. Topográfica: A 19 m. de M | | Fecha: 08/02/2018 | | | | | | | | | |
| DATOS DE MAPEO GEOMECAÁNICO RMR | | | | Litología | | Familia de Discontinuidade | | Azimut de la Labor | | | | | | | |
| | | | | Filita argilizada | | 3 | | | | | | | | | |
| Hecho por: Ing. De La Cruz Coronel John | | | | Condición de Exposición: Fresca, Decolorada, <u>Descompuesta</u> , Desintegrada (Subrayar) | | | | | | | | | | | |
| | | | | Dimensión de la lab | | Buzamiento Veta: | | | | | | | | | |
| Parámetro | σc Resistencia a la Compresión | RQD | Espaciamento entre Discontinuidades | CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES | | | | | | Agua Subterránea | Orientación de Discontinuidades | RMR Básico | RMR Ajustado | | |
| | | | | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Meteorización | Subterránea | | | | | | |
| Valores | 15 12 7 4 2 | 20 17 13 8 | 20 15 10 6 | 8 6 4 2 1 | 6 5 4 1 | 6 5 3 1 | 6 4 2 1 | 6 5 3 1 | 15 10 7 4 | 0 -2 -5 -10 | | | | | |
| Tramo de mapeo (m) | 1.- > 250 Mpa 2.- 100 - 250 Mpa 3.- 50 - 100 Mpa 4.- 25 - 50 Mpa 5.- 5 - 25 Mpa | 1.- 90 - 100% 2.- 75 - 90% 3.- 50 - 75% 4.- 25 - 50% | 1.- > 2 m 2.- 0.6 - 2 m 3.- 200 - 600 mm 4.- 60 - 200 mm | 1.- < 1 m 2.- 1 - 3 m 3.- 3 - 10 m 4.- 10 - 20 m | 1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm | 1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente Rugosa 4.- Lisa | 1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5 mm 3.- Relleno duro > 5 mm 4.- Relleno blando < 5 mm | 1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada | 1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo | | | | | | |
| 4 | 7 | 6 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 7 | 39 | 5 | 34 | | | |
| 4 | 7 | 5 | 5 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 4 | 31 | -5 | 26 | | | |
| 4 | 7 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 4 | 32 | -5 | 27 | | | |
| 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 7 | 30 | -5 | 25 | | | |
| CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR | | | | | | | | | | | | L = 5 m. | | L = 1 m. | |
| TIPO DE ROCA | RMR | DESCRIPCION | TAS | Fract. | RQD | Fract. | RQD | | | | | | | | |
| | | | | 40 | 81 | 1 | 100 | | | | | | | | |
| I | 91 - 100 | MUY BUENA "A" | 1 año aprox. | 41 | 80 | 2 | 98 | | | | | | | | |
| | | | | 42 | 79 | 3 | 96 | | | | | | | | |
| | 81 - 90 | MUY BUENA "B" | 3 meses aprox. | 43 | 79 | 4 | 94 | | | | | | | | |
| | | | | 44 | 78 | 5 | 91 | | | | | | | | |
| | | | | 45 | 77 | 6 | 88 | | | | | | | | |
| II | 71 - 80 | BUENA "A" | 1 mes aprox. | 46 | 77 | 7 | 84 | | | | | | | | |
| | | | | 47 | 76 | 8 | 81 | | | | | | | | |
| | 61 - 70 | BUENA "B" | 2 semanas aprox. | 48 | 75 | 9 | 77 | | | | | | | | |
| | | | | 49 | 74 | 10 | 74 | | | | | | | | |
| | | | | 50 | 74 | 11 | 70 | | | | | | | | |
| III - A | 51 - 60 | REGULAR "A" | 1 semana aprox. | 51 | 73 | 12 | 66 | | | | | | | | |
| | | | | 52 | 72 | 13 | 63 | | | | | | | | |
| III - B | 41 - 50 | REGULAR "B" | 8 horas aprox. | 53 | 71 | 14 | 59 | | | | | | | | |
| | | | | 54 | 71 | 15 | 56 | | | | | | | | |
| IV - A | 31 - 40 | MALA "A" | 1 día aprox. | 55 | 70 | 16 | 52 | | | | | | | | |
| | | | | 56 | 69 | 17 | 49 | | | | | | | | |
| IV - B | 21 - 30 | MALA "B" | | 57 | 68 | 18 | 46 | | | | | | | | |
| | | | | 58 | 68 | 19 | 43 | | | | | | | | |
| V | 0 - 20 | MUY MALA | | 59 | 67 | 20 | 41 | | | | | | | | |
| | | | | 60 | 66 | 21 | 38 | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | 61 | 66 | 22 | 35 |
| Caja Techo | | | | | | | | | | | | 62 | 65 | 23 | 33 |
| Veta | | | | | | | | | | | | 63 | 64 | 24 | 31 |
| Caja Piso | | | | | | | | | | | | 64 | 63 | 25 | 29 |
| Contacto Litológico Caja Techo - Veta | | | | | | | | | | | | 65 | 63 | 26 | 27 |
| | | | | | | | | | | | | 66 | 62 | 27 | 25 |
| | | | | | | | | | | | | 67 | 61 | 28 | 23 |
| | | | | | | | | | | | | 68 | 61 | 29 | 21 |
| | | | | | | | | | | | | 69 | 60 | 30 | 20 |
| | | | | | | | | | | | | 70 | 59 | 31 | 20 |

Fuente: elaboración propia

El tiempo máximo de exposición sin sostenimiento (tiempo de autoaporte) para el caso del Tajo SN_732W x AC_572, Nivel 1180, se muestra en la Figura 52, de acuerdo a la calidad de roca RMR promedio y las dimensiones de span.



Figuras 52. Relación entre el Tiempo de Autoaporte de Tajo SN_735W x AC_572, Nivel 1180, con la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski
Fuente: elaboración propia

El éxito del manejo del ábaco radica en realizar una buena clasificación geomecánica GSI y RMR, que para este Tajo son IF/R-P y 30 respectivamente (línea roja).

El valor de span considerado fue el avance efectivo del tramo de un disparo (2.70 m) está proyectado con una línea celeste, este valor se asocia a los estándares de Empresa, la cual ha adoptado el principio que, por cada disparo avanzado, este debe ser sostenido, con mayor razón en este tipo de labor de condiciones geomecánicas ya descritas.

El valor de tiempo de autoaporte TAS obtenido fue 8 horas, es decir que el soporte debe ser instalado en ese periodo de tiempo para garantizar la estabilidad del macizo rocoso de la labor, por lo que los elementos de sostenimiento deben instalarse de manera oportuna, lo que implica llevar un ciclo de minado dinámico. El TAS se obtuvo en la parte inferior en horas (línea verde), luego convertirlo a días, esto es más exacto ya que como el ábaco está en escala logarítmica una pequeña desviación produciría un grave error.

4.2 Ensayos de capacidad de absorción de energía

Los cálculos de capacidad de absorción de energía de cada panel se hicieron de acuerdo a los estándares establecidos en la Norma EN 14488-5, los valores de energía se tomaron entre 0 y 25 mm de deflexión o deformación central. Es importante tener en cuenta que el espesor del panel influye en la capacidad para absorber energía, cuando el espesor del panel es mayor se incrementa también la cantidad de energía absorbida y viceversa. Consecuentemente, los cálculos de capacidad de absorción de energía deben ser corregidos cuando el espesor difiere de la referencia (100 mm).

El espesor requerido es $h_0 = 100$ mm; sin embargo, cuando el espesor real h difiere de h_0 , se realiza el siguiente análisis:

1. La energía acumulada debe ser calculada debajo de la curva de carga - deformación entre 0 y un desplazamiento modificado $\Delta_m = 25$ mm k y $k = 100/h$.
2. La capacidad de absorción de energía CAE debe calcularse cuando sea múltiplo del factor k .

La siguiente fórmula es usada para calcular la capacidad de absorción de energía corregida.

$$CAE = k \sum_{i=0}^{i=\Delta_m} \left((\Delta_{i+1} - \Delta_i) \times \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \quad \text{Ecuación 04}$$

Donde k y Δ_m son la constante y el desplazamiento modificado respectivamente, Δ es el desplazamiento central, P es la carga central y el parámetro i es el número de incrementos.

En el presente trabajo los ocho paneles han tenido un espesor de 102 mm (altura de todos los moldes). Para este caso, la corrección de espesor reduce la capacidad de absorción de energía en 3 % comparado con la capacidad sin corregir.

Todos los resultados son presentados correctamente de acuerdo al procedimiento antes descrito en las Figuras 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 y 60; en las que se muestran detalladamente los parámetros generales (Códigos y Fechas), los datos del ensayo

(previos y como resultado del ensayo) y los gráficos de Fuerza – Deformación o también llamados gráficos de Carga – Deformación (indicando la fuerza máxima y la tenacidad o área bajo la curva).

| MUESTRA 1/FIBRA METÁLICA 45/35 40KG | | |
|--|--|-----------|
| 1. PARÁMETROS GENERALES: | | |
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| | # 115 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 40 kg/M³ | 15 de marzo de 2018 | 30 |
| 2. DATOS DEL ENSAYO: | | |
| 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm) | 102.00 mm | |
| 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm) | - mm | |
| 2.03 Carga de falla (KN) | 88.87 KN | |
| 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm) | 0.71 mm | |
| 2.05 Energía Absorbida en (Joules)(d=25mm) | 1578.48 Joules | |
| 2.06 Energía Absorbida en (Joules)(d=20mm) | 1368.11 Joules | |
| 2.07 Energía Absorbida en (Joules)(d=15mm) | 1080.94 Joule | |
| 2.08 | | |
| 2.09 s | | |
| 2.10 Energía Absorbida en (Joules)(d=10mm) | 694.20 Joules | |
| 2.11 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga) | 98.82 Joules | |
| 2.10 Tipo de falla observada | 8 Fisuras Radiales | |
| NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES | | |
| - CAPACIDAD DE CARGA: | 10,000 PSI (100,000 NEWTONS) | |
| - INDICADOR DE CARGA: | ANALOGICO | |
| - MARCA DE DIAL: | WINTERS | |
| - METODO DE CALIBRACION: | ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES" | |
| - FECHA DE CALIBRACIÓN: | 21/12/2016 | |
| OBSERVACIONES: | | |
| - MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE | | |
| - CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS. | | |

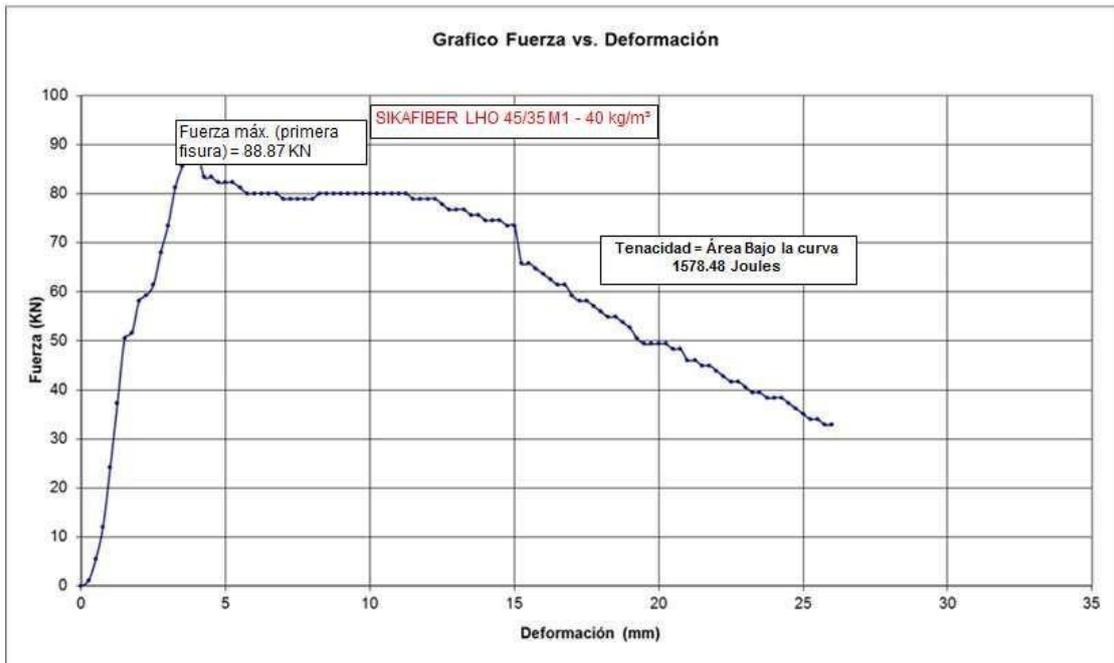


Figura 53. Resultado del Ensayo de la Muestra 1

Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 1

MUESTRA 1/FIBRA METÁLICA 45/35 40KG

3. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| # 2 | 15 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 40 kg/M³ | 15 de marzo de 2018 | 30 |

4. DATOS DEL ENSAYO:

| | |
|---|----------------------|
| 4.01 Espesor Promedio de la muestra (mm) | 102.00 mm |
| 4.02 Diámetro promedio de la muestra (mm) | - mm |
| 4.03 Carga de falla (KN) | 79.87 KN |
| 4.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm) | 0.71 mm |
| 4.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm) | 1579.9 Joules |
| 4.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm) | 1221.64 Joules |
| 4.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm) | 1061.61 Joule |
| 4.08 | |
| 4.09 s | |
| 4.10 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm) | 695.32 Joules |
| 4.11 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga) | 94.54 Joules |
| 2.10 Tipo de falla observada | 5 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACION: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"
- FECHA DE CALIBRACIÓN: 21/12/2016

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

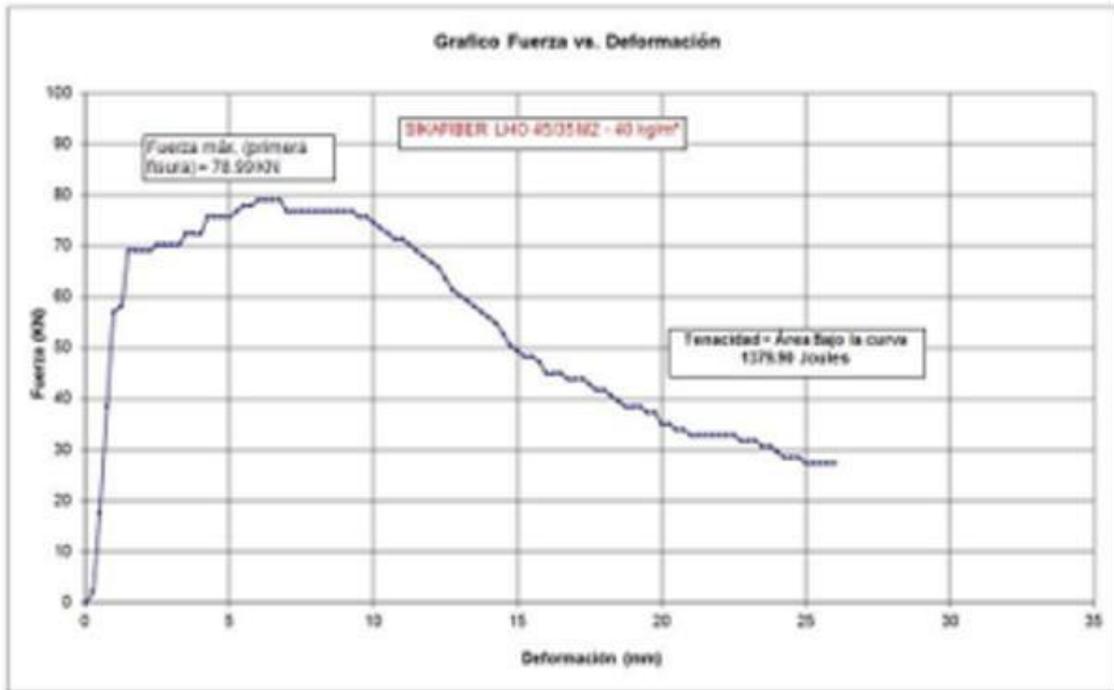


Figura 54. Resultado del Ensayo de la Muestra 2
Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 2

MUESTRA 1/FIBRA METÁLICA 45/35 60KG

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| # 1 | 15 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 60 kg/M ³ | 15 de marzo de 2018 | 30 |

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|--------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 95.45 KN |
| 0.71 mm |
| 1670.91 Joules |
| 1447.10 Joules |
| 1157.19 Joules |
| 793.76 Joules |
| 107.49 Joules |
| 6 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACION: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"
- FECHA DE CALIBRACIÓN: 21/12/2013

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.

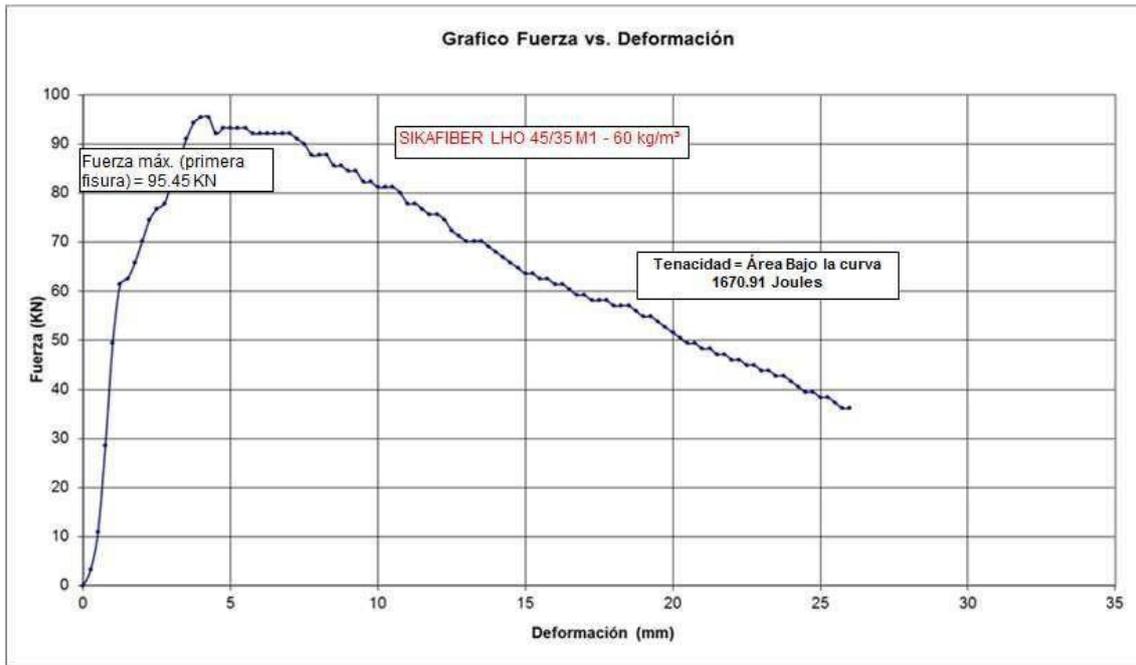


Figura 55. Resultado del Ensayo de la Muestra 3
Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 3

MUESTRA 2/FIBRA METÁLICA 45/35 60KG

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| | # 215 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 60 kg/M³ | 15 de marzo de 2018 | 30 |

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|-----------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 96.55 KN |
| 0.71 mm |
| 1643.21 Joules |
| 1492.90 Joules |
| 1239.47 Joules |
| 842.86 Joules |
| 115.31 Joules |
| 11 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACIÓN: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"
- FECHA DE CALIBRACIÓN: 21/12/2013

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.

