

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Mejoramiento del proceso de sostenimiento con  
shotcrete para la reducción de los costos  
operativos en la Unidad Minera San Cristóbal**

Yersi Leandro Salvador Porras  
Grover Buendía Poma

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Nelida Tantavilca Martinez  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 12 de Diciembre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE PARA LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA UNIDAD MINERA SAN CRISTÓBAL", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) YERSI LEANDRO SALVADOR PORRAS y GROVER BUENDIA POMA, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
(Nº de palabras excluidas:        )
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

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

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

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

Atentamente,



---

Asesor de tesis  
Nelida Tantavilca Martinez

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, YERSI SALVADOR PORRAS , identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 74091766 de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

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

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

12 de DICIEMBRE de 2023.



---

YERSI SALVADOR PORRAS

DNI. No. 74091766

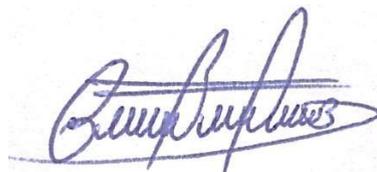
## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, GROVER BUENDIA POMA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 76465578, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

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

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

12 de DICIEMBRE de 2023.



---

GROVER BUENDIA POMA

DNI. No. 76465578

# MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE PARA LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA UNIDAD MINERA SAN CRISTÓBAL

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---



---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

2%

★ [www.mundoestructural.com](http://www.mundoestructural.com)

Fuente de Internet

---

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTO**

A la Ing. Nérida Tantavilca Martínez por el apoyo y los mejores consejos que nos ha brindado y a la Universidad Continental por darnos los conocimientos que nos sirven y servirán para toda la vida.

## **DEDICATORIA**

A nuestros seres queridos por el apoyo incondicional durante nuestra formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	1
1.1.1. Formulación del problema .....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Justificación e Importancia .....	3
1.3.1. Justificación practica.....	3
1.3.2. Justificación teórica.....	3
1.3.3. Justificación metodológica.....	3
1.4. Hipótesis .....	3
1.4.1. Hipótesis general.....	4
1.4.2. Hipótesis específicas .....	4
1.4.3. Identificación de las Variables .....	4
1.4.4. Matriz de operacionalización de variables .....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes del Problema.....	6
2.2. Descripción de la Unidad Minera San Cristobal.....	9
2.2.1. Ubicación y accesibilidad .....	9
2.2.2. Geología regional .....	11
2.2.3. Geología local .....	11
2.2.4. Geología estructural .....	15
2.2.5. Geología económica.....	16
2.3. Bases Teóricas .....	17
2.3.1. Historia del hormigón proyectado.....	17
2.3.2. Explotación subterránea.....	19

2.3.3.	Ciclo de minado .....	21
2.3.4.	Tipo de sostenimiento utilizados en la Unidad Minera San Cristobal. ....	23
2.3.5.	Concreto Lanzado Shotcrete .....	26
2.3.6.	Shotcrete vía seca.....	26
2.3.7.	Shotcrete vía húmeda .....	27
2.3.8.	Ventajas de Shotcrete vía húmeda .....	27
2.3.9.	Diseño de la mezcla para proyección por vía húmeda.....	28
2.3.10.	Shotcrete con refuerzo de fibras.....	31
2.3.11.	Diseño de la mezcla para el shotcrete .....	38
2.3.12.	Planta de concreto San Cristóbal.....	40
2.3.13.	Ensayos de shotcrete .....	45
2.3.14.	Diseño de soporte de rocas.....	47
2.3.15.	Cálculos analíticos y numéricos.....	47
2.3.16.	Evaluación de métodos de diseño de cálculo y empíricos .....	48
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....		52
3.1.	Método y Alcances de la Investigación .....	52
3.1.1.	Método general o teórico de la investigación.....	52
3.1.2.	Método específico de la investigación .....	52
3.2.	Diseño de la Investigación .....	52
3.2.1.	Tipo de diseño de investigación .....	52
3.3.	Nivel de investigación.....	52
3.4.	Población y Muestra .....	52
3.4.1.	Población.....	52
3.4.2.	Muestra.....	52
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	52
3.5.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos .....	53
3.5.2.	Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	53
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		54
4.1.	Análisis para mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal .....	54
4.1.1.	Evaluación al Shotcrete vía húmeda Fisurado .....	54
4.1.2.	Sostenimiento con shotcrete.....	55
4.1.3.	Proceso de producción de shotcrete .....	55
4.2.	Mejorar la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal. ....	56
4.2.1.	Producción de Shotcrete vía húmeda .....	56
4.2.2.	Insumos y Proveedores: .....	58

4.2.3.	Identificación y corrección de los problemas en la producción del shotcrete.....	60
4.2.4.	Costos De Producción De Shotcrete vía húmeda.....	64
4.3.	Mejorar el transporte de Shotcrete para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal .....	65
4.3.1.	SIPOC .....	65
4.4.	Optimizar el consumo de los pernos y malla metálica para la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal.....	70
4.4.1.	SIPOC .....	70
4.4.2.	Identificación y corrección de los problemas en el sostenimiento con malla y perno. 71	
4.4.3.	Análisis de tiempo.....	72
4.4.4.	Reducción de costos de malla y perno en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda de la Unidad Minera San Cristobal.....	80
4.5.	Discusión de resultados.....	81
4.5.1.	Validación de hipótesis general .....	81
4.5.2.	Validación de la hipótesis específica 1 .....	82
4.5.3.	Validación de la hipótesis específica 2 .....	84
4.5.4.	Validación de la hipótesis específica 3 .....	85
	CONCLUSIONES .....	88
	RECOMENDACIONES.....	89
	REFERENCIAS.....	90
	ANEXOS .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N. 1. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal. Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).....	10
Figura N. 2. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal. Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).....	11
Figura N. 3. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal. Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).....	12
Figura N. 4. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal. Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).....	16
Figura N. 5. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal. Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).....	17
Figura N. 6. Método de explotación corte y relleno ascendente tipo Breasting .....	20
Figura 7. Tipos de elementos de sostenimiento (9).....	23
Figura 8. Tipos de elementos de sostenimiento (10).....	25
Figura N. 9. Curvas de distribución recomendadas para los agregados de shotcrete.....	29
Figura N. 10. Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del shotcrete (10). .....	32
Figura N. 11. Características geométricas de las fibras de acero.....	33
Figura N. 12. Dimensiones de panel para ensayos de capacidad de absorción de energía .....	35
Figura N. 13. Proceso de lanzado de concreto en el molde de Panel para Ensayos.....	36
Figura N. 14. Gráfico de Carga – Deformación.....	37
Figura N. 15. Curva de absorción de energía.....	37
Figura N. 16. Sostenimiento estructural.....	40
Figura N. 17. Planta de Concreto - San Cristóbal .....	41
Figura N. 18. Diagrama de Flujo de Procesos de la Planta de Concreto - San Cristóbal, para la producción de Shotcrete Pump .....	42
Figura N. 19. Abastecimiento de concreto a los Equipos Mixers en la Planta de San Cristóbal .....	43
Figura N. 20. Lanzado de concreto con el Robot Alpha20, perteneciente a E.E. Robocon.....	44
Figura N. 21. Medición de Slump en Interior Mina.....	45
Figura N. 22. Tabla GSI de la Unidad Minera San Cristobal. ....	50
Figura N. 23. Proceso de producción, transporte y lanzado de shotcrete vía húmeda.....	56
Figura N. 24. Producción de BETONMAC en planta. ....	57
Figura N. 25. Esquema De Proceso De Producción De Shotcrete vía húmeda .....	57
Figura 26. Prueba de tenacidad .....	61
Figura 27. Fuerza - Desplazamiento para los ensayos de flexotracción .....	62
Figura 28. Energía absorbida, desempeño de fibra .....	63

Figura 29. Flujo del proceso logístico.....	67
Figura 30. Flujo del procesos optimizado .....	69
Figura 31. Actividades operativas y demoras operativas del equipo Boltec J 404 .....	74
Figura N. 32. Demoras operativas construimos el diagrama de Pareto .....	75
Figura N. 33. Línea de tiempo del seguimiento al Empernador J-404.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación y accesibilidad Unidad Minera San Cristobal .....	9
Tabla 2 Longitud total mínima de fibra .....	34
Tabla 3 Diseño de mezcla de shotcrete (Diseño sostenimiento estructural) .....	40
Tabla 4 SIPOC – Producción De Shotcrete vía húmeda.....	58
Tabla 5 Diferencia de costos de producción cambiando la fibra sintética de shotcrete vía húmeda del año 2020 y 2021 .....	64
Tabla 6 Transporte de shotcrete vía húmeda a interior mina .....	66
Tabla 7 Identificación y corrección de los problemas del transporte.....	66
Tabla 8. Costos de traslado en cilindros.....	68
Tabla 9. Costos optimizados del proceso.....	69
Tabla 10. Datos de Sostenimiento con pernos y/o malla .....	70
Tabla 11 identificación y corrección de los problemas en el sostenimiento con malla y perno. ....	71
Tabla 12 Actividades para la instalación de malla y pernos. ....	73
Tabla 13 Demoras operativas 1 en la instalación de malla y pernos.....	73
Tabla 14 Demoras operativas 2 en la instalación de malla y pernos.....	74
Tabla 15 Actividades Demoras Operativas.....	77
Tabla 16 Reducción de costos de malla y perno en el Sostenimiento con shotcrete de la Unidad Minera San Cristobal .....	80
Tabla 17. Ahorro mensual por aplicación de fibra.....	83
Tabla 18. Factor seguridad por tipo .....	83

## RESUMEN

En la Unidad Minera San Cristobal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. tuvo deficiencias en el proceso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda por tema de costos excesivos y presentar deficiencias porque no se está realizando pruebas del shotcrete en las condiciones que se produce actualmente para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos, con la utilización de fibra Barchic R50 se tiene un ahorro en el tiempo de fraguado y un mejor compactación a menor plazo, también se está reduciendo los costos del shotcrete a intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de los cubos de shotcrete, analizando el diseño del sistema de la planta (capacidad del mezclador).

En la producción de shotcrete se realizó las mejoras como la realización de pruebas del shotcrete para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos y su aplicación en el tipo de roca aplicar. Las mejoras de los trabajos operativos ayudaron a reducir en los costos de producción cambiando la fibra endurecido 600 por la fibra barchic R50 ambas siendo sintéticas para el año 2021 de 6 dólares por metro cúbico aplicado en la mina.

En el transporte del shotcrete, se realizó las capacitaciones a diario en el mantenimiento básico en el tema de transporte del aditivo master rock 160(aditivo meycos 160), que se usaba tráiler o volquetes para el traslado del almacén de Carahucra en cilindros y después transportar al interior de mina con dumper, se tuvo un ahorro 11873 dólares mensuales.

**Palabra clave:** Mejoramiento Del Proceso De Sostenimiento Con Shotcrete.

## **ABSTRACT**

At the San Cristobal Mining Unit of the Compañía Minera Volcan S.A.A. is having deficiencies in the support process with wet shotcrete due to excessive costs and present deficiencies because shotcrete tests are not being carried out under the conditions that are currently produced to determine to what degree its resistance is affected due to the quality of the materials. inputs, with the use of Barchic R50 fiber there is a saving in setting time and better compaction in a shorter term, shotcrete costs are also being reduced at intervals of 1m<sup>3</sup> in such a way that losses are less during the production of the shotcrete cubes, analyzing the design of the plant system (mixer capacity).

In the production of shotcrete, improvements were made, such as carrying out shotcrete tests to determine to what degree its resistance is affected due to the quality of the inputs and its application in the type of rock to apply. The improvements of the operational works helped to reduce production costs by changing the enduro 600 fiber for the Barchic R50 fiber, both being synthetic by 2021 for 6 dollars per cubic meter applied in the mine.

In the transport of shotcrete, training was carried out daily on basic maintenance on the subject of transporting the master rock 160 additive (meyco 160 additive), which was used in trailers or dump trucks to transport it from the Carahucra warehouse in cylinders and then transport it. Inside the mine with a dumper, there was a saving of 11,873 dollars per month.

**Keywords:** Improvement of the Support Process with Shotcrete.

## INTRODUCCIÓN

En La Unidad Minera San Cristóbal De La Compañía Minera Volcan S.A.A. El mal control de los equipos, insumos y la mala coordinación de los operadores a cargo genera pérdidas en estos ítems respectivos por ello la optimización del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, debe partir de los elementos a utilizar como son shotcrete, pernos y malla; en cada una de sus zonas según los requerimientos de cada labor por parte del departamento de geomecánica. Las deficiencias en el proceso de sostenimiento con shotcrete, anteriormente no se tiene un control de pruebas del shotcrete en las condiciones que se producía para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos, con el uso de fibra Barchic R50 se viene ahorrando costos por metro cubico ,por el uso de la fibra Barchic R50 también presenta un mejor resultado en as pruebas de resistencia, las deficiencias en la producción shotcrete se controlara con el control de producción en intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de los cubos de shotcrete, analizando el diseño del sistema de la planta (capacidad del mezclador) ya que se está cubicando de manera ineficiente y otras deficiencias más en el transporte por demoras operativas. En la optimización del sostenimiento con shotcrete para mejorar se tuvo que realizar un control en el uso de la fibra sintética Barchic R50 se ahorró en el tiempo de fraguado como resistencia lo cual es lo ideal y las malas prácticas en el proceso del sostenimiento con shotcrete se tuvo que corregir mediante capacitaciones a cada operador y trabajadores en las labores.

En el capítulo I, el problema general es Mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal

En el capítulo II, existen estudios anteriores de la Mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos, en esta investigación de análisis e interpretación de datos de sostenimiento, el estudio de la geomecánica y del área de operaciones.

El capítulo III, el método general es analítico se utilizó para analizar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para minimizar los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal, el análisis de cada actividad para su optimización por medio del control en los equipos, materiales, personal entre otros.

El capítulo IV, El proceso de sostenimiento, se caracteriza por el tipo de sostenimiento según los elementos utilizados, mapeando los procesos que implican, identificando los procesos de traslado de los componentes d=en la fabricación del shotcrete, así como los costos involucrados y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

Durante muchos años, se viene empleando el concreto para el sostenimiento de labores principales subterráneas, por sus buenos resultados que generan mayor estabilidad del macizo rocoso, lo influye la malla metálica como otros aditivos los cuales son fijados por medio de pernos hydrabolt entre otros. Las empresas mineras, vienen empleado este tipo de sostenimiento por muchos años, hasta el día de hoy se tiene mejores resultados que los tipos de sostenimiento convencionales.

El mal control de los equipos, insumos y la mala coordinación de los operadores a cargo genera pérdidas en estos ítems respectivos por ello la optimización del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, el uso de elementos ya desfasados por tema de que siempre se usó así y no cambiar para mejor porque ahora en el mercado hay diferentes alternativas a mejores costos, por esas razones uno debe partir de los elementos a utilizar como son shotcrete vía húmeda, pernos y malla; en cada una de sus zonas según los requerimientos de cada labor por parte del departamento de geomecánica. Los equipos dedicados al trabajo de sostenimiento son generalmente Jumbos empernadores, robots lanzadores de Shotcrete vía húmeda y mixer (Tornados) los cuales abastecen de shotcrete vía húmeda a los Robots desde la Planta BETONMAC. Así mismo, las empresas contratistas dedicadas a esta actividad

La unidad Minera San Cristóbal De La Compañía Minera Volcan S.A.A, cuenta con dos empresas contratistas especializadas como son (ROBOCON y AESA) para el área del sostenimiento con shotcrete vía húmeda de las labores mineras, esta empresa es responsable del control en el lanzado del concrete especificada en el estándar de la Unidad Minera San Cristóbal, como la adecuada distribución de los equipos y el tiempo a sostener a fin de evitar retrasos operativos por incumplimientos de trabajos.

En La Unidad Minera San Cristobal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. está teniendo deficiencias en el proceso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda, no se está realizando pruebas del shotcrete vía húmeda en las condiciones que se produce actualmente para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos, los costos operativos por 1m<sup>3</sup> están generando un gasto más alto al programado, demoras operativas por mala coordinación, uso excesivo del insumos para que el shotcrete no sé compacte por que la labor no está lista para lanzar el shotcrete, deficiencias en la producción de intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de

los cubos de shotcrete, analizando el diseño del sistema de la planta (capacidad del mezclador) ya que se está cubriendo 5000 metros cúbicos mensuales.

Para la optimización del proceso de sostenimiento en la Unidad Minera San Cristobal de la Compañía Minera Volcan S.A.A, primeramente se debe caracterizar el tipo de sostenimiento según los elementos utilizados, mapeando los procesos que implican, identificando los principales problemas que actualmente presentan, tiempos improductivos de los equipos involucrados tanto de compañía como de contrata dándole más énfasis a éste último, así como los costos involucrados y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis a fin de mejorar el proceso de sostenimiento minimizando las perdidas.

### **1.1.1. Formulación del problema**

#### **1.1.1.1. Problema general**

¿Cómo se realizará el Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal?

#### **1.1.1.2. Problemas específicos**

¿Cómo será el Mejoramiento de la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal?

¿Cómo será el Mejoramiento del transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal?

¿Cómo será la optimización del consumo de los pernos y malla para la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristóbal

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Mejorar la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.
- Mejorar el transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal

- Optimizar el consumo de los pernos y malla metálica para la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal.

### **1.3. Justificación e Importancia**

#### **1.3.1. Justificación practica**

En La Unidad Minera San Cristobal De La Compañía Minera Volcan S.A.A. está teniendo deficiencias en el proceso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda, no se está realizando pruebas del shotcrete vía húmeda en las condiciones que se produce actualmente para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos, los costos se están elevando porque ya cada labor se tienen que sostener, el uso de la fibra sintética enduro 600 al tener más labores que sostener genera que los costos se han elevado, deficiencias en la producción de intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de los cubos de shotcrete vía húmeda, el uso constante de pernos y mallas electrosoldadas generando un consumo alto de estas y otras deficiencias más en el transporte por demoras operativas.

#### **1.3.2. Justificación teórica**

Para la optimización del proceso de sostenimiento en la Unidad Minera San Cristobal de la Compañía Minera Volcan S.A.A, primeramente se debe caracterizar el tipo de sostenimiento según los elementos utilizados, mapeando los procesos que implican, identificando los principales problemas que actualmente presentan, tiempos improductivos de los equipos involucrados tanto de compañía como de contrata dándole más énfasis a éste último, así como los costos involucrados en insumos, transporte de insumos a mayor cantidad y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis a fin de mejorar el proceso de sostenimiento minimizando las perdidas.

#### **1.3.3. Justificación metodológica**

En la Mina San Cristobal, el proceso de sostenimiento utiliza elementos como son shotcrete vía húmeda, pernos y malla; en cada una de sus zonas según los requerimientos de cada labor por parte del departamento de geomecánica. Los equipos dedicados al trabajo de sostenimiento son generalmente Jumbos emperadores, Robots lanzadores de Shotcrete vía húmeda y mixer(Tornados) los cuales abastecen de shotcrete vía húmeda a los Robots desde la Planta BETONMAC. Así mismo, las empresas dedicadas a esta actividad en la unidad San Cristóbal son ROBOCON (con 05 Robots y 04 mixser (Tornados)), AESA (con 02 emperadores) y Volcan (con 01 robot, 08 tornados y 03 Emperadores).

### **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda es factible y viable en la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El Mejoramiento de la producción de Shotcrete vía húmeda influye positivamente en la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.
- El Mejoramiento del transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda influye positivamente en la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.
- La optimización del consumo de los pernos y malla influye positivamente en la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal.

### **1.4.3. Identificación de las Variables**

#### **1.4.3.1. Variables Independientes**

**Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda.** Es la optimización de cada etapa de elaboración de Shotcrete y su aplicación en el sostenimiento de labores principales analizando actividades operativas tanto del personal y equipo para un mejor desempeño en cada etapa que en suma genera pérdidas considerables en material desperdiciado como inestabilidad de labores perjudiciales en seguridad para los trabajadores de la unidad minera.

#### **1.4.3.2. Variables dependientes**

**Reducción de los costos operativos.** Es la minimización en términos monetarios de los costos de cada actividad que se reflejan en pérdidas como de materiales, insumos, servicios, entre otros, los que llevan a incrementar el costo unitario de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda.

#### 1.4.4. Matriz de operacionalización de variables

PROCESO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
Variable	- Dimensión	Sub - Dimensión	Indicadores
<b>V.I:</b>  Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda.	Es la optimización de cada etapa de elaboración de Shotcrete vía húmeda y su aplicación en el sostenimiento de labores principales analizando actividades operativas tanto del personal y equipo para un mejor desempeño en cada etapa que en suma genera pérdidas considerables en material desperdiciado como inestabilidad de labores perjudiciales en seguridad para los trabajadores de la unidad minera.	Evaluación De La Producción De Shotcrete vía húmeda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• litros de agua</li> <li>• kilogramos de cemento</li> <li>• kilogramos de arena</li> <li>• kilogramos de fibra sintética y aditivo.</li> </ul>
		Evaluación Del Transporte Del aditivo para el Shotcrete vía húmeda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coste de personal usados</li> <li>• coste de equipos usados para el transporte</li> <li>• Coste de transporte del aditivo</li> </ul>
<b>V.D:</b>  Reducción de los costos operativos	Es la minimización en términos monetarios de los costos de cada actividad que se reflejan en pérdidas como de materiales, insumos, entre otros, los que llevan a incrementar el costo unitario de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda.	Evaluación de los Costos de Sostenimiento con Perno Y Malla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PU de malla y pernos.</li> <li>• PU Costo de Cemento Andino Tipo I.</li> <li>• PU Costo de Arena Gradación 2</li> <li>• PU Costo Aditivo Plastificante (Glenium 1300).</li> <li>• PU Fibra Barchic R50</li> <li>• PU Aditivo Acelerante Master Rock 160</li> <li>• PU Equipo</li> </ul>

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Problema

En la Tesis titulado “Modelamiento numérico aplicado al shotcrete via húmeda fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA” de Mercado y Obregón los autores concluyen que para las operaciones de CMHSA”, realizado en la escuela académica profesional de ingeniería de minas de la Pontificia Universidad Católica Del Perú. El estudio aporta una metodología experimental apropiada para el análisis de la 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 (1). Además, la metodología tiene los siguientes pasos (1):

- “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).
- “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  $30 \text{ kg/m}^3$  y  $40 \text{ kg/m}^3$ , 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” (1).

