

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Tesis

**“OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE SHOTCRETE DE LABORES
PERMANENTES PARA LABORES TIPO IIIB – IVA; RMR 31-50
CARAHUACRA VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.”**

**Para obtener el título profesional de
INGENIERO CIVIL**

**Presentado por el bachiller
CARHUANCHO UTCANI, MARCO ANTONIO**

**Asesor
DR. JOSE LUIS LEON UNTIVEROS
ING. MELQUIADES ELMER HINOSTROZA BARTOLO**

Huancayo, Julio del 2020

MIEMBROS DEL JURADO

Mg. José Luis León Untiveros

PRESIDENTE

Ing. Raúl Curasma Ramos

CIP 130642

Ing. Miguel Ángel Pinado Santos

CIP 162339

Ing. Melquiades Elmer Hinostroza Bartolo

CIP 90853

DEDICATORIA

A mi madre, que desde el cielo me guio para poder culminar esta carrera y también a mi padre por su sacrificio y esfuerzo, que influyó en mi durante todos estos años.

ÍNDICE GENERAL

Caratula	
Dictamen de declaración de expedito	
Acta de sustentación del jurado examinador	2
Certificado de la comisión de etica	3
Página de dedicatoria	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	13
Resumen	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Problema general	18
1.2.2 Problema específico	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo general	19

1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	19
1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	20
1.5.1 Hipótesis general	20
1.5.2 Hipótesis específicas	20
1.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	21
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES	22
2.1.1 Antecedentes Internacionales	22
2.1.2 Antecedentes Nacionales	27
2.1.3 Antecedentes Regionales	32
2.2 BASES TEÓRICAS.....	37
2.2.1 Volcan Compañía Minera	37
2.2.2 U.E.A. Yauli	38
2.2.3 Mina Carahuacra	39
2.2.3.1 Ubicación	39
2.2.3.2 Accesibilidad.....	40
2.2.3.3 Geología regional	40
2.2.3.4 Estratigrafía	41
2.2.3.5 Principales Unidades Litológicas	42
2.2.3.6 Intrusivos.....	45

2.2.3.7 Ocurrencia de la mineralización	49
2.2.3.8 Explotación subterránea	52
2.2.3.9 Ciclo de minado	55
2.2.3.10 Sostenimiento y estabilización del macizo rocoso.....	58
2.2.4 Concreto Lanzado (Shotcrete)	59
2.2.5 Tecnología de Shotcrete	59
2.2.5.1 Shotcrete vía seca	59
2.2.5.2 Shotcrete vía húmeda	61
2.2.5.3 Método rebote	62
2.2.5.4 Materiales para la mezcla	64
2.2.5.5 Diseño de mezcla de shotcrete vía húmeda	68
2.2.6 Sostenimiento con shotcrete	68
2.2.7 Mapa del proceso	69
2.2.8 Recomendaciones geomecánicas	69
2.2.9 Análisis de diseño	71
2.2.10 Producción	73
2.2.11 Sipoc – Producción de shotcrete	74
2.2.11.1 Insumos y proveedores	74
2.2.11.2 Identificación de Problemas	77
2.2.11.3 Costos	78
2.2.11.4 Sugerencias	79
2.2.12 Transporte	80
2.2.12.1 Sipoc	80
2.2.12.2 Identificación de Problemas	81

2.2.12.3 Análisis de tiempos	81
2.2.12.4 Costos	87
2.2.12.5 Sugerencias	88
2.2.13 Lanzado	88
2.2.13.1 SIPOC	88
2.2.13.2 Identificación de problemas	89
2.2.13.3 Identificación de causas	90
2.2.13.4 Análisis de tiempos	90
2.2.13.5 Casos de espera más representativos	95
2.2.13.6 Costos	97
2.2.13.7 Sugerencias	97
2.2.14 Sostenimiento con perno y malla	99
2.2.14.1 SIPOC	99
2.2.14.2 Identificación de problemas	99
2.2.14.3 Análisis de tiempo.....	100

CAPÍTULO III106

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN106

3.1 MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	106
3.1. Tipo de investigación	106
3.1.2 Nivel de investigación.....	106
3.1.3 Método de investigación	106
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	107
3.2.1 Diseño general	107
3.2.2 Diseño específico	107

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	107
3.3.1 Universo	107
3.3.2 Muestra	107
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	107
3.5 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO	108

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 DISEÑO PROPUESTO DEL SHOTCRETE	110
4.1.1 Especificaciones	110
4.1.2 Materiales	110
4.1.3 Volumen unitario de agua:	111
4.1.4 Contenido de aire:	111
4.1.5 Relación agua / cemento:	111
4.1.6 Factor cemento:	112
4.1.7 Contenido de agregado grueso:	112
4.1.8 Cálculo de volúmenes absolutos:	112
4.1.9 Contenido de agregado fino:	113
4.1.10 Valores del diseño:	113
4.2 CÁLCULO DE ESPESOR DEL SHOTCRETE	113
4.3 ANÁLISIS DE CONSUMO TOTAL DE SHOTCRETE AÑO 2018	115
4.4 ANÁLISIS DE COSTO:	117
4.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA Y CONTROL DE CALIDAD DEL SHOTCRETE	121
4.5.1 Control de calidad del agregado	121

4.5.2 Resistencia a la compresión	122
4.5.3 Simulación de tajeos y diagrama de contornos	123
4.6 PRUEBA DE HIPÓTESIS	127
4.6.1 Hipótesis General	127
4.6.2 Hipótesis específicas	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS	132
Matriz de consistencia.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de minas y plantas de Volcan Compañía Minera S.A.A.	38
Figura 2: Ubicación de propiedades mineras de Volcan	38
Figura 3: Ubicación de la unidad de producción Carahuacra	39
Figura 4: Plano geológico regional	41
Figura 5: Estratigrafía del área	42
Figura 6: Mapa Geológico	49
Figura 7: Modelo de mineralización de la veta San Cristóbal en el domo de Yauli	50
Figura 8: Modelo de mineralización de la veta Carahuacra en el domo de Yauli	51
Figura 9: Método de explotación corte y relleno ascendente tipo Breasting	53
Figura 10: Ciclo de minado en la mina Carahuacra	55
Figura 11: Esquema de liba de shotcrete (vía seca)	61
Figura 12: Esquema de equipo lanzador de shotcrete vía húmeda	62
Figura 13: Proceso de producción, transporte y lanzamiento de shotcrete	69
Figura 14: Condiciones geomecánicas de la mina	70

Figura 15: Esquema de proceso de producción de shotcrete	73
Figura 16: Diseño de shotcrete de gradiente a gradiente	107
Figura 17: Diagrama de contornos	123
Figura 18: Llenado de datos en el software Phase 2	124
Figura 19: Especificaciones de los materiales existentes	125
Figura 20: Análisis del factor de seguridad de la labor con shotcrete sin optimizar	126
Figura 21: Simulación y análisis del factor de seguridad con la nueva alternativa de optimización del shotcrete	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de shotcrete Vía Húmeda con fibras	50
Tabla 2 Criterios de caracterización de principales versiones sistema RMR	53
Tabla 3 SIPOC	56
Tabla 4 Costo de producción de shotcrete San Cristóbal 2015	60
Tabla 5 Costo de Producción de shotcrete PUMP Carahuacra 2015	60
Tabla 6 Costo de Producción de shotcrete Carahuacra 2015	61
Tabla 7 SIPOC	62
Tabla 8 Tiempo operativo durante una guardia de 12 horas	63
Tabla 9 Demora operativa durante una guardia de 12 horas	63
Tabla 10 Demoras operativas 2, en una guardia de 12 horas	64
Tabla 11 Tiempo operativo guardia noche 05/02 al 07/02	66
Tabla 12 Tiempo operativo durante la guardia de 12 horas	67
Tabla 13 Costos de lanzamiento de shotcrete por empresa	69
Tabla 14 Diagrama de caracterización del lanzamiento de shotcrete Sipoc	70
Tabla 15 Tiempo efectivo de lanzamiento de shotcrete	72

Tabla 16 Actividades de las demoras operativas	72
Tabla 17 Demoras no operativas	73
Tabla 18 Casos de espera	76
Tabla 19 Costos de lanzado por propiedad de equipo	78
Tabla 20 Costo de aditivo para shotcrete	78
Tabla 21 SIPOC Sostenimiento con perno y malla	80
Tabla 22 Tiempo operativo durante la guardia de 12 horas	82
Tabla 23 Demoras operativas 1, durante la guardia de 12 horas	82
Tabla 24 Demoras operativas 2, durante la guardia de 12 horas	83
Tabla 25 Lanzado de shotcrete por empresa	88
Tabla 26 Lanzado de shotcrete por mes	88
Tabla 27 Peso real de materiales para shotcrete	93
Tabla 28 Cálculo de espesor de shotcrete	94
Tabla 29 Programa anual de accesos - 2018	95
Tabla 30 Programa anual de proyección para shotcrete 2018.	95
Tabla 31 Cubicación teórica de shotcrete.	96
Tabla 32 Costo de material según diseño de shotcrete.	97
Tabla 33 Cuadro comparativo de costos.	98
Tabla 34 Costo por metro cúbico según programa anual 2018.	98
Tabla 35 Costo por metro cúbico según programa 2018 – Lanzado de Shotcrete de gradiente a gradiente.	
99 Tabla 36 Control de calidad del agregado.	

100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tornado T - 73 Volcan	83
Gráfico 2: Diagrama de barras de Tornado T - 73 Volcan	83
Gráfico 3: Distribución de actividades y demoras operativas	86
Gráfico 4: Diagrama de Pareto- Distribución de actividades y demoras operativas	87
Gráfico 5: Distribución de actividades y demoras operativas	92
Gráfico 6: Demoras operativas por actividad	93
Gráfico 7: Diagrama de Pareto de las demoras operativas	94
Gráfico 8: Actividades consideradas en el estudio de tiempos para el Robot R-31	94
Gráfico 9: Diagrama de Pareto para las actividades consideradas en el estudio de tiempos para el Robot R-31	95
Gráfico 10: Horario de guardia en la Unidad Minera Carahuacra	96
Gráfico 11: Distribución de las actividades y demoras operativas	103
Gráfico 12: Diagrama de Pareto distribución de las actividades y demoras operativas, así como las demoras no operativas	104
Gráfico 13: Demoras críticas	104
Gráfico 14: Consumo de shotcrete por meses.....	117
Gráfico 15: Programa de consumo de shotcrete vs proyección de de consumo de shotcrete	117
Gráfico 16: Costo mensual de shotcrete sin optimizar vs costo de shotcrete optimizado	120
Gráfico 17: Costo total de shotcrete sin optimizar vs costo total de shotcrete optimizado ...	120
Gráfico 18: Curva granulométrica	121
Gráfico 19: Resistencia a la compresión del shotcrete en probetas	123
Gráfico 20: Resistencia a la compresión del shotcrete en diamantina	123

Resumen

La presente investigación *Optimización del Consumo de Shotcrete de Labores Permanentes para Labores Tipo IIIB – IVA; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A.*, tuvo como meta primordial, determinar qué nivel de optimización se logra notar en el consumo de shotcrete de gradiente a gradiente en labores permanentes, para labores Tipo IIIB-IVA; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A. LGVBHa hipótesis general que se planteó fue que existe un alto nivel de optimización y de buena proporcionalidad en el consumo de shotcrete de gradiente a gradiente en labores permanentes, para labores Tipo IIIB-IVA; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A. Para verificar las hipótesis tuvo que plantearse la correlación de parámetros tanto en la hipótesis general como las hipótesis específicas.

El presente protocolo de pruebas tiene como fin dar a conocer la ejecución de pruebas piloto para el sostenimiento con Shotcrete, con la finalidad de optimizar costos para el presupuesto 2018, sin afectar el sostenimiento (factor de seguridad).

Palabras Claves: Shotcrete, Económica, ahorro, Minería.

ABSTRACT

The present investigation *Optimization of the Permanent Work Shotcrete Consumption for Type IIIB - VAT; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A.*, had as its primary goal to determine what level of optimization is achieved in the consumption of shotcrete from gradient to gradient in permanent work, for Type IIIB-VAT work; RMR 31-50

Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A, the general hypothesis that was raised was that there is a high level of optimization and good proportionality in the consumption of shotcrete from gradient to gradient in permanent work, for Type IIIB-VAT work; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A. To verify the hypotheses, the correlation of parameters in both the general hypothesis and the specific hypotheses had to be considered.

The purpose of this test protocol is to present the execution of pilot tests for the support with Shotcrete in order to optimize costs for the 2018 budget, without affecting the sustainability (safety factor).

Keywords: Shotcrete, Economy, savings, mining.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente estudio, es el de realizar la ejecución de las pruebas piloto para el sostenimiento con Shotcrete con la finalidad de optimizar costos para el presupuesto 2019, sin afectar el sostenimiento (factor de seguridad), de la mina Carahuacra.

El esquema comprende básicamente diagnósticos preliminares de las condiciones mineras generalizadas, aplicación del shotcrete, los aspectos de diseño y dosificación, evaluación de la función de soporte que cumple el sostenimiento de gradiente a gradiente en labores temporales en cuestión en la estabilidad del macizo rocoso.

En la mina Carahuacra, se emplea el sostenimiento lanzado Vía Húmeda de manera tal que satisfaga en cuanto a seguridad y estabilidad del macizo rocoso las exigencias de las operaciones.

Bien sabemos que el sostenimiento en Volcan representa un porcentaje alto en cuanto a costos, no se escatimó esfuerzos para desarrollar un programa, que nos permitiera optimizar costos previa evaluación geo mecánica en esta mina, evaluando el dominio de su aplicabilidad, sus influencias recíprocas con el lanzado y su factibilidad económica comparativa respecto al sostenimiento de piso a piso, observándose también el aspecto de identificar y resolver las posibilidades del incremento de su eficiencia técnico-económica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La minería es una de las principales actividades económicas del Perú; del cual, según el Ministerio de Energía y Minas, más del 45% es realizado bajo el método de explotación subterránea. Según estadísticas el 63% de accidentes mortales del 2019 se produjeron en minería subterránea y según el tipo de accidente la mayor cantidad de víctimas mortales ocurrieron por el desprendimiento de rocas, con un 22% del total; debido a ello el sostenimiento es uno de los procesos unitarios fundamentales en la actividad minera, siendo el sostenimiento con shotcrete una de las más utilizadas a nivel nacional; sin embargo, uno de los problemas es el elevado costo generado por este tipo de sostenimiento.

El enfoque principal de la investigación es el costo generado por el sostenimiento con shotcrete en la Unidad Minera Carahuacra perteneciente a Volcan Compañía minera S.A.A., en donde se realiza el método de explotación mediante Corte y Relleno Descendente Mecanizado y se utiliza el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda; esto debido a la falta de optimización del consumo de shotcrete, siendo una de las causas básicas el rebote de las fibras que se genera por el lanzado.

El proceso de lanzado de shotcrete se realiza desde el pie de los hastiales hacia la corona, generando así un alto consumo; sin embargo, actualmente la mina Carahuacra está realizando ensayos con labores temporales, donde el lanzado de shotcrete se realiza

de gradiente a gradiente; logrando así una mejora en la optimización de costo en materia de sostenimiento.

Independientemente de los costos de operación, la optimización de consumo de shotcrete mediante el lanzado de gradiente a gradiente, V no garantizan la seguridad del personal en el ciclo de minado, por lo cual es necesario realizar pruebas de resistencia y seguridad para este nuevo método de lanzado de shotcrete utilizado en la Unidad Minera Carahuacra.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿En qué medida la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.?

1.2.2 Problema específico

- ¿Cómo influye la reducción del concreto de la gradiente en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.?
- ¿Cuál es la variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 3150 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Determinar en qué medida la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar cómo influye la reducción del concreto de la gradiente en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.
- Determinar la variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 3150 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Actualmente el sostenimiento con shotcrete es uno de los métodos más usados en minería; por lo tanto, se requiere diseños de shotcrete rápido, seguro y sobre todo de bajo costo; sin embargo, su uso conlleva a un alto costo en materia de sostenimiento, por lo cual se realiza una mejora en la optimización de su consumo para poder realizar una reducción en dichos costos.