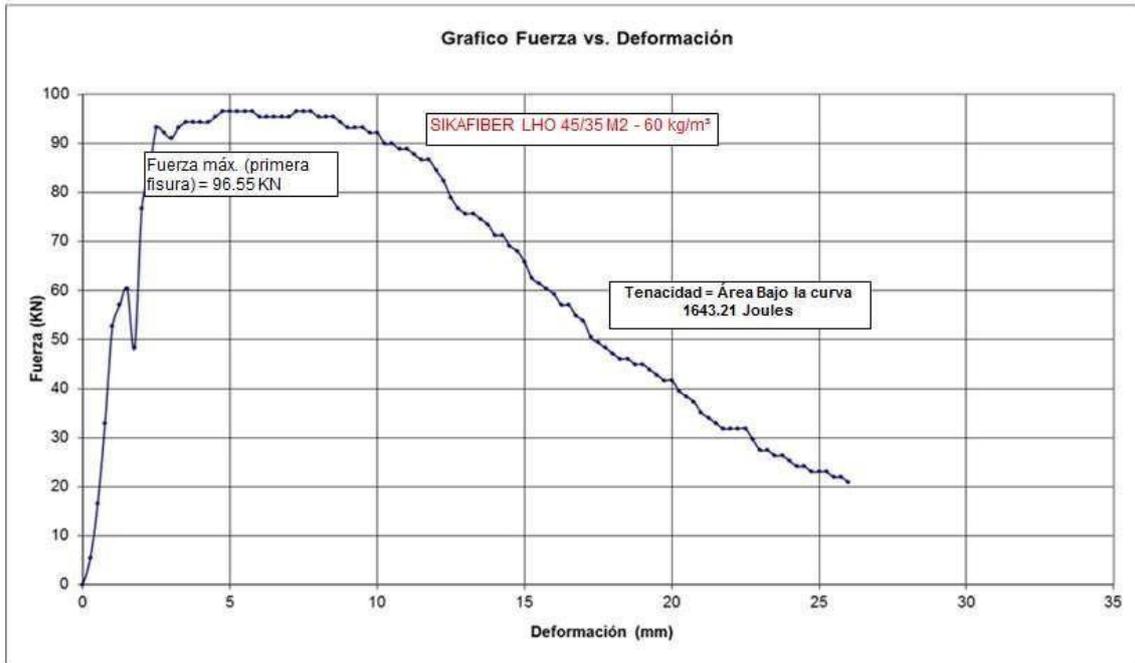


Figura 56. Resultado del Ensayo de la Muestra 4

Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 4

MUESTRA 1/FIBRA METÁLICA 65/35 40KG

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| # 1 | 19 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER CHO 65/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 40 kg/M ³ | 16 de marzo de 2018 | 27 |

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|-----------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 80.09 KN |
| 0.71 mm |
| 1032.66 Joules |
| 938.86 Joules |
| 812.96 Joules |
| 622.34 Joules |
| 77.29 Joules |
| 4 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACIÓN: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"
- FECHA DE CALIBRACIÓN: 21/12/2013

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.

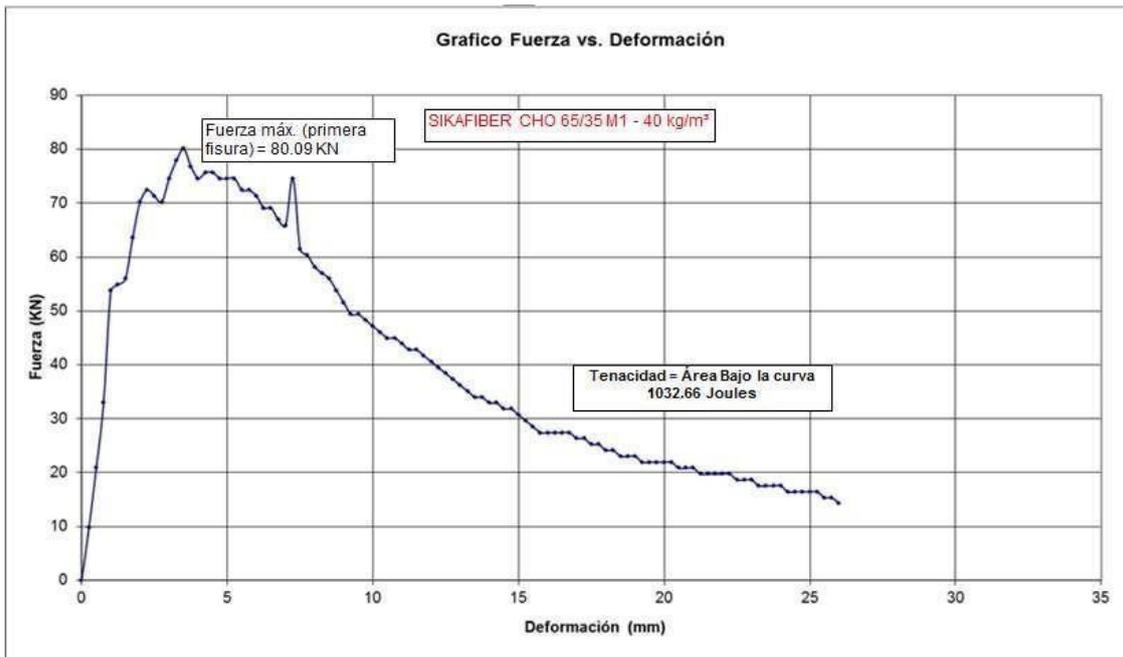


Figura 57. Resultado del Ensayo de la Muestra 5
Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 5

MUESTRA 2/FIBRA METÁLICA 65/35 40KG

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| | # 219 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER CHO 65/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 40 kg/M³ | 16 de marzo de 2018 | 27 |

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|-----------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 100.93 KN |
| 0.71 mm |
| 1602.07 Joules |
| 1424.06 Joules |
| 1181.05 Joules |
| 837.92 Joules |
| 110.70 Joules |
| 6 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACION: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"

- FECHA DE CALIBRACION: 21/12/2013

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.

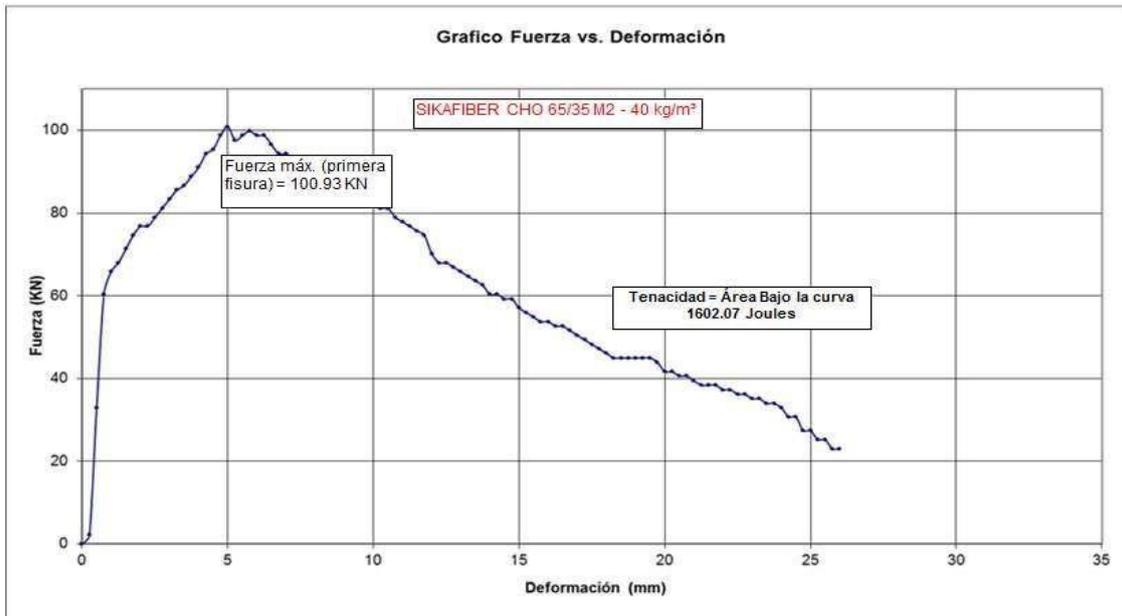


Figura 58. Resultado del Ensayo de la Muestra 6

Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 6

MUESTRA 1/FIBRA METÁLICA 45/35 20KG + MALLA

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| # 1 | 20 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 20 kg/M ³ + malla | 16 de marzo de 2018 | 26 |
| 2. DATOS DEL ENSAYO: | | |

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|-----------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 71.31 KN |
| 0.71 mm |
| 1261.69 Joules |
| 1138.81 Joules |
| 886.47 Joules |
| 537.86 Joules |
| 80.23 Joules |
| 6 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACION: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"

- FECHA DE CALIBRACION: 21/12/2013

OBSERVACIONES:

- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.



Figura 59. Resultado del Ensayo de la Muestra 7

Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 7

MUESTRA 2/FIBRA METÁLICA 45/35 20KG + MALLA

1. PARÁMETROS GENERALES:

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| Número de Muestra: | Fecha de elaboración de especímenes: | |
| | # 20 de febrero de 2018 | |
| Fibra empleada/Fabricante: | Fecha de salida de poza de curado: | |
| SIKAFIBER LHO 45/35 | - | |
| Dosificación / F'c de diseño: | Fecha / edad de ensayo (días): | |
| 20 kg/M ³ + malla | 16 de marzo de 2018 | 26 |

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)
- 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)
- 2.03 Carga de falla (KN)
- 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)
- 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)
- 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)
- 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)
- 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)
- 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)
- 2.10 Tipo de falla observada

| |
|-----------------------|
| 102.00 mm |
| - mm |
| 92.16 KN |
| 0.71 mm |
| 1432.01 Joules |
| 1279.24 Joules |
| 1047.20 Joules |
| 668.14 Joules |
| 97.56 Joules |
| 11 Fisuras Radiales |

NOTA ILUSTRATIVA: SE REALIZO ENSAYO CON EQUIPO QUE TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

- CAPACIDAD DE CARGA: 10,000 PSI (100,000 NEWTONS)
- INDICADOR DE CARGA: ANALOGICO
- MARCA DE DIAL: WINTERS
- METODO DE CALIBRACION: ASTM E-4 "STANDARD PRACTICES FOR FORCE VERIFICATION OF TESTING MACHINES"
- FECHA DE CALIBRACION: 21/12/2013 **OBSERVACIONES:**
- MUESTREO E IDENTIFICACIÓN REALIZADOS POR EL SOLICITANTE
- CONDICIONES DE CURADO DESCONOCIDAS.

TÉCNICO LCC: MIGUEL VICENTE S.

SUPERVISOR CONTROL DE CALIDAD LCC: JIMMY BARDALES S.

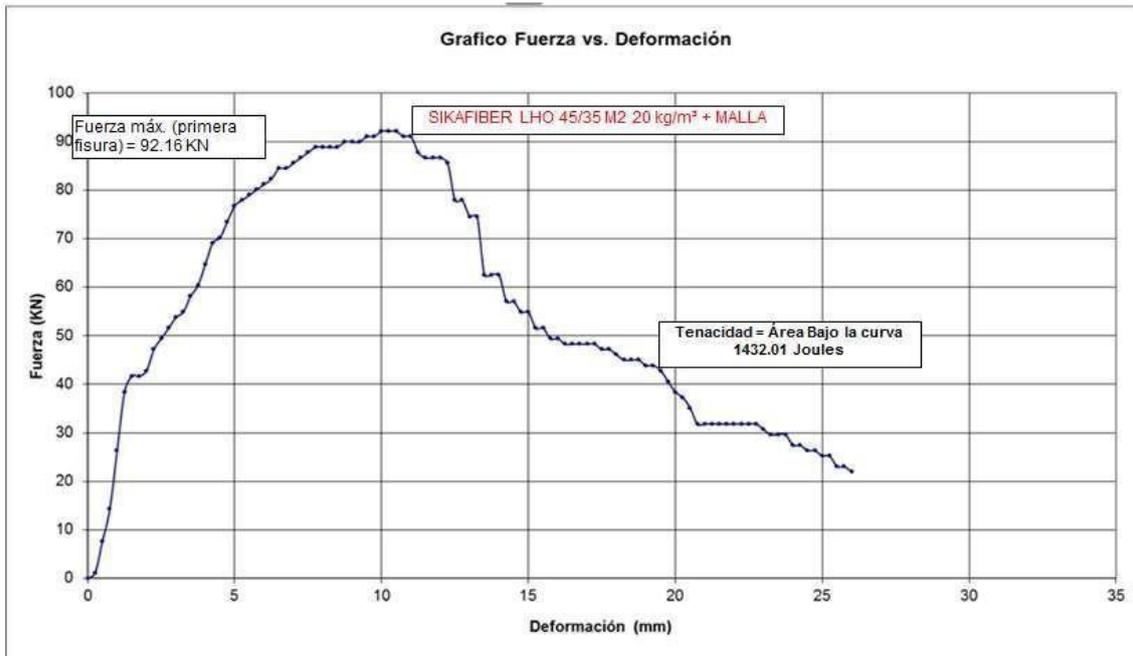


Figura 60. Resultado del Ensayo de la Muestra 8

Fuente: Informe de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía, 2018, Hoja 8

En la Tabla 18 se muestran los resultados de Energía Absorbida, Fuerza Máxima (kN) que generó la primera falla o fractura y el Tipo de Falla observada para cada panel.

Tabla 18. Resultados de Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía

| Código | Energía Absorbida | Fuerza Máxima | Tipo de Falla |
|------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|
| Muestra 1 | 1578.48 Joules | 88.87 kN | 8 fisuras radiales |
| Muestra 2 | 1379.90 Joules | 78.99 kN | 5 fisuras radiales |
| Muestra 3 | 1670.91 Joules | 95.45 kN | 6 fisuras radiales |
| Muestra 4 | 1643.21 Joules | 96.55 kN | 11 fisuras radiales |
| Muestra 5 | 1032.66 Joules | 80.09 kN | 4 fisuras radiales |
| Muestra 6 | 1602.07 Joules | 100.93 kN | 6 fisuras radiales |
| Muestra 7 | 1261.69 Joules | 71.31 kN | 6 fisuras radiales |
| Muestra 8 | 1432.01 Joules | 92.16 kN | 11 fisuras radiales |

Fuente: elaboración propia

En el Histograma que se muestra a continuación, se puede diferenciar los resultados de Energía Absorbida más altos para el caso de los paneles 3 y 4 superan los 1600 Joules.

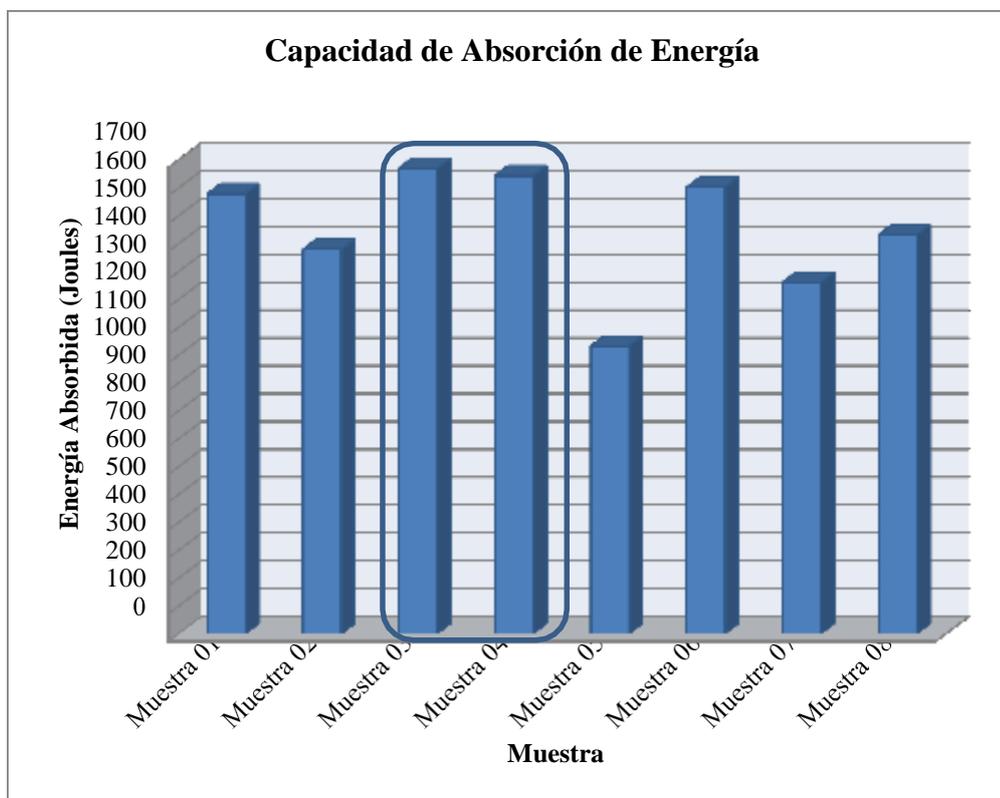


Figura 61. Histograma de Resultados de Energía Absorbida para cada muestra

Fuente: elaboración propia

Los resultados promedio para todos los paneles se muestran en la Figura 62, donde se puede observar la evolución de las curvas fuerza – deformación; se muestra con color rojo las curvas correspondientes a las Muestras 3 y 4, que alcanzaron los valores más altos de energía absorbida, las demás curvas se muestran en color azul. También se observa un comportamiento temprano inicial similar en todas las curvas hasta conseguir 40 kN, a partir del cual las curvas experimentan comportamientos irregulares hasta alcanzar los 25 mm de deformación.