En la Tesis titulado “Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmonte zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa” de Vargas el autor, realizado en la escuela académica profesional de ingeniería de minas de la Universidad Nacional de Trujillo. El estudio aporta una metodología experimental apropiada para la instalación de pernos helicoidales de 8 pies, malla electro soldada no galvanizada y el lanzado de shotcrete vía húmeda (2). Además, la metodología tiene los siguientes pasos (2):

- “La presente tesis calcula el porcentaje de agregado (desmonte zarandeado) y finos para la mezcla que es utilizada en el lanzado de shotcrete vía húmeda, para el sostenimiento de la Rampa Patrick III, labor de desarrollo en minería subterránea” (2).
- “Para este estudio se crea y se describe una operación minera al norte del país, a dicha operación se hace el planeamiento de 80 metros lineales de avance al mes, para lo cual se hace urgente utilizar un sostenimiento idóneo; la rampa es un acceso principal. Con esta información se hace un estudio económico del sostenimiento para poder corroborar que es

económicamente viable y a la vez cumpla los parámetros de que se exigen para la utilización de dicha rampa como acceso principal” (2).

- “En toda operación minera el sostenimiento es crítico, con mucha más razón en este proyecto ya que se encuentra en su fase III, donde las presiones son intensas a todo esto se suman la presencia de fallas que inevitablemente se tienen que cruzar en la construcción de la rampa” (2).

En la Tesis titulado “Optimización Del Sostenimiento Con Shotcrete Vía Húmeda Con Fines De Minimizar Costos Y Mejorar La Producción De Lanzado De La E.E. Robocon S.A.C. En La Mina San Cristóbal - Cía Minera Volcan S.A.A.” de CAMARENA el autor, realizado en la facultad de ingeniería de minas de la Universidad Nacional del centro del Perú. El estudio aporta una metodología experimental apropiada para el control y la minimización en gran medida del porcentaje de rebote de fibras en el lanzado de shotcrete mediante a la aplicación correcta de las técnicas de proyección de lanzado y el uso exclusivo de un diseño de mezcla, reduciendo así costos en la operación por m<sup>3</sup> de shotcrete (3). Además, la metodología tiene los siguientes pasos (3):

- “Se mejoró el rendimiento del sostenimiento con shotcrete vía húmeda, la calidad, vida útil y resistencia del concreto adherido a la roca, aplicando una dosificación ideal de insumos de shotcrete en el proceso de preparación y diseño de mezcla” (3).
- “Se disminuyó la existencia de los 3 procesos desviados de lanzado de shotcrete en la operación y se logró una bombeabilidad óptima con el equipo Alpha 20 en cada lanzado de frente gracias a las capacitaciones constantes en temas de uso, proceso y técnicas de lanzado a los operadores” (3).
- “El mejoramiento continuo del sistema de sostenimiento con shotcrete vía húmeda es el resultado de trabajar con parámetros de alto rendimiento como presión y caudal de aire adecuados, respetando el tipo de terreno y los estándares de dimensiones de los tajeos, a fin de garantizar la uniformidad y eficiencia de un buen lanzado de shotcrete” (3).
- “La segregación de insumos en forma inicial en el proceso de dosificación de concreto, fue uno de los aspectos más significativos del control de calidad en la operación de este sistema. Esta segregación se consiguió trabajando con slump 0, con un rebote menor al 10% y con una relación agua/cemento = 1.8” (3).

En la Tesis titulado “Gestión De Calidad En El Proceso De Lanzado De Shotcrete En Túneles” de CABRERA y LEONARDO los autores, realizado en la facultad de ingeniería de minas de la Universidad Ricardo Palma Facultad De Ingeniería. El estudio aporta una metodología experimental apropiada para los procesos constructivos para el Lanzado de Shotcrete en el sostenimiento del túnel que se tomó como caso de estudio, evaluando las distintas fases de

trabajo, hallándose mediante un análisis de causa raíz distintas falencias en el ciclo de trabajo, conllevando a retrasos en los cronogramas y elevando los costos (4). Además, la metodología tiene los siguientes pasos (4):

- “Los costos de Shotcrete instalado en el túnel más el costo de las reparaciones que se hicieron por una mala instalación, del caso de estudio fueron contractualmente 475,114,69 US\$ y el monto real ejecutado fue de 1’018,520.89 US\$, donde se puede apreciar un incremento de 214.4%, estos incrementos en los costos se debieron a una mala instalación del Shotcrete, incumplimiento de procedimientos de trabajo en el túnel” (4).
- “Los inadecuados procedimientos en el Lanzado de Shotcrete, las constantes fallas mecánicas en los equipos de proyección de Shotcrete como es el caso del Robot Alpha 20 y un inadecuado flujo de información hacia el personal, provocaron que las fechas de finalización de la construcción del túnel se extendieran en 232 días, por lo que se concluye que usando la planificación y el aseguramiento de la gestión de la calidad de la guía del PMBoK, se puede obtener un control más óptimo de los avances en los túneles, y que realizando auditorías internas y externas constantemente se puede detectar los errores en cada fase del proceso de Shotcreteado, pudiendo de esta manera superar estos errores, esto conllevaría a aplicar una mejora continua en cada etapa del proceso de Shotcreteado, por lo que quedaría registrado, pudiéndose usar para futuros proyectos tuneleros” (4).

En la Tesis titulado “Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Sostenimiento Mediante Shotcrete Vía Húmeda En Sección Cuerpos Zona Alta – Compañía Minera Casapalca – Huarochiri – Lima” de BRAVO el autor, realizado en la facultad de ingeniería de minas de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco. El estudio aporta una metodología experimental apropiada, se determina que para labores permanentes el sostenimiento por shotcrete vía húmeda será el más apto de aplicar debido a que se obtendrá una mayor calidad en cuanto a resistencia mecánica con 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días lo cual representa una cifra elevada para el planteo necesario de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, a su vez se obtiene un mejor rendimiento de los elementos componentes de la mezcla de shotcrete debido a que se obtendrá un rebote menor en 26.5% (5). Además, la metodología tiene los siguientes pasos (5):

- “Del diseño de shotcrete propuesto, para un espesor de 2 pulgadas según la estructura de precio unitario se obtendrá un incremento en el beneficio de s/ 1308 por guardia” (5).
- “El diseño de lanzado vía húmeda ofrece un mejor ambiente laboral para el personal ubicado en la labor con mínimas cantidades de polvo en suspensión y mayor visibilidad del entorno de trabajo, siendo este también más seguro ya que el personal en la zona de sostenimiento se encontrará a una distancia de 4 a 10 metros de la zona de lanzado” (5).

## 2.2. Descripción de la Unidad Minera San Cristobal

### 2.2.1. Ubicación y accesibilidad

**Tabla 1 Ubicación y accesibilidad Unidad Minera San Cristobal**

Ruta	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado (h)
<b>Lima a la Oroya</b>	110	De la ciudad de Lima en línea recta por la carretera central hasta llegar ciudad de la Oroya.	Se tiene un viaje aproximadamente de cinco horas.
<b>La Oroya a mina Carahuacra</b>	18	De la ciudad de la Oroya por la carretera central, se halla un desvío cerca de la localidad de Pachachaca	El tiempo de viaje es aproximadamente de 45 minutos, en llegar a la unidad productora Carahuacra.

Unidad Minera San Cristobal tiene una altitud de 4550 metros sobre el nivel del mar, con las siguientes coordenadas geográficas (6):

- 76° 05' de longitud Oeste.
- 11° 43' de latitud Sur

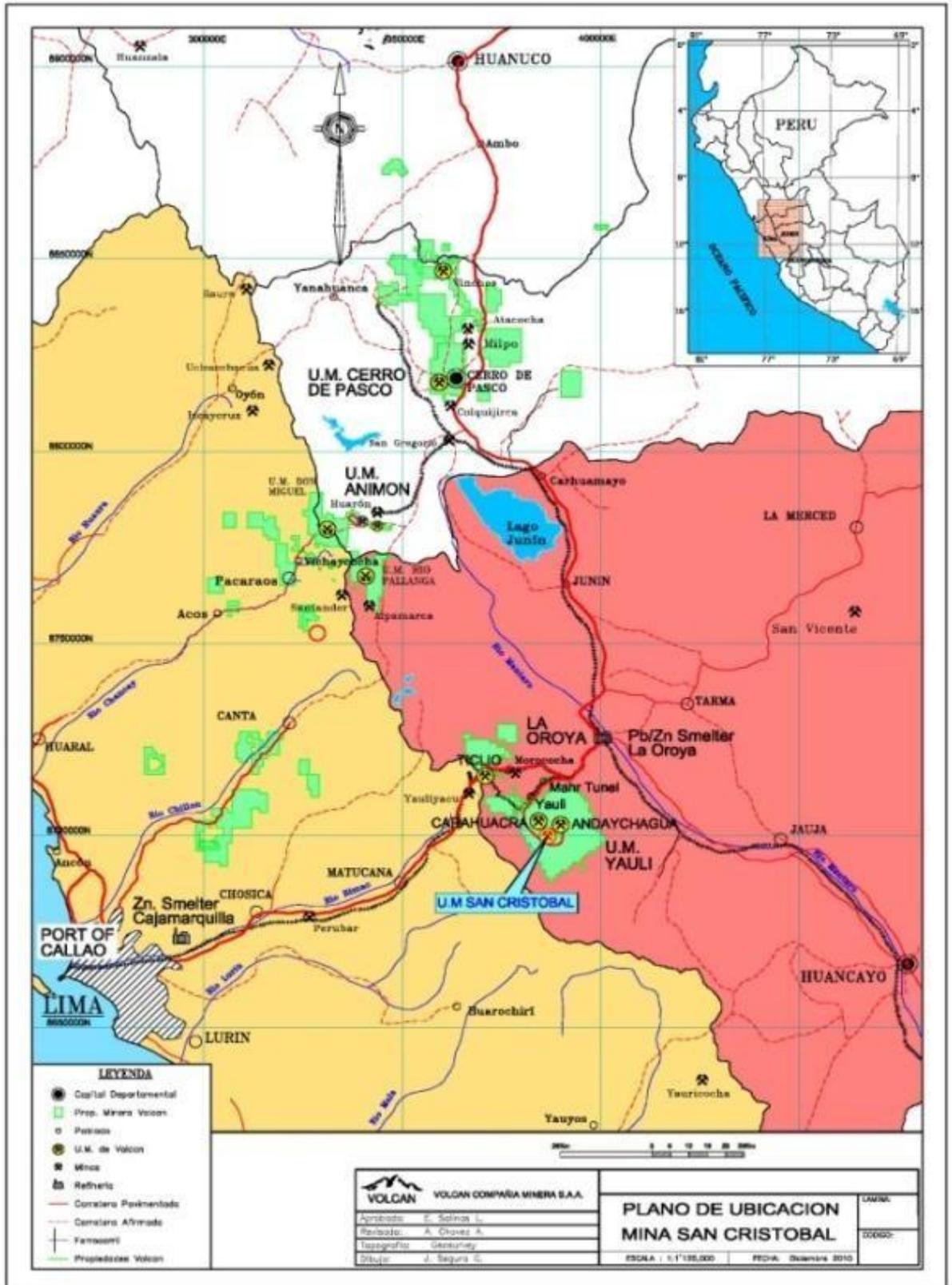
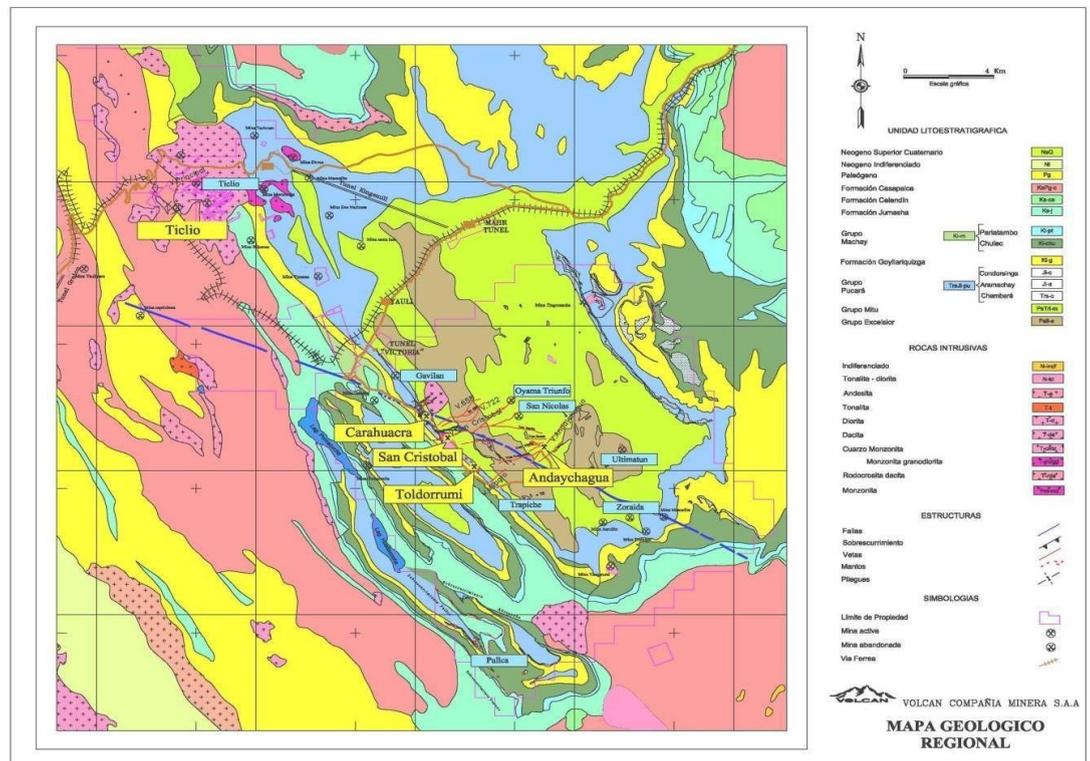


Figura N. 1. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal.  
 Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).

## 2.2.2. Geología regional

“El distrito minero de San Cristóbal está localizado en la parte suroeste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca íntegramente los distritos de San Cristóbal y Morococho, conocida como el Complejo Domal de Yauli (Figura 2), que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas” (6).

“El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el grupo Excélsior y el superior por el grupo Mitu; el Excélsior 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 Mitu aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha” (6).

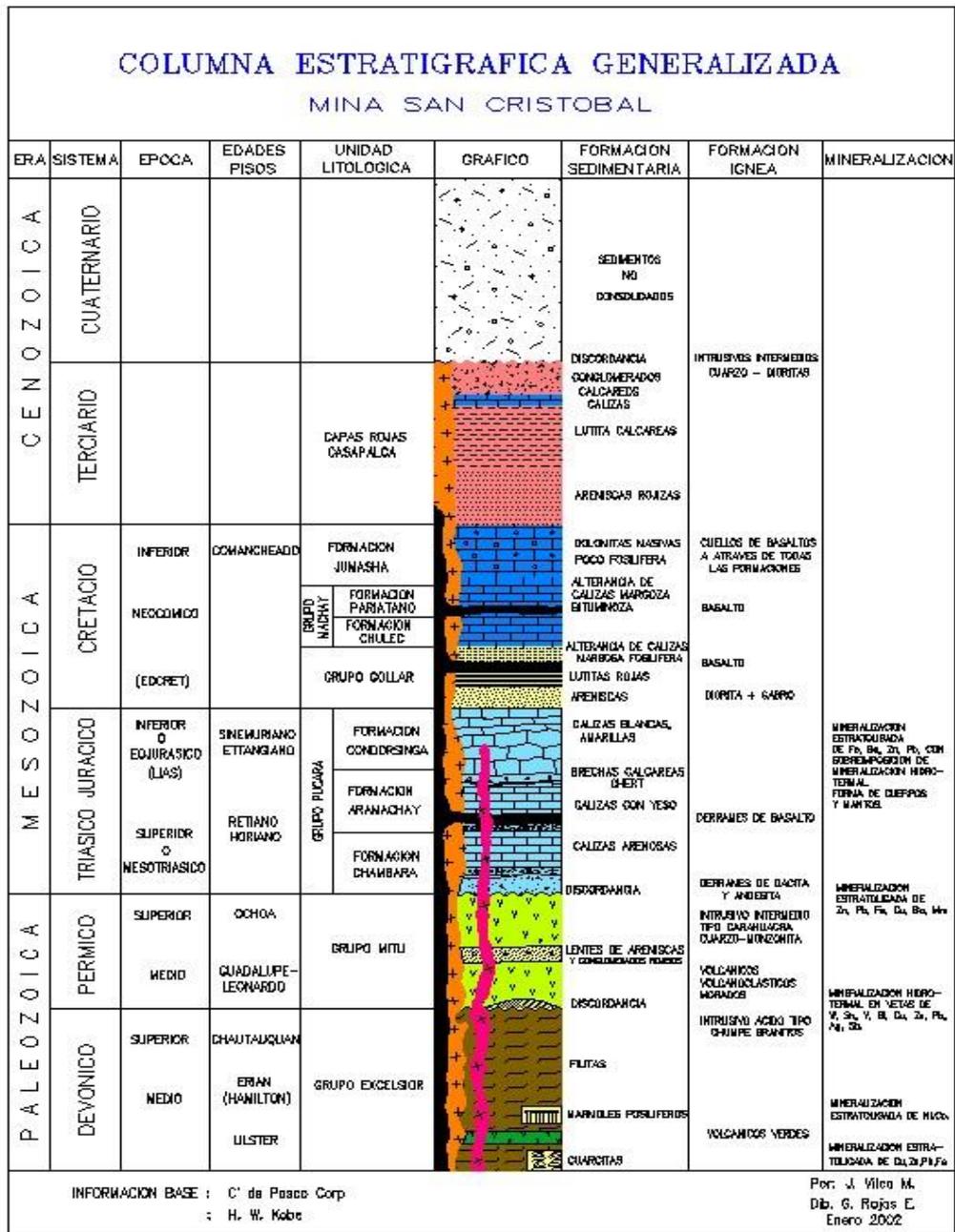


**Figura N. 2. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal.**  
**Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).**

## 2.2.3. Geología local

### 2.2.3.1. Secuencia litológica

La secuencia litológica de la Unidad minera San Cristobal de Volcan Compañía Minera S.A.A. tiene una extensión desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior (6).



**Figura N. 3. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal.**  
**Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).**

• **Silúrico-devónico-grupo excélsior**

“El grupo Excélsior está conformado por rocas muy antiguas que afloran en el área e integran al núcleo del anticlinal Chumpe, está formado por filitas con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos marmolizados con fósiles” (6).

“En relación a la potencia, estableció una potencia de 1800 metros, en la secuencia de los alrededores de Tarma. Su mineralización se presenta en filones, H.W. Kobe,

establece dos tipos de manto en la mina constituido por Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra estrictamente estrato ligada ubicada en el anticlinal, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S” (6).

- **Pérmico-Grupo Mitú**

“Encima de las rocas del grupo Excelsior existen una sucesión volcánica, formada por rocas andesíticos y dacíticos diseminados, breccas, aglomerado y tufos. Asimismo, la mineralización para este grupo se sitúa en el domo Yauli notablemente, en forma de filones y diseminadas” (6).

“Presenta potencia irregular total en este grupo, al oeste de la unidad minera San Cristóbal la potencia de los volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros. La edad del Grupo Mitú fue considerada como del Carbonífero Superior y posteriormente asignada al Pérmico” (6).

- **Triásico Superior Liásico-Grupo Pucara**

“Este grupo es una agrupación de facies calcáreas, se ubica en la discordancia encima del Grupo Mitú, este grupo se divide en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga están relacionados con la mineralización económica del lugar” (6).

- a. **Formación Chambará** (Triásico Superior)

“Está compuesta por calizas, dolomitas, calizas dolomíticas, separadas por capas calcáreo-arcillosas y tufos de pocos centímetros, las rocas calcáreas presentan un color gris claro a negro, con mayor porcentaje de materia orgánica” (6).

- b. **Formación Aramachay** (Liásico: Hetangiano-Sinemuriano)

“Está compuesta por pizarras limosas, seguidamente de areniscas de grano fino, calizas y de chert en capas. Las calizas se presentan en bancos de 20 a 50 centímetros, frecuentemente lenticulares, o en nódulos discoidales de hasta un metro de diámetro, se nota también capas vulcano-detríticas” (6).