El consumo de shotcrete en la Unidad Minera Carahuacra es elevado, debido a ello se planteó un diseño de shotcrete que consiste en el lanzado sólo de gradiente a

gradiente; reduciendo así, el consumo de shotcrete y optimizando los tiempos de operaciones en el proceso de sostenimiento.

En la minería, de acuerdo a las estadísticas, el desprendimiento y caída de roca constituyen el mayor causante de accidentes incapacitantes y mortales, por lo que es necesario un buen sostenimiento; además, la continuidad de una empresa minera depende de los avances de sus labores para la explotación de sus recursos; por lo que, es de mucha importancia que el tipo de sostenimiento empleado garantice la seguridad necesaria para el personal.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis general

La optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye significativamente en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A

1.5.2 Hipótesis específicas

La reducción del concreto de la gradiente, en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50, influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.

La variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A

1.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.

- Variable independiente
 - La optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB
 - IVA de RMR 31-50
- Variables dependientes
 - Costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.
 - Factor de seguridad al optimizar el consumo de shotcrete.

1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

Los alcances que se pueden dar para la investigación es la optimización del consumo de shotcrete basados en una alternativa para este método de sostenimiento, que consiste en un lanzado de shotcrete de gradiente a gradiente; y que involucra análisis de pruebas piloto y pruebas de resistencia en las labores de la Unidad Minera Carahuacra.

La principal limitación es que se trata de una nueva alternativa de optimización de consumo de shotcrete; por lo que se requiere varias pruebas piloto así como pruebas de resistencia, dependiendo de la estabilidad del macizo rocoso, y seguimiento continuo de dichas labores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

REYES MARTÍNEZ, Luis Felipe (2015), en su Tesis titulada: Comparación de alternativas de refuerzo para shotcrete modelación numérica en base a elementos finitos: para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil desarrollada en la Universidad de Chile – Chile, nos presenta el siguiente resumen:

Este trabajo busca explorar mediante el desarrollo de modelos numéricos la posibilidad de utilizar materiales no convencionales en el refuerzo del shotcrete, comúnmente encontrados en otras aplicaciones de la ingeniería civil, tales como fibras sintéticas (ingeniería geotécnica y marítima) de manera que se pueda aumentar la energía absorbida y/o capacidad de carga del shotcrete según requerimientos de diseño. De esta forma se pueden expandir los conocimientos que se tienen sobre el comportamiento y diseño del shotcrete reforzado de manera de presentar alternativas de diseño que pueden cumplir de mejor manera, relativo a la disponibilidad ya existente, los requisitos de diseño establecidos por una aplicación específica. La motivación de este estudio se basa en las nuevas exigencias planteadas en el diseño del shotcrete reforzado por la

complejidad de las obras asociadas a la minería, ingeniería vial e industria energética y el volumen de material utilizado. Los requerimientos de diseño de los sistemas de fortificación utilizados para una aplicación dada, imponen condiciones sobre las características mecánicas y la respuesta de éstos ante las cargas de diseño consideradas. En el caso particular del shotcrete, se pueden mencionar los siguientes requisitos:

Evitar problemas de corrosión que induce una degradación del shotcrete y altos costos de mantenimiento.

- Desarrollar grandes deformaciones, asociadas a una alta capacidad residual, capacidad de redistribuir tensiones y control de grietas.
- Adaptarse a procesos de producción minera. Zonas que han sido fortificadas son explotadas, por lo que el shotcrete debe ser elemento de fácil trituración.
- Reducir la abrasión en las mangueras utilizadas para la colocación del shotcrete cuando se utilizan fibras de algún material como refuerzo.
- Se llega a las siguientes conclusiones.
- De acuerdo a los datos experimentales, la malla de refuerzo comienza a tomar mayor participación en el comportamiento carga deflexión del disco de Shotcrete reforzado, al finalizar la etapa lineal, observándose en los gráficos distintas cargas residuales y energía absorbida, dependiendo del tipo de malla utilizada. La etapa inicial depende principalmente de las propiedades del shotcrete.
- Sin importar la malla de refuerzo utilizada es posible encontrar comportamientos similares hasta el punto de agrietamiento. Dado

esto, es claro que la malla de refuerzo refleja su importancia en el post peak de carga, siendo capaz de deformarse absorbiendo energía.

- Los resultados indican que el peak de carga y deflexión del modelo, en el rango lineal, se encuentran dentro de los valores esperados, comparado con los datos proporcionados por los ensayos experimentales realizados por la investigación del profesor Ricardo Moffat. El comportamiento del shotcrete reforzado, hasta el peak de carga es reproducible a través del modelo de elementos finitos.

GUEVARA PAINEMAL, Valentina Constanza (2017), en su tesis titulada: Estudio del comportamiento en durabilidad del hormigón proyectado (shotcrete), mediante ensayos de migración de cloruros, desarrollada en la Universidad de Chile – Chile, nos presenta el siguiente resumen:

Dado que el hormigón proyectado está cumpliendo un rol fundamental en la industria de la construcción tanto civil como minera, es que se desea aportar con investigación relacionada con cómo predecir su comportamiento a lo largo de su vida útil. De esta manera, el uso de un material con comportamiento conocido en la ejecución de obras, se aproximaría más a las condiciones que se requieran según durabilidad y desempeño por diseño. Adicionalmente, como ya existen trabajos de investigación relacionados con la durabilidad del material, realizados en IDIEM [12, 13, 14], específicamente con ensayos de penetración de cloruros, es que se decide continuar con éstos para así afinar la línea de estudio ya existente, mediante el aporte de resultados nuevos que puedan ser analizados en conjunto a los anteriores, que han dejado muchas preguntas por resolver.

El notorio aumento en la utilización del hormigón proyectado, también llamado shotcrete, genera la necesidad de estudiarlo exhaustivamente para darle un mejor uso y eventualmente hacer mejoras en sus materias primas constituyentes y técnicas de colocación. También es importante entender cuáles son las problemáticas asociadas a dicho material y qué agentes dañinos pueden afectar significativamente la durabilidad de éste. La durabilidad se define como la capacidad de resistencia a deterioro y baja de desempeño, ya sea por cualquier agente externo o interno, químico o físico. A partir de estas consideraciones se plantea como principal objetivo de la presente investigación, el estudio y evaluación de desempeño de dos ensayos relacionados con la migración de cloruros, que han sido utilizados con éxito en hormigón convencional o mortero para determinar propiedades que se relacionan directamente con la durabilidad. Estos ensayos son ampliamente usados hoy en día; pero, debido a las características peculiares del shotcrete, se necesita su validación mediante ensayos a distintas dosificaciones de éste, para así abarcar sus propiedades asociadas.

Se llega a las siguientes conclusiones:

Habiendo realizado los ensayos y obtenido los resultados correspondientes, se concluye que el método evaluado de migración de cloruros RCPT, arrojó resultados conforme a lo esperado en el hormigón proyectado. Pese a que éste acusa valores coherentes, es necesario incorporar más muestras de diferentes especificaciones, para así incrementar la densidad de datos y abarcar la mayor cantidad de dosificaciones y propiedades físicas del shotcrete, parámetros que hacen variable cada mezcla dependiendo de su propósito. Con respecto a las

fallas en la implementación del método NT BUILD 492, se ratificaron las falencias por empresa COWI, especialistas en durabilidad del hormigón armado dispuesto en zonas marinas; específicamente en que la manga utilizada no cumple con los requerimientos, ni tampoco el uso de adhesivos entre ella y la probeta. La visita de integrantes de la empresa fue con motivos de validar métodos de durabilidad en Chile. Adicionalmente con el método de ensayo VPV fue posible respaldar los resultados de V. Muñoz, de manera tal que se encontró un rango aproximado de volumen de poros permeables en que oscila el hormigón proyectado con la especificación SH30.0 (90)10.

Bach. AGUILAR MUNDACA, Rebeca Paz, sustentó el 2007 su Tesis: Determinación de la influencia de las nano moléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad; para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, en la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile, con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Esta tesis se realizó para determinar la influencia de estas nano moléculas, se realiza un trabajo experimental que consiste en un ensayo de inmersión de pequeños discos de concreto con árido fino o mortero, con distintas adiciones de nano sílice en porcentaje de peso de cemento, en una solución de sulfato de sodio, del que se desprenden tres tipos de análisis:

- El primero está relacionado con la pérdida o disminución de masa de cada una de las muestras en forma posterior a su inmersión.
- El segundo es un análisis del pH de la solución utilizada en forma previa y posterior al ensayo de inmersión.

- Por último, se expone un análisis de microscopía electrónica, en la muestra que sufrió mayor deterioro y aquella que fue menos dañada, producto de la acción de los sulfatos en el ensayo de inmersión.
- Además, se hace una comparación de los resultados del primer análisis mencionado, con los de una investigación anterior referente al estudio de resistencias mecánicas (flexo tracción y compresión) y trabajabilidad de probetas de mortero, idénticas a las utilizadas en esta investigación.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Bach. SANCHEZ GOMEZ, Aricely y Bach. TAPIA VALLEJOS, Luis Orlando (2019), en su tesis titulada: Generación de una curva de tendencia de la pistola hilti para el control de resistencias tempranas de shotcrete en minería subterránea, desarrollada en la Universidad Privada del Norte, nos presenta el siguiente resumen: En minería, uno de los factores más importantes es la seguridad de sus colaboradores; es así que, en minería subterránea, la seguridad va de la mano con el sostenimiento adecuado de sus labores, el caso estudiado está basado en sostenimiento con Shotcrete. Bajo este contexto, la presente investigación tiene como objetivo principal generar una curva de tendencia de la Pistola Hilti DX 450, para el control de resistencias tempranas en el sostenimiento con Shotcrete en minería subterránea. La presente tesis estudia las mediciones de penetración del perno en el hormigón y los resultados que nos brindan los ensayos de compresión de resistencia temprana de testigos que fueron extraídos de paneles a los que se dispararon pernos con la Pistola Hilti DX 450. Como resultado de los ensayos realizados se pudo encontrar una

ecuación que determina la tendencia de la Pistola Hilti; así mismo, esto determino que en ensayos realizados a 12 horas de fraguado es imposible determinar la resistencia del testigo. Finalmente, se comprobó in- situ que la curva generada es capaz de excluir al extractor de pernos, por lo cual permitirá agilizar el proceso de control de resistencias tempranas, llegando a las siguientes conclusiones:

- De acuerdo a los datos experimentales, la malla de refuerzo comienza a tomar mayor participación en el comportamiento carga de flexión del disco de Shotcrete reforzado, al finalizar la etapa lineal, observándose en los gráficos distintas cargas residuales y energía absorbida dependiendo del tipo de malla utilizada. La etapa inicial depende principalmente de las propiedades del shotcrete.
- Sin importar la malla de refuerzo utilizada es posible encontrar comportamientos similares hasta el punto de agrietamiento. Dado esto, es claro que la malla de refuerzo refleja su importancia en el post peak de carga siendo capaz de deformarse absorbiendo energía.
- Los resultados indican que el peak de carga y de flexión del modelo, en el rango lineal, se encuentran dentro de los valores esperados, comparado con los datos proporcionados por los ensayos experimentales realizados por la investigación del profesor Ricardo Moffat. El comportamiento del shotcrete reforzado, hasta el peak de carga es reproducible a través del modelo de elementos finitos.

ARAGON QUISPE, Miguel Angel y CORNEJO MAMANI, Mitward Paul (2017), en su tesis titulada: Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión, desarrollada en el

Universidad Nacional de San Agustín Arequipa – Perú, nos presenta el siguiente resumen: El shotcrete reforzado con fibra en nuestro país tiene su principal aplicación en el rubro minero, la falta de normas y guías nacionales, sumado a la escasa investigación experimental ha dado lugar a que los beneficios que se puedan alcanzar del shotcrete reforzado con fibras no sean del todo aprovechados. Esta tesis contribuye a llenar el vacío experimental y servir de base para una formulación de normas y guías nacionales del shotcrete reforzado con fibras. La metodología consistió en realizar un diseño patrón de shotcrete por vía húmeda sin fibra, luego diseños en los que solamente se varió la dosis de fibra, se realizaron diseños con 10 Kg, 20 Kg, 30 Kg, 40 Kg de fibra metálica por metro cúbico de concreto y 2 Kg, 4 Kg, 6 Kg y 8 Kg de fibra sintética por metro cúbico de concreto. Se determinó la influencia de las fibras en el shotcrete en la trabajabilidad (ASTM C143), en la resistencia a compresión obtenida mediante 30 ensayos de núcleos cilíndricos de concreto extraídos con diamantina de paneles de shotcrete (ASTM C42), en la resistencia a flexión medida indirectamente a través de 30 vigas aserradas de paneles de shotcrete (EN 14488-3) y en la absorción de energía de 30 paneles cuadrados según la norma Europea (EN 14488-5) y 30 paneles circulares según la norma Americana (ASTM C1550). Los resultados demostraron que las fibras metálicas en el shotcrete tienen un mejor comportamiento estructural en el deterioro de la resistencia que las fibras sintéticas, a pesar de que se obtuvieron mismos valores de energía absorbida y resistencia a la flexión utilizando fibra sintética a un menor costo.

BALTAZAR HUINCHO, Abner Eliacib (2017), en su tesis titulada: implementación de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de transporte y lanzado de shotcrete para la empresa robocon servicios SAC, en la unidad minera volcán - San Cristóbal, desarrollada en Universidad Tecnológica del Perú, Para optar el título de Ingeniero Mecánico, nos presenta el siguiente resumen: El presente trabajo: Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de transporte y lanzado de shotcrete, en la empresa Robocon Servicios S.A.C, se basó en la necesidad de contar con un plan de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos que conforman el sistema productivo de la empresa, dedicado principalmente al lanzado de shotcrete por vía húmeda, bajo estándares de calidad (ISO 9001), seguridad y salud (OSHAS 8001) y medio ambiente (ISO 14001) Siendo el principal cliente la Compañía Minera Volcán.

Se inicia con una breve descripción de las generalidades de la empresa Robocon Servicios S.A.C, posteriormente se plantean y formulan los problemas generales y específicos de la empresa que conllevaron a la realización del presente trabajo, para después plantear una justificación del desarrollo del mismo.

Se identifica, reconocen y se analizan las posibles limitaciones que se nos presentará a lo largo del desarrollo del informe, que tienen que ser superadas a través de nuestros objetivos planteados.

En función al análisis realizado del problema general y a los problemas específicos, se plantea el objetivo general y específico que serán base para el posterior desarrollo del trabajo. Posteriormente se mostrará el desarrollo del

marco teórico, detallando definiciones relacionados al proyecto bajo conceptos de diferentes autores de libros, ya sean planes de mantenimiento, estrategia de mantenimiento, indicadores de gestión y capacitación al personal; el referido marco teórico viene acompañado en seguida con la definición de términos relevantes contenidos en el marco teórico.

A continuación, se define el marco metodológico, que vendría a ser la base de nuestro estudio investigativo, el cual se desglosa en: definición de la variable, tipo de estudio y el método de investigación a emplear para el desarrollo del presente proyecto.

Posteriormente se analizará la metodología para dar solución al problema, así como el análisis situacional. En seguida se propondrá las alternativas de solución, se seleccionará la solución del problema y determinará los recursos necesarios para la implementación necesaria del proyecto.

Luego se realizará el análisis y presentación de resultados arrojados por el presente informe donde realizará el proceso de implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Finalmente se realizará las conclusiones recomendaciones y referencia bibliográficas desarrolladas en el presente informe.