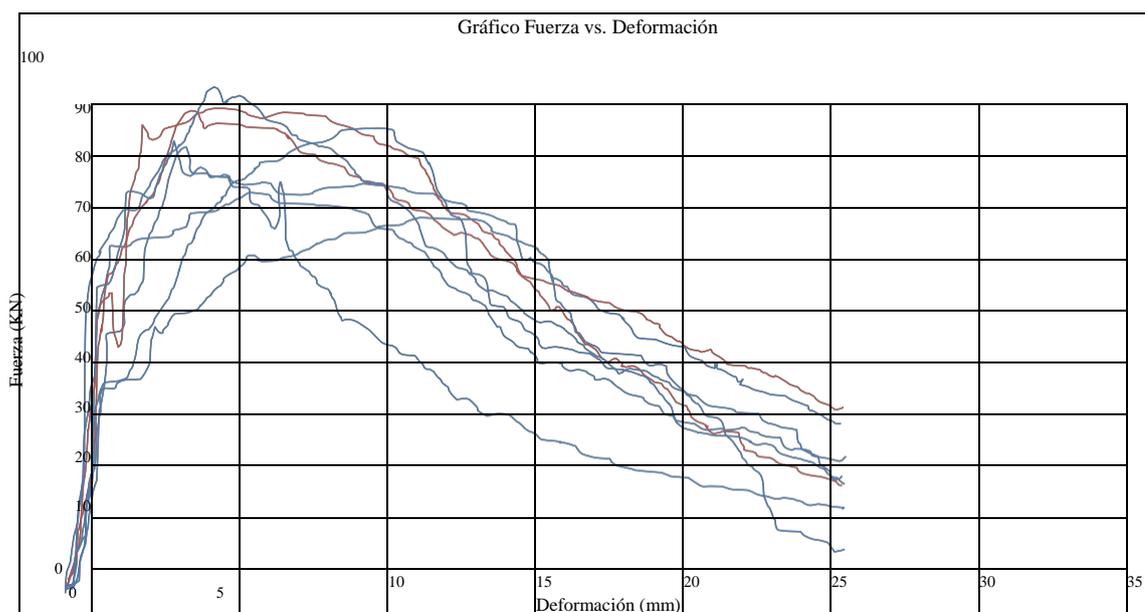


Figura 62. Resultados promedio de Capacidad de Absorción de energía para todos los paneles ensayados
Fuente: elaboración propia

El incremento del valor de la deflexión o deformación significa una fractura más larga, la cual gradualmente genera más puntos de contacto entre el panel y el soporte. El resultado es que los bordes de las fracturas gradualmente penetran el soporte, lo que significa que el coeficiente de fricción se incrementa.

En los niveles bajos de deflexión o deformación (en la fase de prefracturamiento) se muestra un comportamiento regular hasta alcanzar los 25 mm, posteriormente se observa un comportamiento irregular, esto se debe al comportamiento de propagación irregular de las fracturas. Cuanta más energía sea absorbida, el panel se hace cada vez más robusto. Se calculó la capacidad de absorción de energía de acuerdo a los estándares de la norma; la cual se representa como el área bajo la curva de Fuerza - deformación desde cero hasta 25 mm en el eje de las abscisas, en las Figuras 63 y 64.

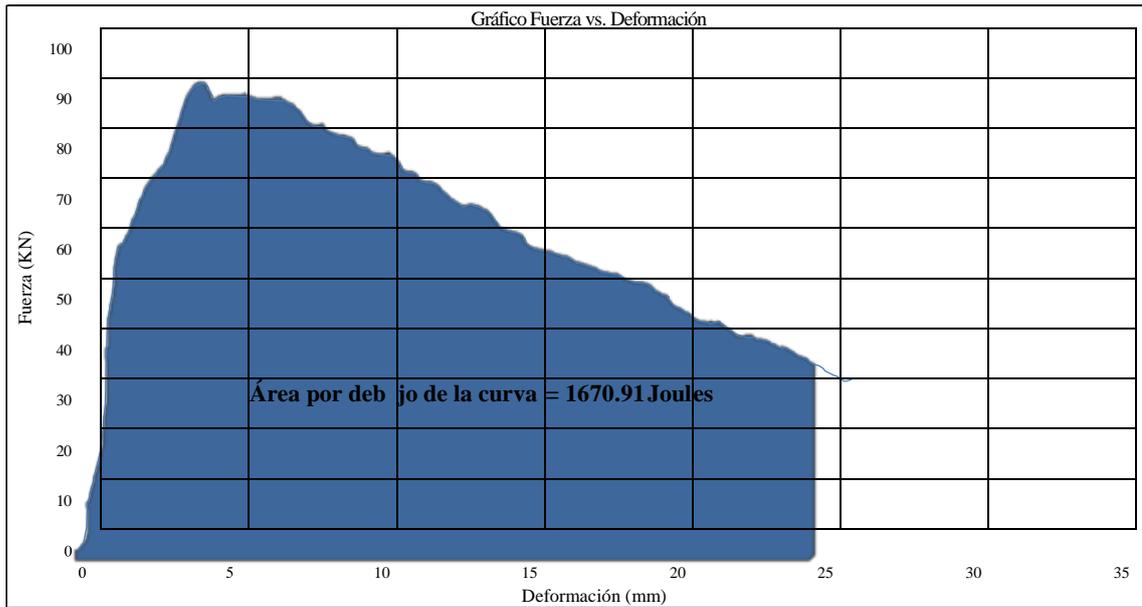


Figura 63. Gráfico de Área bajo la Curva Fuerza – Deformación que representa la Tenacidad de la Muestra 3
Fuente: elaboración propia

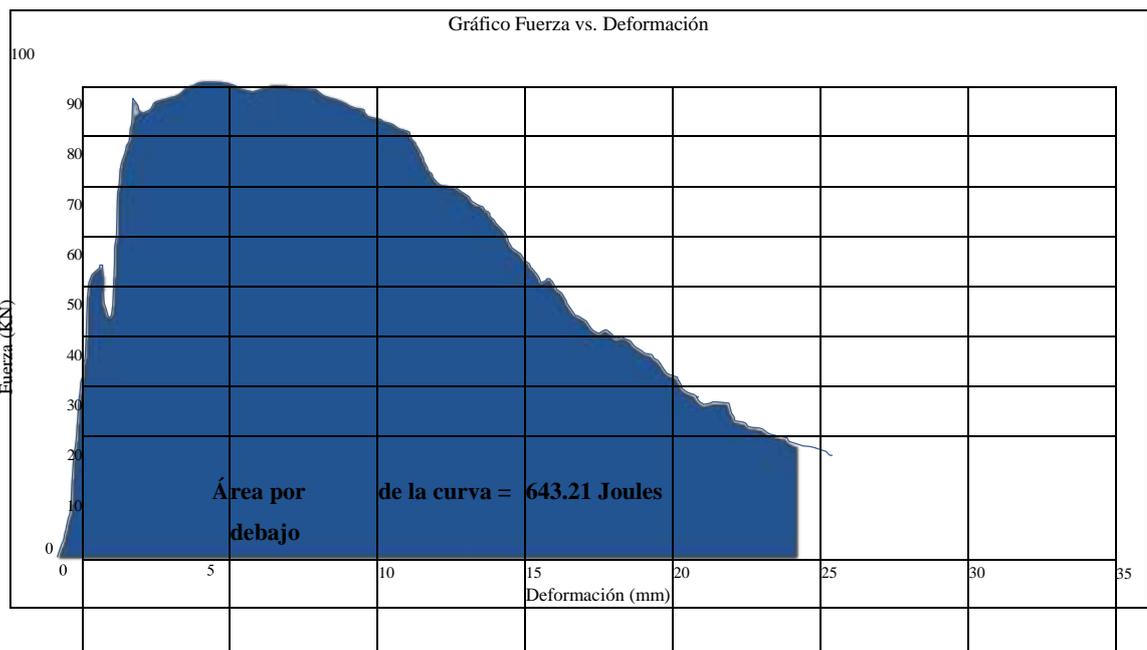


Figura 64. Gráfico de Área bajo la Curva Fuerza – Deformación que representa la Tenacidad de la Muestra 4
Fuente: elaboración propia

Las dos curvas muestran la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada a las Muestras 3 y 4 de Shotcrete Pump, y el área delimitada por estas curvas representa la capacidad de absorción de energía en Joules.

Si bien el uso de malla electro soldada genera una capacidad de absorción de energía promedio de 1346.85 Joules, con la adición de fibras de acero en una mayor proporción (60 kg) se alcanza un valor de energía superior, 1657.06 Joules en promedio.

4.3 Ensayos de resistencia a la compresión

Los resultados de Resistencia a la Compresión a edad temprana (6 min, 10 min, 30 min, 1 hora, 2 horas, 3 horas y 4 horas), se muestran en la Figura 65.

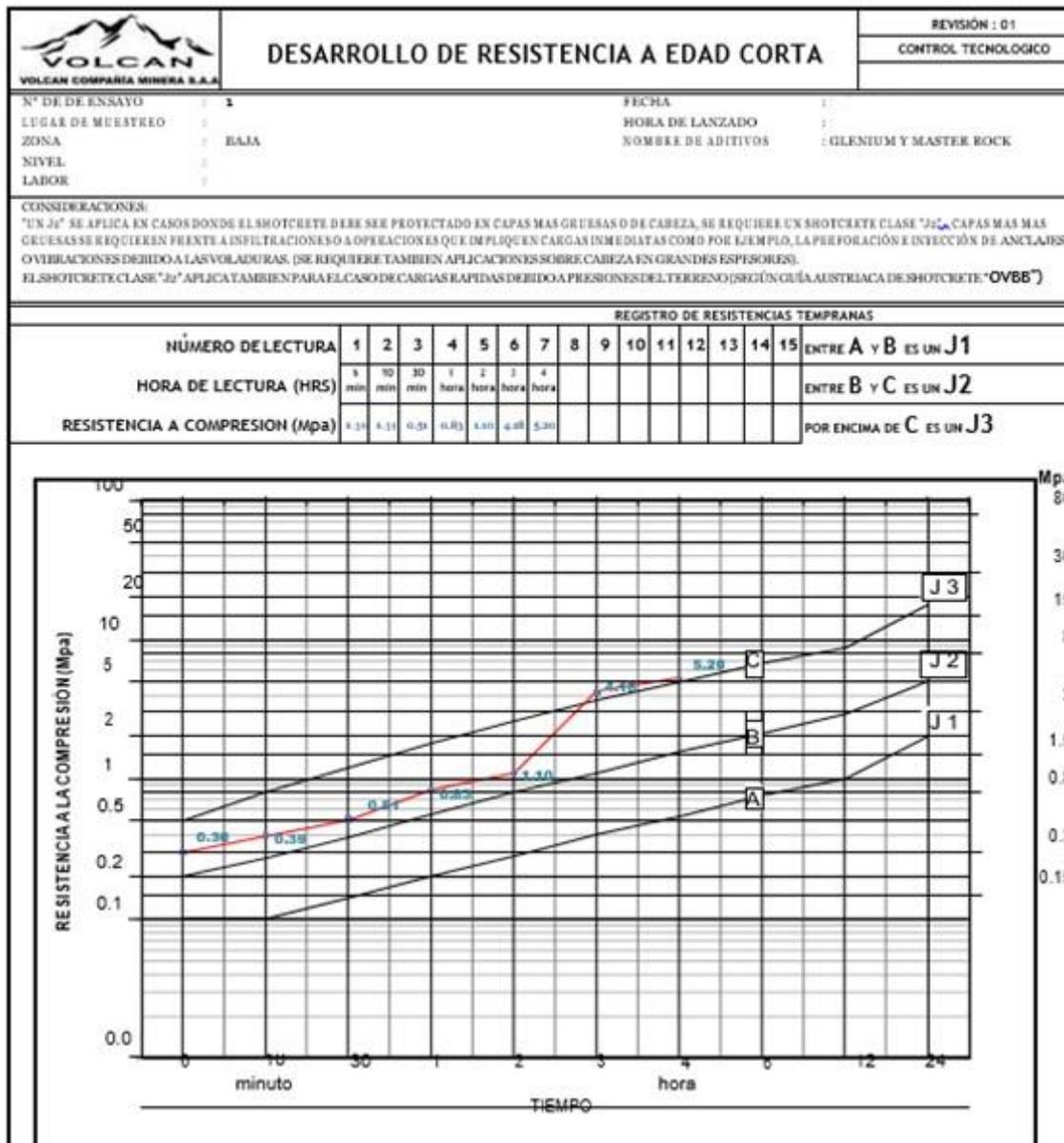
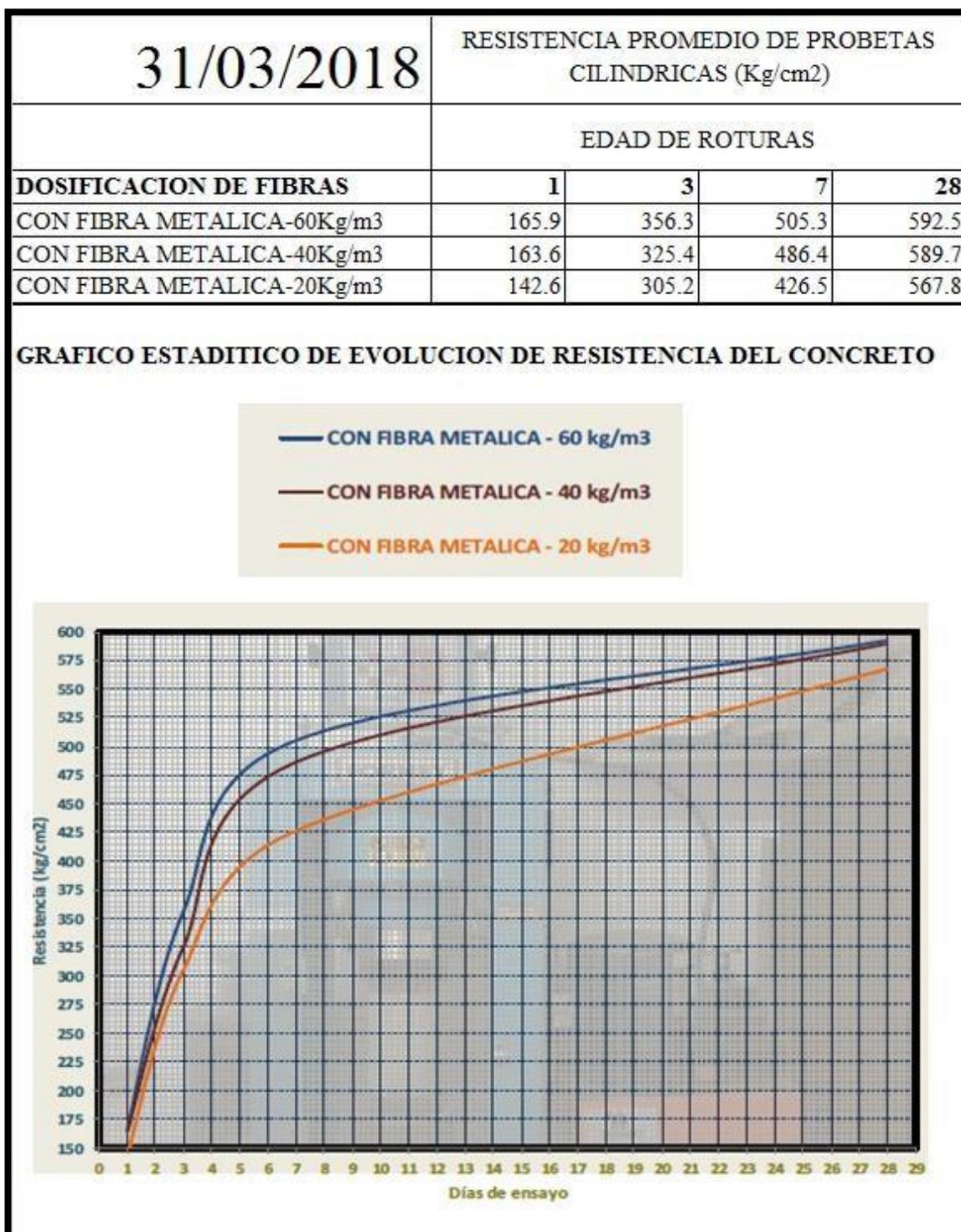


Figura 65. Gráfico de Evolución de Resistencias a la Compresión de shotcrete a edad corta o temprana en el Tajo SN_732E x AC_572, Nivel 1180, febrero 2018
Fuente: Planta de Concreto Betonmac, Mina SAN CRISTOBAL, 2018

Las probetas o testigos cilíndricos de 7.5 cm X 14 cm obtenidas, fueron ensayadas de acuerdo al procedimiento estándar indicado en la Norma ASTM C-39 NTP 339.034, obteniéndose los valores indicados en la Figura 64, a 1 día, 3 días, 7 días y 28 días.



*Figura 66. Gráfico de Evolución de Resistencias a la Compresión de shotcrete a los 28 días, Periodo enero – marzo 2018
Fuente: Planta de Concreto Betonmac, Mina San Cristóbal, 2018*

4.4 Resultados de otros ensayos

En la Figura 67 se muestra los resultados de la Medición de Slump de shotcrete fresco obtenidos para el Tajo SN_732W x AC_572, Nivel 1180. Se observa que hasta las 3 horas se mantiene constante y después de dicho periodo experimenta una caída evidente.