- c. **Formación Condorsinga** (Liásico Toarciano)

“Se compone de oolíticas o bioclásticas en su mayoría, chert abundante en la mitad inferior de la formación; intercalaciones tufáceas de color gris claro, de grano fino a medio, son comunes. Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, hay zonas donde están fuertemente brechadas” (6).

- **Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)**

“Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas” (6).

“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” (6).

“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 metros. El grupo Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico Inferior-Valanginiano-Aptiano” (6).

- **Grupo Machay (Cretácico Medio)**

- a. **Formación Chúlec**

“Esta formación es totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes Centrales correctamente datada. Toda la serie en su conjunto está intensamente bioturbada” (6).

En potencia varía desde 250 m justo al SO de Morococha a 350 m en Carahuacra. La base de la formación Chúlec está considerada como la base del primer horizonte calcáreo arriba de las areniscas cuarzosas del grupo Goyllarisquizga y data del Albiano medio” (6).

- b. **Formación Pariatambo,**

“Esta formación es fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia margocaliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido muy pronunciado. Los niveles claros son mudstones con *packstones* calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente siltosos. Los bancos oscuros son margas calcáreo-dolomíticas muy bituminosas. Toda esta formación depositada en una plataforma relativamente profunda y aislada contiene numerosos amonites poco fragmentados y restos de peces” (6).

“El tope está marcado por la aparición de sílex que se halla a veces en tal cantidad que llega a formar bancos decimétricos con dolomitas intercaladas. Las variaciones de espesor son pequeñas, entre 50 y 75 m; encontrándose los extremos en Morococha con 15 m y en San Cristóbal con 130 m, además en este último también se presenta una decena de metros de areniscas finas intercaladas en la parte medía de la formación. La fauna de esta formación es Albiana superior e incluye *Inoceramus* y *Exogyra*” (6).

- c. **Formación Jumasha**

“Concordantemente sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el Domo de Yauli. Consiste casi enteramente de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera

con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. Los amonites encontrados pertenecen al Albiano superior-Turoniano” (6).

#### **2.2.4. Geología estructural**

##### **1. Plegamiento**

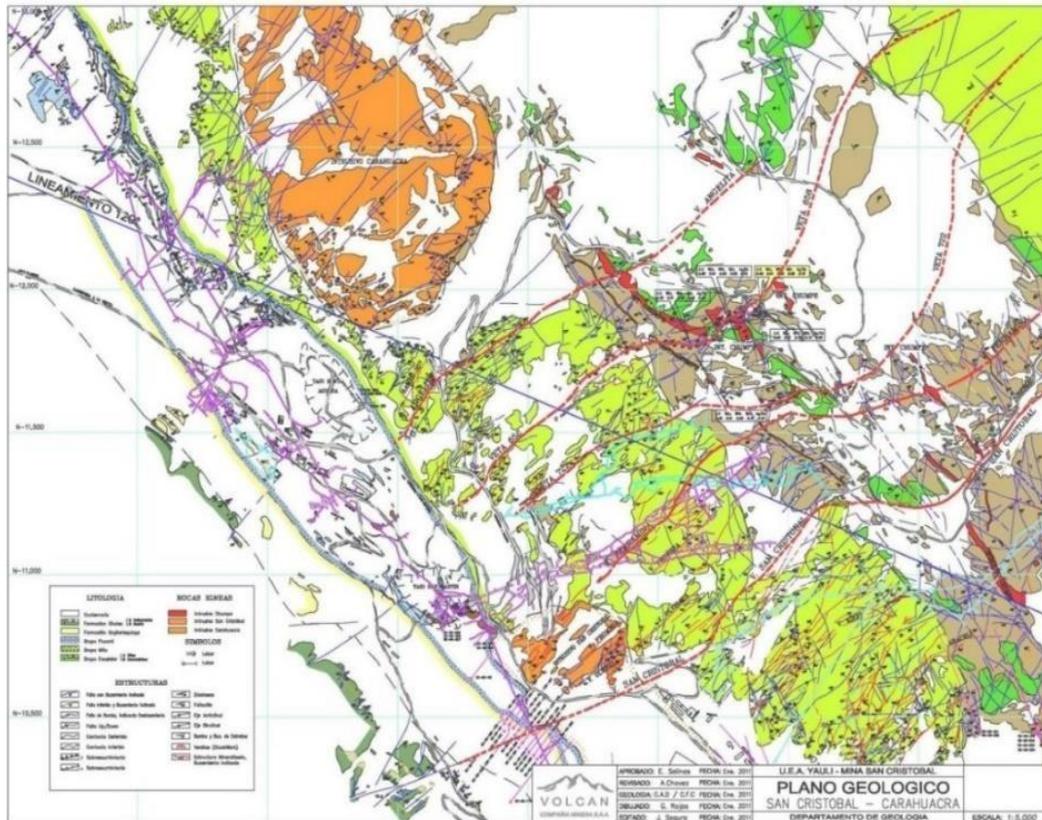
“La mina Carahuacra, se encuentra en el flanco occidental de la estructura regional dominante del domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O. 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” (6).

“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 Mitu por varios kilómetros y sobre éstas las del grupo Pucará. Es considerado como el extremo suroeste del Domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar” (6).

##### **2. Fracturamiento**

“El fracturamiento en el área de la 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” (6).

“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, al seguir actuando las fuerzas de compresión dio 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” (6), como se muestra en la siguiente figura.



**Figura N. 4. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal.  
Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).**

### 2.2.5. Geología económica

Después de la última fase de plegamiento "Quechua" y de la disposición de las fracturas de tensión, luego vino la época de la mineralización de stocks con monzonita de cuarzo, conduciendo el desarrollo de vetas, mantos y cuerpos (6). Como se describen a continuación:

#### 1. Vetas

“Las vetas o filones fueron formados primordialmente por relleno de fracturas, son mineralizadas las que se desarrollaron a lo largo de fracturas de tensión. Además, las fallas de cizalla contienen mucho panizo no están bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran ubicados en todo el distrito minero de la unidad, en su gran mayoría se desarrolló en los volcánicos del grupo Mitu” (6).

#### 2. Mantos

“Los mantos se ubican en el flanco oeste del anticlinal, en la localización de las calizas de Pucará. A partir del contacto con los volcánicos Mitu, se hallan simultáneamente con la estratificación” (6).

### 3. Cuerpos

“Similar a los mantos se ubican localizados en el flanco oeste del anticlinal, en la localización de las calizas de Pucará. Su formación es debido a la unión de varios mantos o en su intersección de una veta con un manto” (6).

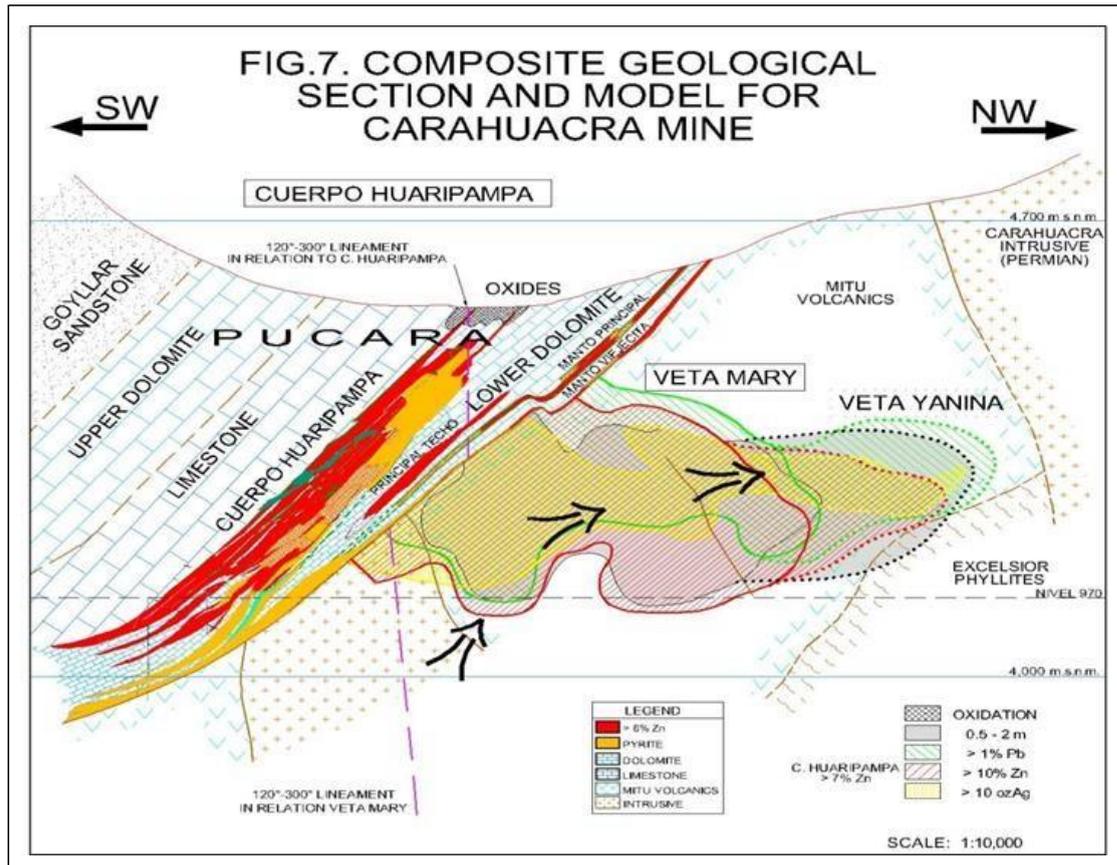


Figura N. 5. Ubicación y accesibilidad de la Unidad Minera San Cristobal.  
Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli 2020 (6).

### 2.3. Bases Teóricas

#### 2.3.1. Historia del hormigón proyectado

“La versatilidad y durabilidad para cubrir estructuras curvados hasta para estabilizar taludes, el hormigón proyectado fue ideado por primera vez por el productivo diseñador estadounidense, Carl Ethan Akeley” (7).

“El espléndido Akeley realizó el hormigón proyectado para arreglar la fachada del Museo Field de Chicago, donde trabajaba en ese momento, además de otras cosas por su trabajo en el campo

de la taxidermia y la protección, Akeley necesitaba dotar de un componente de dinamismo a las exhibiciones de criaturas del centro histórico, hasta hace poco excepcionalmente estáticas, hacia síntesis más naturalistas” (7).

Akeley, empezó a planificar modelos realistas que reprodujeran los territorios habituales de las criaturas con pinturas murales de obras de arte, rocas de papel maché y temas diversos (7).

Para el papel maché, Akeley diseñó un enorme atomizador con un soplador de aire para aplicar el mortero coloreado (7). El procedimiento atrajo la atención del jefe del centro histórico, Frederick J.V. Rowboat, que estaba sintiendo la presión del principal grupo de administradores legales para arreglar la chapa (7).

### **A. El principal uso del hormigón proyectado**

“Para Akeley, encargado de encontrar una solución al deterioro, diseñó el principal modelo de 'plastergun' (pistola de escayola), en cual proyecta escayola seca a través de una manguera que utiliza aire comprimido. A esta mezcla se le añade agua a través de otra manguera, y la combinación se dosifica en la boquilla” (7).

A pesar de los problemas iniciales de obstrucción, se concibió el ciclo del hormigón proyectado (7).

Al final, Akeley se decidió por un plan más complejo ante la idea de una cámara doble bajo presión de intercambio que bombea el material en una manguera (7). En 1909, Akeley se dispuso a documentar su patente, que se formalizó apenas dos años después del hecho, tras algunos cambios y mejoras. La creación fue inmediatamente duplicada por diferentes fabricantes, que empezaron a exhibir la máquina como "“cement gun” (pistola de cemento) (7).

### **B. El hormigón proyectado y lo que está por venir**

Durante la Segunda Guerra Mundial se produjeron otros giros, por ejemplo, el marco de alimentación constante que permite aplicar el hormigón proyectado mediante un chorro continuo. Sin embargo, en 1955 se produce un avance significativo, con la presentación del shotcrete vía húmeda, en el que las piezas sustanciales se mezclan con agua antes de llegar a la manguera (7).

En las próximas décadas siguientes, el negocio comienza a inclinarse hacia la vía húmeda debido a la mejora de las bombas de hormigón más eficientes (7).

Hoy en día, más de 100 años después de su primera " pistola de escayola", la utilización del hormigón proyectado se ha convertido en una gigantesca industria mundial que se calcula que producirá unos 6.700 millones de euros en 2020 (7).

Concebido a partir de la necesidad de abordar un problema de aplicación in situ de forma rápida y sólida, el espléndido Akeley sigue siendo el sorprendente artífice del actual procedimiento de hormigón proyectado, un referente en las empresas de desarrollo y minería (7).

### **2.3.2. Explotación subterránea**

“La Unidad de Minera San Cristobal, 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”(8).

“La técnica de explotación minera 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 el trabajo vertical según los parámetros geológicos es ideal aplicar los métodos de minado por Cut and Fill, también llamado "Over Cut and Fill" y "Bench and Fill" (8).

“El minado es como cortes o tajos por la variación en "Breasting", se perfora uniformemente teniendo como piso el relleno del nivel inferior, con una pendiente de +/- 12 % de inclinación está preparada en el piso del corte del diseño para trabajar con las llegadas del equipo de perforación y limpieza”(8).

“Posteriormente al diseño y según lo indicado por la naturaleza geomecánica del terreno en cuestión, se completa el doble reparto con la perforación uniforme (cara libre hacia abajo)” (8).

“El mineral desbrozado se apila y se extrae por el desarrollo. Esta técnica se utiliza en las vetas inclinadas que requieren una explotación particular, permitiendo la adaptabilidad de la actividad, donde el mineral que tiene un valor bajo se deja en el tajeo como relleno” (8).

“La extracción es lenta, suministra medidas estándar de mineral, pero no permite acumular o almacenar, en el momento en que se ha terminado todo el corte, el volumen separado se incrusta para ayudar a las cajas con material roto (relleno detrítico) o con relleno hidráulico o una mezcla de ambos”(8).

“Las llegadas a la estructura mineralizada son en negativo para tener la opción de realizar tres cortes por cada tajo” (8).

1. PERFORACION		<b>PERFORACION (4m * 4m)</b> N° Tala/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"
2. VOLADURA		<b>VOLADURA (4m * 4m)</b> N° Tala/diáp : 15 Tiempo Carga. : 0.6 hr Factor Carga : 0.18 Kg/m3
3. DESATE		<b>DESATE (4m * 4m)</b> Tiempo Perfo. : 0.75 hr
4. LIMPIEZA		<b>LIMPIEZA</b> Capacidad Eq : 6 yd3 Toneladas/dispera : 150 tn Rendimiento : 55 Ton/hr
5. SHOTCRETEO		<b>SOSTENIMIENTO SHOTCRETE</b> Rendimiento instalacion: 5 m3/hr Ratio de produccion : 60 tms/m3 RC de Shotcrete : 390 kg/cm2
6. SOSTENIMIENTO		<b>SOSTENIMIENTO CON PERNOS</b> Rendimiento instalacion 18 Un/hr Ratio de produccion : 26 tms/un Tipo de perno : Spiltset o Hidrabolt Tipo Spilt set : 1 tn/pie Tipo Hydrabolt : 12 tn/un Tipo Helicobol : 2.5 tn/pie Longitud de perno : 1-1/2x7 pies

Figura N. 6. Método de explotación corte y relleno ascendente tipo Breasting

Fuente: Plan de minado de la mina San Cristóbal, 2019 (8). 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 predeterminedar los intervalos verticales, los subniveles son desarrollados entre los niveles principales, el mineral es derribado con taladros largos desde los subniveles (8).

La extracción de mineral del tajo se realiza hacia echaderos ubicados junto a la rampa principal y utilizando Scoops de 4.1 yd<sup>3</sup> y 6.0 yd<sup>3</sup>, 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 (8).

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 (8). 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 (8).

### **2.3.3. Ciclo de minado**

Las etapas o fases del ciclo de explotación son: la perforación, voladura, desatado, sostenimiento, acarreo, transporte y relleno. El tiempo de extracción depende de la longitud del tajeo, el cual consta de 15 a 30 días en el caso del tajeo en Breasting (8).

#### **2.3.3.1. Perforación**

Para la perforación se ejecuta con equipos jumbos electrohidráulicos de mayor precisión denominados simbas, el tipo de perforación puede ser vertical y horizontal, se realiza con longitudes de mayor tamaño, mayormente la perforación es en Breasting y en taladros de avance se perfora de acuerdo a la pendiente de la labor, el radio de perforación es de 39 mp/hr (8).

#### **2.3.3.2. Voladura**

Los trabajos de voladura se tiene una malla que permite tener una secuencia de la salida de taladros, con el objetivo de generar la cara libre (8).

La cantidad de explosivo para frentes es de 40 kg para frentes de avance de 3,5 x 4,0 de sección, según las cualidades geomecánicas (8).

El factor de potencia para frentes de avance es de 0,45 y en los tajeos Breasting es de 0,22 (8).

Las aberturas perforadas en los dos frentes y tajeos se cargan con explosivo, según la distribución de la secuencia de salida y con iniciador de retardos para el control de salida del explosivo (8).

Para cargar los taladros perforados se utilizan atacadores de madera; primero se prepara el cebo, luego en ese momento, se carga cada taladro, y después se unen con el cordón detonante y proceder al disparo. Las horas de disparo son las 7:00 a.m. guardia A), 7:00 p.m. (guardia B) (8).

#### **2.3.3.3. Desatado**

Después de que haya pasado el tiempo adecuado tras el disparado se realizara el regado con agua y el desatado de rocas del techo y hastiales utilizando barretillas de 6, 8, 10 y 12 pies. Del mismo modo, tras la limpieza, se realiza el desatado de ser necesario se emplea el equipo Scaler, para contar con una labor segura(8).

#### **2.3.3.4. Sostenimiento**

Hay varios tipos de elementos para el sostenimiento; su utilización va depender de la evaluación geomecánica del macizo rocoso. El más utilizado en sostenimiento sistemático es la proyección de shotcrete, perno y malla electro soldada, para el empernado de pernos se emplea los equipos empernadores (Boltec y Bolter) (8).

#### **2.3.3.5. Acarreo y transporte**

En el acarreo del mineral procedente de los tajos son transportados por equipos de bajo perfil o equipos o por equipos Scooptram de 4.1 a 6 yd<sup>3</sup> que acarrean mineral o desmonte a los volquetes de 24 a 30 tm de capacidad que trasladan a superficie a las canchas de acumulación (8).

#### **2.3.3.6. Relleno**

El tipo de relleno utilizado es el relleno detrítico obtenido de las labores de avance ya que se realizan sobre material estéril los cuales son cargados con Scooptram y transportados con volquetes a los tajos a rellenar (8).

#### **2.3.3.7. 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 (8).

“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” (8).

“El principal objetivo es conservar la resistencia inherente del macizo rocoso e tal forma que se auto soporte; por ejemplo, pernos de anclaje, cables de acero, etc” (8).

“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” (8).

“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”(8).

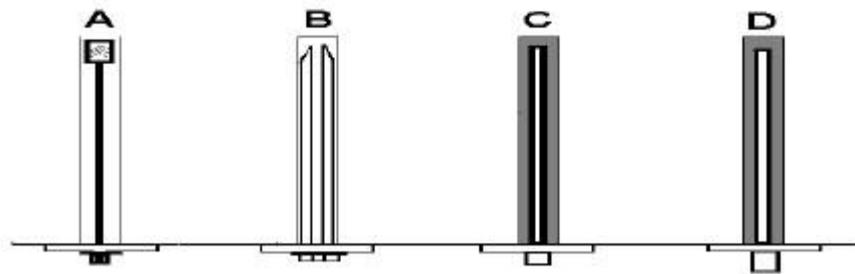
#### **2.3.4. Tipo de sostenimiento utilizados en la Unidad Minera San Cristobal.**

La Unidad Minera San Cristobal, viene utilizando el tipo de sostenimiento activo (9).

##### **A. Sostenimiento activo**

##### **1. Instalación de pernos**

En la siguiente figura se muestra los tipos de elementos de sostenimiento utilizados en la Unidad Minera San Cristobal.



**Figura 7. Tipos de elementos de sostenimiento (9).**

Fuente: SCRIBD. Elementos para Sostenimiento.

De la figura se puede observar cuatro elementos de sostenimiento que son los siguientes:

- A. Perno con Anclaje
- B. Estabilizadores de Fricción
- C. Barra de Construcción

#### D. Cable de Acero

“Los tipos de elementos más comunes en el sostenimiento de terrenos son los Pernos con Anclajes Expansivos, Estabilizadores de Fricción, Pernos deformados cementado con resina o cemento y los Cables de Acero”(9).

“En la selección de los elementos para sostenimiento es muy importante tener un conocimiento de las funciones y las resistencias de cada elemento”(9).

“También toma en cuenta la altura de las labores, el tipo de roca y su clasificación, el tipo de maquinaria disponible, el tiempo de vida útil de la labor” (9).

## 2. Instalación de arcos de fierro deslizantes

Dentro del sostenimiento activo, el sostenimiento se utiliza en su mayor parte para la ayuda súper duradera de las labores principales de avance, en estados de masa de roca seriamente fracturada o extremadamente frágil, que dan una calidad pobre a excepcionalmente baja, expuesta a condiciones de alta presión (10).