2.1.3 Antecedentes Regionales

CAMARENA COSME, Franklin Miguel (2016), en su Tesis Titulada: Nivel óptimo de sostenimiento con shotcrete con método de vía húmeda con fines de atenuación de costos y maximizar la producción de lanzado de la Empresa E.E. Robocon S.A.C. en la mina san Cristóbal - Cía minera VOLCAN S.A.A., desarrollada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, para optar

el título de Ingeniero de Minas, nos presenta el siguiente resumen: El campo de la minería en el Perú no cabe duda una de los trabajos de más alto riesgo que el ser humano practica o realiza. Según estudios realizados refieren que una de las causas más frecuentes de los accidentes laborales en el interior de una mina es por deslizamiento de roca. Por lo cual para prevenir los accidentes laborales y lograr que el ciclo de minado se siga realizando con normalidad y rendimiento adecuado, se aplica el tipo de sostenimiento usual y más empleado para cada tipo de terreno, según el estudio que logra determinar el área de geo mecánica y lograr así asegurar el rendimiento óptimo de la masa rocosa concerniente en las guardias de trabajo. En la actualidad la geo mecánica ejerce un papel muy importante en las actividades mineras, para la estabilidad de la masa rocosa en interior mina, por las deficiencias que hay en interior mina como consecuencia de actividades mineras. Un sostenimiento subterráneo mecanizado es una parte fundamental que logra en diversos aspectos: Lograr dimensiones adecuadas en las actividades mineras, lograr la dirección general de un avance de minado mediante el cuerpo mineralizado, lograr un tipo de sostenimiento óptimo para cada guardia de trabajo para lograr el rendimiento óptimo de todo el proceso. El proceso de las actividades mineras se basa principalmente en atenuar el costo excesivo de operación que conlleva en el sostenimiento subterráneo con shotcrete empleado por vía húmeda, ya que el reflejo de la problemática se da por un alto nivel en porcentajes del efecto rebote que se logra obtener en todos los procesos de lanzado de frente con un equipo el cual se llama Alpha 20; por lo que, está relacionado en el precio por m³ de shotcrete. Debido a esto se planteó en la creación de un sistema de control de calidad, el cual es su tarea

asegurar que las técnicas, procesos, productos y servicios sean verosímiles y ayuden a la empresa a mejorar y optimizar un mejor rendimiento de todo el conjunto de sostenimiento con shotcrete. Se ejecutó y se dió charlas de concientización de las técnicas, procesos, procesos de lanzado y diversas pruebas experimentales en interior mina (operación de lanzado). Para conocer con una mejor exactitud los parámetros y desviaciones de los porcentajes en el efecto rebote que dan por resultado en el lanzado con los equipos llamados Robot Alpha 20 dichos equipos son 6. En el resultado de dicha prueba, dió como resultado una diferencia mayor de rebote los equipos manipulados aplicando una incorrecta técnica de lanzado y de los que laboran con unos parámetros de caudal y presiones de aire menores a otros, por lo que el proceso de sostenimiento es lento y se diferencia ligeramente. Otro de los problemas fundamentales que se presentan en las labores mineras es no tener conocimiento sobre el rendimiento de la producción en cada lanzado de shotcrete para cada área que se presenta en la U.O. San Cristóbal, lo cual teniendo como base la ejecución de este tipo de sostenimiento con la proyección automatizada (robotizada) de soporte de rocas por el método de vía húmeda, es factible obtener (con un ayudante) una producción promedio de 60 - 100 m³ con rebote mínimo al 10 %, en una guardia de trabajo de 12 horas. Por lo tanto también se desarrolla cuadros comparativos vs la función del rendimiento de cada operario en cuanto a la producción de: Transporte de concreto, lanzado de shotcrete e instalación de calibradores, ejecutados durante los periodos de enero a setiembre del 2015, el presente estudio se basa en el uso y la ejecución optima de las técnicas de proyección de shotcrete, mejorando así la bombeabilidad con el

equipo robotizado, logrando mejorar la adherencia del concreto con la roca en las áreas de trabajo. Las investigaciones realizadas en dicho campo mejoraron la simulación de lanzamiento de shotcrete en tres grupos de trabajo de explotación de la Unidad Minera San Cristóbal como son: Zona Alta, Zona Baja y Zona Lidia, donde están esparcidos los equipos lanzadores Alpha 20 con sus respectivos Mixer en áreas y niveles de labores, donde se va a interpretar y analizar los resultados finales, basados en el nivel de rendimiento de la producción total obtenida en (m³) por cada lanzamiento de frente, ejecutando así la simulación de nuestra propuesta con un diseño óptimo en la minimización de shotcrete. Por lo que se valida este método de mezcla, agregados y componentes de shotcrete obteniendo la dosificación mejorada por encima de los 400 kg de cemento y agregados por un nivel más alto de los 1500 kg..

Para la implementación del diseño ideal de shotcrete que se propone en la presente investigación o (trabajo de investigación) los agregados y componentes del shotcrete verosímiles en ser utilizados como concreto proyectado en sostenimiento subterráneo, se planeó realizar la investigación en sus diversas características físicas, contenido de sulfatos y cloruros para tener información sobre su idoneidad y la dosis óptima de ellos para su vida útil, la resistencia deseada, la fluidez, durabilidad y el costo.

El desarrollo de una actividad minera, en seguridad, como en productividad se centra plenamente en la correcta estabilidad del macizo creado en una explotación minera, por lo que hay distintos tipos de sostenimiento. Estos tipos son empleados de acuerdo al tipo de explotación subterránea, la Unidad Minera San Cristóbal se inclinó por el sistema de sostenimiento mecanizado con

shotcrete por el método de vía húmeda; el cuál, se acomoda óptimamente al método de explotación minera utilizado en esta mina; por lo cual buscando una mejor estabilidad del macizo rocoso se tomó la decisión por un laboratorio de concreto, donde se ejecutan estudios, pruebas y análisis de shotcrete y concreto lanzado para que su ejecución en mina sea segura y confiable en las próximas operaciones con niveles por debajo. Por lo que el presente trabajo de investigación desarrollado y ejecutado se estudió las causas básicas, el proceso y las consecuencias encontradas en mina, y así lograr el resultado deseado para una mejor confiabilidad y satisfacción de nuestros clientes.

AVILA CADILLO, Brandon O'neil (2018), en su Tesis Titulada: incidencia de la incorporación del aditivo sika viscocrete sc 90 en las propiedades físicas-mecánicas en shotcrete, desarrollada en la Universidad Continental-Huancayo – Perú, para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, nos presenta el siguiente resumen: La presente investigación se propone resolver el siguiente problema general: ¿Cuál es la incidencia de la incorporación del aditivo SIKA VISCOCRETE SC - 90 en las propiedades físicas-mecánicas del shotcrete a emplear en el tajeo 500 – acceso 534 Unidad de producción Andaychagua - Volcan 2018?, planteándose como objetivo general: Evaluar la incidencia de la incorporación del aditivo SIKA VISCOCRETE SC - 90 en las propiedades físicas-mecánicas del shotcrete a emplear en el tajeo 500 – acceso 534 Unidad de producción Andaychagua - Volcan 2018, y como hipótesis a contrastar: La incorporación del aditivo SIKA VISCOCRETE SC - 90 inciden directamente en las propiedades físicasmecánicas del shotcrete a emplear en el tajeo 500 – acceso 534 Unidad

de producción Andaychagua - Volcan 2018. La metodología de investigación está basada en el método científico de tipo aplicada y de nivel descriptivocorrelacional. Y como conclusión general producto de la investigación se formula que: Con la incorporación del aditivo SIKA VISCOCRETE SC - 90 en el concreto pre mezclado, se mejoró las propiedades físicas debido a las propiedades plastificantes, y respecto a las propiedades mecánicas el aditivo mostró valores superiores respecto al aditivo SIKA VISCOCRETE SC – 50 hasta en 2.8 MPa, este incrementó a 3 horas de haber sido extraído la muestra.

CHILENO YACHI, Marlon Anthony (2017), en su Tesis titulada: relación del aditivo nano sílice en la resistencia del concreto en la urbanización chorrillos - ciudad de Huancayo, 2016, desarrollada en la Universidad Peruana los Andes – Huancayo, Perú, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, nos presenta el siguiente resumen: La tesis de investigación titulado: “RELACIÓN DEL ADITIVO NANOSILICE EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN LA URBANIZACIÓN CHORRILLOS - CIUDAD DE HUANCAYO, 2016” teniendo como problema general ¿Cuál es la relación del aditivo Nano sílice en la resistencia del concreto, en la Urbanización Chorrillos – ciudad de Huancayo en el año 2016? y como objetivo general. Evaluar la Relación del Aditivo Nano sílice en la resistencia del concreto, en la Urbanización Chorrillos – ciudad de Huancayo en el año 2016. La investigación tiene como hipótesis general que el Aditivo Nano sílice se relaciona favorablemente en la Resistencia del concreto, en la Urbanización Chorrillos – ciudad de Huancayo en el año 2016. Asimismo, la Metodología de la investigación es de tipo aplicada, nivel correlacional y

diseño descriptivo – correlacional, donde la población es la Urbanización Chorrillos y la muestra es el Jr. Marte.

La investigación llegó a la siguiente conclusión. Se estableció que el uso del Aditivo Nano sílice se relaciona en la resistencia del concreto, produciendo que la resistencia se incrementa de un $f'c = 388 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto convencional) a $f'c = 409 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nano sílice 1%) a $f'c = 432 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nano sílice 3%) a $f'c = 461 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nano sílice 5%). Se calculó 04 diseños de Mezclas, 01 del Diseño Patrón (Concreto convencional) y las otras 03 con Aditivo Nano sílice al 1%, 3% y 5%; de cada mezcla se extrajo 03 Probetas para promediar los xvi resultados de la Resistencia, en total se elaboraron 12 Probetas de concreto, roturándose a los 28 días.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Volcan Compañía Minera

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

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

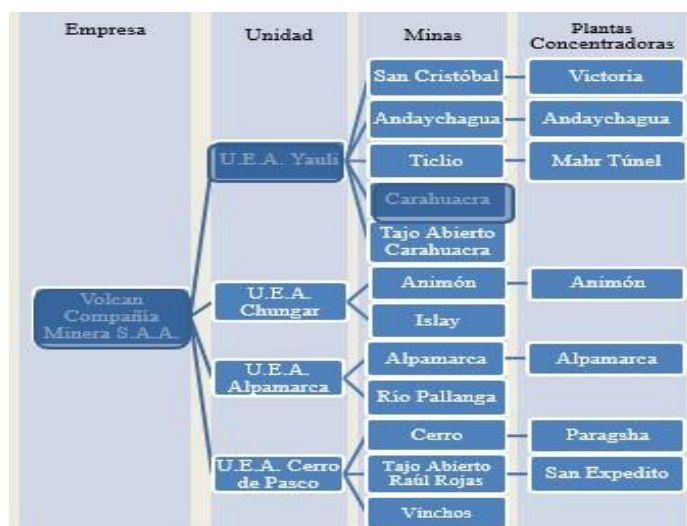


Figura 1: Distribución de minas y plantas de Volcan Compañía Minera S.A.A.

2.2.2 U.E.A. Yauli

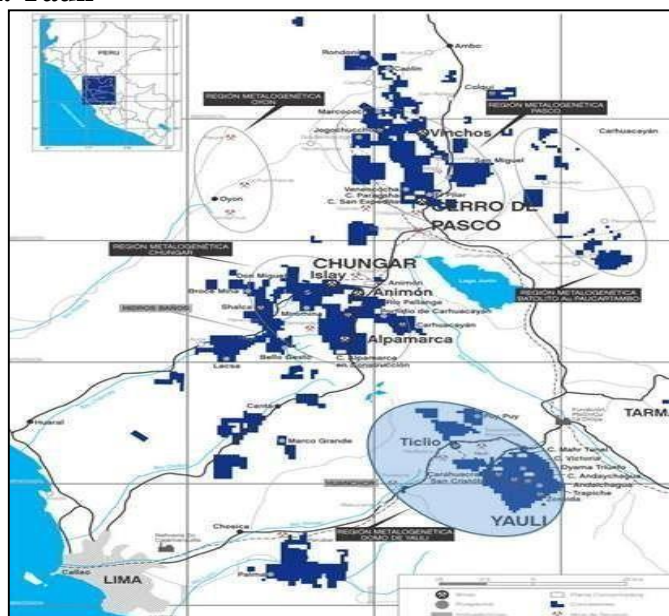


Figura 4: Ubicación de propiedades mineras de Volcan (Fuente: Memoria Anual Volcan Compañía

Minera, 2018, pág. 25)

La Unidad Económica Administrativa Yauli está conformada por las minas San Cristóbal, Andaychagua, Ticlio y Carahuacra; ubicadas en la provincia de Yauli, departamento de Junín. Los distritos mineros de Morococha y San Cristóbal, ubicados en Yauli y considerados de clase mundial, presentan mineralogías relacionadas a sistemas epitermales polimetálicos, cuerpos de

reemplazamiento y sistemas de vetas polimetálicas; así como, mineralización relacionada a pórfidos y skarns, lo cual indica el gran potencial del área.

2.2.3 Mina Carahuacra

2.2.3.1 Ubicación

La Empresa Minera de Carahuacra, políticamente se localiza en el distrito de Yauli, provincia del Yauli, del departamento de Junín (Figura 3). Geográficamente se localiza en el lado oriental en la Cordillera de los Andes del Perú; a una distancia de 110 km, de la ciudad de Lima. Sus coordenadas geográficas son:

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

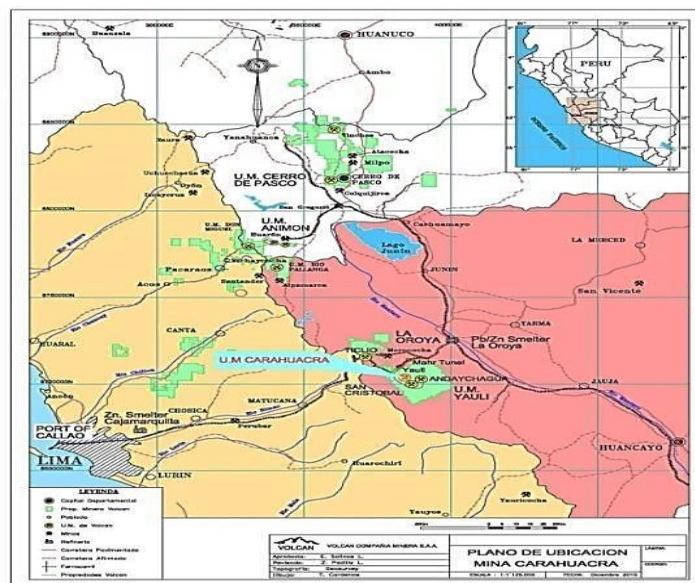


Figura 7: Ubicación de la unidad de producción Carahuacra (Fuente: Estudio

Geomecánico de la mina Carahuacra, 2018, Capítulo II, pág. 1)

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

2.2.3.2 Accesibilidad

La mina Carahuacra se localiza a 110 km de la capital del Perú (Lima), desde donde es accesible, recorriendo la Carretera Central, por la localidad de Pachachaca, existe una desviación de 7 km que conduce al distrito de Carahuacra.

2.2.3.3 Geología regional

La mina Carahuacra está localizada en el flanco occidental del “Anticlinal de Yauli”, es un amplio lecho regional de origen domótica. El Complejo Domal de la Provincia de Yauli, el cual representa un conjunto de formaciones paleozoicas de la faja intracordillerana de diversas formaciones mesozoicas.

El Paleozoico tiene 2 pisos, el inferior formado por el grupo Excélsior y el superior por el grupo Mitú, 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 Mitú aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha. Cuerpos intrusivos y capas extorsivas testifican la actividad ígnea de la zona.

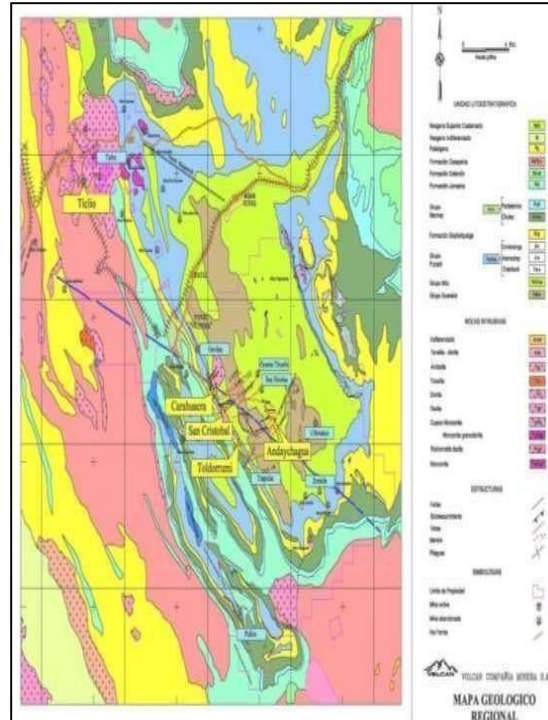


Figura 8: Plano geológico regional (Fuente: Estudio Geo mecánico de la mina Carahuacra, 2003, pág.2

2.2.3.4 Estratigrafía

En la zona Carahuacra, la estratigrafía logra una extensión del Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

En la Tabla 1, se presenta la columna estratigráfica del área de estudio.

ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLOGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICO		CUATERNARIO				Sedimentos no consolidados		
		TERCIARIO		CAPAS ROJAS CASAPALCA		Disconformidad erosional Conglomerados calcareos Calizas Luneta Calcareas Calizas arcillosas arenosas	Intrusivos intermedios Cuatro-Orientes Intrusivo Acido tipo Chumpe Granitos	
MESOZOICO		CRETACEO	INFERIOR	COMANCHEADO	FORMACION JUMASHA	Calizas masivas y Dol. poco fossiliferas Basalto	Cuadros de Basalto a traves de todas las Formaciones	Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Co.
			NEOCOMICO (SOCRET.)		GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC	Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert Calizas y Dolomias		
		JURASICO	INFERIOR O EGJURASICO (LIAS)	NEOCOMIANO TOARCIANO PLEIENSACHIANO HETTANGIANO	FORMACION CONDORSINGA FORMACION ARAMACHAY	Calizas gris claras, y dol blancas amarillentas Basalto Montero Bx Calcareas Chert, Dol Calizas con Yeso	Diorita + Gabro	Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, con sobretimpesición de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos.
			SUPERIOR O MESOTRIASICO	RETTANO NORIANO	FORMACION CHAMBARA	Calizas y Dolomias		
PALEOZOICO		PERMICO	ERTRIOSICO SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU	Disconformidad erosional Lentes de areniscas y conglomerados rojicos	Derrames de Dacita y Andesita Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuadro-Monoclinica	Mineralización estratoligada de Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mn.
			MEDIO: 289 y 246	GUADALUPE LEONARDO		Volcánicos Volcanobásicos morados		Mineralización Hidrotermal en Venas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb.
		DEVONICO	SUPERIOR	CHAUTAUQUAN	GRUPO EXCELSIOR	Disconformidad erosional Filitas Marmoles fosiliferos		
MEDIO	ERIAN (HAMILTON) ULSTER			Cuarzosas	Volcanicos verdes	Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe		

Figura 9: Estratigrafía del área (Fuente: Estudio Geo mecánico de la mina

Carahuacra, 2003, pág. 3

2.2.3.5 Principales Unidades Litológicas

Grupo Excelsior (Silúrico – Devónico)

Las rocas más antiguas que afloran en el área son las del grupo Excelsior y conforman el núcleo del anticlinal Chumpe.

Harrison, determinó una potencia de 1800 m para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Este grupo está constituido por filitas (lutitas metamorfoseadas) con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos marmolizados con fósiles (crinoideos); todo el conjunto está intensamente plegado, con la formación de una esquistosidad, su paralela a los planos axiales de los pliegues. La mineralización se reconoce específicamente en filones, también de la mencionada por Kobe, en 02 tipos: un tipo manto en la mina Ultimátum de Fe, Zn, Pb, Ag; y estrato-ligada localizada en el anticlinal Ultimátum, de As, Co, Ni, , (Sb), Fe, S.

Grupo Mitú (Pérmico)

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

a) Grupo Pucará (Triásico Superior - Liásico)

Un conjunto de facies calcáreas denominado grupo Pucará reposa en marcada discordancia sobre el grupo Mitú; este conjunto está dividido en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga (en el área solo existiría la parte superior del Aramachay y Condorsinga); estando íntimamente relacionado a la mineralización económica del área, constituida principalmente por esfalerita, hemetita, minerales de plata, carbonatos como siderita, rodocrosita, etc.

b) Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárida mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. En la segunda fase existe cambio brusco con relación a la primera, impregnándose areniscas medianas a gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles en la actualidad silicificados, en medio húmedo y una importante labor ígnea notándose por sills de basalto. En San Cristóbal, su potencia alcanza 100 m. El grupo

Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico inferior-Valanginiano-Aptiano.

2.2.3.6 Intrusivos

A lo largo del anticlinal de Yauli se observan pequeños Stocks de monzonita cuarcífera, dique de andesita y diaclasa. En Carahuacra un dique de diabasa corta la apófisis norte del intrusivo Carahuacra y reconocido en el túnel Victoria sin ningún cambio. (Celada, 1986).

a) Intrusivo Carahuacra

Se observa al Este de la mina instruyendo formaciones premezozoicas. Es alargado en una dirección N-S y es de 1,100 m de longitud por 850 m de ancho, con una apófisis de 550 m de longitud en su lado norte. Tiene textura porfirítica y consiste predominantemente de feldespatos, menor proporción de biotita y cuarzo en una matriz afanítica, identificado como cuarzo monzonita. (Celada, 1986).

b) Estructuras geológicas

a. Plegamiento

La estructura regional preponderante es el domo de Yauli, que tiene una extensión longitudinal en aprox. 35 kilómetros, desde la Mina San Cristóbal hasta el Centro Minero de Morococha, y en forma transversalmente en 10

kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O; es asimétrico, su flanco Este buza entre 30° y 40°; mientras su flanco Oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O. El anticlinal Chumpe está en el extremo Oeste, su flanco occidental tiene un buzamiento de 55° al SO, mientras que el oriental buza 30° al NE; el núcleo de este anticlinal está formado por rocas del grupo Excelsior; el flanco occidental está compuesto por calizas Pucará y areniscas Goyllarisquizga; en el flanco oriental se extienden las rocas del grupo Mitú por varios kilómetros y sobre estas las del grupo Pucará. Es considerado como el extremo suroeste del domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar. (Celada, 1986).

Dos periodos principales de tectónica son reconocidos en la región; en primer lugar el Pérmico inferior, llamado

Tectónica

Tardihercínica, que se originó dando lugar a un fuerte plegamiento de filitas Excélsior; el segundo llamado Tectónica Andina, que intensificó mayormente las rocas mesozoicas, empezó en la última etapa del Cretácico y se prolongó en el Terciario, existiendo tres etapas en la Cordillera de los Andes Peruanos; a fines del Cretácico, el "Incaico" a principios del Terciario, y a este le siguió un período de actividad ígnea; y finalmente el "Quechua" a mediados del Terciario. (Celada, 1986).

b. Fracturamiento

El fracturamiento en mina Carahuacra, parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del domo de Yauli. Probablemente a fines del Cretácico, plegamiento "Peruano" efectos de unión de dirección NE - SO empezaron a formar el anticlinal Chumpe, en razón a que las fuerzas de unión se incrementaban en intensidad en el plegamiento "Incaico", los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes, dando lugar a la formación de repetidas fallas inversas acompañadas de

pliegues de arrastre (Los sobre escurrimientos y fallas inversas encontrados al oeste de San Cristóbal, en las calizas del grupo Pucará, pueden pertenecer a este sistema. Fuerzas tensionales al cesar momentáneamente las compresivas dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenadas por los diques de alaskita que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal. (Sandoval, 2014).

Al seguir actuando las fuerzas de compresión dieron lugar a la formación de fracturas de cizalla de rumbo E - O; la veta principal San Cristóbal y la veta Virginia al pasar a las filitas, veta Prosperidad. (Sandoval, 2014).

Durante el Plegamiento "Quechua", el anticlinal Chumpe siguió siendo afectado por los efectos de la unión o compresión, conjuntamente con la intrusión de los stocks de monzonita cuarcífera, conllevaron a un levantamiento y arqueamiento del anticlinal, por lo que se produjeron fracturas de tensión; Virginia, San Cristóbal, Catalinam Ferramina, Polonia, en el área volcánica. (Sandoval, 2014).

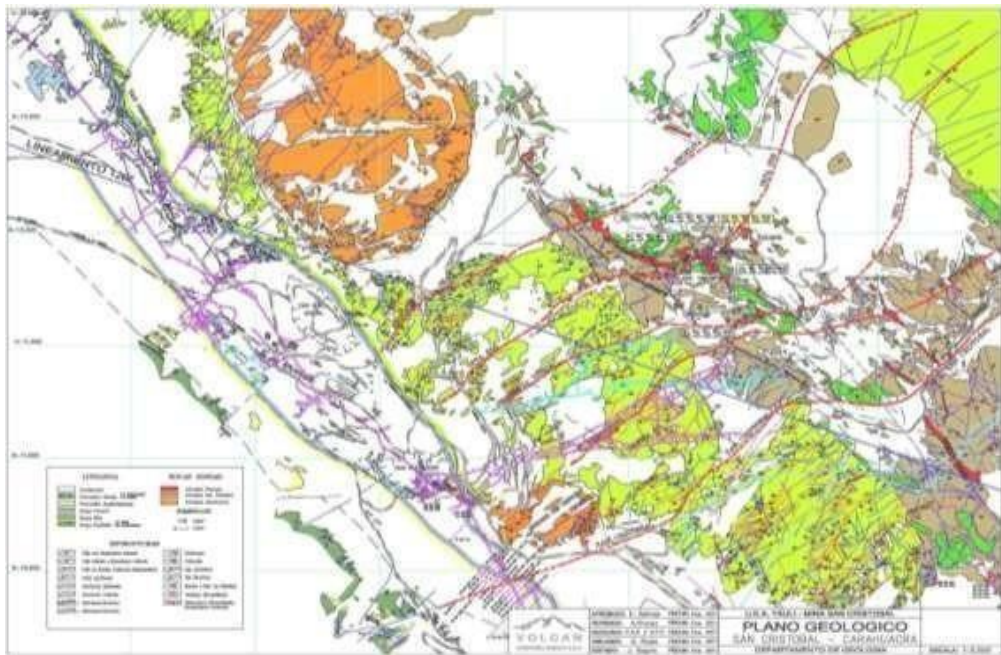


Figura 10: Mapa Geológico (Fuente: Estudio Geo mecánico de la mina Carahuacra, 2013, pág. 32)

2.2.3.7 Ocurrencia de la mineralización

La basta complejidad geológica del área ha dado como consecuencia la formación de una amplia gama de depósitos minerales que se logran extender mayormente en esta (Figura 6).

Después de la última etapa del plegamiento "Quechua" y aparición de fracturas de tensión, seguido de la era de mineralización; compuestos de residuos mineralizantes originadas muy probablemente de las reservas de monzonita cuarcífera, se expandieron en el área, originando la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo, es necesario aclarar que en los últimos años se trata de explicar el origen de los mantos como

exhalativosedimentario (mineralización Jurásica), que se emplazaría en forma conjunta a la deposición de las calizas, mediante el aporte de mineral a partir de grifones; y el de los cuerpos como un sistema mixto (mineralización Jurásica-Terciaria). (Guillen, 2013).

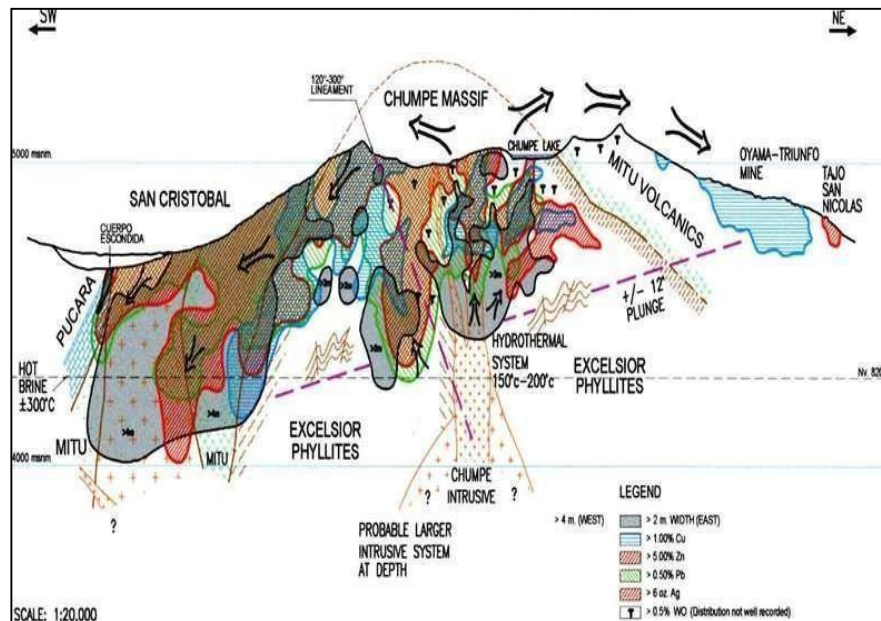


Figura 11: Modelo de mineralización de la veta San Cristóbal en el domo de Yauli (Fuente: Estudio Geo mecánico de la mina Carahuacra, 2013 pág.32)

a) Vetos

Las vetas también denominado filones se formaron como consecuencia del relleno de fracturas (Figura 6), logrando ser mejor mineralizadas aquellas que se formaron en una extensión de fracturas de tensión; las diversas fallas de cizalla por contener gran cantidad de panizo no fueron convenientemente mineralizadas. Estos se encuentran ubicadas en toda el área minera, con su mayor auge o extensión en los volcánicos del conjunto Mitú. (Guillen, 2013).

b) Mantos

Los mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal (Figura 6), en las calizas Pucará; desde el contacto con los volcánicos Mitú, se logran localizar exactamente con la estratificación. (Guillen, 2013).

c) Cuerpos

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

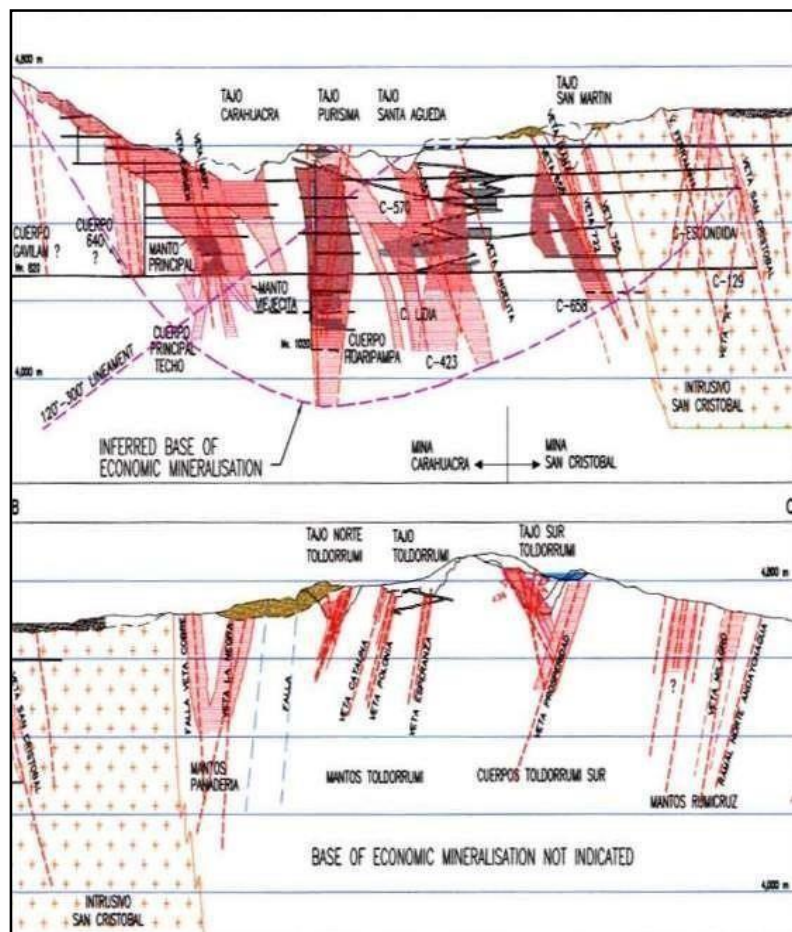


Figura 12: Modelo de mineralización de la veta Carahuacra en el domo de Yauli (Fuente: Estudio Geo mecánico de la mina Carahuacra,

2.2.3.8 *Explotación subterránea*

La Unidad de Producción Carahuacra, se dedica a la extracción de minerales tales como plata, plomo y zinc, los cuales se encuentran asociados a gangas de caliza y silicatos con presencia de pirita. La mineralización se debe al relleno hidrotermal y al metasomatismo de contacto entre intrusitos y calizas, donde ejercen dominio las rocas metamórficas. (Sandoval, 2014).