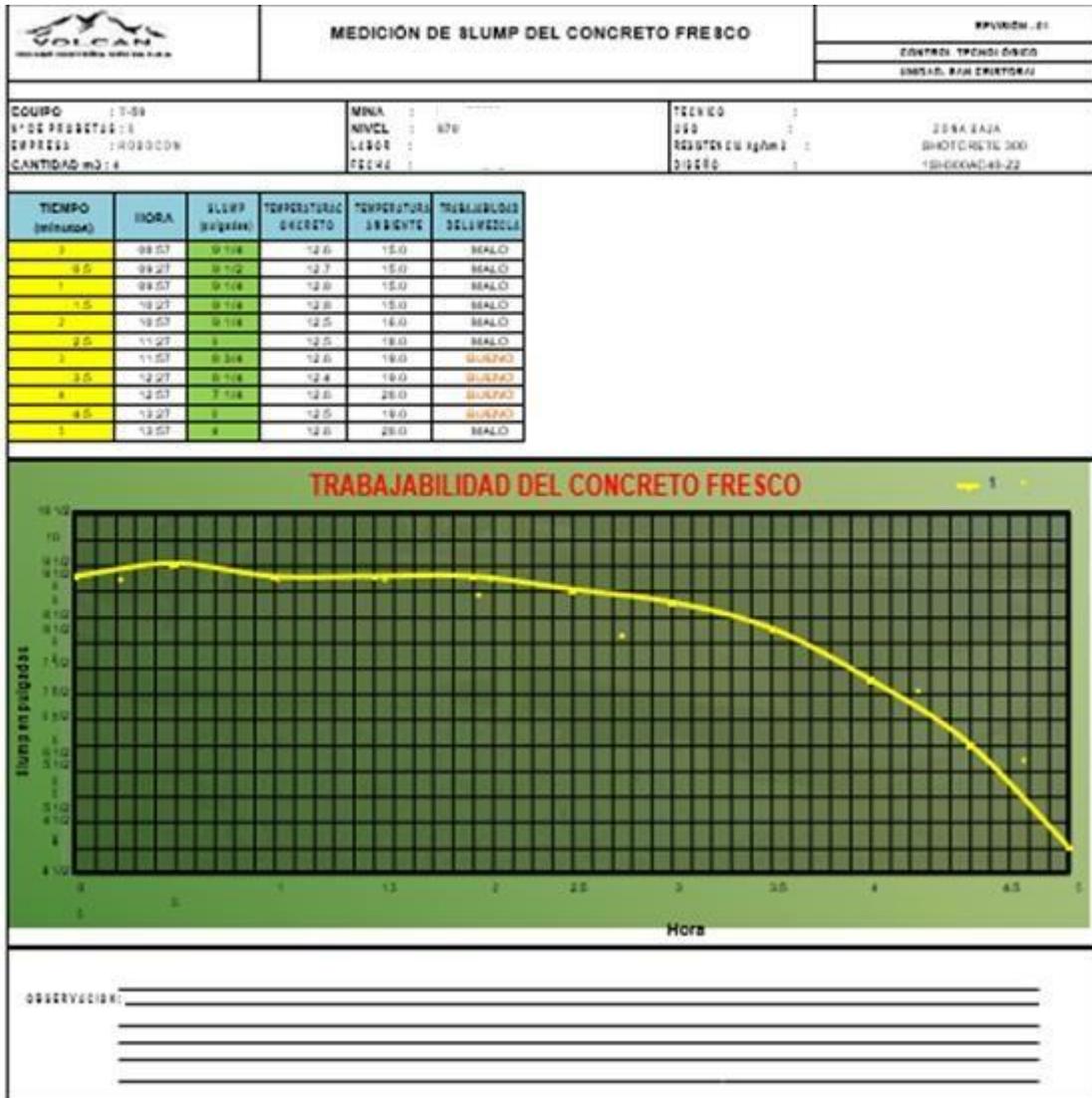


Figura 67. Gráfico de Medición de Slump de shotcrete fresco en el Tajo SN_735W x AC_572, Nivel 1180, marzo 2018

Fuente: Planta de Concreto Betonmac, Mina San Cristóbal, 2018

4.5 Análisis económico

En esta etapa se van a analizar los precios unitarios y costos de suministros y servicios de transporte e instalación de sostenimiento; los mismos que serán considerados en el análisis comparativo de los diseños de sostenimiento utilizando los indicadores financieros VAN y TIR para definir la viabilidad del proyecto y determinar el ahorro que se va a generar tanto en costos directos como indirectos.

En la Tabla 19 se observan las cantidades de cada uno de los suministros utilizados en la producción de un metro cúbico de shotcrete (diseño para el sostenimiento estructural), con su respectivo P.U. y el costo que generan en la obtención de un metro cúbico, el cual es \$ 132.80.

Tabla 19. Precios Unitarios de insumos y materiales utilizados en la producción de Shotcrete para el Sostenimiento Estructural, y costo de un metro cúbico del mismo

| Materiales | Precio Unitario | | Costo | |
|--|-----------------|----------|--------------|---------|
| | Unidad | Cantidad | (\$/Unidad) | (\$/m3) |
| Cemento Andino Tipo I | kg | 400 | 0.116 | 46.2 |
| Agregados | kg | 1675 | 0.011 | 17.6 |
| Aditivo Estabilizador Delvo | L | 1.25 | 1.160 | 1.45 |
| Aditivo Súper Plastificante Glenium TC1300 | L | 3.2 | 3.180 | 10.2 |
| Fibra de acero Sika LHO 45/35 NB | kg | 20 | 1.353 | 27.1 |
| Aditivo Acelerante Master Rock 160 | L | 23 | 1.321 | 30.4 |
| Agua | L | 160 | 0.000 | 0.0 |
| Total | | | | 132.8 |

Fuente: elaboración propia

Los principales suministros (materiales e insumos) utilizados en la producción de shotcrete son cemento (kg), agregados (kg), aditivos retardantes, súper plastificante y acelerante (L) y por supuesto fibras de acero (kg).

En la Tabla 20 se observan las cantidades de cada uno de los insumos y materiales intervinientes en la producción de un metro cúbico de Shotcrete Pump (nuevo diseño) con su respectivo P.U. y el costo que genera la obtención de un metro cúbico, el cual es \$ 186.5.

Tabla 20. Precios Unitarios de insumos y materiales utilizados en la producción de Shotcrete Pump, y costo de un metro cúbico del mismo.

| Materiales | Precio Unitario | | Costo | |
|--|-----------------|-----------------|-------------|----------------------|
| | Unidad | C a n t i d a d | (\$/Unidad) | (\$/m ³) |
| Cemento Andino Tipo I | kg | 400 | 0.116 | 46.2 |
| Agregados | kg | 1672 | 0.011 | 17.6 |
| Aditivo Súper Plastificante Glenium TC1300 | L | 3.5 | 3.180 | 11.1 |
| Fibra de acero Sika LHO 45/35 NB | kg | 60 | 1.353 | 81.2 |
| Aditivo Acelerante Master Rock 160 | L | 23 | 1.321 | 30.4 |
| Agua | L | 160 | 0.000 | 0.0 |
| Total | | | | 186.5 |

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en las tablas anteriores, el costo de producción de un metro cúbico de Shotcrete Pump superior al del shotcrete de diseño común; la diferencia de costos de producción de un metro cúbico de shotcrete es \$ 53.7, debido al incremento de la cantidad de fibras de acero y aditivo súper plastificante, a pesar de haber disminuido la cantidad de agregados y ya no haber considerado aditivo retardante en el nuevo diseño.

Teniendo en cuenta, que en el 27 % del total de labores se instalará el Shotcrete Pump en lugar del Sostenimiento Estructural, el mismo que representa un costo de producción adicional de \$ 53.7; y conociendo que la producción mensual promedio es 4 500 m³, de los cuales 1 215 m³ serán Shotcrete Pump, se estimó \$ 65 245.5 de inversión adicional mensual y \$ 782 946 anual en fibra de acero y aditivo súper plastificante.

Con el mencionado monto de inversión para el nuevo diseño shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump), se elaboró el Flujo de Caja, en el que se resalta el costo unitario de la etapa de Sostenimiento dentro del costo asociado al Ciclo de Minado; obteniéndose valores de VAN de 8.9 y TIR de 197.5 %, los mismos que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Flujo de Caja y Estimación de valores VAN y TIR para el Proyecto de Shotcrete Pump
CÁLCULO DEL VALOR UNITARIO DEL MINERAL (\$/TM)

| <u>Valor de Mineral</u> | <u>Unidad</u> | <u>Ley</u> | <u>Valor \$/TM</u> |
|-------------------------|---------------|------------|--------------------|
| | \$/TM | 0.18 % | 39.2 |
| Valor Mineral Cu | | | |
| Valor Mineral Pb | \$/TM | 0.72 % | 12.7 |
| Valor Mineral Zn | \$/TM | 5.10 % | 13.7 |
| Valor Mineral Ag | \$/TM | 3.01 oz | 11.2 |
| Total | | | 76.8 |

ELABORACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

| Mes | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre |
|---|------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|
| Valor Mineral (\$/TM) | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 |
| Costos asociados al Ciclo de Minado | 39.8 | 40.7 | 36.7 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 | 39.5 |
| Costo Unitario Sostenimiento (\$/TM) | 10.5 | 9.6 | 8.5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Costo Unitario demás Etapas (\$/TM) | 29.3 | 31.1 | 27.2 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.5 |
| Costos asociados al Beneficio | 6.20 | 5.9 | 5.7 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Costos asociados a Energía | 5.50 | 5.1 | 5.2 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| Gastos Administrativos y Otros | 8.00 | 8.7 | 8.5 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| Programa Producción (millones de TM) | 0.1359 | 0.1236 | 0.1390 | 0.1350 | 0.1395 | 0.1350 | 0.1395 | 0.1395 | 0.1350 | 0.1395 | 0.1350 | 0.1395 |
| Flujo caja (millones de US\$) | | | | | | | | | | | | |
| Mes | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre |
| Ventas | 10.4 | 9.5 | 10.7 | 10.4 | 10.7 | 10.4 | 10.7 | 10.7 | 10.4 | 10.7 | 10.4 | 10.7 |
| Costos asociados al Ciclo de Minado | 5.4 | 5.0 | 5.1 | 5.3 | 5.5 | 5.3 | 5.5 | 5.5 | 5.3 | 5.5 | 5.3 | 5.5 |
| Costo de Sostenimiento | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| Costo Unitario demás Etapas (\$/TM) | 4.0 | 3.8 | 3.8 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 4.1 | 4.1 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 4.1 |
| Costos asociados al Beneficio | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Costos asociados a Energía | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 |
| Gastos Administrativos y Otros | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 |
| Impuesto a la renta | 0.8 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Inversión | 0.782946 | | | | | | | | | | | |
| Saldo de Caja | -0.782946 | 1.6 | 1.4 | 1.9 | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.6 |
| VAN (12%) | 8.9 | | | | | | | | | | | |
| TIR | 197.5 % | | | | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

La aplicación del Shotcrete Pump también ha generado como resultado la disminución gradual del costo de sostenimiento en el primer trimestre de 2018, el cual fue 10.5 \$/ton, 9.6 \$/ton y 8.5 \$/ton en enero, febrero y marzo respectivamente; lo que se traduce en haber alcanzado cifras por debajo del presupuesto (programado), como se observa en la Figura 68.

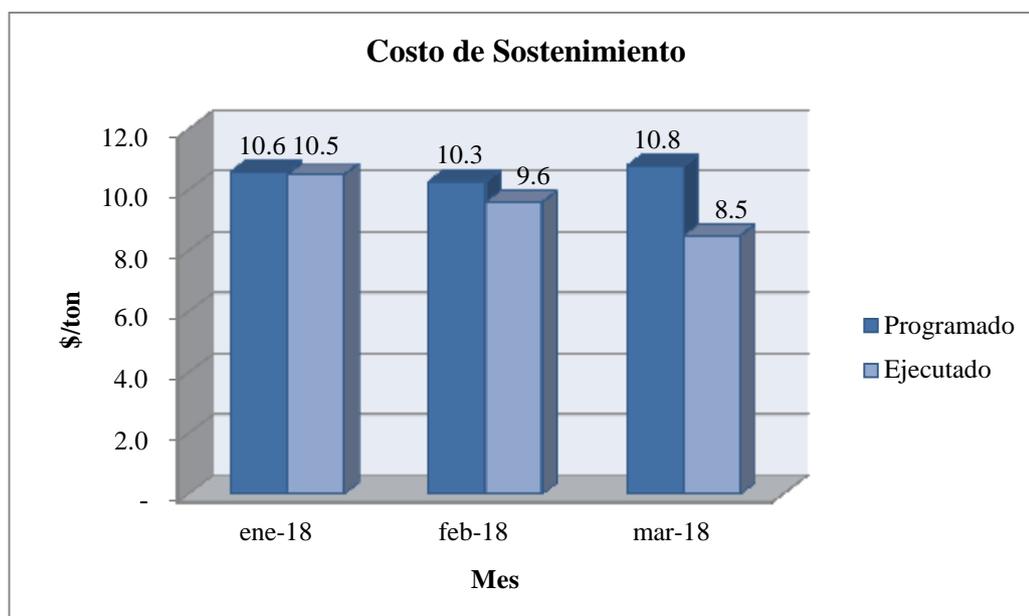


Figura 68. Costo de Sostenimiento programado y ejecutado en el primer trimestre de 2018
Fuente: elaboración propia, según información proporcionada por el Departamento de Costos de la mina CARAHUACRA

Así mismo, otro resultado importante es el menor consumo de malla electro soldada en el mismo periodo de análisis, en promedio se utilizó 1847.7 m² versus 4216 m² en 2017; es decir, el consumo de malla se redujo a menos de la mitad, 2368.3 m² de malla electro soldada en promedio, el detalle de la antes comentado se puede observar en la Figura 69.

La aplicación habitual de sostenimiento estructural generaba un costo alto en la Etapa de Sostenimiento (\$11.5/ton en el primer trimestre de 2017) que representaba el 26 % del costo total del Ciclo de Minado (\$44.5/ton); sin embargo, en el primer trimestre del presente año, el costo de sostenimiento fue \$9.5/ton, \$2/ton por debajo del mismo en el trimestre anterior. El principal factor que contribuyó en la consecución de este resultado de manera progresiva fue la implementación de Shotcrete Pump en el mismo periodo. (Ver Figura 70).

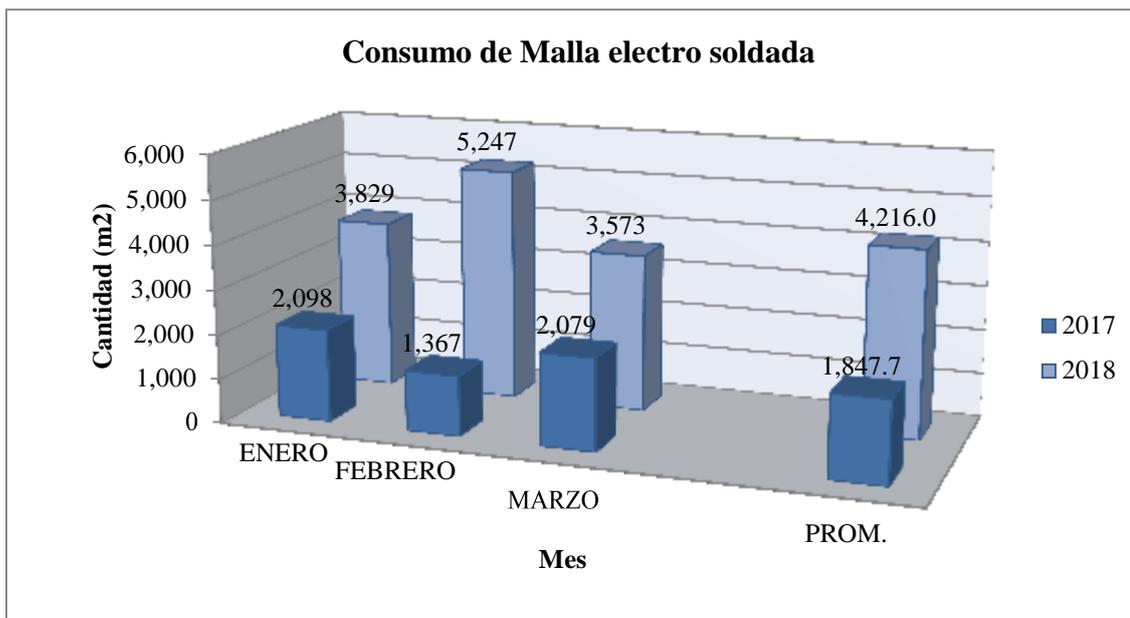


Figura 69. Consumo de malla electro soldada (m²) comparado en el primer trimestre de los años 2017 y 2018

Fuente: elaboración propia, según información proporcionada por el Departamento de Costos de la mina Carahuacra

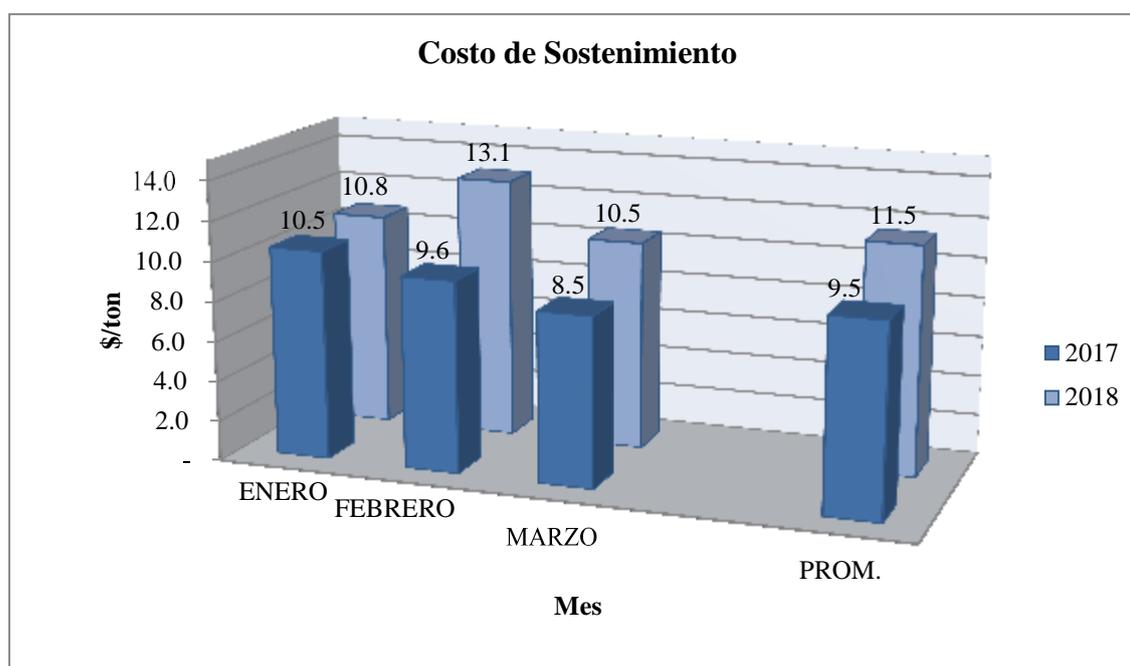


Figura 70. Costo de Sostenimiento comparado en el primer trimestre de los años 2017 y 2018

Fuente: elaboración propia, según información proporcionada por el Departamento de Costos de la mina Carahuacra

La reducción del costo de sostenimiento estuvo acompañada del cumplimiento de la producción; en el primer trimestre de 2018 incluso se superó las cantidades programadas (ver Figura 71); es decir, se logró una mayor producción y como ya se vio anteriormente, se consiguió reducir el costo de sostenimiento.