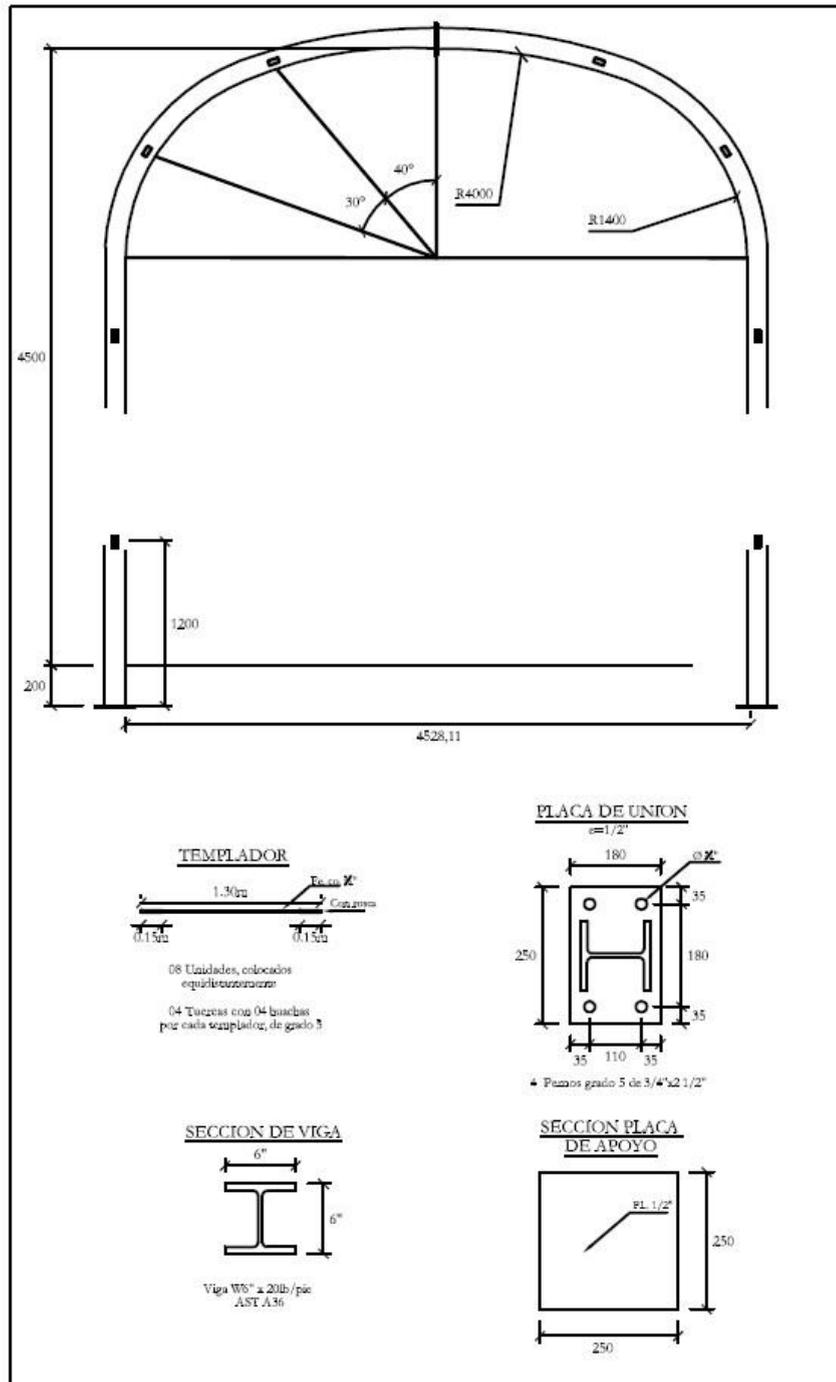
Para lograr un control de fiabilidad convincente en tales condiciones del terreno, el sostenimiento con cimbras, se utiliza debido a su resistencia mecánica y propiedades de deformación, que neutraliza la conclusión de la eliminación y evade su ruptura intempestiva (10).

La ventaja es que este armazón sigue ofreciendo ayuda después de que se hayan producido deslizamientos importantes. La cimbra se construye con perfiles de acero, según las necesidades del estado del segmento de remoción, es decir, baúl, herradura o incluso redondo, y se sugiere que sean de alma llena (10).

Existen dos tipos de cimbras, las supuestamente inflexibles y las deslizantes o de arrastre, las anteriores suelen utilizar perfiles como el W, H, I, compuestos por unos tramos que se unen mediante pletinas y tornillos con tuercas (10).

La última opción utiliza perfiles como el V y el Û, típicamente compuestos por tres fragmentos que se deslizan entre sí, unidos y cambiados con uniones de tornillos:

- Cimbra viga, H6 3,70 m, ancho: 3,5 0m. IR: 1,75 m, para secciones 3,5 m x 3,5 m (10).
- Cimbra viga, H6: 4,20 m, ancho: 4,00 m. IR: 2,00 m, para secciones 4,0 m x 4,0 m (10).



**Figura 8. Tipos de elementos de sostenimiento (10)**

Fuente: SCRIBD. Sostenimiento con cimbras en minería subterránea

### 3. Instalación de Shotcrete con pernos y fibra

“Este método es el único utilizado en Escandinavia, Italia y en un gran número de importantes proyectos subterráneos en todo el mundo”(10).

El uso del shotcrete para aplicaciones de soporte de rocas ha aumentado en forma exponencial en los últimos 10 a 15 años, lo cual ha impulsado un intenso desarrollo del mismo (10).

Entre 1971 y 1980 se produjo un desarrollo impresionante del método por vía húmeda en Escandinavia, con la consiguiente transformación total de su mercado de shotcrete. Se pasó de 100% de vía seca a 100% de vía húmeda, y la aplicación pasó de manual a robótica (10).

Este cambio radical ocurrió sólo en Noruega. Desde aproximadamente 1976 se ha venido agregando cada vez más la micro-sílice y la fibra metálica al Shotcrete fabricado por vía húmeda. Sin duda alguna los noruegos llevan la delantera en la tecnología del Shotcrete fabricado por vía húmeda, tanto en teoría como en la práctica (10).

En la Unidad Minera San Cristobal, se utiliza el shotcrete por vía húmeda en la siguiente sección se detalla el uso del concreto lanzado en la Unidad Minera San Cristobal (10).

### **2.3.5. 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” (10).

Esta definición es complementada por la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras EFNARC, el cual establece como definición (10). mezcla de cemento, agregado y agua proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea (10).

El shotcrete comenzó a utilizarse hace casi 110 años (10). Los primeros trabajos con shotcrete fueron realizados en los Estados Unidos por la compañía Cement-Gun (Allentown, Pensilvania) en 1907 (10).

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” (10).

### **2.3.6. Shotcrete vía seca**

Las primeras aplicaciones del shotcrete se hicieron mediante la vía seca; en este método, los componentes del shotcrete seco o ligeramente pre humedecidos, son alimentados a una tolva con agitación continua (10).

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 (10).

### **2.3.7. 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”(10).

“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”(10).

### **2.3.8. Ventajas de Shotcrete vía húmeda**

- a. Economía: viene hacer la capacidad de proyección de aumento en los tiempos de maquinarias de mezclado de concreto hasta el lanzado por 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”(10).
- 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 (10). El método por vía húmeda mejoró significativamente las condiciones del ambiente de trabajo, trayendo consigo mayor seguridad para los trabajadores (10).

- c. Calidad: todavía se piensa equivocadamente que el método por vía húmeda no ofrece resultados de alta calidad (10). 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 (10).
- d. Instalación: con el método vía húmeda se utiliza un concreto ya mezclado en la planta de concreto (10). En cualquier momento del proceso es posible inspeccionar y controlar la relación agua/cemento y, por lo tanto, la calidad (10). 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 (10). 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 (10).

### **2.3.9. Diseño de la mezcla para proyección por vía húmeda**

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

- **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” (10).

“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”(10).

“Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo”(10). El cemento que se utiliza normalmente es el Portland Estándar Tipo I.

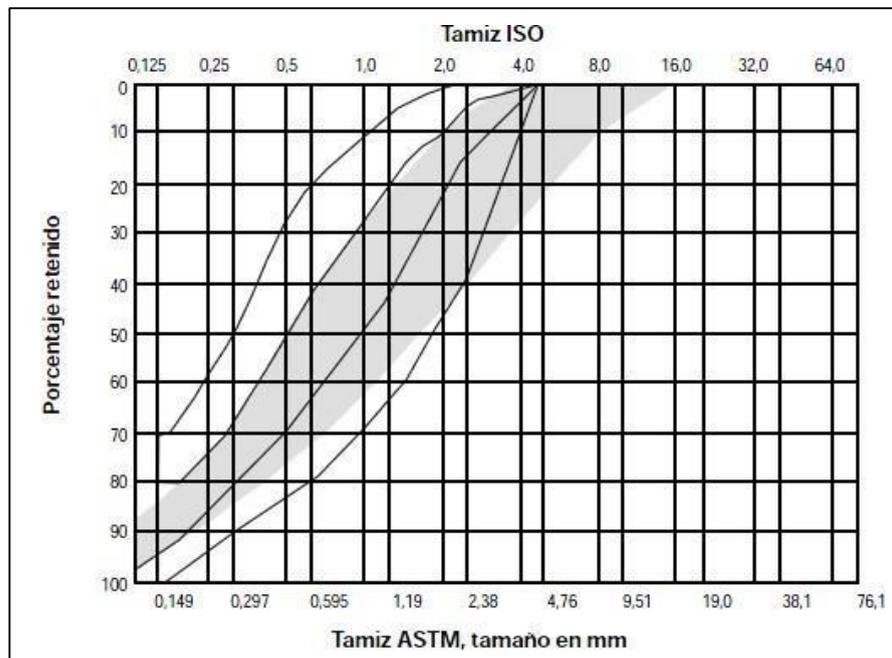
- **Agregado**

“La calidad del agregado es un asunto primordial en el shotcrete (10). Es importante que la distribución del tamaño de grano y otras características sean lo más uniforme posibles”(10).

“Particularmente importantes son la cantidad y las características de los finos; es decir, el tamaño de grano y el análisis granulométrico” (10).

“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”(10).

“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”(10).



**Figura N. 9. Curvas de distribución recomendadas para los agregados de shotcrete**

Fuente: Melbye, T. 2001, pág. 30

“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 %”(10).

“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”(10).

“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”(10).

“La curva de distribución del tamaño de grano para el agregado debe caer en la región sombreada, 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”(10).

“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”(10).

- 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”(10).

**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”(10).

“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”(10). “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”(10).

“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”(10). El mayor asentamiento logrado por los super plastificantes convencionales depende de las condiciones de tiempo y temperatura (10).

“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”(10).

#### **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”(10).

“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”(10).

#### **2.3.10. 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”(10).

“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”(10).

- 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”(10).
- 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”(10).

- 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”(10).
- d. Fibras de acero (metálicas): “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”(10). “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”(10).

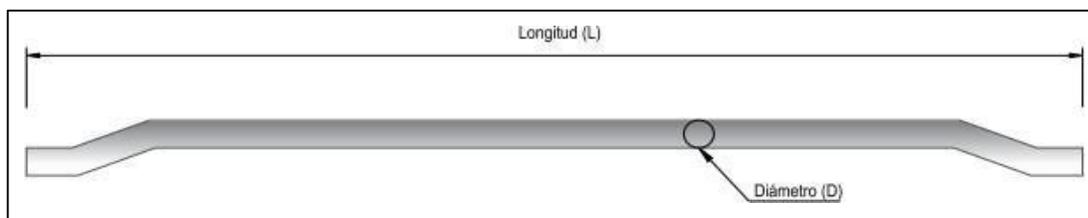


**Figura N. 10. Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del shotcrete (10).**

Fuente: Elaboración propia.

“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”(10).

“Las fibras de acero están caracterizadas geoméricamente 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 (10). De la relación entre longitud L y el diámetro D se obtiene la relación de aspecto o esbeltez L/D”(10).



**Figura N. 11. Características geométricas de las fibras de acero**

Fuente: Manual Técnico de Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo de Hormigón (10). 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” (10), 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” (10).

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

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \times (d_f)^2 \times l_f}{4p_f}} \quad \text{Ecuación 01}$$

Donde:

- $l_f$  es la longitud de fibra
- $d_f$  es el diámetro equivalente de la fibra
- $p_f$  es el porcentaje de la fibra

s debe ser menor de 0.45 lf para asegurar un traslape mínimo. (Mc Kee, 1969) (10) 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:

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

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

- **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”(10).

**Tabla 2 Longitud total mínima de fibra**

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

Fuente: Manual Técnico de Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo de Hormigón (10). Maccaferri, 2010, pág. 13.

- **Dosificación en base al comportamiento**

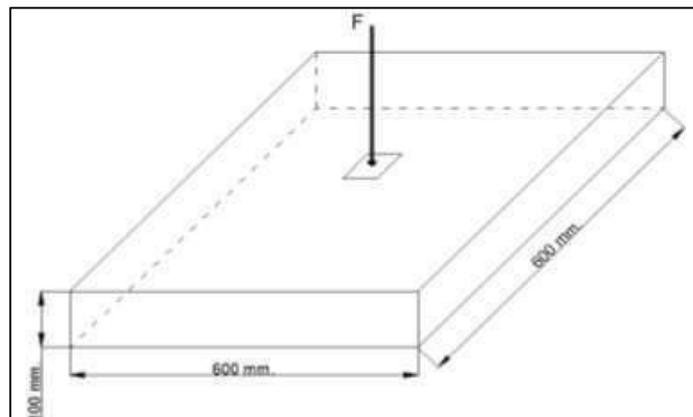
“La Norma Europea EN 14487-1 hace mención a las diferentes formas de especificar la ductilidad del concreto reforzado con fibras de acero en términos de resistencia residual y la

capacidad de absorción de energía. También hace mención que ambas formas no son exactamente comparables”(10).

“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”(10).

- **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”(10).



**Figura N. 12. Dimensiones de panel para ensayos de capacidad de absorción de energía**

Fuente: Manual Técnico de Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo de Hormigón (10). Maccaferri, 2010, pág. 13.

“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”(10).

“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”(10).

“Este tipo de prueba permite comparar diferentes tipos de fibra y dosificaciones relacionadas con el propósito deseado” (10).

“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 x 100 mm<sup>2</sup>. Se registra la curva de carga-deformación y la prueba continúa hasta alcanzar una deflexión de 25 mm, en el centro del panel”(10).

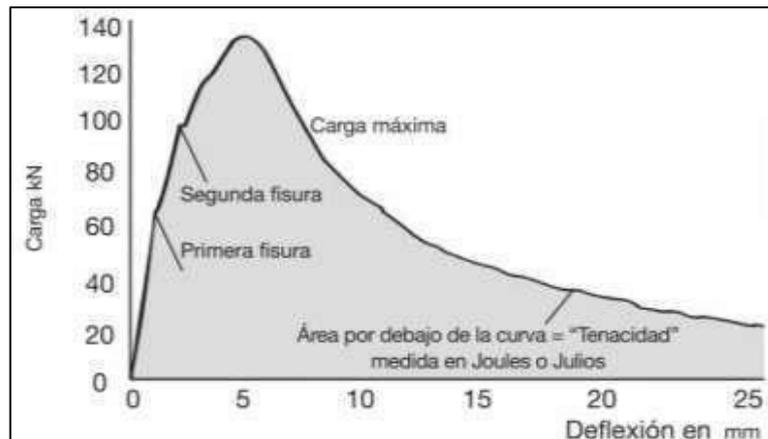


**Figura N. 13. Proceso de lanzado de concreto en el molde de Panel para Ensayos**

Fuente: Elaboración propia.

“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” (10).

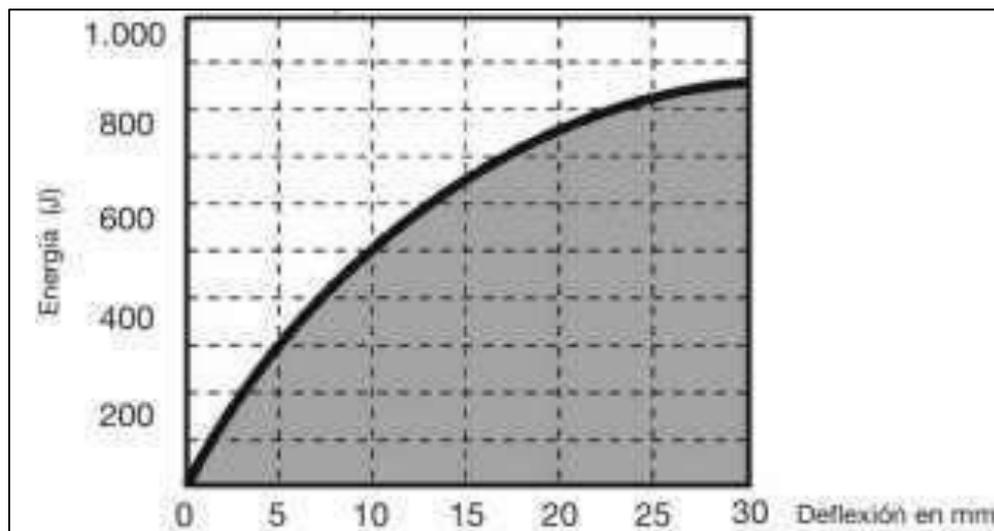
“Las curvas de Carga – Deformación o deflexión indican que durante la prueba se han desarrollado numerosas fracturas. Las fibras de acero puentean las fisuras generando una distribución perfecta de la carga”(10).



**Figura N. 14. 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”(10).



**Figura N. 15. Curva de absorción de energía**

Fuente: Dramix, 2011, pág. 10

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 (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<sup>2</sup>, que normalmente es especificado para soportes temporales, sometidos a baja deformación” (10).

- **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”(10).

### **2.3.11. 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”(10).

“Por razones de anclaje, el tamaño de las fibras debe ser al menos el doble del tamaño del agregado máximo” (10).

“La fibra debe tener un largo no superior a 50 a 60 % del diámetro de la manguera de bombeo” (10).

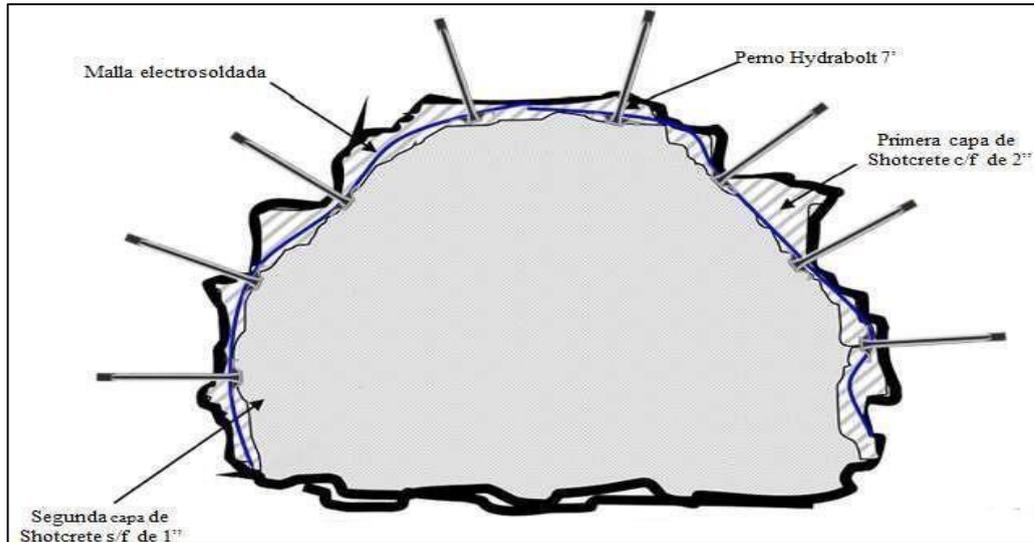
“Esto significa que, para la proyección manual, la máxima longitud de fibra normal es 25 mm; para robots con mangueras de 65 mm, es posible hacer la proyección con una longitud de fibra hasta de 45 mm. Las fibras de acero pueden añadirse antes, después o durante la dosificación de los materiales del concreto”(10).

“Si se produce aglomeración de fibras (bolas), puede eliminarse modificando la secuencia de dosificación2 (10). “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”(10).

“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” (10).

- 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” (10).