La manera como se realiza las labores de explotación es por labores subterráneas y las etapas o ciclos de minado son en forma mecánica. El nivel potencial del yacimiento es entre 0.8 m y 10 m. El buzamiento es sub vertical (entre 50° y 75°) y vertical; mejorando el minado subterráneo por los métodos de Corte y Relleno

Ascendente, llamado también “Over Cut and Fill” y “Bench

and

Fill”. (15)

El minado es en forma de tajadas o cortes por la variante en “Breasting” (Figura 9), se perfora en horizontal teniendo como piso el relleno del nivel inferior. Se prepara una rampa principal de +/-12 % de gradiente en la caja piso o techo de la estructura para facilitar los accesos del equipo de perforación y limpieza. Luego de interceptar la estructura y de acuerdo a la calidad geo mecánica del terreno involucrado, se realiza la explotación con perforación en horizontal (con cara libre hacia abajo). El mineral roto es cargado y

extraído según el avance. Este método es empleado en vetas inclinadas y que requiera un minado selectivo permitiendo la flexibilidad de la operación, donde el mineral roto que tenga un bajo valor sea dejado en el tajo, entre otras consideraciones. La explotación es lenta, abastece regular cantidad de mineral, pero no permite la acumulación o almacenamiento. Cuando el total del corte ha sido disparado, el volumen extraído es rellenado para el soporte de las cajas utilizando un material estéril (relleno detrítico) o utilizando un relleno hidráulico o de ambas partes, entregando un modelo para el siguiente corte. Los accesos para la estructura mineralizada son en negativo para poder batir mínimamente tres cortes por tajo. (Sandoval, 2014).

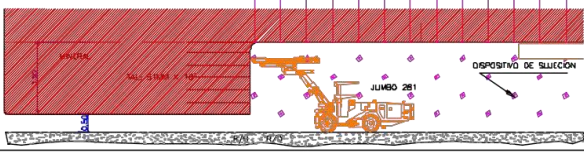
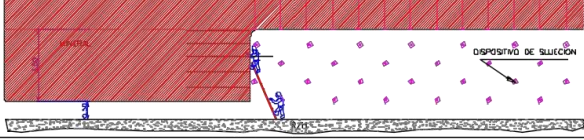
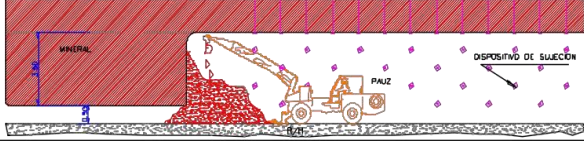
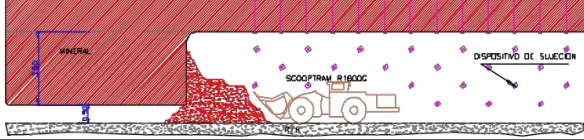
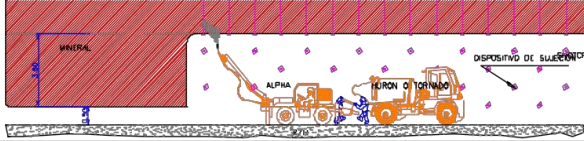
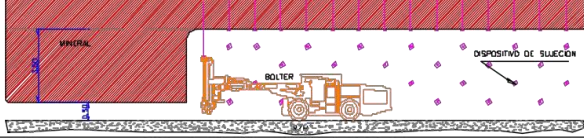
<p>1. PERFORACION</p> 	<p>PERFORACION (4m * 4m)</p> <p>N° Tala/perf : 26 Tiempo Perf. : 1.3 hr Rendimiento : 50 m/hr Diámetro de broca: 45 mm Tipo de explosivo : Semexa 80% 1-1/8" 6"</p>
<p>2. VOLADURA</p> 	<p>VOLADURA (4m * 4m)</p> <p>N° Tala/disp : 15 Tiempo Carga : 0.6 hr Factor carga : 0.18 kg/m³</p>
<p>3. DESATADO</p> 	<p>DESATE (4m * 4m)</p> <p>Tiempo Perfo. : 0.78 hr</p>
<p>4. LIMPIEZA</p> 	<p>LIMPIEZA</p> <p>Capacidad Eq : 6 yd³ Toneladas/diarrera : 150 tn Rendimiento : 55 Ton/hr</p>
<p>5. SHOTCRETEO</p> 	<p>SOSTENIMIENTO SHOTCRETE</p> <p>Rendimiento Instalacion : 5 m³/hr Ratio de produccion : 60 lms/m³ RC de Shotcrete : 350 kg/cm²</p>
<p>6. SOSTENIMIENTO</p> 	<p>SOSTENIMIENTO CON PERNOS</p> <p>Rendimiento Instalacion : 18 Un/hr Ratio de produccion : 26 lms/un Tipo de perno : Splitset o Hibrabolt Tipo Split set : 1 tn/pie Tipo Hydrabolt : 12 Un/un Tipo Hibrabolt : 2.5 tn/pie Longitud de perno : 1-1/2x7 pies</p>

Figura 14: Método de explotación corte y relleno ascendente tipo Breasting

(Fuente: Plan de minado de la mina Carahuacra, 2015 pág. 104)

Otro método empleado es el método Bench and Fill o llamado también Taladros Largos, tiene la principal característica de tener gran productividad porque la preparación se hace mayormente en el interior del mineral, el minado se realiza en los niveles para tener un parámetro de los intervalos verticales, los subniveles son realizados desde los niveles principales, el mineral es derribado con taladros largos desde los subniveles. (Sandoval, 2014).

La extracción de mineral del tajo se logra realizar hacia echaderos que están localizados junto a la rampa principal y utilizando Scoops de 4.1 yd³ y 6.0 yd³, las cámaras del mineral se logran encontrar en niveles inferiores y el traslado hacia el exterior es por medio de volquetes de 20 a 30 TM o por locomotoras y carritos mineros en el Nv.820. La distancia requerida de cada tajo es de 300 m y una longitud de nivel a nivel de 50 m. Los puntos de accesos tienen una longitud de 35 m a 50 m, con una gradiente de – 15 % a +15 %. El proceso de perforación de estos tajos es con Simba, malla de 1.5 a 1.8 m y brocas de 2 1/2” de diámetro. (Sandoval, 2014).

El nivel de producción actual de la mina es de 4 500 TMS de mineral por día, empleándose para la extracción subterránea scoops y dumpers; para el acarreo y transporte se utilizan volquetes. El cascajo o basura extraído de interior mina se acopia en los botaderos de cascajo y como relleno detrítico en los tajos mineros explotados. Una vez extraído el mineral, este es transportado hasta la Planta concentradora de Victoria y a la Planta concentradora Mahr

Túnel mediante volquetes. (Sandoval, 2014).

2.2.3.9 Ciclo de minado

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

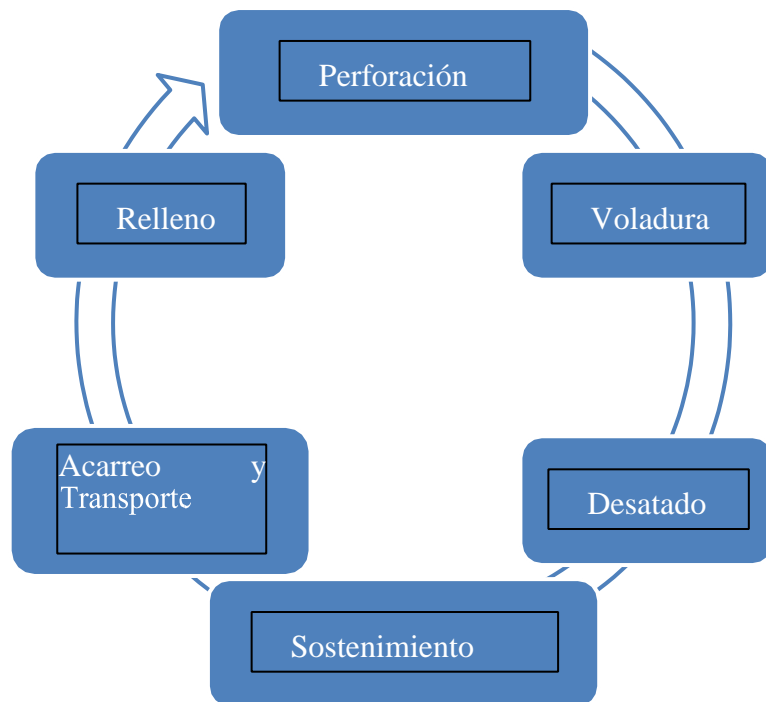


Figura 16: Ciclo de minado en la mina Carahuacra (Fuente:

Elaboración propia)

a) Perforación

Para el proceso perforación se realiza con Jumbos Hidráulicos en casi toda la extensión de la mina y Simbas en Tajos de Taladros Largos, La perforación puede realizarse en forma vertical y horizontal. Ambos tipos de perforación se realizan en los tajos de Taladros Largos y Breasting respectivamente, por lo que en labores de avance se perfora conforme a la pendiente de la labor, el ratio de perforación se halla en 39 mp/hr. (Examine, 2000).

b) Voladura

Para la voladura se tiene una malla que permite tener una secuencia de salida de los taladros, a fin de generar primero la cara libre. La cantidad de explosivo a

usar es de aproximadamente 40 kg para frentes de sección de 3,5 x 4,0, de acuerdo a las características geomecánicas. El factor de potencia (kg de explosivos/ TM rotas) en voladura de frentes es de 0,45 y en Tajos Breasting de 0,22. (Examine, 2000)

Los taladros que fueron perforados en frentes y tajos se cargan con dinamita, según el orden de salida y con iniciador con retardos en la detonación. Para el cargado de los taladros se emplea atacadores de madera; primeramente, se procede con la realización del cebo, seguidamente se carga los respectivos taladros, para posteriormente unirlos mediante el cordón detonante y luego disparar. Los horarios de disparo son 7:00 horas (guardia A), 19:00 horas (guardia B). (Examine, 2000).

c) Desatado

Después de transcurrir el tiempo suficiente de pos voladura, y regada la carga disparada, se realiza el desatado de rocas en el techo y parte de los hastiales si fuese necesario, para lo cual se emplean barretillas de 6, 8, 10 y 12 pies; así mismo, después de la limpieza se realiza el desatado minucioso y de ser necesario se utiliza equipos Scaler, para proporcionar una labor segura para el personal y equipos. (Examine, 2000)

d) Sostenimiento

Existen diferentes tipos de elementos de sostenimiento, el uso de uno u otro tipo depende de la evaluación geomecánica, el más utilizado es el lanzado de concreto y colocación de pernos Hydrabolt; para lo cual, se cuenta con seis equipos empernadores (Boltec y Bolter). Para la realización del armado de cimbras o

cuadros, es diferente el tipo de sostenimiento, esta técnica es poco usada en zonas de una mayor inestabilidad. (Examine, 2000)

e) Acarreo y transporte

Para el acarreo dentro de los tajos se cuenta con Cargadores de bajo perfil (“Scoops” diesel de 4.1 a 6 yd³) que trasladan el mineral y el desmonte de mina hasta los echaderos. Los echaderos llevan mediante la gravedad el mineral hacia las cámaras donde se acumula el mineral y posteriormente se descarga en los volquetes de 24 a 30 TM de capacidad el cual es conducido a una cancha en superficie. Seguidamente desde esta cancha el mineral es conducido hasta la planta concentradora. El material estéril extraído de la mina es depositado en botaderos de desmonte ubicados en la periferia del Tajo abierto de Carahuacra Norte. (Examine, 2000)

f) Relleno

Detrítico: el material utilizado para este tipo de relleno es obtenido de las labores de avance y se utilizan cargadores de bajo perfil (Scoops) para el traslado del material hacia los tajos a rellenar, se utiliza en mayor proporción en Tajos de Taladros Largos. (Examine, 2000).

2.2.3.10 Sostenimiento y estabilización del macizo rocoso

En la Mina Sarahuacra, el proceso de sostenimiento utiliza elementos como son shotcrete, pernos y malla; en cada una de sus zonas según los requerimientos de cada labor por parte del departamento de geo mecánica. Los equipos especializados en

sostenimiento son principalmente Jumbos empernadores, Robots lanzadores de Shotcrete y Tornados; dichos equipos satisfacen de shotcrete 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 tornados y 03 Empernadores).

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal mostrar al detalle 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 éste último, así como los costos involucrados y las sugerencias respectivas a cada proceso en base al análisis. (Examine, 2000)

El trabajo de investigación presenta dos partes; primeramente se realiza el sostenimiento con shotcrete, explicando detenidamente las tres etapas que conlleva este elemento los cuales son: Producción (Planta BETONMAC), Transporte (Tornados) y Lanzado (Robots), las 02 últimas etapas ejecutadas por la Empresa ROBOCON; la segunda parte del presente trabajo de investigación, desarrolla el sostenimiento con pernos y mallas, describiendo también los insumos, subprocesos y equipos utilizados

(emperradores). (Examine, 2000).

2.2.4 Concreto Lanzado (Shotcrete)

El concreto lanzado o shotcrete es un mortero o concreto transportado por algún medio ya sea vía húmeda o vía seca a través de una manguera y lanzado neumáticamente con una presión aproximada 8 bares contra una superficie, la forma particular de aplicación del concreto permite que este se adhiera a la superficie compactándose al mismo tiempo por la fuerza del impacto; otra de las particularidades del concreto lanzado es que el tamaño máximo del agregado es de 3/8 de pulgada. (Melbye, 2001).

Al momento del impacto una parte de este material rebota a esto se le denomina “rebote” que no debe exceder de un 15%; este es un parámetro que corresponde a un promedio de aplicación sobre cualquier tipo de superficie horizontal o inclinada.

2.2.5 Tecnología de Shotcrete

2.2.5.1 Shotcrete vía seca

El concreto lanzado o shotcrete por el denominado vía seca data de fines de los años 50 en nuestro país, teniendo sus antecedentes en los túneles de los primeros proyectos hidroeléctricos que se ejecutaron expandiéndose luego en las actividades mineras como elemento de sostenimiento en los socavones. (Melbye, 2001).

La tecnología de este tipo ha tenido un desarrollo lento a nivel mundial porque el diseño de la mezcla es netamente artesanal,

es muy variable en su calidad al depender de la voluntad del operador la aplicación del agua y en consecuencia no mantiene constante su relación agua/cemento; el rebote irregular muestra una estructura de gradación discontinua y finalmente la compatibilidad entre los diversos tipos de cemento y los acelerantes ultrarrápidos ha sido un problema de difícil solución. La manera como se hace shotcrete vía seca en nuestro país y a nivel mundial en la actualidad no ha variado mucho en los últimos 20 ó 30 años; sin embargo, si han cambiado las exigencias de los procesos en las minas en cuanto a rapidez, nivel de resistencia estructural, mayores rendimientos para mantener la rentabilidad de la operación, protección ecológica del medio ambiente y seguridad para la persona. (Melbye, 2001).

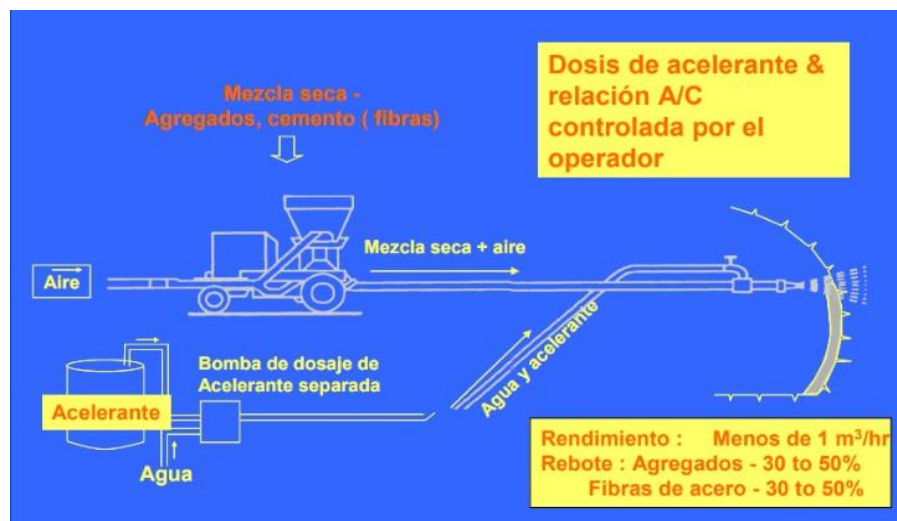


Figura 17: Esquema de liba de shotcrete (vía seca)

2.2.5.2 Shotcrete vía húmeda

Se define al Shotcrete (concreto lanzado) como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. A diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta (vibrado) en una segunda operación, el concreto lanzado se coloca y se compacta al mismo tiempo, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla. La aplicación del shotcrete vía húmeda presenta ventajas tales como: (Melbye, 2001).