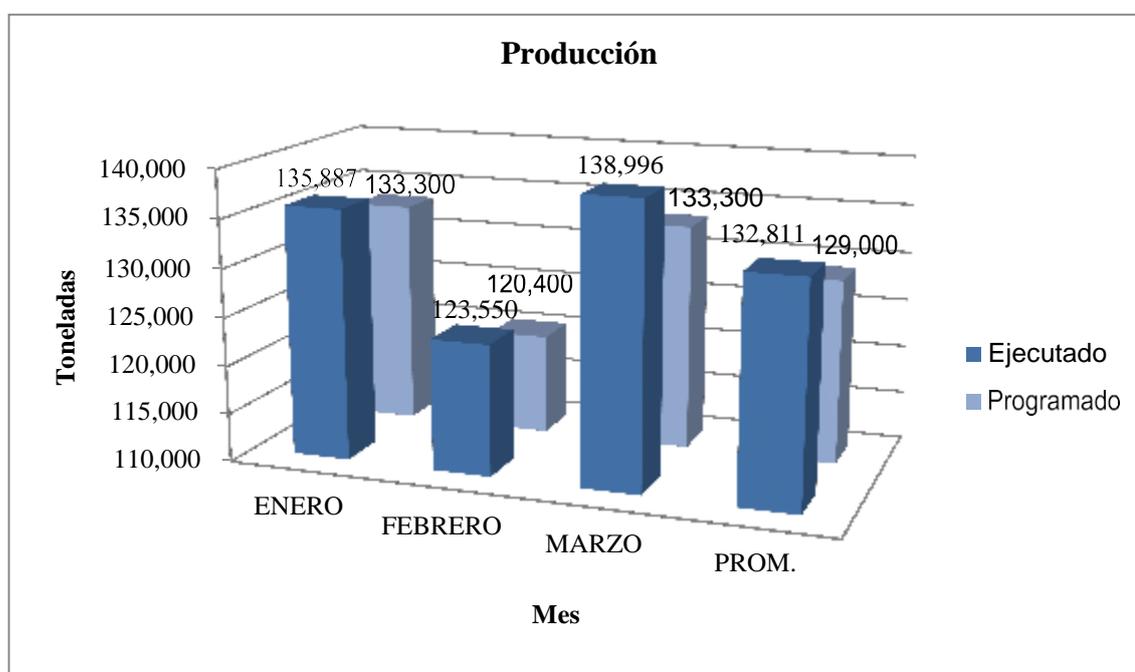


Figura 71. Producción programada y ejecutada en el primer trimestre de 2018
Fuente: elaboración propia, según información proporcionada por el Departamento de Planeamiento de la mina San Cristóbal

En la Figura 72 se muestran dos escenarios de análisis, uno real y otro asumido, con la intención de comparar los costos generados al utilizar el Shotcrete Pump y el Sostenimiento Estructural respectivamente; el primero fue obtenido con los datos recogidos en campo (dimensiones de la labor, cantidad de pernos instalados) y con la información de costos de suministros y servicios de sostenimiento actualizados; en el segundo se muestra información asumida en base a datos anteriores y también reales (cantidad de malla electro soldada y pernos Hydrabolt), que refleja la manera como se instalaba el sostenimiento estructural antes de la implementación del Shotcrete Pump.

| ESCESNARIO REAL | | | | | | ESCESNARIO ASUMIDO | | | | | |
|--|------------|------------------|-------------------------------|--|-----------------------|--|------------|-------------------|--|--|-----------------------|
| Sostenimiento Shotcrete Pump (Nuevo Diseño) | | | | | | Sostenimiento: Shotcrete -Malla -Shotcrete (Sostenimiento Estructural) | | | | | |
| Shotcrete | Fecha | Cantidad (m3) | Costo de materiales (U\$/m3) | Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m3) | Costo Shotcrete (U\$) | Shotcrete | Fecha | Cantidad (m3) | Costo de materiales (U\$/m3) | Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m3) | Costo Shotcrete (U\$) |
| Unica capa de shotcrete (3") | 26/02/2018 | 4.0 | 186.6 | 116.7 | 1212.9 | Primera capa de shotcrete (2") | 26/02/2018 | 2.7 | 132.8 | 116.7 | 673.7 |
| | | 4.0 | | | 1212.9 | Segunda capa de shotcrete (1") | 26/02/2018 | 1.3 | 132.8 | 116.7 | 172.6 |
| | | | | | | | | 4.0 | | | 846.3 |
| Peno Hydrabolr | Fecha | Cantidad (Und) | Costo de materiales (U\$/Und) | Costo de Instalacion (U\$/Und) | Costo (U\$) | Malla con Perno Hydrabolr | Fecha | Cantidad (Und-m2) | Costo de materiales (U\$/Und)-(U\$/m2) | Costo de Instalacion (U\$/Und)-(U\$/m2) | Costo (U\$) |
| Pernos Hydrabolt (und) | 26/02/2018 | 14.0 | 10.4 | 21.2 | 441.3 | Pernos Hydrabolt (und) | 26/02/2018 | 24.0 | 10.4 | 21.2 | 756.5 |
| | | 14.0 | | | 441.3 | Malla electro soldada(m2) | 26/02/2018 | 24.0 | 5.0 | 11.3 | 390.2 |
| | | | | | | | | | | | 1146.7 |
| # Disparos | 1 | Produccion (ton) | | | 151.67 | # Disparos | 1 | Produccion (ton) | | | 151.67 |
| Costo de sostenimiento utilizando Shotcrete Pump (U\$/disparo) | | | | | 1654.2 | Costo de sostenimiento utilizando el Sostenimiento Estructural (U\$/disparo) | | | | | 1993.1 |
| Costo de sostenimiento utilizando Shotcrete Pump (U\$/m3) | | | | | 413.5 | Costo de sostenimiento utilizando Shotcrete Estructural(U\$/m3) | | | | | 498.3 |
| BENEFICIOS: | | | | | | | | | | | |
| Ahorro (U\$/Disparo) | | | | | 338.9 | | | | | | |
| Ahorro (U\$/m3) | | | | | 84.73 | | | | | | |
| Ahorro (U\$/ton) | | | | | 2.23 | | | | | | |

Figura 72. Escenarios Real y Asumido de Costos de Sostenimiento utilizando Shotcrete Pump y Sostenimiento Estructural, y Beneficios que genera el uso del Primero
Fuente: elaboración propia

La labor donde se instaló Shotcrete Pump para hacer el análisis comparativo fue el Tajo Breasting SN_732W x AC_572, cuyas dimensiones son 3.90 m de ancho, 4.10 m de alto y 3.50 m de avance, considerando el traslape respectivo (3.00 m de avance efectivo y 0.50 m de traslape). En la Figura 72 se pueden observar los costos de los materiales utilizados en la producción e instalación de un metro cúbico de Shotcrete Pump versus un metro cúbico de Shotcrete para el sostenimiento estructural, ambos acompañados de pernos Hydrabolt. También se considera el costo del servicio de instalación de los mismos; para el tramo generado por el disparo. Entonces el costo de producción e instalación de sostenimiento con Shotcrete Pump, en el tramo de disparo, es \$ 1 654.2; y por otro lado el costo de producción e instalación del Sostenimiento Estructural es \$ 1 993.1. Así mismo, el costo de producción e instalación de sostenimiento utilizando Shotcrete Pump por cada metro cúbico de shotcrete obtenido en la Planta de Concreto y colocado en la labor minera es \$ 413.5, mientras que el costo de producción e instalación del Sostenimiento Estructural es \$ 498.3.

Los ahorros generados por utilizar el nuevo diseño de shotcrete, Shotcrete Pump, en lugar del Sostenimiento Estructural es \$ 338.90 por disparo, \$ 84.73 por cada metro cúbico de shotcrete obtenido en la Planta de Concreto y colocado en el tajo y \$ 2.23 por cada tonelada producida.

Otro resultado vital es la reducción del tiempo del ciclo de minado, generado a partir de la disminución de duración de la Etapa de Sostenimiento, que pudo conseguirse sustituyendo el uso del denominado Sostenimiento Estructural por la utilización de Shotcrete Pump. La etapa completa de instalación de Sostenimiento Estructural consistía en lanzar la primera capa de concreto (0.5 horas), esperar el tiempo inicial de fraguado (4 horas), instalar la malla con pernos (2.5 horas), lanzar la segunda capa de concreto (0.5 horas), esperar que transcurra el tiempo de fraguado (4 horas) de la segunda capa para poder continuar con la siguiente actividad del Ciclo de Minado; acumulando un total de 11.5 horas en el mejor de los casos; sin embargo, el Shotcrete Pump es instalado en una única etapa de lanzado (0.5 horas), luego se tiene que esperar el tiempo de fraguado inicial (4 horas) para ser complementado con la colocación de pernos Hydrabolt (0.75 horas), lo que significa que el sostenimiento puede instalarse en la mitad de tiempo (5.25 horas). Entonces, este cambio ha permitido que la Etapa de Sostenimiento se reduzca de 11.5 horas de trabajo a la mitad, solo 5.25 horas, acelerando así el Ciclo de Minado. (Fig. 73).

| PARAMETROS | | | BENEFICIOS | | |
|---|--------------|-----------------|--|--------------|-----------------|
| Labor | | | Cantidad de Disparos x Mes (con Shotcrete Pump) | 32 | Disparos |
| GSI | IF/R-P | | Cantidad de Disparos x Mes (con Sostenimiento Estructural) | 21 | Disparos |
| RMR Promedio | 30 | | Diferencia a favor | 11 | Disparos |
| Tonelaje x Disparo | | | Tonelaje adicional mensual | | |
| | 151.67 | ton | | 1634 | ton |
| Numero de Taladros x Frente | 28 | Unid | | | |
| Metros perforados en el frente | 76.5 | m | | | |
| Rendimiento de Jumbo | 50 | m/hr | | | |
| Rendimiento de Scoop 6yd3 | 71.86 | ton/hr | | | |
| Rendimeinto de Empernador | 18 | und/hr | | | |
| ESTUDIO DE TIEMPOS (CON SHOTCRETE PUMP) | | | ESTUDIO DE TIEMPOS (CON SOSTENIMIENTO ESTRUCTURAL) | | |
| Tiempo de Perforacion de frente Breasting | 1.51 | hr | Tiempo de Perforacion de frente Breasting | 1.51 | hr |
| Tiempo de Carguio para voladura de frente | 1.5 | hr | Tiempo de Carguio para voladura de frente | 1.5 | hr |
| Tiempo de Ventilacion | 1 | hr | Tiempo de Ventilacion | 1 | hr |
| Tiempo de Desate manual y/o mecanizado | 0.75 | hr | Tiempo de Desate manual y/o mecanizado | 0.75 | hr |
| Tiempo de Limpieza de frente con Scoop 6yd3 | 2.11 | hr | Tiempo de Limpieza de frente con Scoop 6yd3 | 2.11 | hr |
| Tiempo de sostenimiento con shotcrete Pump | 4.5 | hr | Tiempo de proyecto de sostenimientyo con shotcrete 2" | 4.5 | hr |
| Tiempo de sostenimiento con pernos | 0.75 | hr | Tiempo de sostenimiento con perno y malla | 2.5 | hr |
| Total | 12.12 | horas | Tiempo de proyecto de sostenimiento con shotcrete 1" | 4.5 | hr |
| | | | Total | 18.37 | horas |
| CICLO TOTAL DE MINANO PARA BREASTING | | | CICLO TOTAL DE MINANO PARA BREASTING | | |
| Actual (con Shotcrete Pump) | 12.12 | hr | Antiguo (con Sostenimiento Estructural) | 18.37 | hr |
| Tiempo de trabajo (Guardia de 12 hrs) | 6.4 | hr | Tiempo de Trabajo (Guardia de 12 hrs) | 6.4 | hr |
| Numero de guardias para Ciclo breasting (nuevo) | 1.89 | Guardias | Numero de guardias para Ciclo de Brasting (Antiguo) | 2.87 | Guardias |

Fuente: Área de Planeamiento de Carahuacra 2015

Figura 73. Resultado de los estudios de tiempo y beneficio del Shotcrete Pump

4.6 Discusión de resultados

Se revisaron los resultados de todos los ensayos realizados en laboratorio, pruebas llevadas a cabo en campo y el análisis económico, para discutir los mismos.

En cuanto a los resultados de los ensayos y pruebas de campo, directamente relacionados al aspecto técnico del proyecto, se tiene:

- Los Ensayos de Capacidad de Absorción de Energía demuestran que la capacidad de absorción de energía de las fibras de acero del Shotcrete Pump (1657.06 Joules) es también mayor que la de las mallas electro soldadas tradicionales del sostenimiento estructural (1346.85 Joules) en un 18.72 %, de acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos mencionados, la razón principal es que la malla electro soldada común se fabrica de alambres estirados en frío, por lo que esta tiende a romperse bajo deformaciones muy pequeñas, y por tanto es peligroso utilizarla ya que las aplicaciones de soporte de roca están sometidas a mayores deformaciones. El incremento de la ductilidad del Shotcrete Pump a través del uso de una mayor cantidad de fibras, permite que haya una mayor transmisión de carga después del agrietamiento.
- El Shotcrete Pump con mayor contenido de fibra aplicado en espesores de tres pulgadas (3”) como estándar para este nuevo diseño, permite obtener valores de resistencia a la compresión uniaxial de 505.3 kg/cm² a 7 días, 592.5 kg/cm² a los 28 días, es decir 4.17 % más que el shotcrete utilizado en el sostenimiento estructural (426.5 kg/cm² a los 7 días y 576.8 kg/cm² a los 28 días), en el periodo enero – marzo 2018, lo que se traduce en la conversión de fisuras de contracción en micro fisuras, garantizando un lugar de trabajo seguro para los colaboradores.
- El sostenimiento estructural crea un problema de calidad, denominado “efecto de sombra”, producto de la irregularidad de la labor; este efecto puede producir vacíos detrás de los alambres de malla, lo cual es un problema serio que a la larga conduce a la corrosión de la malla y fisuración del shotcrete. El peligro que genera el efecto de sombra se ha evitado fácilmente utilizando el Shotcrete Pump, lanzado con un mayor espesor (3”), en los tajos Breasting, cuyas características geomecánicas son pobres y donde se espera que siempre haya deformación. Las fibras de acero permiten aplicar el

espesor requerido de shotcrete en toda la superficie, independientemente de la irregularidad de la superficie del terreno y se evita también el problema de mayor rebote causado por las mallas electro soldadas.

- El Shotcrete Pump permite una distribución homogénea del refuerzo de fibra en la capa de shotcrete, el hecho de que son pequeñas ayuda a que se distribuyan uniformemente en toda la capa de concreto, reduciendo los sobre espesores, por lo que existe una mayor capacidad de adherencia, en comparación con el shotcrete utilizado como sostenimiento estructural.

En cuanto a los resultados del análisis económico, se tiene:

- El uso de Shotcrete Pump, implementado en Tajos Breasting, los cuales son labores temporales que se caracterizan por su rápida explotación (alrededor de un mes por cada corte), ha generado la disminución del consumo de malla electro soldada, así como la disminución del consumo de pernos Hydrabolt.
- La adherencia del Shotcrete Pump y el fraguado hacen que la colocación de los pernos se realice sin inconvenientes a las 4 horas de fragua establecidos, agilizando la etapa de Sostenimiento, pues se evita lanzar la capa adicional de shotcrete, teniendo más labores sostenidas durante la guardia, aumentando la producción, ya que se pueden obtener 11 disparos adicionales durante el mes, lo que representa 1634 ton adicionales.
- El menor tiempo de instalación del sostenimiento, genera una menor mano de obra especializada para prestar los servicios de transporte y lanzado. Así mismo, reduce el tiempo de ausencia de soporte y por lo tanto el riesgo (menor tiempo de terreno inestable expuesto).

CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados de los diferentes ensayos de shotcrete y profundizar en el análisis económico, se determinaron las ventajas técnico-económicas del nuevo diseño de shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump), en comparación con el sostenimiento estructural (Shotcrete – Malla – Shotcrete), en labores mineras de roca de tipo IV A – IV B, en la Unidad Minera Carahuacra, U.E.A. Yauli, Volcan Compañía Minera S.A.A.

Siendo las ventajas técnicas las siguientes:

1. El nuevo diseño shotcrete reforzado con fibras de acero (Shotcrete Pump) supera los valores de capacidad de absorción de energía y tenacidad en 18.72 %, en comparación con el sostenimiento estructural; en términos prácticos, esto significa que con esta mayor proporción de fibras, la capa de shotcrete puede agrietarse y deformarse y aún conservar una gran capacidad de carga, de manera que en circunstancias normales hay tiempo suficiente para poder observar las fisuras o deformaciones y poder tomar las medidas pertinentes.
2. El Shotcrete Pump ofrece una mayor resistencia a la compresión (4.17 % más, a los 28 días), en comparación con el sostenimiento estructural. Los valores de resistencia obtenidos para ambos casos, superan ampliamente el requerimiento de 300 kg/cm^2 o 30 MPa determinado para labores temporales, como los Tajos Breasting que sirvieron como labores piloto. Estos valores son incluso superiores a 500 kg/cm^2 , la obtención de valores de resistencia a la compresión alta es importante para garantizar un factor de seguridad también alto, dadas las condiciones de estabilidad del macizo rocoso.