**Figura N. 16. 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 3 Diseño de mezcla de shotcrete (Diseño sostenimiento estructural)**

Diseño de mezcla para 1 m3 de shotcrete	
Cemento Portland Tipo I	400kg Agregados
1675kg Aditivo Estabilizador Delvo	1.25 litros
Aditivo Super Plastificante Glenium TC1300	3.2 litros Aditivo
Acelerante MasterRoc SA 160	23 litros 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

### 2.3.12.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” (10).



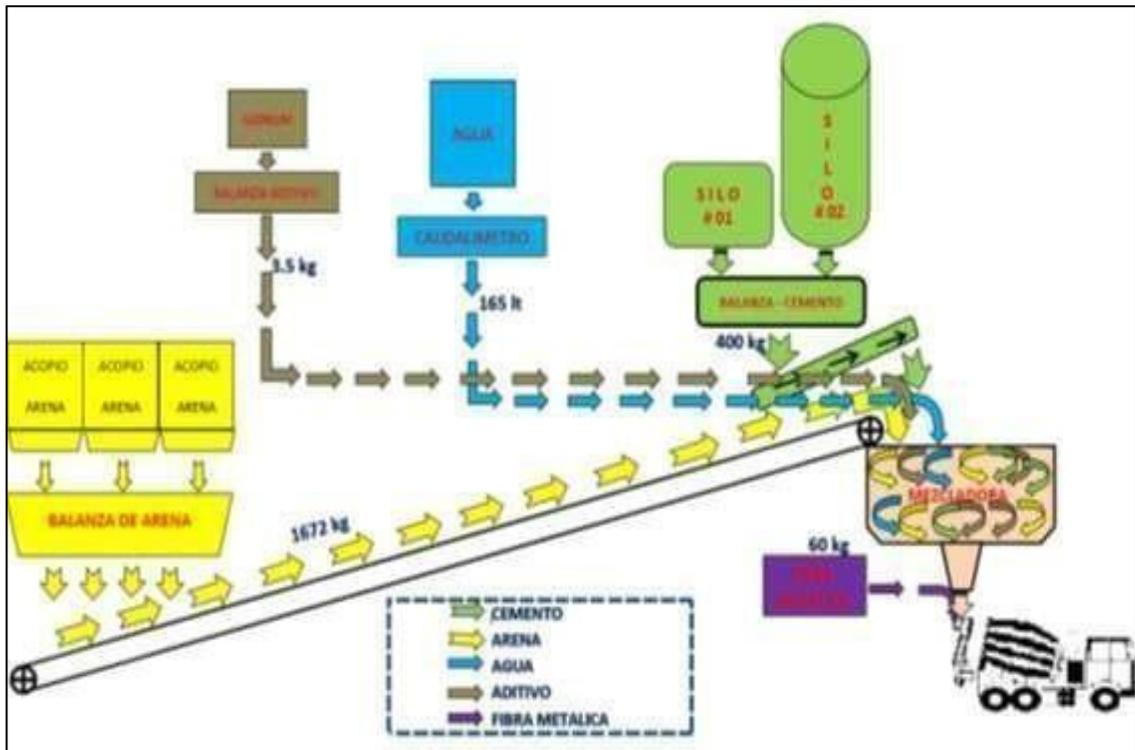
**Figura N. 17. Planta de Concreto - San Cristóbal**

Fuente: Elaboración Propia.

“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 m<sup>3</sup> de shotcrete, aproximadamente” (10).

“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)” (10).

“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”(10).



**Figura N. 18. 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 lanzamiento 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 lanzamiento de calidad bajo óptimas condiciones” (10).

“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 m de capacidad respectivamente” (10). “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 m son 40 los viajes que se realizan, por lo que se cuenta con una flota de 13 vehículos”(10). La operación de transporte es llevada por la Empresa Especializada Robocon Servicios S.A.C (10).



**Figura N. 19. Abastecimiento de concreto a los Equipos Mixers en la Planta de San Cristóbal**

Fuente: Planta de Concreto Betonmac, marzo 2015

El lanzador de concreto constituye la etapa final del proceso (10). “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” (10).

“La capacidad máxima de lanzamiento de estos equipos es de 20 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/min, con una presión de 7 bares” (10). El alcance efectivo de lanzado es de hasta 9 m de distancia. Se cuenta con una flota de 6 equipos de lanzado (10).



**Figura N. 20. Lanzado de concreto con el Robot Alpha20, perteneciente a E.E.**

**Robocon**

Fuente: Elaboración propia.

“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” (10).



**Figura N. 21. Medición de Slump en Interior Mina**

Fuente: Elaboración propia.

### **2.3.13. 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”(10)., 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) (10).
- 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 (10).

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

- Contenido y tipo de cemento (10).
- Contenido de agua (10).
- Temperaturas del concreto y del ambiente (10).
- Espesor de la capa (10).

“La fuerte influencia del acelerante que tiene el propósito de aumentar significativamente la resistencia desde los primeros minutos hasta las primeras horas “(10).

“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” (10).

“En los primeros minutos después de la aplicación del concreto proyectado, la adherencia es decisiva y determina la 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” (10).

“Una resistencia a la compresión 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” (10).

#### **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” (10).

“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” (10). “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” (10).

“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” (10). 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 (10).

### **2.3.14. 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” (10). 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 (10).

### **2.3.15. 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” (10). 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 (10).
- Mediciones de esfuerzos de rocas (in situ), frecuentemente en taladros largos (10).
- Análisis de efectos a mayor escala de los parámetros medidos en el laboratorio (10).
- Análisis de las labores a excavar y de las secuencias de excavación (10).
- Identificación de los parámetros del material de soporte de rocas, a través de un mapeo geomecánico detallado (10).

“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” (10).

“Frecuentemente se ejecutan análisis numéricos (análisis de elementos finitos) como modelos bidimensionales en computadoras” (10). 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 (10).

### **2.3.16. 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” (10). Este abordaje toma en cuenta la variabilidad real de las condiciones de roca (y no depende de suposiciones con respecto a dicha calidad) (10).

Dentro de la mecánica de rocas se utilizan dos términos para describir las propiedades del macizo rocoso; clasificar y caracterizar (10).

“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” (10). “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”(10).

“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”(10).

“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”(10).

“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” (10).

“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” (10).

“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” (10).

“Los parámetros más utilizados son la resistencia de la roca intacta, condiciones de las discontinuidades y la condición del agua subterránea” (10). “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” (10).

- 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” (10).

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) (10).
- Muy Fracturada (MF) (10).
- Intensamente fracturada (IF) (10).
- Triturada o brechada (T) (10).

“La condición superficial del macizo rocoso incluye la resistencia de la roca intacta y se determina utilizando un martillo o picota” (10). 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) (10).
- Regular (R) (10).
- Pobre (P) (10).

- Muy pobre (MP) (10).

 <b>RECOMENDACION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) MINA SAN CRISTOBAL</b>					
<b>PARA LABORES TEMPORALES (&lt; 01año) DE 3.5x3.5m. A 10.0x5.2m.</b>  Sin Sostentamiento / 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					
<b>PARA LABORES PERMANENTES (&gt; 01año) DE 3.5x3.5m. A 4.5x4.5m.</b>  Sin Sostentamiento / 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					
<b>ESTRUCTURA</b>		<b>CONDICION SUPERFICIAL</b>			
		<b>BUENA (B)</b> Superficies rugosas ligeramente meteorizadas. La muestra de roca se fractura con muchos golpes de picota. (Rc: 100-250MPa).	<b>REGULAR (R)</b> 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).	<b>POBRE (P)</b> 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).	<b>MUY POBRE (MP)</b> 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).
	<b>FRACTURADA (F)</b>	F/B	F/R	F/P	—
	<b>MUY FRACTURADA (MF)</b>	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
	<b>INTENSAMENTE FRACTURADA (IF)</b>	—	IF/R	IF/P	IF/MP
	<b>TRITURADA O BRECHADA (T)</b>	—	—	T/P	T/MP

Figura N. 22. Tabla GSI de la Unidad Minera San Cristobal.

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

- 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” (11). El sistema que se presenta data de 1989 y es el más reciente. Bieniawski utilizó 6 parámetros para clasificar el macizo rocoso:

- a. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta
- b. Rock Quality Designation (RQD) (11).
- c. Espaciamiento de discontinuidades (11).
- d. Condición de discontinuidades (11).
- e. Condición de agua subterránea (11).
- f. Orientación de discontinuidades (11).

“Para aplicar este sistema, el macizo rocoso debe dividirse en áreas llamadas dominios estructurales; cada uno de estos debe clasificarse separadamente (11). La periferia de los dominios estructurales generalmente coincide con una estructura mayor o cambio del tipo de roca” (11). 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 (11). “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” (11).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Método y Alcances de la Investigación**

##### **3.1.1. Método general o teórico de la investigación**

Para la presente investigación se emplea como método general el método analítico. se utilizó para analizar el proceso de sostenimiento con Shotcrete para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal, el análisis de cada actividad para su optimización por medio del control en los equipos, materiales, personal entre otros.

##### **3.1.2. Método específico de la investigación**

A partir de la información general de geología, geomecánica y el área de servicios auxiliares de acuerdo a la programación por planeamiento que establece día a día, mes a mes en el periodo a corto plazo o largo plazo, se recopilo datos de las actividades en el proceso de sostenimiento de shotcrete los cuales nos ayudan para mejorar cada etapa en el proceso.

#### **3.2. Diseño de la Investigación**

##### **3.2.1. Tipo de diseño de investigación**

Es un tipo de Investigación aplicada, porque el objetivo de la investigación es mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete va húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal

#### **3.3. Nivel de investigación**

Es de Nivel explicativo tecnológica ya que existe un interés en explicar la relación de la Mejorar en el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda influye en la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal.

#### **3.4. Población y Muestra**

##### **3.4.1. Población**

Labores principales de la unidad Minera San Cristobal, Compañía Minera Volcan S.A.A.

##### **3.4.2. Muestra**

Galería principal zona baja unidad Minera San Cristobal, Compañía Minera Volcan S.A.A.

#### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

### **3.5.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

La información se recolecta del proceso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la Unidad Minera San Cristobal. El control de los materiales y consumo utilizando como el control de las actividades se realiza en el programa Excel y hacer uso de tesis, libros y laptop para el procesamiento de los datos.

### **3.5.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

La presente investigación se realizará la recolección de datos en campo insitu mediante la técnica observacional y procesamiento de datos pasados y actuales en la operación de perforación.

Para la investigación se utilizará como instrumento de campo. Cuaderno de notas, planos, vernier, flexómetro, y herramientas de gestión de la Unidad Minera San Cristobal de la compañía Volcan S.A: A

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis para mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal

#### 4.1.1. Evaluación al Shotcrete vía húmeda Fisurado

Las malas prácticas operativas en el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, provocan el craquelamiento en muchas ocasiones prematuro del concreto lanzado. La observación se dio tras las inspecciones realizadas.

En la siguiente figura se muestra el fisuramiento del concreto lanzado



**Figura N 23: Fisuramiento del concreto lanzado en la labor principal.**

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:** Se ha podido verificar en campo el shotcrete presenta craquelamientos por la fibra usada al tener una compactación también no se está completando la limpieza hacia las bases de las excavaciones diversas, generando que el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda no llegue hasta el piso.

Al no llegar hasta la base se produce el fenómeno de levantamiento por buscar equilibrio natural en el concreto lanzado, generando que se levante los hastiales desde la base.

Se está colocando los pernos antes de su tiempo de fraguado alterando las propiedades iniciales de resistencia del shotcrete vía húmeda.

En la unidad Minera San Cristobal, el proceso de sostenimiento utiliza elementos como son shotcrete vía húmeda, pernos y malla; en cada una de sus zonas según los requerimientos de cada labor por parte del departamento de geomecánica. Los equipos dedicados al trabajo de sostenimiento son generalmente Jumbos empernadores, Robots lanzadores de Shotcrete vía húmeda y mixer (Tornados) los cuales abastecen de shotcrete vía húmeda a los Robots desde la Planta BETONMAC. Así mismo, las empresas dedicadas a esta actividad en la unidad San Cristóbal son ROBOCON (con 05 Robots y 04 Tornados), AESA (con 02 empernadores) y Volcan (con 01 robot, 08 (mixer) tornados y 03 Empernadores).

El proceso de sostenimiento, caracterizando el tipo de sostenimiento según los elementos utilizados, mapeando los procesos que implican, identificando los principales problemas que actualmente presentan, tiempos improductivos de los equipos involucrados tanto de compañía como de contrata dándole más énfasis a este último, así como los costos involucrados y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis.

Básicamente se presenta dos partes en la primera se desarrolla el sostenimiento con shotcrete vía húmeda, describiendo al detalle las tres etapas que involucra este elemento como son: Producción (Planta BETONMAC), Transporte mixer (Tornados) y Lanzado (Robots), siendo estas 2 últimas etapas llevadas a cabo por ROBOCON; la segunda parte del presente informe, desarrolla el sostenimiento con pernos y mallas, describiendo también los insumos, subprocesos y equipos utilizados (empernadores).

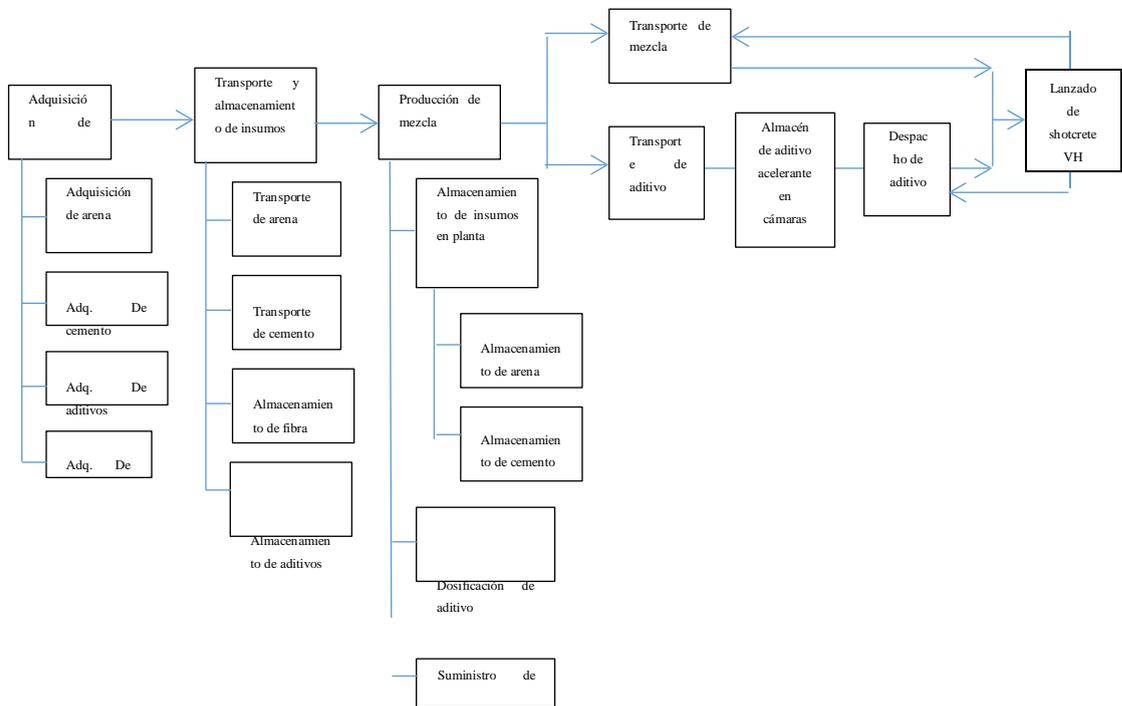
#### **4.1.2. Sostenimiento con shotcrete**

La elaboración del shotcrete vía húmeda se realiza en la planta Betonmac ubicada en Huaripampa y se distribuye a través de Tornados, tanto de la empresa Robocon como de Volcan, trasladan la mezcla hacia la labor designada y debe ser lanzado en un plazo de 3 horas, pasado este tiempo el shotcrete vía húmeda pierde sus propiedades. Ya ubicada en la labor alimentan a un robot lanzador de shotcrete vía húmeda, quien distribuye el shotcrete vía húmeda de manera uniforme según las dimensiones establecidas y a un determinado espesor (en pulgadas).

Actualmente los costos para la elaboración del shotcrete, traslado hacia la labor designada y su posterior lanzado son muy altos, es por ello que debe analizarse su producción y buscar procesos de optimización.

#### **4.1.3. Proceso de producción de shotcrete**

A continuación, se muestra el proceso de producción de shotcrete vía húmeda a través de un mapa de procesos desde la adquisición de los insumos hasta su posterior lanzado.



**Figura N. 23. Proceso de producción, transporte y lanzado de shotcrete vía húmeda**

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

## 4.2. Mejorar la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.

### 4.2.1. Producción de Shotcrete vía húmeda

La producción de Shotcrete vía húmeda es realizada por la planta Betonmac, la producción de la planta está completamente automatizada, bajo un sistema PLC (controlador lógico programable), la evolución de su producción se muestra en la siguiente figura:

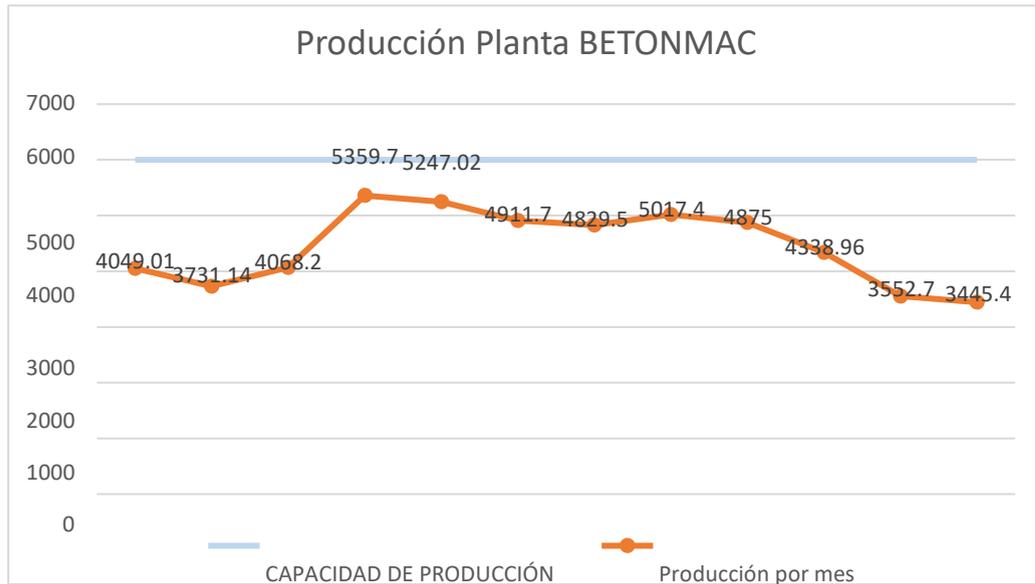


Figura N. 24. Producción de BETONMAC en planta.

Fuente: Elaboración propia

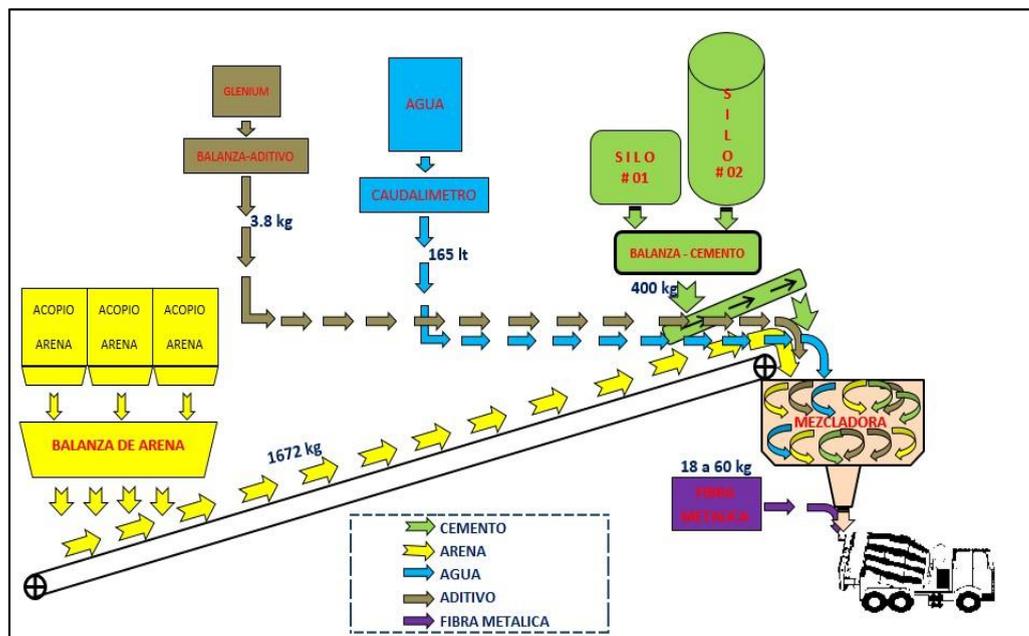


Figura N. 25. Esquema De Proceso De Producción De Shotcrete vía húmeda

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

### Situación actual

En la empresa Volcan la unidad San Cristóbal se vienen empleando para el año 2020 diferentes tipos de fibras como refuerzo para el shotcrete vía húmeda: sintéticas (Enduro

600 de la firma Propex) y metálicas (Sika Cho de la firma Sika y Dramix Cho de la firma Bekaert) de los cuales en los meses que se vienen el consumo mensual promedio de la unidad minera es de 5000 m3 de shotcrete vía húmeda por lo cual ha generado sobre costo del uso en base al plan anual que se tenía de los costos mensuales.