- El agua de mezclado es controlada en la etapa inicial (de mezclado).
- Permite reducir el agua de mezclado mediante el adecuado empleo de aditivos plastificantes y súper plastificantes.
- La aplicación de aditivos de inhibición e hidratación permite regular el fraguado inicial, extendiéndolo por la cantidad de horas que sea necesaria, manteniendo la mezcla fresca y con la trabajabilidad requerida.
- Permite la adición de otros componentes que ayudarán a su resistencia a la tracción como las fibras.
- Se logran mezclas más homogéneas.
- Disminuye la pérdida de cemento y la generación de polvo.
- Normalmente produce un rebote controlado, llegando a alcanzar un 5% sin afectar la resistencia final.

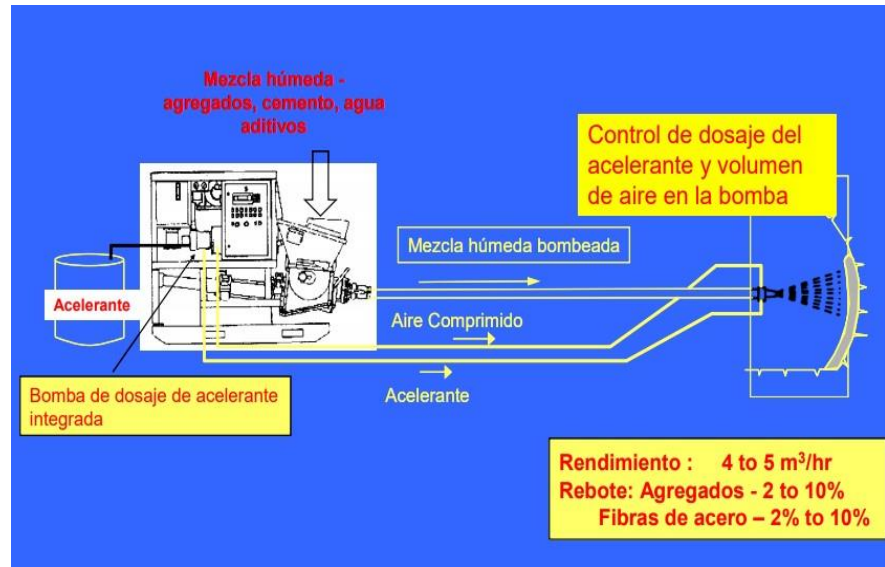


Figura 18: Esquema de equipo lanzador de shotcrete vía húmeda

2.2.5.3 Método rebote

El rebote de las mezclas de shotcrete representa un gran costo agregado que debería mantenerse al mínimo. En pruebas de campo efectuadas en otras unidades, se ha determinado que las mezclas de shotcrete con hidratación controlada exhiben un rebote menor que las otras mezclas. Probablemente esto se deba a que en las primeras no se ha producido una hidratación previa del cemento, y por tanto continuamente se están lanzando mezclas con cemento «fresco». (Hofler, 2004).

Relación agua/cemento

- Habilidad del operador.

Eficiencia de la hidratación • Árido

grueso = mayor rebote.

- Presión del agua.

- Diseño de la boquilla o lancha.
- Habilidad del operador.

Velocidad de Proyección

- Capacidad de presión de aire (de 6 kg/cm²)
- Diseño de boquilla o lancha
- Habilidad del operador.

Densidad de la aplicación

- Especificaciones de obra.
- Modificación del acelerante.

2.2.5.4 Materiales para la mezcla

Los materiales para la mezcla del Shotcrete difieren mucho a los de un concreto tradicional, así podemos separarlos entre los aglomerantes y los agregados. (Hofler, 2004).

Los agregados son materiales unidos por el material cementicio, sus propiedades físicas, químicas y térmicas influyen en el comportamiento del concreto. (Hofler, 2004).

Cemento Pórtland

Producto fabricado de materias primas inertes (rocas calizas, areniscas y arcillas) que contienen calcio, sílice, aluminio y

hierro. Este polvo fino en presencia de agua se endurece y adquiere propiedades resistentes y adherentes.

Es un elemento fundamental en la preparación del concreto lanzado, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad, corrosión del refuerzo y propiedades del concreto endurecido. (Hofler, 2004).

Aditivos

Materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden al concreto y que aun cuando intervienen en un porcentaje mínimo del volumen total de la mezcla, modifican de forma dirigida algunas características de su comportamiento, dando lugar a toda la gama de los concretos modernos y especiales. (Hofler, 2004).

Aditivo acelerante

Son aquellos que aceleran el endurecimiento o desarrollo de la resistencia inicial del concreto lanzado (shotcrete). En la mina se está utilizando aditivos acelerantes de fragua, altas resistencias a edades tempranas. (Hofler, 2004).

Tipos de Aditivos:

- Aditivos acelerantes.
- Aditivos incorporadores de aire.
- Aditivos plastificantes – reductores de agua.

- Aditivos superplastificantes – reductores de agua de alto rango.
- Aditivos impermeabilizantes.
- Aditivos retardantes.
- Aditivos densificadores

Los Agregados

Llamados también áridos y constituyen alrededor del 75% en volumen de una mezcla típica de concreto, se obtendrán por la selección y clasificación de materiales naturales o procedentes de machaqueo o por una mezcla de ambos. Los agregados para el shotcrete, deberá cumplir con los requisitos de las especificaciones Standard.

Retardadores

Su uso es muy limitado y en zonas de climas calurosos su empleo puede evitar la presencia de juntas frías en capas sucesivas, obteniéndose así propiedades impermeables. Generalmente ocurre un retraso en el endurecimiento.

Fibras Metálicas

La adición de fibras a los morteros y hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, acero, etc.). Los más divulgados, conocidos y de mejor rendimiento son las metálicas.

Además, de la ventaja del acero de tener un módulo de elasticidad 10 veces superior al hormigón; están las cualidades de una buena adherencia de éstas a la mezcla, un alto alargamiento de rotura y una gran facilidad de mezclado.

La presencia de fibras metálicas en los morteros y hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas, haciendo que disminuya su fragilidad y aumenta su ductilidad después de la figuración; aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía; disminuye la tendencia a las roturas por retracción; aumenta la resistencia a la aparición y propagación de grietas; aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura; mejora el comportamiento a la flexotracción y aumenta la durabilidad. (Hofler, 2004).

Ventajas Económicas de las Fibras Metálicas

Al sustituir la malla electrosoldada con fibras metálicas se puede evitar una operación peligrosa y difícil. Esto facilita que el concreto reforzado con fibra compita con la malla tradicional. (Sika, 2010).

Las fibras metálicas producen ahorros de tiempo y dinero:

Ahorros en costos directos: El costo directo de las fibras metálicas equivale de un 50 a 60 % del costo directo de la malla electrosoldada (mano de obra más material).

Ahorros en costos indirectos: Se pueden evitar los costos indirectos involucrados en aplicar el shotcrete en dos capas

(requerido cuando se utilizan mallas electro soldadas). También se evitan los retrasos debidos a otras operaciones de construcción de túneles.

Ahorros en el shotcrete utilizado: Las fibras metálicas permiten aplicar el espesor requerido de shotcrete en toda la superficie, independientemente de la irregularidad del sustrato. Se evita también el problema de mayor rebote causado por las mallas electrosoldada, así como también el efecto de «sombras» detrás de las mismas.

Súper Plastificantes (Reductores de agua)

Estos se utilizan con tres propósitos y principalmente en el proceso por vía húmeda:

- Para lograr una mayor resistencia al disminuir la relación agua/cemento.
- Para facilitar la bombeabilidad durante los trabajos.
- Para que el calor de hidratación disminuya y por lo tanto aumento en la resistencia en edades tempranas y distribución uniforme del cemento en el concreto.

2.2.5.5 Diseño de mezcla de shotcrete vía húmeda

Tabla 1

Diseño de shotcrete Vía Húmeda con fibras

INSUMO	CANTIDAD
Cemento Portland 1	400.00 kg
Arena gradación 2	1610.00 kg
Fibra Metálica 65/35	20.00 kg
Fibra Sintética	5.00 kg

Súper - plastificante	5 lt.
Aditivo acelerante de fragua	26 lt.
Agua	185.00 lt
Activador Delvo	1 lt.
Master Glenium	3 kg
Relación agua/cementante	0.45

Fuente: Elaboración propia

2.2.6 Sostenimiento con shotcrete

La fabricación del shotcrete se lleva a cabo en la planta Betonmac; el cual, se encuentra ubicada en el distrito de Huaripampa, el cual se divide a través de Tornados, tanto de Robocon y de Volcan, llevan la mezcla donde se encuentra el trabajo a realizarse, el cual debe ser lanzado en un lapso de 3 horas, pasado más tiempo las propiedades del shotcrete se pierden. Después cuando ya se encuentra en la labor se inserta o se alimenta a un robot lanzador de shotcrete, el cual es el encargado de distribuir el shotcrete de una forma uniforme por las características el cual es: las dimensiones y espesor determinado (en pulgadas). (Melbye, 2001).

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. (Melbye, 2001).

2.2.7 Mapa del proceso

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

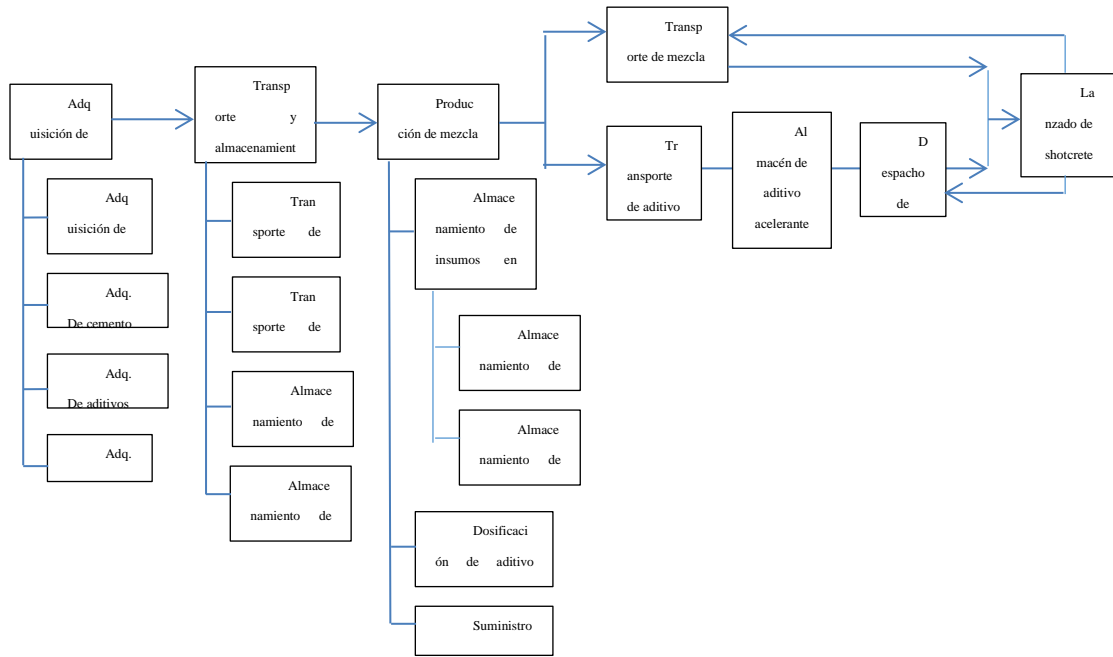


Figura 20: Proceso de producción, transporte y lanzamiento de shotcrete (Fuente: Elaboración propia)

2.2.8 Recomendaciones geomecánicas

De acuerdo a la evaluación geomecánica tomada en dos zonas (Alta y Baja) de la mina, según el índice RMR obtenido y en función del índice de resistencia geológica GSI para labores de explotación y desarrollo (3.5 x 3.5 A 4.5 x 4.5m) tenemos el siguiente sostenimiento: (Melbye, 2001).

- Roca tipo III: Shotcrete 2" + Perno Split Set o Pernos Hydrabolt.
- Roca tipo IV: Shotcrete 2" + Malla + Perno Hydrabolt + Shotcrete 2"
- Roca tipo IV: Shotcrete 3" + Perno Hydrabolt.

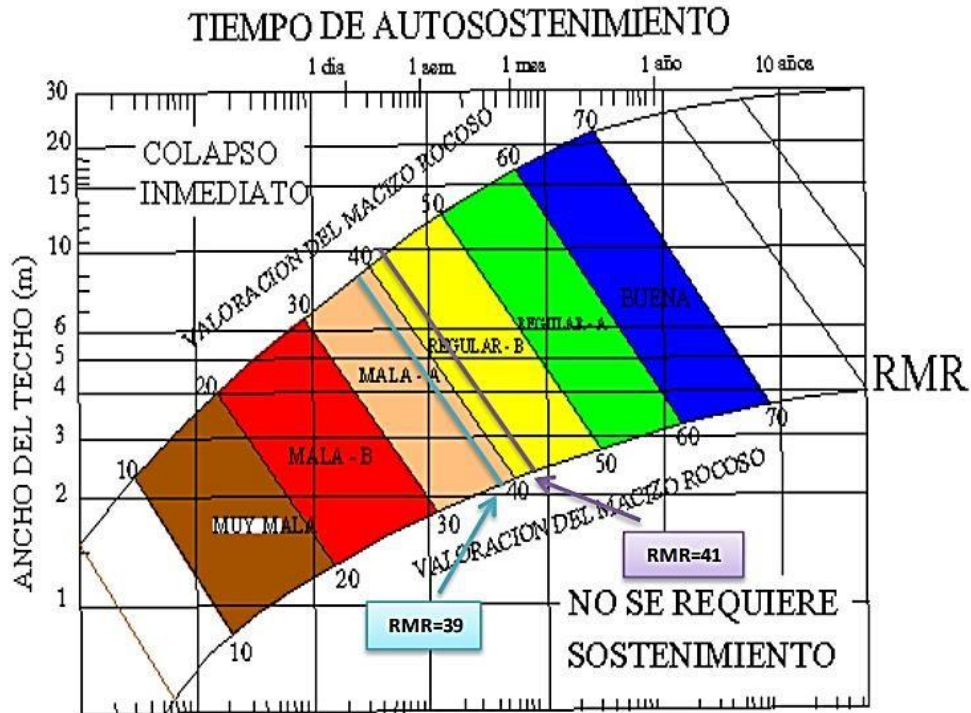


Figura 21: Condiciones geomecánicas de la mina (Fuente: Área de Geomecánica de la Unidad Minera Carahuacra)

2.2.9 Análisis de diseño

En primer lugar, indicar que hasta la actualidad se continúa utilizándose los sistemas de clasificación geomecánica tanto para el diseño de sostenimiento, diseño de excavaciones y otros; debido principalmente a la fácil obtención de datos y costos económicos ya sea de sondeos o de observaciones in situ. Las versiones más utilizadas del sistema RMR son: (Melbye, 2001).

Tabla 2

Criterios de caracterización de principales versiones sistema RMR

Parámetro	RMR		
	1976	1989	2014
Resistencia de la roca intacta (Mpa)	15 - 0	15 - 0	15 - 0
RQD (%)	20 - 3	20 - 3	-
Espaciamiento entre discontinuidades (mm)	30 - 5	20 - 5	-
Densidad de discontinuidades (juntas por metro)	-	-	40 - 0
Condición de discontinuidades	25 - 0	30 - 0	20 - 0
Agua subterránea	10 - 0	15 - 0	15 - 0
Alterabilidad (%)	-	-	10 - 0
Ajustes	F _o (Orientación) F _e	0 - (-12)	0 - (-12) - 0 - (-12)
	(Excavación)	-	1.32 - 1
	F _s (Plastificación)	-	1.3 - 1

Fuente: Área de Geomecánica de la Unidad Minera Carahuacra

- El RMR considera casi todos los parámetros que caracterizan un macizo rocoso y por ello es la clasificación de calidad del macizo rocoso más utilizada internacionalmente. Presenta problemas de sensibilidad a los parámetros individualmente considerados, debido a que éstos están como sumandos; y principalmente no considera el estado tensional del macizo.
- El RMR14 considera la alterabilidad cuantitativa muy difícil de determinar en campo, requiriendo así ensayos de laboratorio, mientras que en versiones anteriores como las del RMR76 y RMR89 la alterabilidad es cualitativa que están dentro de la variable condición de discontinuidades.