Las ventajas económicas son:

1. El uso del shotcrete Pump nos permitió reducir el tiempo de instalación de sostenimiento y consecuentemente dinamizar el ciclo de minado. Antes se tenía que instalar el shotcrete en dos etapas, lanzar la primera capa de concreto (0.5 horas), esperar el tiempo inicial de fraguado (4 horas), instalar la malla con pernos (2.5 horas),

lanzar la segunda capa de concreto (0.5 horas) y finalmente esperar que transcurra el tiempo de fraguado (4 horas) para poder continuar con la siguiente actividad del Ciclo de Minado; ahora, el Shotcrete Pump es instalado en una única etapa de lanzado (0.5 horas), esperar el tiempo de fraguado inicial (4 horas) para ser complementado con la colocación de pernos Hydrabolt (0.75 horas), lo que significa que el sostenimiento puede instalarse en casi la mitad de tiempo. Este cambio ha permitido que la Etapa de Sostenimiento se reduzca de 11.5 horas de trabajo a la mitad, solo 5.25 horas, acelerando así el Ciclo de Minado y aumentando la producción en 11 disparos adicionales por mes.

2. También nos permitió reducir el costo de sostenimiento. El uso de sostenimiento estructural generaba un costo alto en la Etapa de Sostenimiento (\$11.5/ton en el primer trimestre de 2018) que representaba el 26 % del costo total del Ciclo de Minado (\$44.5/ton); sin embargo, en el primer trimestre del presente año el costo de sostenimiento es \$9.5/ton, \$2/ton por debajo.
3. Finalmente, la reducción de costos mencionada se refleja en ahorros en costos directos (suministros y servicios de sostenimiento), lo que representa 15 % menos en costos de suministros y servicios de sostenimiento y se evitaron los costos indirectos relacionados al servicio de transporte y lanzado de shotcrete en dos capas (requerido cuando se utilizaban mallas electro soldadas).

RECOMENDACIONES

Continuar realizando este tipo de ensayos y posterior análisis para mejorar los procesos de concreto.

El proceso de toma de datos (Ensayos) debe ser realizado por personal capacitado y experimentado cumpliendo con los estándares y procedimientos, para así poder reunir información confiable a fin de tomar las decisiones correctas.

Realizar un correcto uso de los equipos e instrumentación cuando se lleven a cabo los ensayos. Adicionalmente se debe realizar la calibración de los equipos de acuerdo a los cronogramas establecidos a través de empresas especializadas en el rubro.

A medida que se incremente el uso del nuevo diseño de shotcrete, implementar mayores controles para verificar su performance, controles como mediciones de convergencia o extensometría para asegurar el óptimo desempeño de esta alternativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sandoval, O. & Guillén, H. (2014). *Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA*. Trujillo, Perú.
2. Guillén, H. (2013). *Aplicación del método de deformación controlada en la ejecución de labores de avance en CMHSA*. Trujillo, Perú
3. Melbye, T. (2001). *Shotcrete para soporte de Rocas*. Londres, Inglaterra.
4. Hofler, J. & Schlumpf, J. (2004). *Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles*, San Francisco, EE. UU.
5. Sika Informaciones Técnicas (2010). *Concreto reforzado con fibra*. Bogotá, Colombia
6. Dramix® (2011). *El refuerzo seguro para estructuras seguras de concreto lanzado*. México D.F., México.
7. Catrin, E. (2003). *Rock Mass Strength*. Lulea, Suecia.
8. Hoek, E & Brown, E.T. (1985). *Underground Excavations in Rock*, Mc Graw Hill, EE.UU.
9. Perri, R. *Concreto reforzado con fibra metálica: soporte primario y revestimiento definitivo para los túneles del tramo ferroviario. Puerto Cabello – Valencia*. Universidad Metropolitana de Caracas. 2004.
10. BATES, R. y JACKSON, J. *Dictionary of geological terms (rocks, minerals and gemstones)*. Michigan: Jackson & Bates Ed. 1984.
11. BATEMAN, A. *The formation of mineral deposits*. New York: Wiley, Ed. 1951.
12. BIENIAWSKI, Z. *Engineering Rock mass classifications*, A Wiley-Interscience, USA. 1989.
13. RIEDMÜLLER, G., BROSCH, F., KLIMA, K., MEDLEY, E. *Engineering geological characterization of brittle faults and classification of fault rocks*. Felsbau. 2001.
14. BRIGHAM, E. & EHRHARDT, M. *Finanzas Corporativas: enfoque central*. (1° ed.). México: Cengage Learning. 2018.
15. *Plan Anual de Minado 2017_MCar, VOLCAN COMPAÑIA MINERA CARAHUACRA*.
16. *Reglamento de calificaciones y registros de investigadores en ciencia y tecnología del Sistema Nacional de Ciencia, tecnología e Innovación Tecnológica – SINACYT*. El Peruano, 5 de diciembre de 2015, p.567978

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO SÚPERPLASTIFICANTE GLENIUM TC 1300



The Chemical Company

GLENIUM® TC 1300

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto / shotcrete

DESCRIPCION:

GLENIUM TC 1300 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para ser usado.

Pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Esta tecnología combina un diseño molecular de vanguardia para lograr un valor excepcional y preciso en todas las fases del proceso de construcción del concreto.

El aditivo GLENIUM TC 1300 es muy efectivo en la producción de mezclas de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto autocompactante (SCC). El uso del aditivo GLENIUM TC 1300 proporciona características de fraguado más rápidas como asimismo mejora la resistencia a la compresión inicial.

GLENIUM TC 1300 cumple con los requisitos de la norma provisional ASTM C494 /C494 M para aditivos Tipo A, (reductores de agua), y tipo F (reductores de agua de alto rango).

USOS RECOMENDADOS:

- Concretos que requieren una reducción de agua entre 5 a 40%.
- Aplicaciones donde el control de manejabilidad y tiempos de fraguado sea crítico.
- Aplicaciones de construcción civil y minera: Shotcrete por vía húmeda.
- Concretos que requieren una fluidez elevada, mayor estabilidad, alta resistencia inicial y final y durabilidad. (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track).
- Fabricación de mezclas de concreto Rheodinámico y autocompactante (SCC).

CARACTERISTICAS:

- Excelente desarrollo de resistencia inicial
- Adecuado control de fraguado
- Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado
- Mantiene el aire incorporado consistente
- Flexibilidad en la dosificación



VENTAJAS:

- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad
- Rheología controlada
- Desarrollo de resistencias iniciales altas
- Produce concretos cohesivos y sin segregación
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados
- Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana.
- Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado.
- Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra
- Disminución del concreto rechazado
- Optimiza el costo de las mezclas de concreto

BASF Construction Chemicals Perú S.A.
J. Placido Jiménez 630, Lima 1, Perú
Tel. (51-1) 385-0109
Fax (51-1) 385-2085

www.la.oc.basf.com

Glenium TC 1300 - 1 -



The Chemical Company

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO:

Datos de la mezcla: El concreto / shotcrete producido con el aditivo GLENIUM TC 1300 alcanza significativamente mayor resistencia en edad temprana que los aditivos reductores de agua de alto rango base policarboxilatos de la primera generación.

GLENIUM TC 1300 también permite la obtención de un equilibrio perfecto entre retención de manejabilidad y ciertas características de fraguado que proporcionan la eficiencia en la colocación y acabado del concreto y/o shotcrete.

DATOS TECNICOS:

Apariencia: Líquido

Color: Marrón

Gravedad Específica @ +20 °C: 1,06

pH @ +20 °C: 5

APLICACIÓN:

Dosificación:

La dosis recomendada para el uso del GLENIUM TC 1300 está en el rango de 800 a 1500 ml/100 kg de cementante. Es posible que sea necesario cambiar la dosificación debido a las variaciones en los materiales de concreto y de las condiciones y/o aplicaciones en la obra. En tales casos, contacte a su representante local de BASF.

Mezclado:

El aditivo GLENIUM TC 1300, deben adicionarse luego de la tanda inicial de agua y de otros aditivos, de ser el caso.

ALMACENAMIENTO:

Temperatura de almacenamiento:

GLENIUM TC 1300 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si

el GLENIUM TC 1300 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica.

Vida de almacén:

GLENIUM TC 1300 tiene una vida útil mínima de 6 meses, la misma que puede prolongarse dependiendo de las condiciones de almacenamiento. En todos los casos el producto deberá ser homogenizado antes de ser usado. Por favor contacte a su representante de BASF en relación al mejor uso y dosificación si el aditivo almacenado excede el tiempo de validez indicado en el envase

EMPAQUE

GLENIUM TC 1300 se suministra en cilindros de 208l (55 gal) y en touts de 1000 litros

Documentos relacionados

Hoja de Seguridad del Material (MSDS)
GLENIUM TC 1300.

Información adicional

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte al representante local de BASF.

BASF Construction Chemicals es líder en el suministro de aditivos innovadores para concreto de especialidad usado en los mercados de premezclado, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Los productos de la respetada marca BASF se usan para mejorar la colocación, bombeabilidad, acabado, estética y características de desempeño del concreto.

EXTENSION DE RESPONSABILIDADES AVISO DE GARANTIA LIMITADA

BASF Construction Chemicals Perú S.A.
Jr. Prado Jiménez 630, Lima 1- Perú
Tel: (51-1) 285-0109
Fax: (51-1) 285-2085

www.laoc.basf.com

Glenium TC 1300 -2-

ANEXO 2

FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO ACELERANTE MASTER ROCK SA 160



MasterRoc® SA 160

Antes: MEYCO® SA 160

Acelerante líquido, libre de álcali, de alto desempeño para el concreto lanzado.

Descripción del producto

MasterRoc SA 160 es un acelerante libre de álcali, de alto desempeño para concreto proyectado o shotcrete. Es un aditivo líquido cuya dosificación puede variarse para obtener los tiempos de endurecimiento y fraguado deseados. Es adecuado para todas las aplicaciones donde se requieren capas gruesas con una resistencia inicial alta, y buena resistencia final.

Campo de aplicación

Usos:

- Soporte temporal y permanente de rocas en túneles.
- Soporte de rocas en proyectos de minería subterránea.
- Pisos en malas condiciones.
- Estabilización de taludes.
- Aceleración de grouts cementicios, como los que se usan en los revestimientos de túneles por máquinas perforadoras de túneles (TBM), inyección subterránea de cemento, y relleno de concreto en espuma.

Recomendaciones:

Compatibilidad: no se recomienda mezclar **MasterRoc SA 160** con otros aceleradores que no sean de **Master Builders Solutions**, ya que esto puede causar inmediato taponamiento de los equipos de dosificación.

Características y beneficios

- Se obtiene un espesor de recubrimiento de 150 a 300 mm (6 -12 in) en una sola pasada (como en aceleradores en base a aluminato).
- Desarrolla una resistencia inicial continua.
- Durabilidad excelente de la resistencia final.
- Fácil de manejar y dosificar en forma precisa.
- Muy bajo desprendimiento de polvo y por lo tanto, crea un ambiente de trabajo saludable.

- Mejora la seguridad laboral ya que no es agresivo, reduce el impacto ambiental y disminuye los costos.

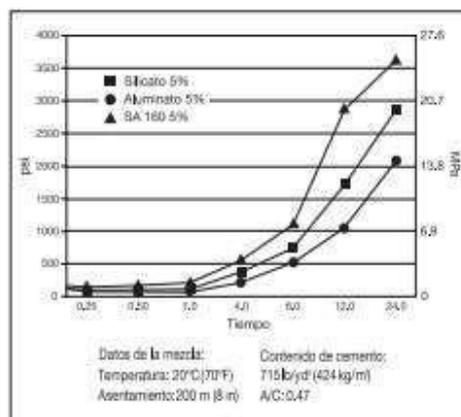
Presentación

MasterRoc SA 160 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), containers de 1000 l (264 gal) y a granel.

Datos técnicos*

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Forma | Líquida |
| Color | Beige |
| Densidad, 20°C | 1.41 ± 0.03 |
| pH (1:1 solución acuosa) | 2.5 - 3 |
| Viscosidad Haake Sp 12,0°C (1) | >450 ± 50 MPa.s |
| Estabilidad térmica | 5°C - 35°C (41 a 95°F) |
| Contenido de cloruros | < 0.1% |

(1) Depende del grado de agitación y temperatura del producto.



MASTER®
BUILDERS
 SOLUTIONS



We create chemistry

Procedimiento de aplicación

Preparación de la superficie: El sustrato debe estar limpio, sin material suelto y de preferencia húmedo.

MasterRoc SA 160 se dosifica en la boquilla. Como **MasterRoc SA 160** es una suspensión por lo que no todas las bombas de proyección funcionarán de forma apropiada. Para asegurar una dosificación constante y precisa, asegurando la calidad del concreto proyectado, recomendamos la utilización de las siguientes bombas de dosificación:

- Mono bombas (bombas de tornillo).
- Bombas peristálticas tipo Bredel.

Puede ser usada también con:

- Bombas de membrana.
- Bombas de engranaje.

No se debe usar con:

- Bombas de pistón.
- Bombas con válvulas de globo y asiento.
- Tanques presurizados.
- Bombas de engranajes.

Nota: No utilice filtros en la línea de succión, ya que pueden causar taponamiento. Preferiblemente el material se debe extraer del fondo del tambor/contenedor.

Limpieza: Antes de utilizar **MasterRoc SA 160**, el equipo de dosificación y demás partes del sistema se deben limpiar por completo con abundante agua. El no hacerlo provoca taponamientos en el sistema. Asegúrese de que todos los operadores involucrados en la operación estén bien informados.

Dosificación

La dosificación de **MasterRoc SA 160** depende de la temperatura del concreto, aire y sustrato. Otro factor importante que influye en la dosificación es la reactividad del cemento. Dependiendo del tiempo requerido de fraguado y resistencia temprana, el consumo del aditivo **MasterRoc SA 160** normalmente fluctúa entre 4-8% del peso del bacheo. Sobredosis de > 10% pueden resultar en una disminución de resistencia final.

Para todos los casos se recomienda realizar pruebas preliminares para verificar el fraguado y la resistencia a las 24 horas de los cementos que se utilizarán en el proyecto.

Almacenamiento

MasterRoc SA 160 debe almacenarse mínimo a 5°C (45°F) y máximo a 35°C (95°F), en contenedores cerrados de plástico, fibra de vidrio o acero inoxidable. No debe almacenarse en contenedores metálicos convencionales, puesto que el pH del producto induce corrosión que puede afectar su desempeño. Después de un almacenamiento prolongado recomendamos que **MasterRoc SA 160** sea siempre reconstituido mediante agitación mecánica o recirculación. No se debe utilizar aire comprimido.

Los contenedores abiertos permitirán el contacto prolongado con el aire causando la formación de una película delgada y grumos que pueden bloquear el sistema acelerante.

Antes de usar cualquier producto que se haya congelado, consulte a su representante local **BASF**.

Si se almacena en su envase original bien cerrado, bajo las condiciones descritas arriba, tiene una mayor durabilidad.

Precauciones de seguridad

Riesgos

MasterRoc SA 160 no contiene sustancias peligrosas que requieran un etiquetado especial.

Sin embargo, se deben tomar las mismas precauciones a las indicadas para el uso y manejo de productos cementicios.

Precauciones

Mantenga fuera del alcance de los niños. Mantenga el recipiente cerrado cuando no se utilice. Evite el contacto con la piel, los ojos y la ropa. Lave sus manos perfectamente después de usar el producto. Use guantes protectores y lentes de protección.

MASTER®
>>BUILDERS
SOLUTIONS

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA DE ACERO SIKA LHO 45/35 NB



HOJA TÉCNICA

Sika® Fiber LHO 45/35 NB

Fibra de acero para refuerzo del concreto normal y concreto proyectado

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber LHO 45/35 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto tradicional y concreto proyectado (shotcrete). Sika® Fiber LHO 45/35 NB son fibras de acero que cumplen con la relación longitud / diámetro (l/d) mínima requerida para obtener un concreto dúctil.

USOS

Sika® Fiber LHO 45/35 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones y especialmente concreto proyectado (shotcrete) reduciendo tiempo y costos asociados al tradicional reforzamiento con mallas de acero; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto.

En concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (tráfico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puentes, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.
- Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).
- Reducción de la fisuración por retracción.
- No afecta los tiempos de fraguado.
- Su condición de fibras sueltas le permite ser usadas en mezclas de concreto, concreto proyectado (shotcrete) vía húmeda y vía seca.
- Relación longitud / diámetro igual a 45 para un rendimiento estándar.
- Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.

DATOS BÁSICOS

| | |
|----------------|---|
| FORMA | COLORES Negro. ASPECTO: FIBRAS PRESENTACIÓN Sacos de papel x 20 kg. |
| ALMACENAMIENTO | CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Los sacos de Sika® Fiber LHO 45/35 NB pueden almacenarse por tiempo indefinido protegido de la humedad. |
| DATOS TÉCNICOS | LONGITUD 35 mm con extremos conformados. DIÁMETRO DE LA FIELA 0,77 mm RELACIÓN LONGITUD/DIAMETRO 45 RESISTENCIA A TRACCIÓN 1150 MPa min. ELONGACIÓN DE ROTURA 4% máx. NORMAS Sika® Fiber LHO 45/35 NB cumple con las normas ASTM A 820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" Tipo I y DIN 17140-D9 para acero de bajo contenido de carbono. |

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

| | |
|------------------------|---|
| DETALLES DE APLICACIÓN | CONSUMO / DOSIS Normalmente entre 20 y 50 kg. de Sika® Fiber LHO 45/35 NB por m3 de concreto. Se recomienda realizar ensayos previos para determinar la cantidad exacta de fibra de acero a utilizar de acuerdo a los índices de tenacidad ó energía absorbida especificada del concreto. |
| MÉTODO DE APLICACIÓN | MÉTODO DE APLICACIÓN Sika® Fiber LHO 45/35 NB se puede agregar en la tolva de pesada de la dosificadora de concreto, en la correa de alimentación, en camión mixer y mezcladora de concreto como a continuación se indica en cada caso: En la tolva de pesada de la dosificadora, abra las bolsas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las bolsas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas de descarga. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. En la correa de alimentación, si hay acceso, las fibras pueden adicionarse durante o después de agregar los áridos. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. |

En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras mientras el mixer de concreto está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg. de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución; mezclar 30 segundos adicionales si la distribución no es uniforme.

En la mezcladora de concreto, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras y mezclar por 30 segundos por cada pie cúbico a menos que se observe una distribución homogénea en menor tiempo.