**Tabla 4 SIPOC – Producción De Shotcrete vía húmeda**

SIPOC		Producción de shotcrete planta BENTOMAC		
Proceso	Producción de shotcrete para sostener labores en mina			
Objetivo	VOLCAN			
SUPPLIER (PROVEEDORES)	INPUT (ENTRADA)	PROCESS (PROCESO)	OUTPUT (SALIDA)	CUSTOMER (USUARIO/CLIENTE)
Cemento Andino	Cemento Portland Tipo 1	Ingreso al sistema	Cubos de: Shotcrete Nivel 300 1'' 2'' 3''  Mortero 210 (Para servicios especiales)  Shotcrete PUMP (sostenimiento crítico)	Equipos tornado
Comunidades Pachachaca	Arena gradación 2	↓ Selección de fórmula		
Planta de Tratamiento de agua "Velo de mi novia"	Agua a 20° C y con pH = 7	↓ Dosificación de insumos		
Sika / Prodimin	Fibra metálica 65/35	↓ Producción de		
BASF	Aditivo superplastificante Glenium 1300	↓ Despacho de cubos		
EPC	Fibra sintética Barchip R50			

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

#### 4.2.2. Insumos y Proveedores:

##### 1. Agua: Planta de tratamiento de aguas (Velo de la novia)

El agua es proveniente de mina, bombeada desde el nivel 1070, llegando hasta superficie donde es captada en pozas y tratada con cal y floculante; es decir, que pasa un tratamiento para disminuir la acidez hasta su neutralización. Debe encontrarse a una temperatura de 20°.

**Almacenamiento:** El agua es bombeada desde la planta "velo de mi novia" hasta el tanque de agua, donde es termostabilizada y es bombeada al mezclador.

- **Cemento: Cemento andino**

El cemento es Portland tipo 1, que es traído a granel en las “bombonas”, desde la planta de cementos Andino, ubicado en Tarma (Condorcocha), lo cual tiene un menor flete, por lo cual resulta beneficioso para la empresa. Mediante ensayos de laboratorio, se ha determinado que las propiedades físicas y químicas que proporciona a las propiedades del shotcrete vía húmeda en cuanto a su resistencia y absorción de energía, lo hacen un ingrediente fundamental y aceptable para la producción de dicho elemento de sostenimiento.

**Almacenamiento:** Diariamente llegan dos bombonas con una capacidad entre 29000 a 30000 kilos, las cuales se depositan en el silo 1 y silo 2

- **Arena: Comunidades (Pachachaca, entre otras)**

La arena es proveída de las comunidades de Pachacaca (6 comunidades), es arena de gradación 2, según el estándar recomendado por ACI 506 - Guide to shotcrete. Sin embargo, algunas veces carecen de estandarización, conteniendo elementos no deseables como limos y arcillas que impiden que la mezcla se compacte y adquiera las propiedades físicas para las que se produce.

**Almacenamiento:** La arena es traída en camiones de 15m<sup>3</sup> y es depositada en un lugar acondicionado al lado de la planta. A excepción de días donde se almacena en un depósito cerca de oficinas

- **Fibra metálica: Sika y Prodimin**

La fibra metálica es utilizada en la mayoría de shotcrete vía húmeda y se ha llegado a determinar un tipo de shotcrete vía húmeda especial que requiere 60 kilos, reemplazando al uso de malla. El tipo de fibra es de tamaño 65/35.

**Almacenamiento:** La fibra metálica se almacena en el depósito de materiales ubicado cerca a la bocamina 300, de ahí según requiera el depósito de fibra de la planta, es llevada a dicho depósito.

- **Fibra sintética: EPC**

Es del **modelo enduro 600**, fibra sintética hecha de policarbonatos gran resistencia al agua presenta propiedades de la firma Propex) que presenta un gran consistencia y gran facilidad de uso.

Es del **modelo Barchip 50**, fibra sintética. Esta fibra es usada debido a las propiedades que posee, principalmente el bajo costo por Joule de fibra. Además, sabemos que para diferentes labores se requiere este tipo de fibra, ya que no se corroe como la fibra metálica y tiene mayor durabilidad en el tiempo.

**Almacenamiento:** La fibra sintética se almacena en el depósito de materiales ubicado cerca a la bocamina 300, de ahí según requiera el depósito de fibra de la planta, es llevada a dicho depósito.

- **Aditivo Plastificante: BASF**

El aditivo Plastificante (Glenium 1300) es utilizado como reductor de agua de alto rango, permite producir concretos de alta resistencia, con gran mantenimiento de la consistencia, sin provocar retrasos de fraguado o endurecimiento. Es uno de los más utilizados en el mercado.

**Almacenamiento:** El aditivo se almacena en el depósito de materiales ubicado cerca a la bocamina 300, de ahí es trasladado hacia la planta, donde es bombeado por tanques.

- **Aditivo Master Roc 160**

También llamado aditivo Meyco 160 es una composición química, líquida cuya dosificación en el concreto puede hacer que el fraguado a edad temprana tenga resistencia inicial alta.

**Almacenamiento:** El aditivo se almacena en cilindros dentro de mina se usa antes del trabajo en cantidades de 21 litros por metro cubico.

#### **4.2.3. Identificación y corrección de los problemas en la producción del shotcrete.**

Tras la evaluación del proceso de sostenimiento con shotcrete se observa que hay problemas en el tema de sobre costo por el aumento de uso de shotcrete en todas las labores por tema de seguridad se tiene problemas como.

- Los excesivos costos por m<sup>3</sup> de shotcrete por aumento de m<sup>3</sup> mensuales han generado un sobre costos en tema de plan de inversión y gastos anuales.
- El actual shotcrete presenta grandes problemas con el tema de duración, fraguado y tema de rebote.
- Las fibras actuales que se vienen utilizando ya ase desde tiempo necesita un cambio.
- Se solicita un estudio a las fibras que actualmente hay muchas alternativas en el mercado.

#### 4.2.3.1. Estudio de flexo tracción por la universidad católica del Perú.

En las diversas unidades de Volcan se vienen y han venido empleando diferentes tipos de fibras como refuerzo para el shotcrete: sintéticas (Enduro 600 de la firma Propex) y metálicas (Sika Cho de la firma Sika y Dramix Cho de la firma Bekaert) no quedando en claro cuál de ellas es la más ventajosa o en qué casos es recomendable el uso de cada una.

En interior mina, el shotcrete es un elemento de sostenimiento que se encuentra principalmente sometido a esfuerzos dinámicos de flexo-tracción; la fibra, sea metálica o sintética, es quien precisamente le incorpora propiedades estructurales que aumentan su tenacidad.

La norma internacional EFNARC ha desarrollado un ensayo de que permite evaluar la tenacidad o resistencia del shotcrete ante dichos esfuerzos (ver Figura 26); para tal efecto, mide la cantidad de energía (en joules) que un panel cuadrado de concreto apoyado en sus 4 vértices puede resistir, mientras se aplica una fuerza central continua y hasta sufrir una deformación central máxima de 25 mm.



**Figura 26. Prueba de tenacidad**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la norma EFNARC, los paneles deberán ensayarse luego de 28 días de realizada la toma de muestras; además deberán tener forma cuadrada con una longitud de 60 mm por lado y un espesor de 100 mm, existiendo para este último una tolerancia de ( $\pm 10$  mm).

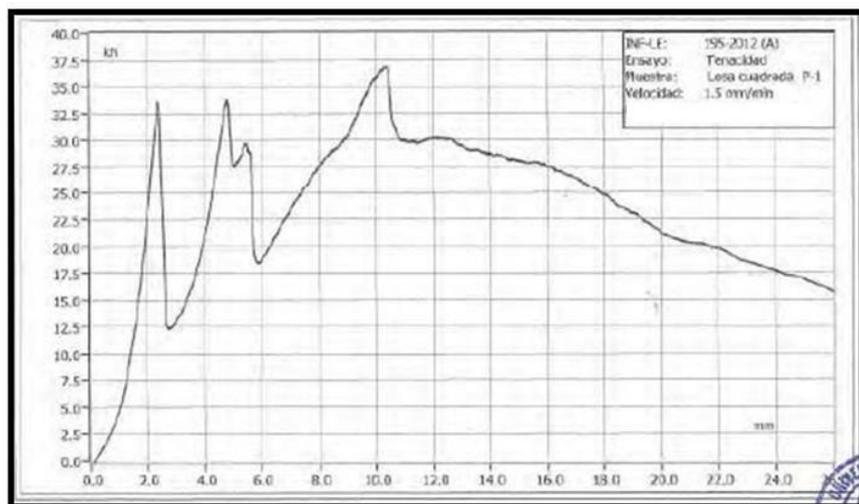
#### **A. PRUEBAS DEL ESTUDIO EN CAMPO**

Durante la primera mitad del 2020 se estuvieron evaluando diferentes alternativas de fibras (metálicas y/o sintéticas) que pudieran disminuir los costos operativos sin disminuir el desempeño del shotcrete.

Los días 30 y 31 de Julio del 2020, en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP se llevó a cabo una batería de pruebas comparativas entre muestras de shotcrete tomadas de San Cristóbal (superficie) con ambos tipos de fibra.

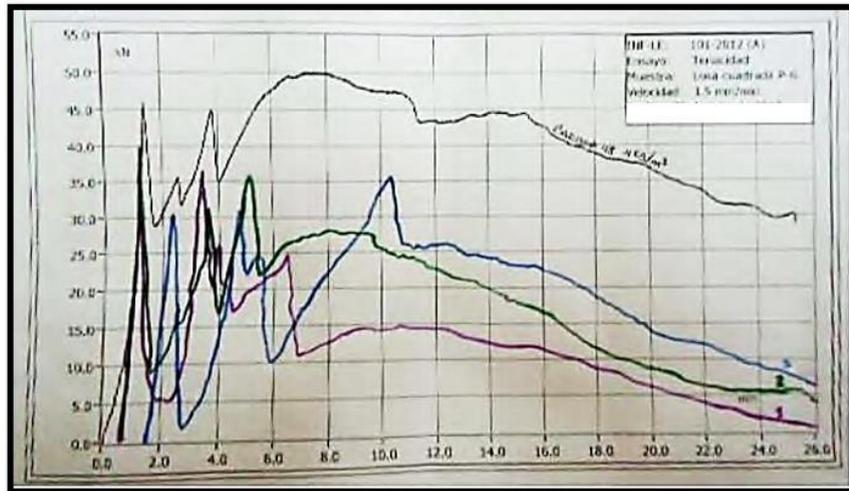
La prueba constó de 15 ensayos con diferentes dosificaciones. Se verificó para una dosificación de fibra de 4 y 3 kg/m<sup>3</sup> los siguientes rendimientos promedio: Enduro 600 (536 Joules), Barchip R50 (962 Joules)

En concordancia con el protocolo, se tomaron muestras en San Cristóbal (superficie) las cuales se ensayaron en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP. En ambas oportunidades, estuvo presente personal de las Áreas Geomecánica y Logística de Volcan, así como de ambas empresas proveedoras quienes manifestaron su conformidad al final del proceso



**Figura 27. Fuerza - Desplazamiento para los ensayos de flexotracción**

**Nota:** En el eje de las ordenadas (Y) figura el módulo de la fuerza central aplicada. En el eje de las abscisas (X) se muestra el valor acumulado del desplazamiento en la zona central



**Figura 28. Energía absorbida, desempeño de fibra**

**Nota:** El área bajo la curva representa la energía absorbida en joules (J). La curva en negro indica el desempeño de la fibra Barship R50 (3 kg). Las curvas en color indican el desempeño de cada una de las 3 pruebas con Enduro 600 (4 kg)

### **B. Elaboración de la prueba comparativa**

Tanto en mina como en superficie, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se empleó una única dosificación de 4 y 3 kg de fibra por metro cúbico de shotcrete, variándose sólo el tipo de fibra (Enduro 600 o Barchip R50), siendo realizado por el personal laboratorista de Volcan.
- Se empleó una única dosificación de cemento, aditivos, agua y agregados para ambas fibras
- Ambas mezclas fueron transportadas simultáneamente y lanzadas en una misma labor, a fin de mantener constante las condiciones de presión de aire comprimido
- Ambas mezclas fueron proyectadas manteniendo el mismo equipo robot Alpha 20 y el mismo operador.
- En ambas mezclas, la toma de paneles de concreto fue realizado por personal laboratorista de Volcan.

### **C. Análisis de los resultados:**

#### **Barchip R50 vs. Enduro 600**

Fecha: 30 y 31 de Julio del 2020

Lugar: Laboratorio de Estructuras de la PUCP

Ensayo: Tenacidad del shotcrete (absorción de energía) acorde a la metodología EFNARC.

Se tomaron para ello 15 paneles de San Cristóbal el día 27/06/20, a saber:

- 3 muestras con fibra Enduro 600 y proporción 4 kg/m<sup>3</sup> (en actual uso)
- 3 muestras con fibra Barchip R50 y proporción 4 kg/m<sup>3</sup>
- 3 muestras con fibra Barchip R50 y proporción 3 kg/m<sup>3</sup>

Durante la toma de muestras se mantuvo invariables: el operador y el equipo de lanzado, las condiciones de lanzado y los insumos, a excepción de las fibras en evaluación y sus proporciones.

El resultado obtenido mide el promedio de energía absorbida para cada una de las tres tandas cuyo promedio se muestra en la ilustración.

#### 4.2.4. Costos De Producción De Shotcrete vía húmeda

Los costos de producción de shotcrete vía húmeda se muestran a continuación, siendo cotizados comparativamente y la dosificación de la misma

**Tabla 5 Diferencia de costos de producción cambiando la fibra sintética de shotcrete vía húmeda del año 2020 y 2021**

<b>01 costo de Produccion de shotcrete vía húmeda PUMP San Cristobal 2020</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>PU (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo \$ /m3</b>
<b>Cemento Andino Tipo I</b>	Kg	0.116	400	46.2
<b>Arena Gradación 2</b>	Kg	0.011	1674	17.9
<b>Aditivo Plastificante (Glenium 1300)</b>	Kg	3.500	3.5	12.3
<b>Fibra Enduro 600 (fibra sintética)</b>	Kg	15.5	4	19
<b>Aditivo Acelerante Master Rock 160</b>	L	1.321	21	27.8
<b>Agua</b>	L	0.000	160	0.0

<b>02 costo de Produccion de shotcrete vía húmeda San Cristobal 2021</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>PU (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo \$ /m3</b>
<b>Cemento Andino Tipo I</b>	Kg	0.116	400	46.2
<b>Arena Gradación 2</b>	Kg	0.011	1674	17.9

<b>Aditivo Plastificante (Glenium 1300)</b>	Kg	3.500	3.5	12.3
<b>Fibra Barchic R50 (fibra sintética)</b>	Kg	15.4	3	13
<b>Aditivo Acelerante Master Rock 160</b>	L	1.321	21	27.8
<b>Agua</b>	L	0.000	160	0.0

\*Los precios del agregado y el cemento incluyen el flete.

<b>Ahorro unitario</b>	<b>6,0</b>	<b>\$/m3</b>
Ahorro mensual	<b>30000</b>	<b>\$/mes</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

Para la producción de shotcrete vía húmeda se tiene para el año 2020, se tiene un costo unitario de 185.2 dólares con **fibra sintética endurecido 600** y para el año 2021 se tiene un costo unitario de 122.9 dólares con **fibra barchic 50**, teniéndose una optimización de costo de 30000 dólares mensual.

### **Mejoras realizadas:**

- Se implementó la realización de pruebas del shotcrete vía húmeda en las condiciones que se produce actualmente para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos.
- Se tiene el control con el constante análisis en los costos unitarios relacionados a los insumos y fibras usados diariamente, pero el ahorro en el tiempo por el uso de la fibra Barchic 50 podría suplir dicha pérdida.
- Se implementó la evaluación de la posible producción de intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de los cubos de shotcrete vía húmeda, analizando el diseño del sistema de la planta (capacidad del mezclador)

## **4.3. Mejorar el transporte de Shotcrete para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal**

### **4.3.1. SIPOC**

**Tabla 6 Transporte de shotcrete vía húmeda a interior mina**

SIPOC				
Proceso	Transporte de shotcrete vía húmeda a interior mina			
Objetivo	Distribuir el shotcrete a las labores para el lanzado			
SUPPLIER (PROVEEDORES)	INPUT (ENTRADA)	PROCESS (PROCESO)	OUTPUT (SALIDA)	CUSTOMER (USUARIO/CLIENTE)
Planta BETONMAC	Cubos de: Shotcrete 300 1'', 2'' o 3'' Mortero 210 Shotcrete PUMP	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Orden de trabajo</div> ↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Solicitud de cubicaje</div> ↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Recepción de mezcla en planta</div> ↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Transporte de mezcla</div> ↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Trasegado al robot</div>	Shotcrete transportado para trasegar al robot	Robots lanzadores

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

**4.3.1.1. Identificación y corrección de los problemas del transporte.**

**Tabla 7 Identificación y corrección de los problemas del transporte.**

Identificación del problema	Corrección del problema
Los equipos deben esperar la orden de trabajo, que muchas veces tarda por lo cual ejecutan sus viajes tarde.	Se programó a los operadores realizar los trabajos acordados antes del reparto de guardia por compañía así a fin de ganar tiempo

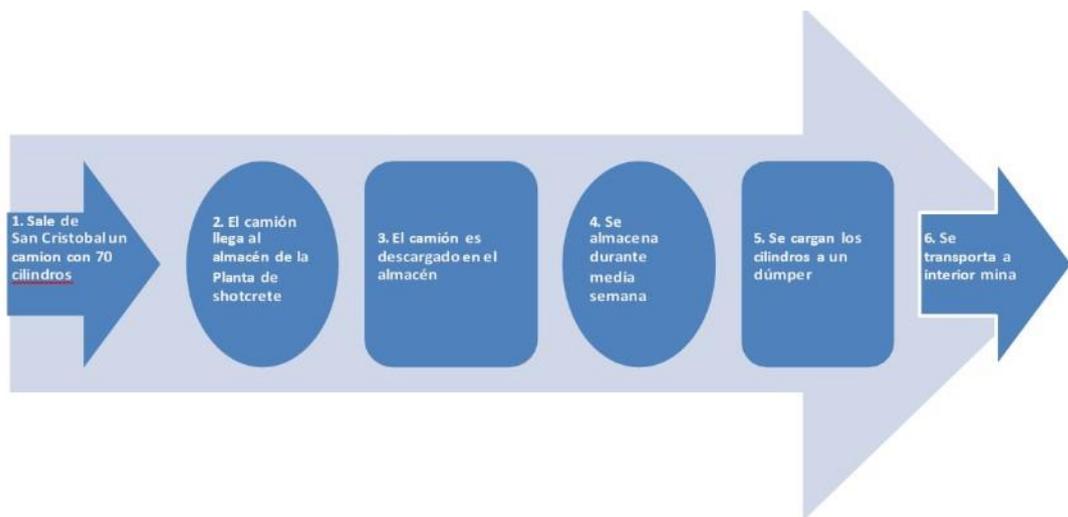
El costo y el uso de equipos como el camión minero para el traslado de aditivo meycó 160 genera uso de personal y un costo adicional.	Se plantea el alquiler de un camión para trasegar a los todo de 1000 litros solo tener un personal.
---	---

Fuente: Elaboración propia.

### Situación actual

En la unidad de San Cristóbal, actualmente el almacenamiento y traslado de aditivo Meyco 160 se realiza a través de cilindros de capacidad 208 litros, caracterizándose el proceso por:

- a. Procedimientos poco ergonómicos con riesgo de producir lesiones al personal.
- b. Empleo de excesivo manipuleo.
- c. Mermas en los insumos debidas a la cristalización por almacenaje en intemperie a temperaturas menores de 4°C
- d. Mermas en los insumos debidas al manipuleo en interior mina.
- e. Impacto medio-ambiental por derrames originados por el manipuleo.



**Figura 29. Flujo del proceso logístico**

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar el proceso logístico del aditivo Meyco 160, desde la salida del almacén de Carahuacra hasta su llegada a interior mina. En la tabla siguiente, pueden apreciarse los costos de dicha opción.