- El RMR76 y RMR89 son clasificaciones conservadoras que tienden a sobre diseñar el sostenimiento, debido a que se da demasiado peso al tamaño de bloque en la clasificación, pues se mide dos veces, como RQD y como espaciamiento de juntas. Muy útil para determinar sostenimiento a niveles de pre factibilidad y/o planeamiento de cualquier tipo de proyecto.
- La recomendación de sostenimiento del RMR89 que realiza es para secciones de túneles en forma de herradura de 10 m. de ancho, y excavados con métodos de perforación y voladura, para una presión vertical inferior a 25 MPa y equivalente a una roca supra yacente de 900 m.; excluyendo así para otro tipo de forma de secciones, otra forma de métodos de excavación, etc. Pero se puede utilizar la propuesta matemática y gráfica de Lawson y Bieniawski para poder diseñar el sostenimiento en diferentes rangos de RMR y diferentes formas de secciones, diferentes dimensiones de excavaciones, etc. Y que ésta propuesta está basada en varios casos de estudios de diseño de sostenimiento con métodos empíricos y modelados numéricamente.
- Debido a la utilización de valoraciones promedios en los tres primeros parámetros del sistema de clasificación RMR89 (Resistencia de la compresión uniaxial de la roca intacta, RQD y espaciamiento de discontinuidades), se recomienda utilizar los siguientes ábacos para dar la verdadera valoración de cada uno de estos parámetros, ya que por esta variación a favor o en contra de unos puntos puede indicar una calidad de macizo rocoso errada.

2.2.10 Producción

La Fabricación de Shotcrete es ejecutado en la planta Betonmac, el nivel de producción en dicha planta está automatizada, mediante un PLC (controlador lógico programable), el proceso de la producción se ve en el siguiente gráfico:

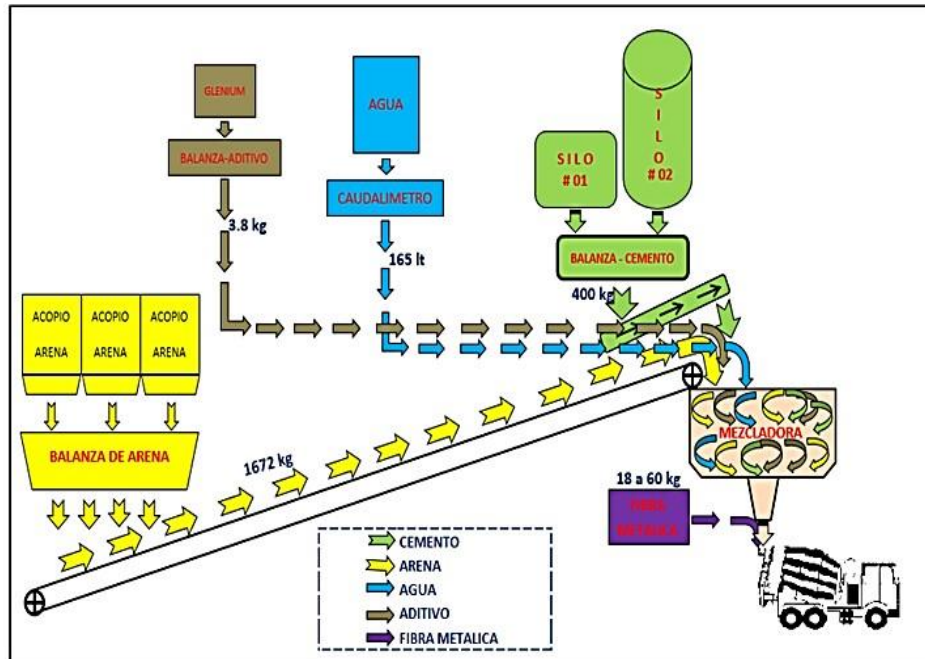



Figura 22: Esquema de proceso de producción de shotcrete (Fuente: ROBOCON

SERVICIOS SAC)

2.2.11 Sipoc – Producción de shotcrete

Tabla 3

SIPOC

SIPOC				 CUSTOMER (USUARIO/CLIENTE)
Proceso	Producción de shotcrete planta BENTOMAC			
Objetivo	Producir shotcrete para sostener labores en mina			
SUPPLIER (PROVEEDORES)	INPUT (ENTRADA)	PROCESS (PROCESO)	OUTPUT (SALIDA)	
Cemento Andino	Cemento Portland Tipo 1		Cubos de: Shotcrete	Equipos tornado

Comunidades Pachachaca	Arena gradación 2	Ingreso al	300 1'' 2'' 3'' Mortero 210 (Para servicios especiales) Shotcrete PUMP (sostenimiento crítico)
Planta de Tratamiento de agua "Velo de novia"	Agua a 20° C y con pH = 7	↓ Selección de	
Sika / Prodimin	Fibra metálica 65/35	Dosificación de	
BASF	Aditivo superplastificante Glenium 1300	↓ insumos	
EPC	Fibra sintética Barchip R50	↓ Producción de ↓ Despacho de	

Fuente: Elaboración propia

2.2.11.1 Insumos y proveedores

a) Agua: Planta de tratamiento de aguas (Velo de 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°. (Bateman, 1951).

Almacenamiento: El agua es bombeada desde la planta "velo de novia" hasta el tanque de agua, donde es termo estabilizada y es bombeada al mezclador. (Bateman, 1951).

b) 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 en cuanto a su resistencia y absorción de energía, lo hacen un ingrediente fundamental y aceptable para la producción de dicho elemento de sostenimiento. (Bateman, 1951).

Almacenamiento: A diario llegan 02 bombonas que tienen una capacidad de 29000 a 30000 kilos, el cual están en el silo 1 y silo 2.

c) Arena: Comunidades (Pachachaca, entre otras)

La arena es traída de las comunidades de Pachacaca (6 comunidades), es arena de gradación 2, según las normas establecidas por ACI 506 - Guide to shotcrete. Pero en algunas ocasiones carecen de estos estándares, muchas veces contienen elementos no deseables como arcillas y limos que son factores que impiden que la mezcla se compacte y logre las propiedades físicas para el requerimiento. (Bates, 1984).

Almacenamiento: La arena es movilizada en camiones de

15m³ y es almacenada en un lugar implementado junto a la planta. A excepción de días donde se almacena en un depósito cerca de oficinas. (Bates, 1984).

d) Fibra metálica: Sika y Prodimin

La fibra metálica es requerida en la mayoría de shotcrete y se ha llegado a estandarizar un tipo de shotcrete especial que necesita 60 kilos, el cual reemplaza al uso de la 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. (Bateman, 1951).

e) Fibra sintética: EPC

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, como se tiene conocimiento que para las diferentes labores es necesario utilizar este tipo de fibra, el cual no se corroe como la fibra metálica y alcanza una mayor durabilidad en el lapso de tiempo.

Almacenamiento: La fibra sintética se acumula en un depósito de materiales el cual se encuentra localizada cerca a la bocamina 300, de ahí de acuerdo el cual se requiera el depósito de fibra de la planta, es trasladada al depósito. (Bates, 1984).

f) Aditivo Plastificante: BASF

El aditivo Plastificante (Glenium 1300) es requerida como un reductor de agua de alto rango, el cual produce concretos de alta resistencia, con gran porcentaje en mantenimiento de la consistencia, no provoca retrasos de fraguado o endurecimiento. Es uno de los más utilizados en el mercado. (Bates, 1984).

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. (Bates, 1984).

2.2.11.2 Identificación de Problemas

- El pozo de agua donde es acumulada el agua tratada de la planta Velo de la novia, no eleva la temperatura del agua hasta la temperatura deseada, porque la resistencia está deteriorada (quemada); el cual, puede ser uno de los factores principales para la calidad del shotcrete y puede estar relacionada en su nivel de rendimiento. (Riedmuller, 2001).
- Según un estudio realizado a la arena que es proveída con las comunidades, esta no cumple con los estándares necesarios para su uso en la mezcla, por lo cual puede ser también un factor determinante en la calidad de la mezcla.
- Merms durante el proceso de mezclado de insumos, realiza una limpieza del mezclador y un adecuado mantenimiento de los

equipos de la planta, al producirse el shotcrete en batches de 0.8 m3. También, durante el despacho de la mezcla a los tornados (descarga por chute) existe una pérdida de la mezcla. (Riedmuller, 2001).

2.2.11.3 Costos

Los costos de producción de shotcrete se evidencian a continuación, el cual es cotizado según el tipo de fibra y la dosificación del mismo.

Tabla 4
Costo de producción de shotcrete Carahuacra 2015

Costo de Producción de shotcrete Carahuacra 2015				
Materiales	Unidad	PU (\$)	Cantidad	Costo \$ /m3
Cemento Andino Tipo I	Kg	0.116	400	46.2
Arena Gradación 2	Kg	0.011	1674	17.9
Aditivo Plastificante (Glenium 1300)	Kg	3.5	3.5	12.3
Fibra Metálica 65/35	Kg	1.351	18	24.3
Aditivo Acelerante Master Rock 160	L	1.321	21	27.8
Agua	L	0	160	0
Total				128.5

Fuente: Área de Costos y Presupuestos Unidad Minera Carahuacra

Tabla 5
Costo de Producción de shotcrete PUMP Carahuacra 2015

Costo de Producción de shotcrete PU 1P Carahuacra 2015				
Materiales	Unidad	PU (\$)	Cantidad	Costo \$ /m3
Cemento Andino Tipo I	Kg	0.116	400	46.2
Arena Gradación 2	Kg	0.011	1674	17.9
Aditivo Plastificante (Glenium 1300)	Kg	3.5	3.5	12.3

Fibra Metálica 65/35	Kg	1.351	60	81.1
Aditivo Acelerante Master Rock 160	L	1.321	21	27.8
Agua	L	0	160	0
Total				185.2

Fuente: Área de Costos y Presupuestos Unidad Minera Carahuacra

Tabla 6
Costo de Producción de shotcrete Carahuacra 2015

Costo de Producción de shotcrete Carahuacra 2015				
Materiales	Unidad	PU (\$)	Cantidad	Costo \$ /m3
Cemento Andino Tipo I	Kg	0.116	400	46.2
Arena Gradación 2	Kg	0.011	1674	17.9
Aditivo Plastificante (Glenium 1300)	Kg	3.5	3.5	12.3
Fibra Barchic 50	Kg	4.69	4	18.8
Aditivo Acelerante Master Rock 160	L	1.321	21	27.8
Agua	L	0	160	0
Total				122.9

Fuente: Área de Costos y Presupuestos Unidad Minera Carahuacra

2.2.11.4 Sugerencias


- Realizar 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.
- Estudiar el contrato con Sika, por un incumplimiento de contrato es posible pagar una penalidad, pero un correcto ahorro en el tiempo usando la fibra Dramix podría compensar la pérdida.

- Evaluar la posible producción de intervalos de 1m³ 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).

2.2.12 Transporte

2.2.12.1 Sipoc

Tabla 7
SIPOC

SIPOC				
Proceso	Transporte de shotcrete 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 BETONMA C	Cubos de: Shotcrete 300 1'', 2'' o 3'' Mortero 210 Shotcrete PUMP	Orden de trabajo ↓ Solicitud de ↓ Recepción de ↓ mezcla en planta ↓ Transporte de ↓ Trasegado al	Shotcrete transportado para trasegar al robot	Robots lanzadores

Fuente: Elaboración propia

2.2.12.2 *Identificación de Problemas*

- Los equipos deben esperar la orden de trabajo, que muchas veces tarda por lo cual ejecutan sus viajes tarde.
- Falta de limpieza de los equipos disminuye la capacidad real de transporte.
- Falta de control de las pérdidas de shotcrete durante el transporte.

2.2.12.3 *Análisis de tiempos*

En seguida, se muestra el correspondiente análisis de los tiempos que registra el tornado T-73 en 03 días (en la guardia día y guardia noche), el cual tuvo como operadores los Sres. Arrieta Amaro (guardia día) y Yuri Quintana (guardia noche).

Guardia día del 05/02 al 07/02

El reparto de guardia se realiza en las oficinas de ROBOCON, el personal ya se encuentra listo con sus EPPS completos, para empezar la guardia. Se realizan coordinaciones fuera de oficina.

En el siguiente cuadro, nos muestra el tiempo operativo, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 44.91% del total de la guardia.

Tabla 8
Tiempo operativo durante una guardia de 12 horas

Actividad Op	Tiempo Prom.	%	% Acum.
Transporte de shotcrete a labor	1.58	13.19%	13.19%
Retorno de equipo vacío a planta	1.42	11.81%	25.00%
Limpieza de equipos	0.33	2.78%	27.78%
Alimentación de mezcla en planta	0.61	5.09%	32.87%
Trasegado de mezcla a robot	1.44	12.04%	44.91%

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro, nos muestra las demoras operativas 1, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 15.97% del total de la guardia.

Tabla 9

Demora operativa durante una guardia de 12 horas

Demora OP 1	Tiempo prom.	Porcentaje	Acumulado
Refrigerio	1.00	8.33%	8.33%
Capacitation	0.75	6.25%	14.58%
Salida de personal	0.17	1.39%	15.97%

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 10

Demoras operativas 2, en una guardia de 12 horas

Demora OP 2	Tiempo prom.	%	Acumulado
Esperando frente de trabajo	2.00	16.67%	16.67%
Esperando orden	1.39	11.57%	28.24%
Instalación agua/energía y aire	0.56	4.63%	32.87%
Abastecimiento de combustible	0.42	3.47%	36.34%

Fuente: Elaboración propia

Distribución de tiempos

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

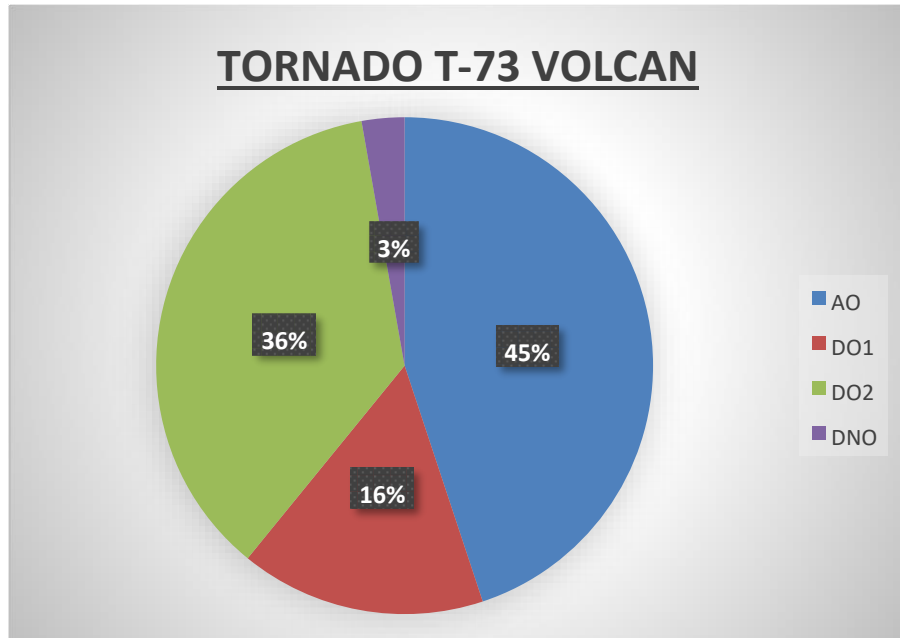


Gráfico 2: Tornado T - 73 Volcan (Fuente: Elaboración propia)

A partir de las demoras operativas construimos el diagrama de Pareto.