OBSERVACIONES

No agregue Sika® Fiber LHO 45/35 NB al mezclador antes de los áridos.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hoja Técnica de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 3

la misma que deberá ser destruida”

ANEXO 4

TABLAS DE CÁLCULO DE VOLUMEN DE SHOTCRETE PARA ESPESORES DE
2" y 3"

| Y A U L I | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CÁLCULO DE VOLUMEN DE SHOTCRETE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dpto. de Geomecánica S.C. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SHOTCRETE ESPESOR 3.0" | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REBOTE:1.1 RUGOSIDAD: 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ALTO |
| ANCHO | 4.0 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.5 |
| 3.5 | 1.09 | 1.11 | 1.13 | 1.15 | 1.17 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 |
| 3.6 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 |
| 3.7 | 1.11 | 1.13 | 1.15 | 1.17 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 |
| 3.8 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 |
| 3.9 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 |
| 4.0 | 1.13 | 1.15 | 1.17 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 |
| 4.1 | 1.14 | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 |
| 4.2 | 1.15 | 1.17 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 |
| 4.3 | 1.16 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 |
| 4.4 | 1.17 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 |
| 4.5 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 |
| 4.6 | 1.19 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 |
| 4.7 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 |
| 4.8 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 |
| 4.9 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 |
| 5.0 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 |
| 5.1 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 |
| 5.2 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 |
| 5.3 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 |
| 5.4 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 |
| 5.5 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 |
| 5.6 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 |
| 5.7 | 1.30 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 |
| 5.8 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 |
| 5.9 | 1.32 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 |
| 6.0 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 |
| 6.1 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 |
| 6.2 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 |
| 6.3 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 |
| 6.4 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.68 |
| 6.5 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 | 1.69 |
| 6.6 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.68 | 1.70 |
| 6.7 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 | 1.69 | 1.71 |
| 6.8 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.68 | 1.70 | 1.72 |
| 6.9 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 | 1.69 | 1.71 | 1.73 |
| 7.0 | 1.43 | 1.45 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.68 | 1.70 | 1.72 | 1.74 |

Multiplicar el factor encontrado por la longitud de avance promedio medida en campo.

ANEXO 5

| ERA | SISTEMA | EPOCA | EDADES PISOS | UNIDAD LITOLOGICA | GRAFICO | FORMACION SEDIMENTARIA | FORMACION IGNEA | MINERALIZACION |
|------------|-------------|------------------------------|------------------------------------|--|---------|--|--|--|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | | | | | Sedimentos no consolidados | | |
| | | TERCIARIO | | | | Discordancia erosional Conglomerados calcareos Calizas Lutitas Calcareas Calizas arcillosas arenosas | Intrusivos intermedios Cuarzo-Dioritas Intrusivo Acido tipo Chumpe Granitos | |
| MESOZOICO | CRETACEO | INFERIOR | COMANCHEADO | FORMACION JUMASHA | | Calizas masivas y Dol. poco fosiliferas Basalto | Cuellos de Basaltos a traves de todas las Formaciones | Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Cu. Diorita + Gabro Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb. con sobreimposición de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos. |
| | | NEOCOMICO | | GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC | | Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert Calizas y Dolomias | | |
| | | (EOCRET.) | | GRUPO GOYLLAR | | Alternancia de Clz Margosas Fosil. Qtz Basalto Montero Areniscas Limolitas rojas | | |
| | | | | | | Calizas gris claras, y dol Blancas amarillentas Basalto Montero | | |
| | JURASICO | INFERIOR O EOCRETACEO (LIAS) | NEOCOMIANO TOARCLANO FLIENSACHIANO | GRUPO PUCARA FORMACION CONDORSINGA FORMACION ARAMACHAY | | Calizas con Yeso | | |
| | TRIASICO | SUPERIOR O MESOTRIASICO | RETIANO NORIANO | GRUPO PUCARA FORMACION CHAMBARA | | Calizas y Dolomias | | |
| PALEOZOICO | PERMICO | ERTRIOSICO SUPERIOR | OCBOA | GRUPO MITU | | Discordancia erosional Lentes de arenáceas y conglomerados rojizos | Derrames de Dacita y Andeaita Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuarzo-Monzonítica | Mineralización estratoligada de Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mn. |
| | | MEDIO 289 y 216 | GUADALUPE LEONARDO | | | Discordancia erosional | Volcánicos Volcanoclásticos morados | Mineralización Hidrotermal en Vetas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb. |
| | DEVONICO | SUPERIOR | CHAUTAUQUAN | GRUPO EXCELSIOR | | Filtas | | Mineralización estratoligada de Ni, Co |
| | | MEDIO | ERIAN (HAMILTON) ULSTER | | | Mármoles fosilíferos Cuarzitas | Volcanicas verdes | Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe |

ANEXO 6



ANEXO 7

| | | | |
|---|---|-------------|--------------------|
|  | ESTANDAR: SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE PUMP | | MINA CARAHUACRA |
| | Código: | Versión: 01 | |
| | Fecha de elaboración: 16/01/2018 | Página: 1/8 | |

1. OBJETIVO

Realizar el diseño y sostenimiento adecuado con SHOCTRETE PUMP en los frentes Breasting dentro de la unidad minera, garantizando un adecuado trabajo de estabilidad en los frentes y así evitar los accidentes por desprendimiento de rocas, brindando seguridad a los trabajadores y proteger los equipos e instalaciones.

2. ALCANCE

A la supervisión de Mina Carahuacra, Empresas Contratistas y colaboradores que labora en interior mina, como son: en los tajos de explotación, labores de preparación y desarrollo. Jefe de guardia, capataz, operador y ayudante de equipos empernadores, Robot lanzador y personal de sostenimiento en general.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DS 024-2016-EM; Artículo 213, 214 incisos a,b,c,d,e,f,g,h,; Art 218, Art 224 incisos a,b,c,d,e,f; Art 225 y Art 228.

4. ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

• DEL ESPESOR DE SHOTCRETE

Condiciones normales: 1” (2.5cm) o según recomendación Geomecanica.

| Elaborado por: | Revisado por: | Revisado por: | Aprobado por: |
|-------------------------|--|--|---|
| Supervisor/trabajadores | Luis Huamani Rodas Jefe Geomecanica Carahuacra | Javier Olivares Peña Superintendente de SSO | Adrian Corihuaman Mayta Gerente de Operaciones |

| | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | Carahuacra |
| Fecha: 16-01-2018 | Fecha: 18-01-2018 | Fecha: 20-01-2018 | Fecha: 22-01-2018 |

- **PARA EL CONTROL DEL ESPESOR**

Se lanzará una capa de shotcrete y se plantará un calibrador dependiendo el espesor recomendado, siempre siguiendo las recomendaciones del “PETS de lanzado de shotcrete”.

- **DE LA DOSIFICACION DE LA MEZCLA**

De la dosificación por metro cubico de mezcla (m³) vía húmeda:

- Cemento “Andino” Tipo 1: 400 Kg/m³
- Agua proveniente de mina: 165 lts/m³
- Arena de la zona: 1672 Kg/m³
- Master Glenium 1300: 3.5 Kg/m³
- Fibra Sintetica: 4 - 6 Kg/m³
- Master Roc 160: 21 Lts/m³

- **PARA EL COLOCADO DE SHOTCRETE:**

Situar la boquilla a una distancia no mayor de 1.50m ni menor de 1.00 m con el objetivo de incrementar el rebote.

El lanzado de shotcrete es en todo el perímetro (piso a piso).

- El lanzado de shotcrete de sacrificio se realizará desde 1.50 m del piso hasta la Corona en todas las labores, siendo los sub niveles y breastings los de mayor importancia para evaluación geológica (muestreo u otros).
- El volumen de shotcrete Pump será a 3 pulgadas.
- Se debe realizar estrictamente el desate de rocas sueltas en el frente de la labor antes del lanzado de shotcrete de sacrificio.
- El tipo de fibra a utilizar es Metálica dosificación 60kg/m³. (según recomendación Geomecanica).
- Durante el lanzado el operador del robot se ubicará en la parte sostenida anteriormente (disparo anterior), no en la parte recién lanzada.
- Una vez terminado pintar con spray la hora final, fecha, guardia y espesor en el hastial de la labor.

- **DEL REBOTE:**

Vía Húmeda: 5% a 10%.

- **ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SHOTCRETE:**

Resistencia a la compresión (28 días) de: 280Kg/cm²

Resistencia de Flexotracción: 650J

Se deberá tomar muestras de lanzado mediante paneles normados cada 500m³.

- **DE LA FORMA DE APLICACIÓN DEL SHOTCRETE**

Ver anexos.

5. RESPONSABLES

5.1. Operador del Robot y ayudantes

Responsables de realizarlos trabajos de acuerdo al estándar establecido.

5.2. Supervisores Técnicos

Cumplir y hacer cumplir este estándar, difundiendo su contenido y capacitando al personal mediante charlas e instrucciones del terreno.

5.3. Supervisor de Seguridad de E.C.M. y CIA:

Son responsables de asegurar que se cumplan las disposiciones del presente estándar.

5.4. Jefes de Guardia, Supervisores ECM y CIA:

Son los responsables de hacer cumplir correctamente el estándar establecido, difundiendo su contenido y capacitando al personal mediante charlas e instrucciones en el terreno.

5.5. Superintendente de Mina, Residente de ECM:

Responsable de la implementación, difusión y cumplimiento del presente estándar.

5.6. Área de Geomecánica:

Responsable del control y cumplimiento del presente estándar.

6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- Registro de Capacitaciones sobre instalaciones con shotcrete (concreto lanzado).
- IPERC y Check list de labor.
- Orden de Trabajo.
- Recomendación Geomecánica.

7. REVISIÓN.

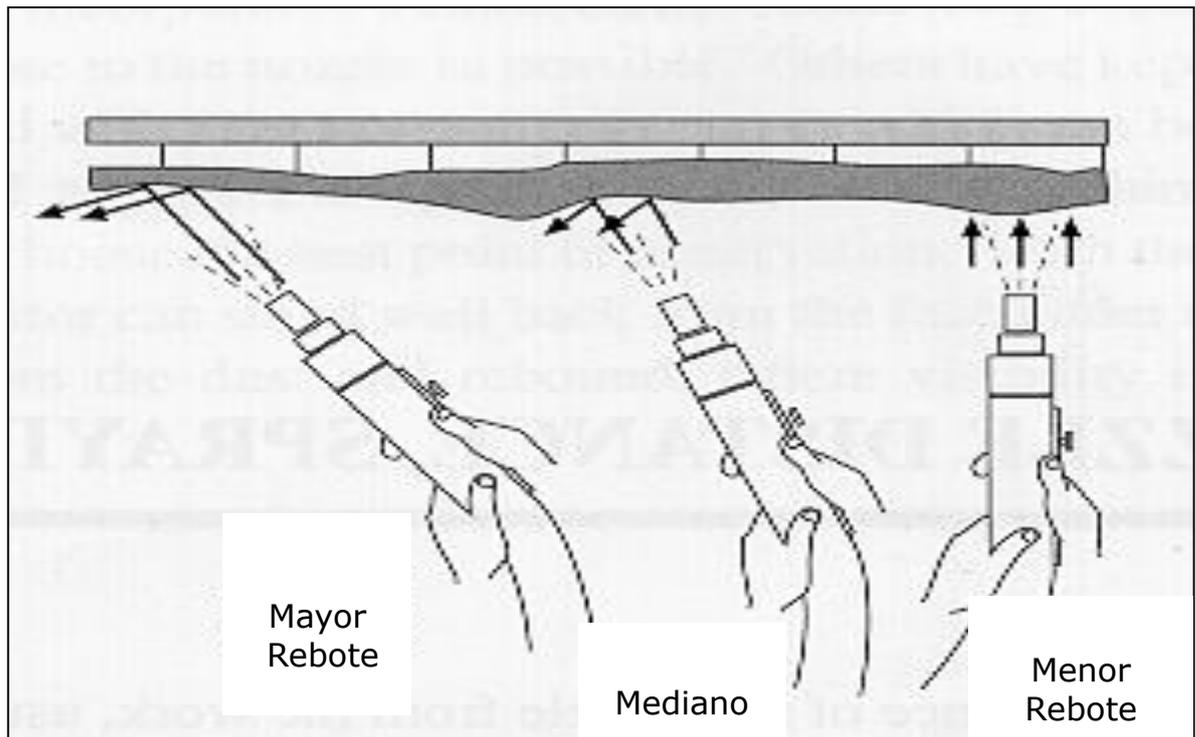
De acuerdo a los resultados de inspecciones obtenidas, se revisarán los parámetros anualmente o cuando las circunstancias los requieran.

ANEXO 01

Posición correcta para lanzar el shotcrete

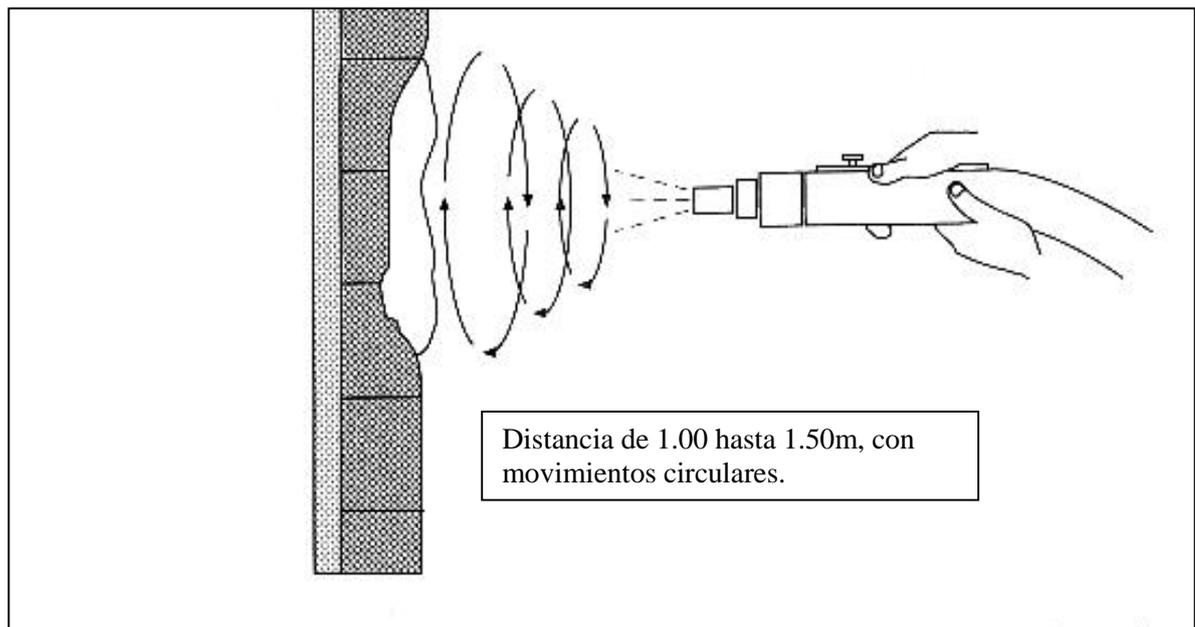


Angulo de lanzamiento



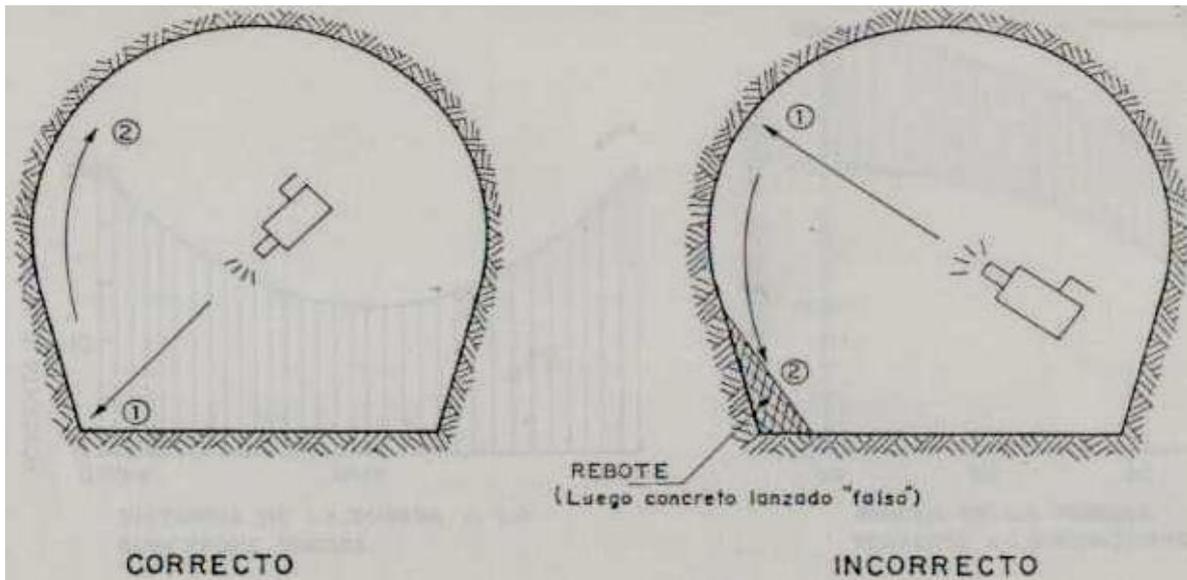
ANEXO 02

Distancia de la Boquilla a la pared



ANEXO 03

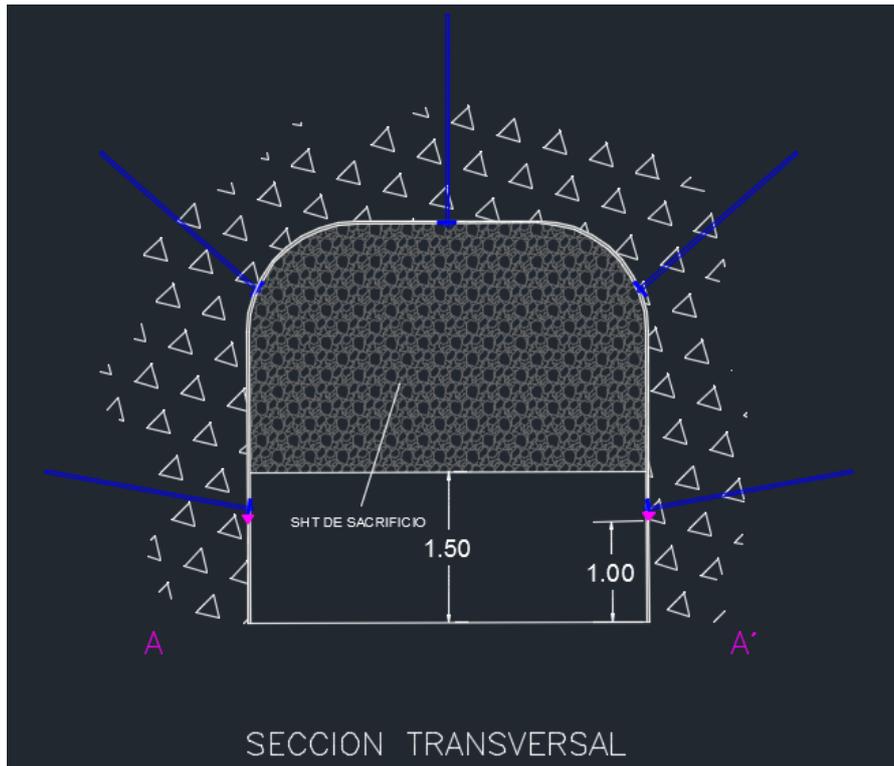
Secuencia de Aplicación del Shotcrete



En zonas con flujo de agua considerar el uso de taladros de Drenaje “Lloronas”



ANEXO 04



Estándar gráfico de lanzamiento de shotcrete de sacrificio (obs: pernos referenciales)

8. FRECUENCIA DE INSPECCIONES

La supervisión de operaciones Mina, Geomecánica y supervisores de la E.C.M. encargada del lanzamiento del Shotcrete están obligadas a realizar inspecciones frecuentes durante el turno de trabajo, impartiendo las medidas de seguridad a sus trabajadores y verificando el adecuado cumplimiento del sostenimiento.