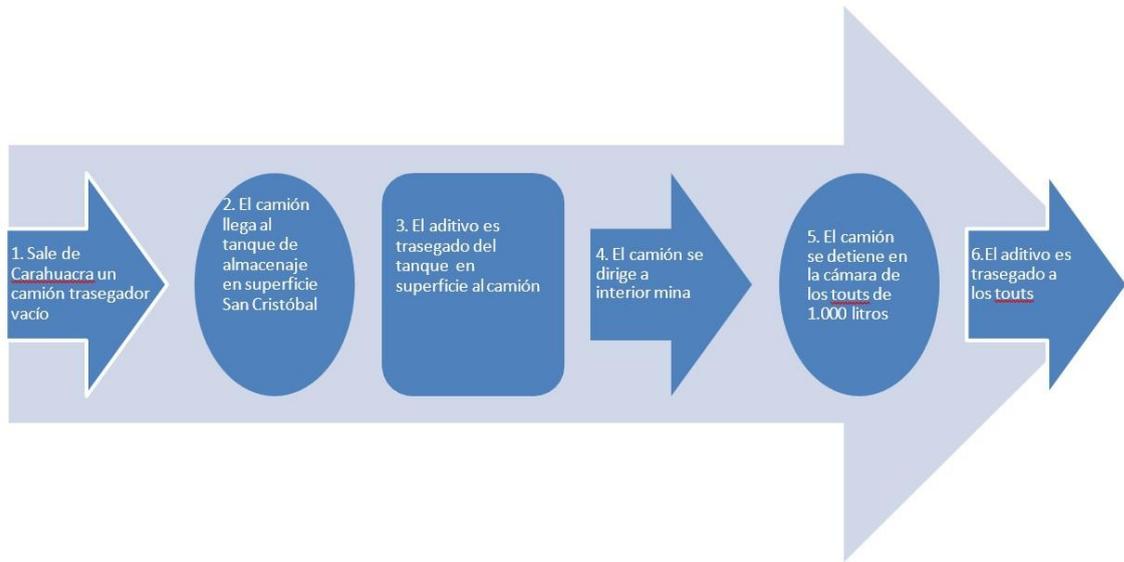
**Tabla 8. Costos de traslado en cilindros**

<b>Como se trasladaba 1 - Transporte en cilindros</b>			
Transporte de cilindros Carahuacra - San			
Cantidad promedio de cilindros por viaje:	70		
Tipo de Cambio		2,6	
Costo de transporte Carahuacra - San	\$		
Costo unitario descarga de cilindros en superficie			0.008
Descarga de cilindros en superficie - Planta de			
Cantidad promedio de cilindros por	70		
Tiempo estimado en descargar del camión:	1,5	h	
Número de personas empleadas para la	6		
Costo promedio hora hombre		17, S/h	
Costo cargador	51	\$/h	
Tipo de Cambio		2,6	
Costo descarga de cilindros en superficie	\$		
Costo unitario descarga de cilindros en superficie			0.009
Transporte de cilindros de superficie a interior mina			
<b>Un dumper de 16 toneladas transporta sólo 15 cilindros, debido al</b>			
Cantidad promedio de cilindros a cargar:	15		
Tiempo estimado en cargar:	0,5	h	
Tiempo estimado en traslado a interior	1,0	h	
Número de personas empleadas para la	6		
Costo promedio hora hombre		17, S/h	
Costo cargador	51	\$/h	
Costo dumper 16 toneladas	92	\$/h	
Tipo de cambio		2,6	
Costo descarga de cilindros en superficie	\$		
Costo transporte de cilindros con dumper	\$		
Costo unitario carga y transporte de cilindros a interior mina			0.044
Descarga de cilindros en interior			
<b>No se emplea un equipo para la descarga.</b>			
Cantidad promedio de cilindros por	32		
Tiempo estimado en descargar el camión:	1	h	
Número de personas empleadas para la	4		
Costo promedio hora hombre	7,5	S/h	
Costo descarga de cilindros en superficie	\$		
Costo unitario descarga de cilindros en superficie			0.002
Mermas			
Merma por adhesión del material a la pared interior del		0,24	
Merma por cristalización del		3,00	
Merma por daños al cilindro durante		5,00	
Merma efectiva		8,24	
Costo de adquisición de 1 litro de aditivo		1,43 \$/l	
Costo unitario merma			0.118
Sobre costo alternativa 1			0,181
Consumo de Mevco		115.00 l/mes	
Sobre costo		20.83 \$/mes	

Fuente: Elaboración propia

**Proceso de transporte mejora:**

flujo del nuevo proceso



**Figura 30. Flujo del procesos optimizado**

Fuente: Elaboración propia

Se mejorará en los siguientes aspectos:

- a. Se adoptará un proceso ergonómico y seguro para el trasegado del aditivo en interior mina, a diferencia del actual caracterizado por la aplicación de operaciones sub-estándares y riesgosas.
- b. El sistema de tanques instalados en superficie (por cuenta y costo de BASF) cuenta con un sistema de temperatura y agitación continua que evitará las mermas por cristalización del aditivo.
- c. Económicamente se puede observar en la tabla siguiente, una disminución considerable de los sobrecostos.

Cálculo del sobrecosto por el abastecimiento de Meyco 160 mediante depósitos de 1.000 litros (touts) en interior mina

**Tabla 9. Costos optimizados del proceso**

<b>CAMBIO - Almacenamiento de touts de 1.000 litros en interior mina</b>				
Llenado de vehículo trasegador de aditivo en superficie				
Capacidad aproximada del tanque			5.00	l
Velocidad de		100		l/min
Tiempo estimado en trasegado:			1,04	h
Número de personas empleadas para la		1		
Costo promedio hora hombre			17,8	S/h
Costo aproximado camión			92,0	\$/h
Tipo de cambio			2,65	

Costo descarga de cilindros en superficie				\$ 7,00	
Costo camión				\$	
Costo unitario descarga de cilindros en superficie					0,021
<u>Transporte de aditivo a interior mina</u>					
Costo aproximado camión trasegador				92,0 \$/h	
Tiempo estimado en transporte:				2,00 h	
Costo transporte				\$ 184,00	
Costo unitario transporte a interior mina					0,037 \$/l
<u>Trasegado de aditivo a interior mina</u>					
Tiempo estimado en trasegar:					
Número de personas empleadas para la descarga:				1	
Costo promedio hora hombre					
Costo aproximado camión trasegador					
Tipo de cambio					
Costo de trasegado				\$ 102,83	
Costo unitario de trasegado					0,021 \$/l
					0,078 \$/l
Consumo de Meyco				115.000 l/mes	
Sobrecosto				8.962 \$/mes	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Optimizar el consumo de los pernos y malla metálica para la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal.

##### 4.4.1. SIPOC

Tabla 10. Datos de Sostenimiento con pernos y/o malla

SIPOC				
Proceso	Sostenimiento con pernos y/o malla			
Objetivo	Reforzar la resistencia de la roca y/o el sostenimiento previo			
PROVEEDORES	INPUT	PROCESO	OUTPUT	CLIENTE
New concept Mining	Pernos Hydrabolt 7"	Orden de trabajo	Labores sostenidas con:	Operaciones de mina, que requiere el sostenimiento
	Malla electrosoldada			

Atlas Copco	Accesorios de perforación	↓ checklist ↓ Acopio de insumos según tipo de	Perno y malla Perno y shotcrete Perno malla y shotcrete	para continuar las operaciones unitarias con seguridad para los trabajadores.
Servicios Mina	Agua Energía	↓ Instalación de servicios ↓ Perforación de taladros ↓ Colocación de pernos ↓ Desinstalación de servicios		

Fuente: Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal (11).

#### 4.4.2. Identificación y corrección de los problemas en el sostenimiento con malla y perno.

**Tabla 11 Identificación y corrección de los problemas en el sostenimiento con malla y perno.**

Identificación del problema	Corrección del problema
<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de mantenimiento preventivo y predictivo al equipo empernador.</li> </ul>	Se realizó un cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los mecánicos de Atlas Copco se encuentran en superficie, cuando fallan los equipos hay una pérdida de tiempo en el traslado hacia donde se encuentra el equipo.</li> </ul>	Se implementó una camioneta de emergencia para las respectivas fallas mecánicas de los equipos

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de presión de agua en algunas labores, no permite que el equipo perforo y mucho menos pueda colocar los pernos adecuadamente, generando la mala instalación de los mismos y su posterior desempeño mermado en cuanto a la resistencia que aporta a la roca.</li> </ul>	<p>Se coordina a diario con el área de servicios mina los cuales, se informa los lugares de trabajo para evitar los inconvenientes de la falta de presión en labores de trabajo.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El personal que opera el emperador y ayudantes ingresan algo tarde, sus actividades inician alrededor de las 9 am, esto se debe a que no hay buen control en los horarios establecidos, habría que revisar el hecho de que las labores estén listas, así como los suministros para poder llevar a cabo dicha operación. Sin embargo, la lejanía de la residencia de los trabajadores hace que ingresen tarde.</li> </ul>	<p>Se estableció un horario de ingreso de los operadores conjuntamente con los ayudantes, los cuales se está habilitando una camioneta para poder transportarlos antes de las 8 am a fin de priorizar el avance</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La irregularidad de las labores (secciones variables) hace que al momento de medir la malla a utilizar halla cierta perdida. Así como, dificultar un poco su instalación. Incluyendo una distribución irregular de los pernos.</li> </ul>	<p>Se informa a diario las irregularidades de las labores, se informa al área de operaciones las respectivas irregularidades a fin de corregir dichas fallas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de conocimiento geomecánico básico, de los operadores de BOLTEC, para una óptima colocación de pernos en las labores.</li> </ul>	<p>Se capacita semanalmente el tema de Geomecanica básica a los operadores como ayudantes de los equipos utilizados en el sostenimiento.</p>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3. Análisis de tiempo

A continuación, se muestra el análisis de los tiempos que registra el emperador Boltec J-404 en 3 días (guardia día), siendo su operador Nilton Meza (Volcan) y Javier Chamorro (TECNOMIN)

Tanto el operador como el ayudante residen en Yauli, y se apersonan a las oficinas de Huaripampa a las 8 am, para recibir del jefe de guardia (Ing. José Meza) la orden de trabajo del día con las labores a sostener. Es aquí donde se cambian en el vestuario, para empezar la guardia. En el siguiente cuadro, nos muestra el tiempo operativo, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 51.44% del total de la guardia.

**Tabla 12 Actividades para la instalación de malla y pernos.**

Actividad	Tiempo	%	% Acum.
<b>Colocación de malla</b>	2.81	23.38%	23.38%
<b>Perforación y colocación de pernos</b>	1.93	16.06%	39.44%
<b>Traslado de equipo a labor</b>	1.06	8.80%	48.24%
<b>Desate de rocas</b>	0.36	2.96%	51.20%
<b>Otros trabajos en la labor</b>	0.03	0.23%	<b>51.44%</b>

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro, nos muestra las demoras operativas 1, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 28.19% del total de la guardia.

**Tabla 13 Demoras operativas 1 en la instalación de malla y pernos.**

<b>Demora Operativa 1</b>	<b>Tiempo</b>	<b>%</b>	<b>% Acum.</b>
Salida de personal	1.06	8.80%	8.80%
Ingreso de personal	0.99	8.29%	17.08%
Refrigerio	0.90	7.50%	24.58%
Chequeo de máquina/labor	0.43	3.61%	<b>28.19%</b>

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro, nos muestra las demoras operativas 2, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 36.34% del total de la guardia.

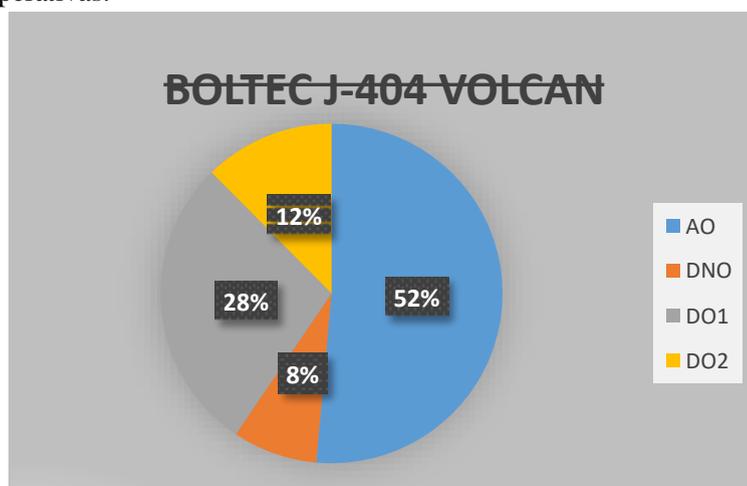
**Tabla 14 Demoras operativas 2 en la instalación de malla y pernos.**

<b>Demora Operativa 2</b>	<b>Tiempo</b>	<b>%</b>	<b>% Acum.</b>
Falta de insumos accesorios	0.38	3.15%	3.15%
Falta de instalación de agua/aire/energía	0.37	3.10%	6.25%
Otras demoras operativas	0.36	2.96%	9.21%
Esperando frente de trabajo	0.14	1.20%	10.42%
Falta de agua/aire	0.11	0.93%	11.34%
Equipo en Stand-By	0.08	0.69%	12.04%
Traslado de equipo por falta de labor	0.04	0.32%	<b>12.36%</b>

Fuente: Elaboración propia

- **Distribución de tiempos**

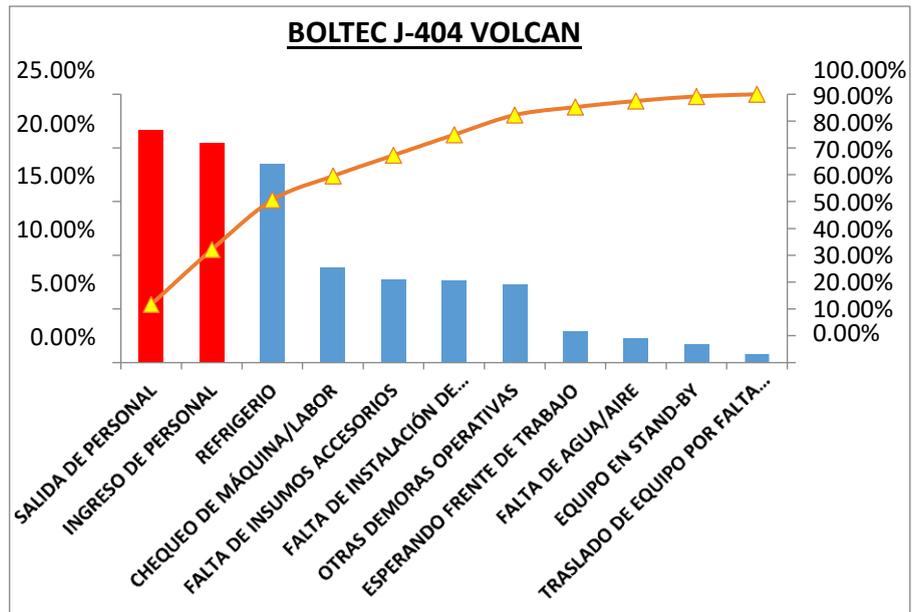
La figura nos representa la distribución de las actividades y demoras operativas, así como las demoras no operativas.



**Figura 31. Actividades operativas y demoras operativas del equipo Boltec J 404**

Fuente: Elaboración propia

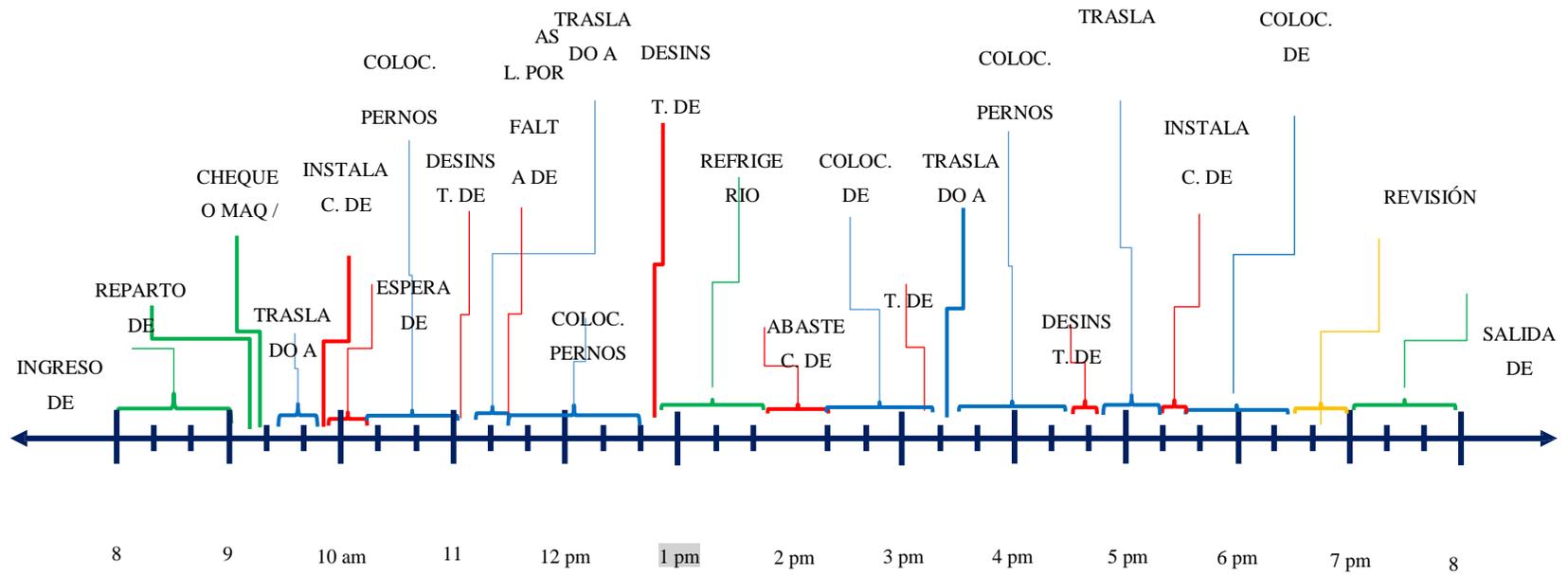
A partir de las demoras operativas construimos el diagrama de Pareto



**Figura N. 32. Demoras operativas construimos el diagrama de Pareto**

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico de Pareto, se observa que las demoras críticas son salida de personal (el bus es lento), ingreso de personal (el Personal viene de Yauli, y algunas veces no hay bus o camioneta para el ingreso por lo cual debe realizarlo a pie), Refrigerio (el operador deja el equipo en el nivel donde se encuentra para dirigirse luego al comedor del nivel 780, junto con el ayudante), chequeo de labor (muchas veces falta realizar el desate o aún queda roca suelta remanente), falta de insumos ( cuando se trata de colocar malla, esta se encuentre algunas veces lejos de la labor por lo cual se debe pedir ayuda al Scooptram o el mismo empernador para lo cual no está apto) y falta de instalación de servicios de agua y energía .



ACTIVIDAD	ACT. OP	DEM. OP 1	DEM. OP 2	DEM. NO OP.
COLOR				

Figura N. 33. Línea de tiempo del seguimiento al Empernador J-404

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15 Actividades Demoras Operativas**

<b>TIPO</b>	<b>H. I</b>	<b>H. F.</b>	<b>Labor</b>	<b>Actividad</b>	<b>Observaciones</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>N° PERN.</b>	<b>CÓD</b>
DO1	08:00	09:07		Ingreso a Mina	Ingresamos caminando debido a falta de transporte (BM 500)	1.12		200
DO1	09:07	09:26	AC 627-2	Traslado a zona del equipo labor 627-2 (checklist)		0.32		202
AO	09:26	09:46		Traslado a labor		0.33		198
DO2	09:46	09:48	AC624-2	Instalación de cable y manguera		0.03		305
DO2	09:48	10:14		Espera de frente	El área de geología se encuentra muestreando	0.43		307
AO	10:14	10:19		Instalación en frente		0.08		160
AO	10:19	10:27		Colocación de 3 pernos	El tercer perno presenta demoras debido al tipo de terreno	0.13	3	165
DO2	10:27	10:32		Llega el Ing. De geología zona I		0.08		603
AO	10:32	10:42		Colocación de 4 pernos		0.17	4	165
DNO	10:42	10:44		Mecánicos		0.03		401
AO	10:44	11:00		Colocación de 4 pernos	Le toma un par de minutos reanudar la operación	0.27	4	165
DO2	11:00	11:07		Desinstalación		0.12		601
AO	11:07	11:27		Traslado a labor		0.33		198
DO2	11:27	11:34	AC 627-2	Traslado a labor contigua	En la labor programada aún están shotcreteando	0.12		303
AO	11:34	12:00		Instalación y colocación de 5 pernos sobre malla		0.43	5	165

AO	12:00	12:40		Colocación de malla 6.2 m + 19 pernos	Se instala 1 paño normal y uno en media luna	0.67	19	162
DO2	12:40	12:50		Desinstalación		0.17		601
DO1	12:50	13:50		Refrigerio		1.00		203
DO2	13:50	14:15		Recarga de pernos y traslado a labor		0.42		308
DO2	14:15	14:20	AC627-2	Instalación en frente		0.08		305
AO	14:20	14:40		Colocación de 4 pernos sobre malla	Durante la perforación del 3er perno ocurre chispeo	0.33	4	165
AO	14:40	15:13		Colocación de 10 pernos	Revisión de la bomba / 1 perno se salen del carrusel	0.55	10	165
DO2	15:13	15:18		Desinstalación	Llega el Jefe de guardia y da algunas indicaciones	0.08		601
AO	15:18	15:23		Traslado a labor		0.08		198
DO2	15:23	15:30	AC627-3	Instalación de cable y manguera		0.12		305
AO	15:30	15:46		Colocación 4 pernos		0.27	4	165
AO	15:46	15:49		4° perno	Se detiene por desajuste de placa y se nota falta de presión de agua	0.05		165
AO	15:49	16:00		Colocación 1 perno	Falta de presión de agua	0.18	1	165
AO	16:00	16:05		Colocación 1 perno (6°)	Falta de presión de agua, no termina	0.08	1	165
DO2	16:05	16:15		Llega Geomecánica	Modifica el sostenimiento (perno + malla) Equipo en stand by	0.17		603
AO	16:15	16:20		Reanuda colocación del 6°		0.08		165
AO	16:20	16:27		Colocación de 1 perno (7°)	La baja de presión de agua dificulta la instalación	0.12	1	165

DO2	16:27	16:45		Desinstalación	Decide dejar la labor por falta de presión en el agua	0.30		601
AO	16:45	17:20		Traslado a labor AC 621-2	No hay malla, traslada malla desde cámara de acopio	0.58		198
DO2	17:20	17:38	AC621-2	Instalación de equipo, instalación de frente		0.30		305
AO	17:38	18:17		Colocación de malla 1 paño 6.3 m + 9 pernos		0.65	9	162
AO	18:17	18:35		Colocación de malla 1 paño 6.4m + 6 pernos	No culmina, dejando la colocación de los pernos restantes a la guardia noche.	0.30	6	162
DNO	18:35	19:00		Desinstalación y revisión de estado del equipo		0.42		403
DO1	19:00	20:00		Salida de personal		1.00		204

#### 4.4.4. Reducción de costos de malla y perno en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda de la Unidad Minera San Cristobal

La reducción de costos en promedio mensual respecto a los años 2019 y 2020

**Tabla 16 Reducción de costos de malla y perno en el Sostenimiento con shotcrete de la Unidad Minera San Cristobal**

TIPO DE SOSTENIMIENTO 2020	Unidad Minera San Cristobal		2021 US\$/,Sost. Actual(Perno)	Ahorro Total (US\$)
	TIPO DE SOSTENIMIENTO 2021	2020 US\$/,Sost. Anterior(Perno)		
	<i>Shotcrete 2" + P/Esplit</i>			
Shotcrete 2" + P. Hydrabolt a 1.70 x 1.70 m	<i>Set 7 pies a 1.70 x 1.70 m</i>	8442.5	7012.5	1430
P. Hydrabolt a 1.5 x 1.5 m.	<i>P. split Set 7 pies a 1.50x1.50</i>	3377	2805	572
Malla Electrosoldada 4"x4" + P. Hydrabolt a 1.20 x 1.20 m	<i>Malla Electrosoldada + P/Split Set 7 pies a 1.50x1.50m</i>	5065.5	4207.5	858
Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m	<i>Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.80 x 1.80 m</i>	4933.5	4374.37	559.13
Shotcrete 2" + Malla Electrosoldada con P. Helicoidal a 1.70 x 1.70 m.+ SH 1"	<i>Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m</i>	2631.2	2631.2	5168
P/Helicoidal 7 pies a 1.7x1.7m	<i>P/Helicoidal 7 pies a 1.8x1.8m</i>	2953.8	2625.6	328.2
		<b>27403.5</b>	<b>23656.17</b>	<b>8915.33</b>

#### Interpretación:

Para el año 2021 se tuvo que realizar cambios de perno de sostenimiento y cambio de la sección de la malla electro soldada, agarrando más área para realizar el sostenimiento y reducir costos a lo largo del sostenimiento de las labores mineras de la Unidad Minera San Cristobal.