9. EQUIPO DE TRABAJO

Supervisión de Geomecánica Carahuacra

ANEXO 8
PETS SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VIA HUMEDA CON ROBOT

| 1. PERSONAL | | | |
|--|-------------------------|------------------------|---|
| Operador de robot, ayudante de robot y operador de mixer. | | | |
| 2. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL | | | |
| Protector de cabeza, orejeras o tapón de oído, barbiquejo, respirador, lentes de seguridad y/o full fase, guantes de badana o jebe, correa porta lámpara, botas de jebe y mameluco con cintas reflectivas. | | | |
| 3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES | | | |
| Robot alpha, mixer, comba, espátula, porta calibrador, llave francesa, calibradores de 2” o 3”, flexómetro y lámpara anti atropellamiento. | | | |
| 4. PROCEDIMIENTOS | | | |
| PASOS SECUENCIALES | PELIGRO/ ASPECTO | RIESGO/ IMPACTO | CONTROLES |
| 1. Coordinación de las tareas a realizar , con el supervisor de operaciones | Ordenes incompletas | Perdida en el proceso | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar la tarea el operador debe recibir la orden de trabajo completa, clara y por escrito, firmado por el supervisor de operaciones. |
| 2. Trasládese hacia la ubicación del robot | Vehículo en movimiento | Atropellamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Usar los refugios para peatones. • Hacer juegos de luces con la lámpara minera al operador del equipo y mantener contacto visual. |

| | | | |
|--|---|--|---|
| inspeccione el equipo Robot. utilizando el Check list de pre uso del equipo. | | | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Vías en mal estado, acumulación de agua. | Caída de personas al mismo nivel | <ul style="list-style-type: none"> • Al caminar no ponga su mano al bolsillo • Coloque la lámpara en el protector • Uso de adecuado de EPP. |
| | Subirse y bajarse del equipo | Caída de persona a diferente nivel | <ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de los 3 puntos de apoyo. • Uso correcto de EPP. |
| | Equipo en mal estado | Choque Atropellamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el PARE e Informar a su supervisor inmediatamente. Posteriormente comunicar al área de mantenimiento mecánico. |
| 3. Traslado, estacionamiento y Abastecimiento de aditivo acelerante (Master Rock) al Robot Alpha. | Encendido y estacionamiento del equipo | Atropello Aprisionamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de encender y/o estacionar el equipo el operador de Robot revisara que ningún personal se encuentre alrededor del equipo, activar el breake de parqueo y dispositivo de seguridad. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Manipulación del aditivo | Contacto con la piel y la vista. | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el PETS de abastecimiento de aditivo acelerante de fragua “Master Rock” al Robot Alpha. |
| | | Derrame de aditivo. | <ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de bandejas anti derrame. |
| 4. Encender el robot para iniciar el traslado a la zona de abastecimiento de combustible | Equipo en movimiento | Atropellamiento o Choque | <ul style="list-style-type: none"> • Traslarse no mayor a una velocidad máxima de 15 Km/h y al ingreso de una curva se tocara la bocina para advertir su presencia. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Mal estado de las vías | Cuneteo de equipo Atrapamiento Aprisionamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la velocidad en la vía en mal estado y conducir manejo a la defensiva. • Para operar el equipo el operador debe de utilizar el cinturón de seguridad obligatoriamente. |
| | Tránsito peatonal | Aprisionamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar el encendido del robot verificar el perímetro y cerciorarse que no exista ningún personal cerca al equipo. • Sistema anticolidión debe estar operativo. |
| 5. Estacionamiento del equipo robot para el abastecimiento de combustible (el equipo debe de estar apagado y colocado los dispositivos de seguridad) | Posicionamiento del robot para el abastecimiento de combustible | Aprisionamiento o Golpes Daño a la propiedad | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de estacionar el equipo verificar que en el área a estacionar no se encuentren personas, materiales, equipos y herramientas. |
| | Abastecimiento de combustible al robot con el motor encendido | Incendio | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar el abastecimiento de combustible al robot, tiene que estar con el motor apagado y colocado los dispositivos de seguridad. |

| | | | |
|---|--|---|--|
| | Manipulación de Combustible | Derrame de Combustible | <ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de Bandeja anti derrame. • Uso correcto de EPP |
| 6. Encendido, traslado y estacionamiento del robot en la labor a sostener (antes de encender el equipo recoger los dispositivos de seguridad, verificar que ningún personal se encuentre cerca del Robot antes de encender y mover el equipo) | Equipo en movimiento | Atropellamiento o Choque | <ul style="list-style-type: none"> • Traslarse no mayor a una velocidad máxima de 15 Km/h • Al ingreso de una curva se tocara la bocina para advertir su presencia. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Mal estado de las vías | Cuneteo de equipo Atrapamiento Aprisionamiento o | <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la velocidad en la vía en mal estado y practicar el manejo a la defensiva. • Para el traslado del equipo el operador debe de utilizar el cinturón de seguridad obligatoriamente. |
| | Tránsito peatonal | Aprisionamiento o | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar el encendido del robot verificar el perímetro y cerciorarse que no exista ningún personal cerca al equipo. • Al detectar el tránsito peatonal detener la marcha y esperar que el personal se refugie y/o cruce completamente al equipo, antes de iniciar la marcha cerciorarse que el personal se encuentre alejado. • Sistema anticolidión debe estar operativo. |
| 7. Inspección de la labor a sostener (Realizar IPERC Continuo). | Presencia de gases en la labor | Inhalación | <ul style="list-style-type: none"> • Prender el ventilador y esperar 30 minutos para que pueda ventilar. • La manga debe estar a 15 metros del frente. |
| | Roca Fracturada | Caída de rocas | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el PETS desate de rocas. |
| | Tiro cortado | Explosión | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el PARE, bloquear el área y comunicar a la supervisión, para su eliminación y/o desactivación. |
| | Falta de luminaria | Poca visibilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Toda labor a sostener debe contar con luminaria, aplicar el PARE si no se cuenta con la luminaria en la labor y comunicar al supervisor para la instalación correspondiente. |
| | Tubería de agua y aire fuera de estándar | Golpe Demora en el proceso | <ul style="list-style-type: none"> • Todas las labores a sostener debe de contar con tuberías de agua y aire estandarizadas de lo contrario aplicar el PARE para su estandarización. |
| 8. Encendido, traslado y estacionamiento del robot en el frente a sostener (para el correcto estacionamiento) | Tránsito peatonal | Aprisionamiento o | <ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar el encendido del robot verificar el perímetro y cerciorarse que no exista ningún personal cerca al equipo. • Al detectar el tránsito peatonal detener la marcha y esperar que el personal se refugie y/o cruce completamente al equipo, antes de iniciar la marcha |

| | | | |
|--|---|--|--|
| active los dispositivos de seguridad) | | | <p>cerciorarse que el personal se encuentre alejado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema anticolidión debe estar operativo. |
| | Posicionamiento y activación de las gatas del robot | Aprisionamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Ayudante de Robot debe estar ubicado a 5.0 metros detrás del equipo portando en todo momento la barra luminosa y en constante visibilidad con el operador de Robot. • Baje los dos Estabilizadores del Robot. • Active el breaker de parqueo y apague el equipo. |
| 9. Instalación de la manguera de aire del robot en la tubería principal de aire | Acoplamiento de la manguera con accesorios desgastados (garras) | Golpe Golpe por desacople | <ul style="list-style-type: none"> • Inspección y utilización de los accesorios de instalación de aire (garras, válvulas, bridas, abrazaderas). • Una vez instalado el acople rápido se debe asegurar con cadena y/o cable al acople. • Antes de realizar el acoplamiento entre la manguera y la tubería realizar el purgado correspondiente. • Uso adecuado y correcto de EPP |
| | Manipuleo de tubería | Golpe | <ul style="list-style-type: none"> • Manipular la tubería de aire entre dos personas y que estas no presenten ninguna fuga ni deterioro y uso adecuado y correcto de EPP. |
| 10. Llegada y estacionamiento del Mixer en la labor a sostener | Equipo en movimiento | Atropellamiento o Choque Aprisionamiento | <ul style="list-style-type: none"> • El operador de Mixer coordinara con el ayudante del robot para el ingreso en retroceso y estacionamiento del Mixer. • El Ayudante guiara utilizando el bastón luminoso al operador del Mixer manteniendo siempre la visibilidad entre el ayudante del robot y el operador del Mixer. • Cuando el Mixer se encuentre a 5 m. del robot el ayudante se ubicara al costado del Robot a la dirección de la cabina del Mixer y continuara guiando al Mixer utilizando el bastón luminoso hasta ubicarlo cerca del Robot para iniciar el trabajo de trasegado. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Estacionamiento de equipo Mixer | Aprisionamiento o Choque | <ul style="list-style-type: none"> • El operador del Mixer seguirá las instrucciones y guía del ayudante de robot hasta ubicarlo en su posición final. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| 11. Lubricación del sistema de bombeo (lechada) y Trasegado de concreto del | Salpicadura de concreto | Daño a la vista y a la piel | <ul style="list-style-type: none"> • Uso correcto de EPPs. • Mantener la tina siempre lleno (encima del tubo "S"). |
| | Inicio de lanzamiento, Movimiento del | Amputación, atrapamiento y golpes/ | <ul style="list-style-type: none"> • Por ningún motivo se debe iniciar el trabajo con la parrilla levantada y no |

| | | | | |
|---------------------|-----------|---|----------------------------------|---|
| mixer robot. | al | Tubo "S" | demoras en el proceso | introducir ninguna parte del cuerpo mientras esté en funcionamiento. <ul style="list-style-type: none"> • No poner objetos que haga contacto con el tubo "S" en funcionamiento como barretillas, combas, etc. |
| | | Ayudante y operador de mixer sobre estribos | Caída a diferente nivel y golpes | <ul style="list-style-type: none"> • El estribo y las cadenas deben de estar en buenas condiciones y bien sujetadas, que este en posición horizontal. • Hacer uso de los tres puntos de apoyo. |
| | | Polvo Humo Ruido | Exposición a | <ul style="list-style-type: none"> • Trabajar con el ventilador encendido y la manga de ventilación estandarizada. • Uso correcto de EPP. |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| 12. Limpieza del área y Lanzado de mezcla de concreto vía húmeda con robot Alpha (Aplicar las técnicas de lanzado – primera capa del espesor requerido). | | Movimiento de brazo | Aprisionamiento o Golpe por el brazo | <ul style="list-style-type: none"> • El operador durante el lanzado se ubicará en una zona segura a la altura de las gatas estabilizadoras, en caso tenga que pasar al otro hastial, tendrá que parar el funcionamiento del brazo, Nunca ubicarse al costado del brazo del Robot cuando se encuentra en movimiento. |
| | | Polvo y humo en ambiente | Exposición a polvo y humo | <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el trabajo con el ventilador encendido, manga de ventilación a 15 metros del tope. • Uso correcto de EPP. |
| | | Presión en manguera hidráulica | Contacto con sustancias químicas | <ul style="list-style-type: none"> • Estar siempre pendiente de las mangueras, al menor indicio de fuga detener el potenciómetro de aditivo a cero y uso correcto de EPP. |
| | | Peligros del PETS de desatoro de manguera BOA. | Riesgos del PETS de desatoro de manguera BOA. | <ul style="list-style-type: none"> • Controles del PETS de desatoro de manguera BOA. |
| | | Proyección de partículas Fibra-agregados. | Incrustación de partículas a la vista | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicando la técnica de lanzado de acuerdo al tipo de roca respetando la perpendicularidad y la distancia adecuada (0.8 a 1.2 metros) al macizo rocoso. • Uso correcto de EPPs. |
| | | Shotcrete fresco y rocas sueltas. | Caída de shotcrete fresco, Aplastamiento, golpe | <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarse siempre en una zona segura, Jamás exponerse bajo roca suelta/ shotcrete fresco o hasta que haya alcanzado tiempo mínimo de fragua. • El sostenimiento con shotcrete siempre será en avanzada cumpliendo con el espesor solicitado por Geomecánica. • El lanzado se realizará considerando la distancia lineal máxima de tres (03) metros. |
| 13. Colocado de calibradores y | | Shotcrete fresco | Desprendimiento de Shotcrete | <ul style="list-style-type: none"> • Cumplir el PETS de colocado de calibradores. |
| | | Peligros del paso 12 | Riesgos del paso 12 | <ul style="list-style-type: none"> • Controles del paso 12. |

| | | | |
|--|--|--|---|
| continuar con el lanzado hasta completar el espesor requerido. | | | |
| 14. Cerrar la válvula, desempalmar la manguera de aire y enrollar al robot | Manipulación de la manguera y accesorios | Golpes, cortes, caídas al mismo nivel. | <ul style="list-style-type: none"> • El robot no debe moverse hasta que no se haya enrollado y asegurado la manguera en el equipo. • Jalar la manguera con vista hacia el robot. • Uso correcto de EPPs. |
| 15. Limpieza del sistema de bombeo del robot. | Manipulación de herramientas | Golpes, cortes | <ul style="list-style-type: none"> • Asegurarse que la herramienta, se encuentre en buen estado y utilizarla de forma adecuada. • Uso correcto de EPPs. |
| | Manipulación de accesorios | Golpes, cortes | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el bombeo en reversa tres veces para liberar la presión acumulada. • Desacoplar los accesorios entre dos personas. • Posicionarse fuera de la línea de fuego para evitar impacto por la presión y/o caída de accesorios. |
| 16. Pintado de área, retiro y traslado del robot del frente sostenido a la cámara de aditivo y/o a otro frente. | Shotcrete fresco | Aplastamiento | <ul style="list-style-type: none"> • El marcado del área sostenida (Fecha, hora final, m3 lanzados, espesor, cantidad de calibradores) se realizara en una zona segura, sin exponerse a caída de roca y shotcrete fresco. • Esperar 3 horas de fraguado para poder ingresar y retomar los trabajos. |
| | Subir al robot | Caída a distinto nivel | <ul style="list-style-type: none"> • Al subir a la cabina el operador hará uso de los tres puntos de apoyo. |
| | Equipo en movimiento | Atropellamiento o Choque Aprisionamiento o | <ul style="list-style-type: none"> • Trasladarse a una velocidad máxima de 15 Km/h • Al ingreso de una curva se tocara la bocina, para advertir su presencia y disminuir la velocidad. • Verificar la pantalla del sistema anticolidión. |
| | Tránsito peatonal | Atropello | <ul style="list-style-type: none"> • Al detectar el tránsito peatonal detener la marcha y esperar que el personal se refugie y/o cruce completamente al equipo, antes de iniciar la marcha cerciorarse que el personal se encuentre alejado. • Sistema anticolidión debe estar operativo. |
| 5. RESTRICCIONES | | | |

| | |
|--|---|
| <p>Aplique el PARE en la actividad ante las siguientes situaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando el operador no se encuentre autorizado y entrenado por el titular minero. 2. Falta desate mecanizado. 3. Cuando la manga de ventilación se encuentre mayor a 15 m. o deteriorado. 4. Si la mezcla de concreto presenta un tiempo de exposición mayor a 3 horas. 5. Cuando la presión de aire es menor a 3 bares. 6. Cuando en el frente de la labor se evidencia un tiro cortado. 7. Cuando la tubería de aire se encuentra a más de 25 metros. 8. Cuando el equipo presenta fallas mecánicas. 9. No se cuenta con proyector de iluminación en el tope de la labor a sostener. 10. Cuando la labor presente acumulación de agua mayor a 20 cm de altura. 11. Cuando el operador no se siente en buenas condiciones (Salud). 12. Cuando en las labores de resane, pasivos se lance toda la sección y son mayores al avance efectivo (3 metros) solo se lanzara el avance efectivo y se esperara el tiempo de fraguado para continuar el lanzado del siguiente tramo a sostener. |  |
|--|---|

6. DOCUMENTACIÓN ASOCIADA

| | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Orden de trabajo. 2. IPERC continuo. 3. Check list de pre uso del equipo. 4. Revisión técnica. 5. Hoja de monitoreo. 6. RSSO DS. 024-2016-EM. | <ol style="list-style-type: none"> 7. PETS de abastecimiento de aditivo acelerante de fragua “Master Rock” al Robot Alpha. 8. PETS desate de rocas. 9. PETS de colocado de calibradores. 10. PETS de lavado de Robot. 11. PETS de desatoro de manguera BOA. |
|---|---|

7. HISTORIAL DE REVISIONES

| REVISIÓN | FECHA | MODIFICACIONES |
|----------|------------|---|
| 00 | 20-12-2015 | Emisión inicial. |
| 01 | 06-02-2017 | Se modificó la documentación asociada según RSSO DS. 024-2016-EM. |
| 02 | 20-12-2017 | Revisión. |