Se tuvo una reducción de costos en los siguientes ítems:

- Shotcrete 2" + P. Hydrabolt a 1.70 x 1.70 m, se tuvo un ahorro de 1430 dólares
- P. Hydrabolt a 1.5 x 1.5 m. se tuvo un ahorro de 572 dólares

- Malla Electrosoldada 4"x4" + P. Hydrabolt a 1.20 x 1.20 m se tuvo un ahorro de 858 dólares
- Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m se tuvo un ahorro de 559.13 dólares
- Shotcrete 2" + Malla Electrosoldada con P. Helicoidal a 1.70 x 1.70 m.+ SH 1" se tuvo un ahorro de 1430 dólares
- P/Helicoidal 7 pies a 1.7x1.7m se tuvo un ahorro de 328.2 dólares

En total se tuvo un ahorro de 8915.33 dólares en promedio mensual en el año 2020.

## **4.5. Discusión de resultados**

### **4.5.1. Validación de hipótesis general**

Mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristobal

La causa raíz a todo este problema viene de los sobre costos, al tener que realizar un doble sostenimiento, como también las nuevas labores apertura das al profundizar más que se incrementaron al hacer uso del shotcrete por tema de seguridad, tener una buena selección de los elementos para hacer el shotcrete.

Se ha podido verificar en campo los costos que generan el alto consumo del shotcrete que es lanzado de shotcrete vía húmeda teniendo las siguientes deficiencias:

- No se está completando la limpieza hacia las bases de las excavaciones diversas, generando que el sostenimiento con Shotcrete no llegue hasta el piso.
- Al hacer uso de otros equipos para el transporte de aditivo master rock 160.
- Se está colocando los pernos antes de su tiempo de fraguado alterando las propiedades iniciales de resistencia del shotcrete.
- No hay control en la cubicación, en algunas labores falta espesor para cubrir según la recomendación dada y en otras se excede con el espesor.

Para poder mitigar esto se realizó los siguiente:

- Se ha realizado inspecciones en campo a fin que cumplan con los PETS establecidos para el lanzamiento de shotcrete.
- Se ha realizado inspecciones en campo a fin que cumplan con la limpieza de la labor desde las bases, para evitar la formación de “cangrejas”.

- Se ha realizado inspecciones en campo a fin que cumplan con el lanzado del shotcrete dentro de su tiempo máximo de exposición de 3 horas, luego de este se debe desechar.
- Cambio de fibra por tema de mejora en la resistencia del shotcrete.
- Se reduce costos en el proceso de cambio de fibra, eso conlleva al uso de un cambio de perno y malla de menor costo y el traslado de aditivos con vehículo determinado.

**Resultados:**

Todo esto se reflejó en la optimización en todo el proceso de sostenimiento con shotcrete vía Húmeda.

El proceso de sostenimiento, se caracteriza por el tipo de sostenimiento según los elementos utilizados, mapeando los procesos que implican, identificando los principales problemas como los costos involucrados y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis.

**4.5.2. Validación de la hipótesis específica 1**

**Resultados:**

El resultado dado gracias a las pruebas de resistencia hecha por la universidad católica en asociación con la empresa minera volcán se:

Observo que empleando 3 kg/m<sup>3</sup> de fibras Barchip R50 se obtuvo un mayor desempeño que empleando 4 kg/m<sup>3</sup> de la actualmente utilizada fibra Enduro 600.

**De acuerdo a los resultados obtenidos, planteamos la acción inmediata:**

Reemplazo total de la fibra sintética Enduro 600 por la fibra sintética Barchip R50 en las Unidad San Cristóbal.

**SUSTENTO ECONÓMICO**

En la Unidad San Cristóbal, reemplazar la fibra sintética Enduro 600 por la fibra sintética Barchip R50 producirá un beneficio mensual de US\$ 30000.

**Tabla 17. Ahorro mensual por aplicación de fibra**

Descripción	Cantidad	Unidades
Costo adquisición fibra Enduro 600	15,5	S/kg
Dosificación con fibra Enduro 600	4,0	kg
Costo dosificación Enduro 600	19	\$/m3 shotcrete
Costo adquisición fibra Barchip R50	15,4	S/kg
Dosificación con fibra Barchip R50	3,0	kg
Costo dosificación Barchip R50	13	\$/m3 shotcrete
Producción promedio	5.000	m3/mes
Ahorro unitario	6,0	\$/m3
Ahorro mensual	30000	\$/mes

**SUSTENTO SEGURIDAD**

Se incrementará el factor de seguridad asociado al empleo de shotcrete con espesor de 2 pulgadas en un 59%.

**Tabla 18. Factor seguridad por tipo**

Fibra sintética empleada:	Enduro 600	Barship R50
Dosificación:	4 kg fibra / m3 de shotcrete	3 kg fibra / m3 de shotcrete
Resultado ensayo absorción de energía (Norma EFNARC)	537 J	856 J
Factor de seguridad	1,5	$1,5 * (856/537) = 2,39$

Fuente: Elaboración propia

Consideramos que el aumento de la absorción de energía (resistencia a la flexo-tracción) contribuirá a disminuir el porcentaje de “parches” y resanes en la mina.

**SUSTENTO AMBIENTAL**

La presentación de la fibra Barship R50 en bolsas hidrosolubles de 3 kg evitará la merma y manipuleo producido por la rotura de cajas de 7 kg (presentación actual de la fibra Enduro 600) disminuyendo también la generación de residuos sólidos (cartón).

**SUSTENTO LOGÍSTICO**

Debido a que la dosificación disminuirá en un 75% (De 4 kg/m3 a 3 kg/m3) el cambio redundará en una reducción del 75% en los costos de almacenamiento y transporte.

## **Resultado:**

En la producción de shotcrete se realizó las mejoras se implementó la realización de pruebas del shotcrete en las condiciones que se produce actualmente para determinar en qué grado se ve afectada su resistencia debido a calidad de los insumos, el ahorro en el tiempo por el uso de la fibra Barchic R50 podría suplir tiene buenos resultados y se implementó la evaluación de la posible producción de intervalos de 1m<sup>3</sup> de tal manera que las pérdidas sean menores durante la producción de los cubos de shotcrete, analizando el diseño del sistema de la planta (capacidad del mezclador). Para el año 2020 tras las mejoras realizadas en la producción de shotcrete se tiene un ahorro de 6 dolarespor metro cubico.

### **4.5.3. Validación de la hipótesis específica 2**

Mejorar el transporte del aditivo Shotcrete para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal

Para mejorar el transporte de aditivo del Shotcrete se tuvo que identificar los problemas que generan costos operativos de 20835 dólares mensuales para lo cual se hace uso de los siguientes:

- Se hace uso del alquiler de un camión que transporta en cilindros de el almacén de carahuacra a el almacén de San Cristobal.
- Se hace uso de personal para descargar al almacen.
- Se hace uso de un dumper de 16 toneladas transporta sólo 15 cilindros, debido al espacio
- Se necesita mínimo de 4 personas para descargar de dumper.

Para mitigar esto se tuvo que realizar las siguientes correcciones lo cual solo tiene un costo de 8962 dólares mensuales:

- Solo se necesita de un conductor.
- Se insto en alquiler de un camión para el trasegado del aditivo directo hasta interior mina y almacenarlo en almacenamientos colocados de 1000 litros.

## **Resultados:**

En el transporte de aditivo meycó 160 del shotcrete vía húmeda el cual el consumo mensual es de unos 115000 litros mensual, se implementó un operador operando un camión para el trasegado del aditivo desde el almacén de superficie a los almacenamientos puestos en la cámara en interior mina eso conlleva a un ahorro de 11873 dólares mensuales.

#### 4.5.4. Validación de la hipótesis específica 3

Optimizar el consumo de los pernos y malla metálica para la reducción del costo unitario en la Unidad Minera San Cristobal.

Para mejorar el consumo de Shotcrete vía húmeda se tuvo que identificar los problemas que generan pérdidas operativas encontrándose los siguientes:

- Falta de mantenimiento preventivo y predictivo al equipo emperador.
- Los mecánicos de Atlas Copco se encuentran en superficie, cuando fallan los equipos hay una pérdida de tiempo en el traslado hacia donde se encuentra el equipo.
- Falta de presión de agua en algunas labores, no permite que el equipo perforo y mucho menos pueda colocar los pernos adecuadamente, generando la mala instalación de los mismos y su posterior desempeño mermado en cuanto a la resistencia que aporta a la roca.
- El personal que opera el emperador y ayudantes ingresan algo tarde, sus actividades inician alrededor de las 9 am, esto se debe a que no hay buen control en los horarios establecidos, habría que revisar el hecho de que las labores estén listas, así como los suministros para poder llevar a cabo dicha operación. Sin embargo, la lejanía de la residencia de los trabajadores hace que ingresen tarde.
- La irregularidad de las labores (secciones variables) hace que al momento de medir la malla a utilizar halla cierta perdida. Así como, dificultar un poco su instalación. Incluyendo una distribución irregular de los pernos.
- Falta de conocimiento geomecánico básico, de los operadores de BOLTEC, para una óptima colocación de pernos en las labores.

Para mitigar esto se tuvo que realizar las siguientes correcciones:

- Se realizó un cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos
- Se implementó una camioneta de emergencia para las respectivas fallas mecánicas de los equipos
- Se coordina a diario con el área de servicios mina los cuales, se informa los lugares de trabajo para evitar los inconvenientes de la falta de presión en labores de trabajo.
- Se estableció un horario de ingreso de los operadores conjuntamente con los ayudantes, los cuales se está habilitando una camioneta para poder transportarlos antes de las 8 am a fin de priorizar el avance
- Se informa a diario las irregularidades de las labores, se informa al área de operaciones las respectivas irregularidades a fin de corregir dichas fallas.

- Se capacita semanalmente el tema de Geomecánica básica a los operadores como ayudantes de los equipos utilizados en el sostenimiento.

**Tabla N 23: Optimización del costo del consumo de elementos del Shotcrete vía Húmeda**

TIPO DE SOSTENIMIENTO 2020	US\$/,Sost. Anterior (Perno)	TIPO DE SOSTENIMIENTO 2021	US\$/,Sost. Actual (Perno)	Ahorro Total (US\$)
Shotcrete 2" + P.		Shotcrete 2" +		
Hydrabolt a 1.70 x 1.70 m	8442.5	P/Esplit Set 7 pies a 1.70 x 1.70 m	7012.5	<b>1430</b>
P. Hydrabolt a 1.5 x 1.5 m.	3377	P. split Set 7 pies a 1.50x1.50	2805	<b>572</b>
Malla Electrosoldada 4"x4" + P. Hydrabolt a 1.20 x 1.20 m	5065.5	Malla Electrosoldada + P/Split Set 7 pies a 1.50x1.50m	4207.5	<b>858</b>
Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m	4933.5	Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.80 x 1.80 m	4374.37	<b>559.13</b>
Shotcrete 2" + Malla Electrosoldada con P. Helicoidal a 1.70 x 1.70 m.+ SH 1"	2631.2	Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m	2631.2	<b>5168</b>
P/Helicoidal 7 pies a 1.7x1.7m	2953.8	P/Helicoidal 7 pies a 1.8x1.8m	2625.6	<b>328.2</b>
	<b>27403.5</b>		<b>23656.17</b>	<b>8915.33</b>

Fuente: Elaboración propia

### Resultados:

Se realizó la comparación entre año 2020 (tipo de sostenimiento anterior) y para el año 2021 (tipo de sostenimiento actual), en el escenario actual se tuvo que realizar cambios de perno de sostenimiento y cambio de la sección de la malla electro soldada, agarrando más área para realizar el sostenimiento y reducir costos a lo largo del sostenimiento de las labores mineras de la Unidad Minera San Cristobal.

Se tuvo una reducción de costos en los siguientes ítems:

- De Shotcrete 2" + P. Hydrabolt a 1.70 x 1.70 m a Shotcrete 2" + P/Esplit Set 7 pies a 1.70 x 1.70 m, se tuvo un ahorro de 1430 dólares.
- De P. Hydrabolt a 1.5 x 1.5 m. a P. split Set 7 pies a 1.50x1.50 m, se tuvo un ahorro de 572 dólares.
- De Malla Electrosoldada 4"x4" + P. Hydrabolt a 1.20 x 1.20 m a Malla Electrosoldada + P/Split Set 7 pies a 1.50x1.50m, se tuvo un ahorro de 858 dólares.
- De Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m a Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.80 x 1.80 m, se tuvo un ahorro de 559.13 dólares.
- De Shotcrete 2" + Malla Electrosoldada con P. Helicoidal a 1.70 x 1.70 m.+ SH 1" a Shotcrete 2" + P/Helicoidal 7 pies a 1.70 x 1.70 m, se tuvo un ahorro de 5168 dólares.
- De P/Helicoidal 7 pies a 1.7x1.7m a P/Helicoidal 7 pies a 1.8x1.8m se tuvo un ahorro de 328.2 dólares.

En total se tuvo un ahorro de **8915.33 dólares** en promedio por el cambio de pernos y malla.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que la reducción del costo operativos del proceso del Shotcrete vía húmeda en la unidad minera San Cristóbal de la empresa minera volcán es viable porque al analizar todo el proceso se mejoraron con mayor eficacia los tiempos operativos, cambiar insumos de mejores características acordes al cambiante terreno actual garantiza una mejor eficacia en el sostenimiento generando una reducción de costos en comparación al que se estaba usando años anteriores.
2. Se concluye que se reduce costos operativos en el proceso de producción del shotcrete vía húmeda en la unidad minera San Cristóbal de la empresa minera volcán cambiando la fibra Enduro 600 por la fibra Barchic R50 presento 6 dólares menos por metro cubico una resistencia de 962 Joules en comparación a solo los 536 Joules que tenía la fibra Enduro 600 y a fin de mes se tiene una diferencia de 30000 dólares mensuales de beneficio con respecto a la anterior y mayor seguridad.
3. Se concluye que la implementación de tanques de aditivo en superficie y traslado a interior a interior de la mina San Cristóbal mediante trasegado neumático la cantidad de 115 litros de aditivo master rock 160 (meyco 160) mensuales, el costo operativo se redujo a 8962 dólares mensuales de 20835 dólares mensuales que se tenía anteriormente mejoro eficiencia, el uso de personal innecesario, el uso de equipos no calificados y se hace al menor tiempo.
4. Se concluye que se optimizo el consumo de pernos y malla gracias al cambio por la fibra Barchic R50 porque al presentar un mayor resistencia realizó el cambio de perno de sostenimiento que va mejor con la fibra como es el perno Esplit Set de 7 pies que tiene menor precio y mejor agarre al macizo rocoso y cambio de la sección de la malla electro soldada de 1.2 x 1.2 a 1.5 x 1.5 agarrando más área por tener mejores valores con el complemento del shotcrete se redujo costos a lo largo del sostenimiento de las labores mineras de la Unidad Minera San Cristobal se tuvo un ahorro de 8915.33 dólares mensuales en los diferentes tipos de sostenimientos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda inspeccionar todas las operaciones del proceso del shotcrete antes, mediante y después de la implementación de lo propuesto a fin de tener mejores resultados e incentivando al personal con cambios a beneficio de ellos mismos y la empresa.
2. Se recomienda realizar seguimiento hacer pruebas de compactación del shotcrete salido de la mezcladora como también hacer seguimiento al uso correcto de los componentes del shotcrete como agua, arena, cemento y aditivos.
3. Se recomienda hacer un análisis del transporte de fibras a fin de saber cuanto se tiene de ahorro gracias a los cambios hechos.
4. Se recomienda implementar un área de análisis para los productos utilizados en el sostenimiento con shotcrete en vía húmeda, como es la fibra de metálica o fibra sintética, entre otros más, ya que estos son mejorados por los proveedores en base a la resistencia requerida en las labores mineras según a las condiciones a las labores a sostener dicha implementación debe estar conformado por especialistas que ayuden a ir mejorando continuamente este trabajo ya que de ello depende también la seguridad del minado en la unidad minera.

## REFERENCIAS

1. **Mercado Salas, Gerald Enrique y Obregón Rivera, Cecilia Jasmin** . *Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA*. LIMA - PERU : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2017.
2. **Vargas Niquín, Ever**. *Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmote zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa*. Trujillo - Peru : Universidad Nacional de Trujillo, 2017.
3. **CAMARENA COSME, Franklin Miguel**. *Optimización Del Sostenimiento Con Shotcrete Vía Húmeda Con Fines De Minimizar Costos Y Mejorar La Producción De Lanzado De La E.E. Robocon S.A.C. En La Mina San Cristóbal - Cía Minera Volcan S.A.A.* junin - Peru : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2016.
4. **CABRERA PLASENCIA, JULIO JOAQUIN y LEONARDO GARAY, HENRRY CHRISTIAN**. *Gestión De Calidad En El Proceso De Lanzado De Shotcrete En Túneles*. LIMA – PERÚ : Universidad Ricardo Palma, 2015.
5. **BRAVO, KLEIBER HUMBERTO MUÑOZ**. *Propuesta De Mejoramiento En El Sistema De Sostenimiento Mediante Shotcrete Vía Húmeda En Sección Cuerpos Zona Alta – Compañía Minera Casapalca – Huarochiri – Lima*. CUSCO – PERÚ : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, 2019.
6. **Departamento de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli**. *Informe de estudio de las reservas y recursos minerales*. Yauli - Oroya : Unidad Minera San Cristobal, 2020.
7. **Best Support Underground**. Breve historia del shotcrete. [En línea] Putzmeister, 11 de 12 de 2002. [Citado el: 12 de 02 de 2022.] <https://bestsupportunderground.com/breve-historia-shotcrete/>.
8. **Area de planeamiento Unidad Minera San Cristobal**. *Plan Anual de Minado* . Yauli - Oroya : VOLCAN COMPAÑÍA MINERA, 2019.
9. **SCRIBD**. Elementos para Sostenimiento. [En línea] 23 de 07 de 2011. [Citado el: 16 de 02 de 2022.] <https://es.scribd.com/document/60737417/Elementos-Para-Sostenimiento>.
10. S.A. Sostenimiento con cimbras en minería subterránea. [En línea] 29 de 09 de 2019. [Citado el: 16 de 02 de 2022.] <https://es.scribd.com/document/427883187/Cimbras-en-Mineria-Subterranea>.
11. **Departamento de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal**. *Análisis de Geomecánica Unidad Minera San Cristobal*. Yauli : Volcan Compañía Minera S.A.C, 2020.



## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
<p>¿Cómo se realizará el Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los</p>	<p>Mejorar el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para la reducción de los costos operativos en la Unidad</p>	<p>El Mejoramiento del proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda es factible y viable en la reducción de los costos</p>
<p>¿Cómo será el Mejoramiento de la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal?</p> <p>¿Cómo será el Mejoramiento del transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal?</p>	<p>Mejorar la producción de Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal</p> <p>Mejorar el transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda para la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal</p>	<p>El Mejoramiento de la producción de Shotcrete vía húmeda influye positivamente en la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.</p> <p>El Mejoramiento del transporte del aditivo para el Shotcrete vía húmeda influye positivamente en la reducción del costo operativo en la Unidad Minera San Cristobal.</p>

Anexo 2. Cumplimiento del PETS establecidos para el lanzamiento de shotcrete vía húmeda.