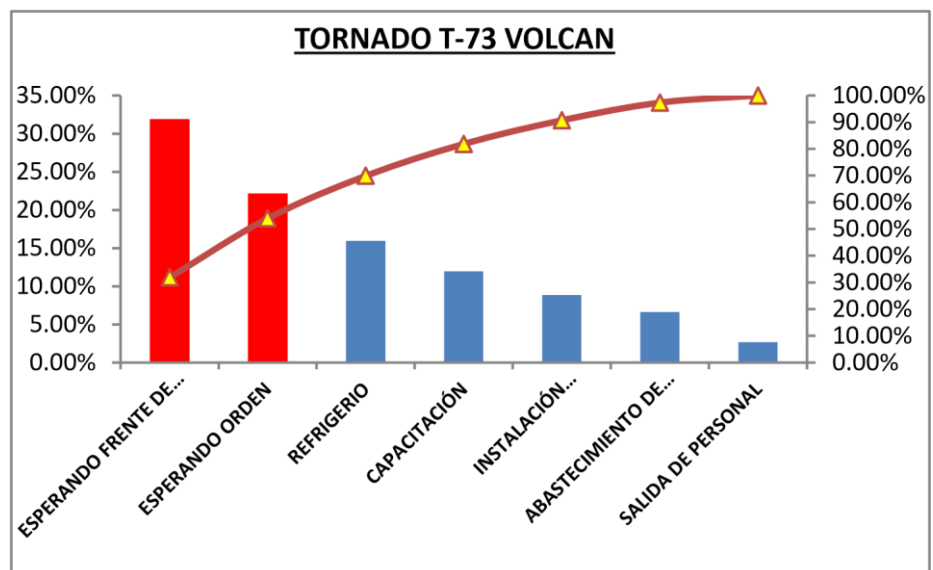


Gráfico 3: Diagrama de barras de Tornado T - 73 Volcan (Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico de Pareto, se puede notar que las demoras críticas son el tiempo

De espera del frente de trabajo debido a que se distorsionan las etapas de la etapa de minado, espera de orden de trabajo, ya que la comunicación entre los jefes de guardia y la contrata no es eficiente y refrigerio, que se puede considerar debido al traslado a un nivel diferente al de trabajo, lo que le tomaría un tiempo el ir hasta el comedor.

Guardia noche del 05/02 al 07/02

El reparto de guardia se realiza en las oficinas de ROBOCON, el personal ya se encuentra listo con sus EPPS completos, para empezar la guardia. Se realizan coordinaciones fuera de oficina.

En el siguiente cuadro, el cual muestra el tiempo operativo, en el tiempo de la guardia de 12 horas. Representa un 48.15% del total de la guardia.

Tabla 11

Tiempo operativo guardia noche 05/02 al 07/02

Fuente: Elaboración propia

El siguiente cuadro, nos muestra las demoras operativas 1, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 12.74% del total de la guardia.

Tabla 12 *Tiempo operativo durante la guardia de 12 horas*

Actividad operativa	tiempo	%	% Acum.
Transporte de shotcrete a labor	1.82	15.19%	15.19%
Retorno de equipo vacío a planta	1.50	12.50%	27.69%
Desate de rocas	0.06	0.46%	28.15%
Limpieza de equipos	1.00	8.33%	36.48%
Alimentación de mezcla en planta	0.34	2.87%	39.35%
Trasegado de mezcla a robot	1.06	8.80%	48.15%
Demora operativa 1	Tiempo Prom.	%	% Acum.
Chequeo de máquina	0.94	7.87%	7.87%
Reparto de guardia	0.47	3.94%	11.81%
Salida de personal	0.11	0.93%	12.74%

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro, nos muestra las demoras operativas 2, durante toda la guardia de 12 horas. Representa un 31.71% del total de la guardia.

Tabla 12
Demoras operativas 2, durante la guardia de 12 horas

Demora Op 2	Tiempo Prom.	%	Acumulado
Esperando orden	1.89	15.74%	15.74%
Esperando frente de trabajo	1.08	9.03%	24.77%
Espera de atención de shotcrete	0.53	4.40%	29.17%
Traslado de equipo	0.22	1.85%	31.02%
Abastecimiento de combustible	0.08	0.69%	31.71%

Fuente: Elaboración propia

Distribución de tiempos

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

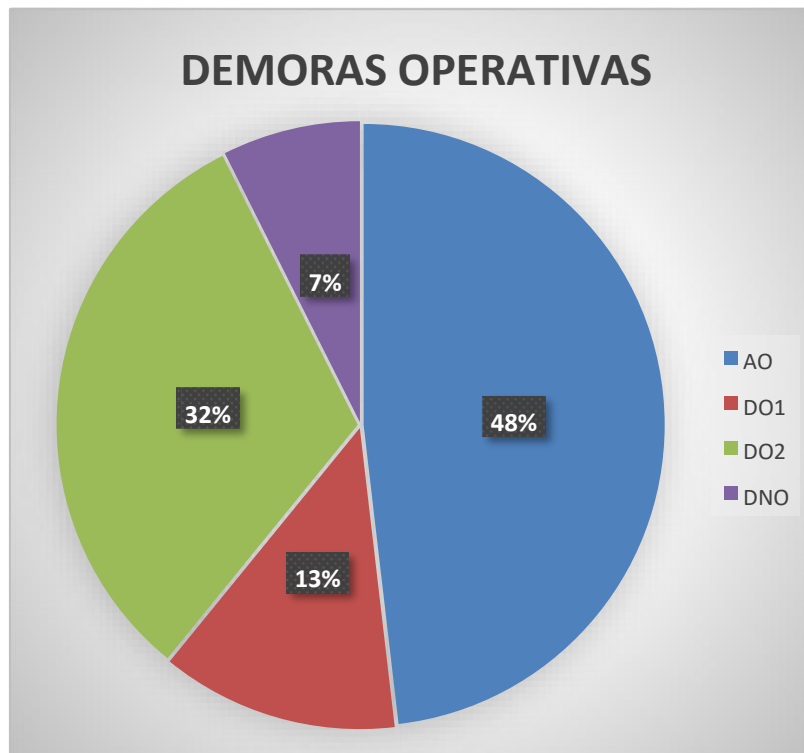


Gráfico 4: Distribución de actividades y demoras operativas (Fuente:

Elaboración propia)

A partir de las demoras operativas construimos el diagrama de Pareto.

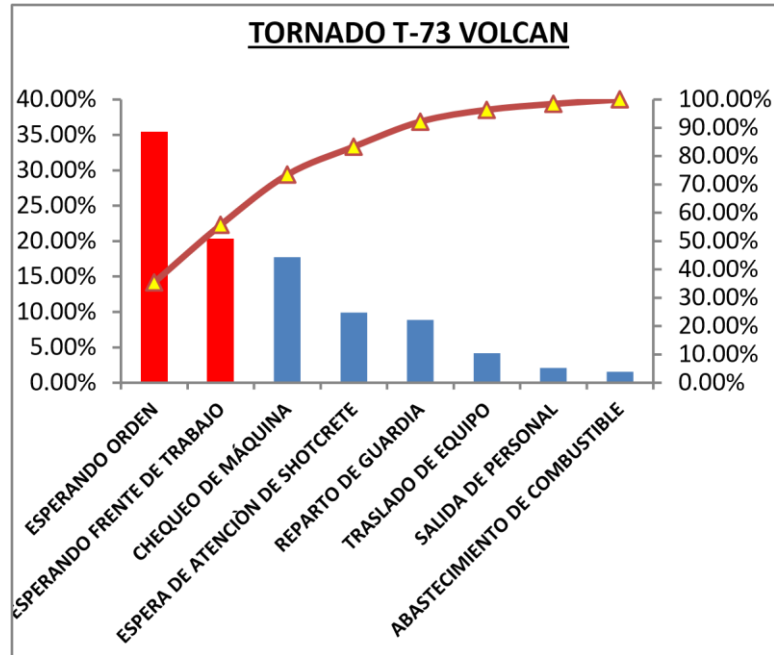


Gráfico 5: Diagrama de Pareto- Distribución de actividades y

Del gráfico de Pareto, se observa que las demoras críticas demoras operativas (Fuente: Elaboración propia)

son esperas de frente de trabajo debido a que se desfazan las etapas del ciclo de minado, espera de orden de trabajo, ya que la comunicación entre los jefes de guardia y la contrata no es eficiente; Revisión de la máquina y espera de atención de shotcrete, posiblemente por diversos problemas en la planta.

2.2.12.4 Costos

Los diversos costos de lanzado son establecidos por la propiedad del equipo, en el cuadro siguiente firmado por los representantes de las empresas ROBOCON y VOLCAN miremos

los costos:

Tabla 13 Costos de lanzado de shotcrete por empresa
COMBINACION DE EQUIPOS

		<u>P. U. FINAL</u>
MIXER	ROBOT	US\$/M3

ROBOCON	ROBOCON	\$ 130.00
CIA VOLCAN	ROBOCON	\$ 123.22
ROBOCON	CIA VOLCAN	\$ 111.91
CIA VOLCAN	CIA VOLCAN	\$ 101.74
TRASLADO ROBOCON		\$ 67.83
TRASLADO CIA VOLCAN		\$ 58.78
	LANZADO ROBOCON	\$ 62.17
	LANZADO CIA VOLCAN	\$ 42.96

Fuente: Elaboración propia

2.2.12.5 Sugerencias

- Capacitación en mantenimiento básico y limpieza a los operadores y ayudantes, para que al culminar la guardia dejen al equipo en buenas condiciones.
- Mejorar las diversas vías de comunicación de las labores, planta BETONMAC y ROBOCON.

2.2.13 Lanzado

2.2.13.1 SIPOC

El SIPOC permite la observación al proceso de estudio y atacar los puntos críticos para la respectiva mejora.

Tabla 2 Diagrama de caracterización del lanzado de shotcrete Sipoc

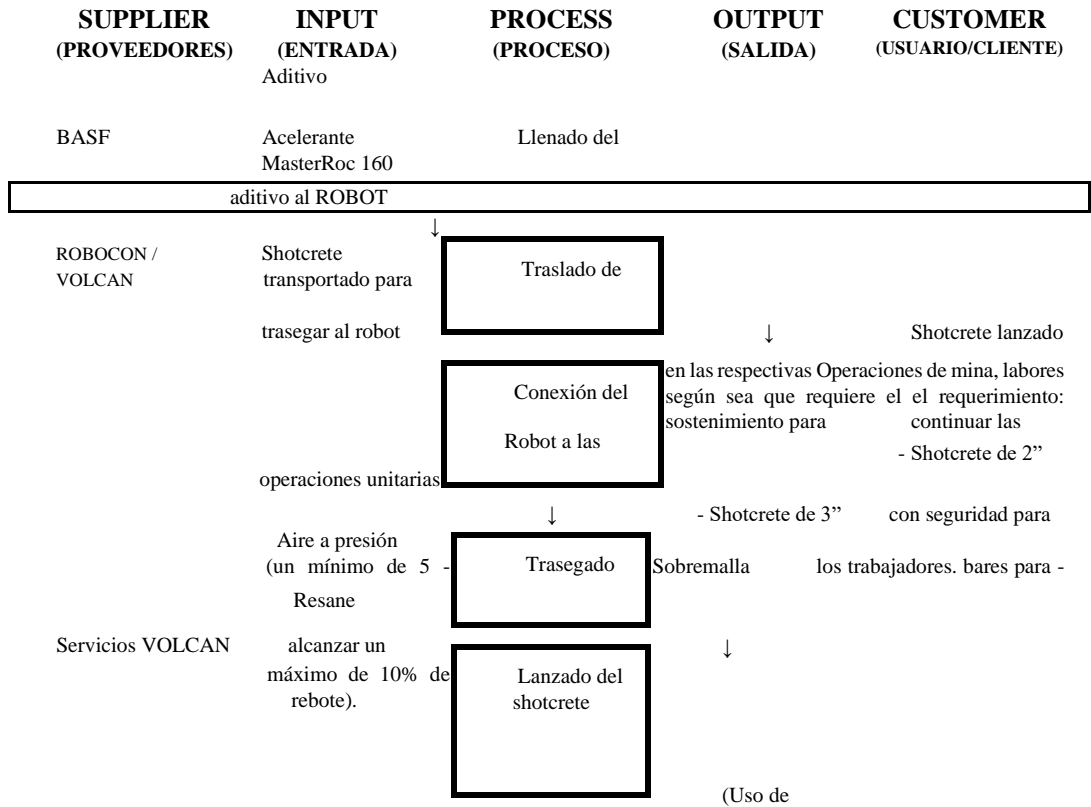
Fuente: Propia

Tabla 14

Diagrama de caracterización del lanzado de shotcrete Sipoc

Proceso	Lanzado de Shotcrete en labores
Objetivo	Identificar las mejoras que se pueden realizar en el proceso de lanzado de shotcrete en las labores mineras.





Fuente: Elaboración propia

2.2.13.2 Identificación de problemas

El principal problema del lanzado, que se ha identificado, es la baja utilización del ROBOT, ya que esto ocasiona:

- Retraso en las labores, por consiguiente, no se cumplen las metas de producción.
- Pobre utilización de los robots, por lo cual puede generarse un gasto adicional.

2.2.13.3 *Identificación de causas*

Las causas de este problema pueden identificarse como:

- Falta de aditivo en las cámaras, esquemáticamente por falta de supervisión del mismo por la empresa contratista.
- Falta de presión de aire debido a fugas en el proceso de distribución a las labores, lo que ocasiona un mayor rebote de mezcla.
- Mala redistribución de los robots y comunicación entre operadores, supervisores y jefes de guardia.
- Falta de mantenimiento preventivo y predictivo de los robots

2.2.13.4 *Análisis de tiempos*

Para una correcta identificación de como los problemas afectan a la productividad de los equipos se hizo el estudio de tiempos correspondiente a los equipos, un equipo en el turno día, para que sea más representativa la muestra.

a) Robot R-31 (turno día)

Las diversas actividades operacionales, demoras operativas y no operativas que se tuvo como parámetros de medición a lo largo de la guardia de día 01 de febrero se ven en los cuadros siguientes, el horario de trabajo de la guardia es de 7 a.m. hasta las 7 p.m., haciendo un total de 12 horas.

En la TABLA 15, se muestra tan solo una actividad operativa correspondiente al Lanzado de Shotcrete con 102 minutos.

Tabla 15
Tiempo efectivo de lanzado de shotcrete

	Minutos	Horas	Porcentaje
Lanzado shotcrete	102	1.70	14.17%

Actividades operativas

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 tenemos todas las actividades de las demoras operativas con las horas y respectivos porcentajes.

Tabla 16

Actividades de las demoras operativas

Actividad	Minutos	Horas	%
Transporte de personal (ingreso, refrigerio, salida)	130	2.17	18.1%
Charla de seguridad	25	0.42	3.5%
Reparto de guardia	0	0.00	0.00%
Espera por órdenes de lanzado	105	1.75	14.58%
Abastecimiento de aditivo	20	0.34	2.84%
Abastecimiento combustible	10	0.17	1.42%
Traslado de equipo	105	1.75	14.58%
Movimiento de equipo	5	0.08	1.20%
Instalación / desinstalación de servicios	13	0.22	3.13%
Falta de tornado	47	0.63	6.55%
Falta de aire	8	0.13	1.11%
Falta condiciones de la labor (desate, sobremalla u otros)	0	0	0%
Acople del mixer al lanzador	9	0.15	2.16%
Refrigerio	60	1	8.33%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 observamos que tan solo el Mantenimiento

Preventivo se encuentra en el grupo de las Demoras No Operativas.

Tabla 17

Demoras no operativas

Demoras no operativas	Minutos	Horas	Porcentaje
Mantenimiento preventivo	60	1	8.33%

Fuente: Elaboración propia

b) Distribución de tiempos

El Grafico nos representa la distribución de las actividades y demoras operativas, se muestra que la actividad operativa representa el 14.17%, las demoras operativas representan un 77.5% y como demoras no operativas tenemos un 8.33%.



Gráfico 7: Distribución de actividades y demoras operativas (Fuente: Elaboración propia)

c) Distribución De Demoras Operativas

El gráfico N°6 representa la distribución total de las actividades que forman parte de las Demoras de las operaciones, los cuáles muestran que el mayor porcentaje de demoras operativas se

debe al transporte del personal con un 23 % del total, seguido de la demora por espera por órdenes de trabajo; en tercer lugar, se ubica el traslado de equipo el cual representa un 19% del total de las demoras operativas.

De la misma forma, el gráfico N° 7 nos muestra el Diagrama de Pareto, en el cual se muestra cuáles son las causas principales por las que se genera las demoras operativas

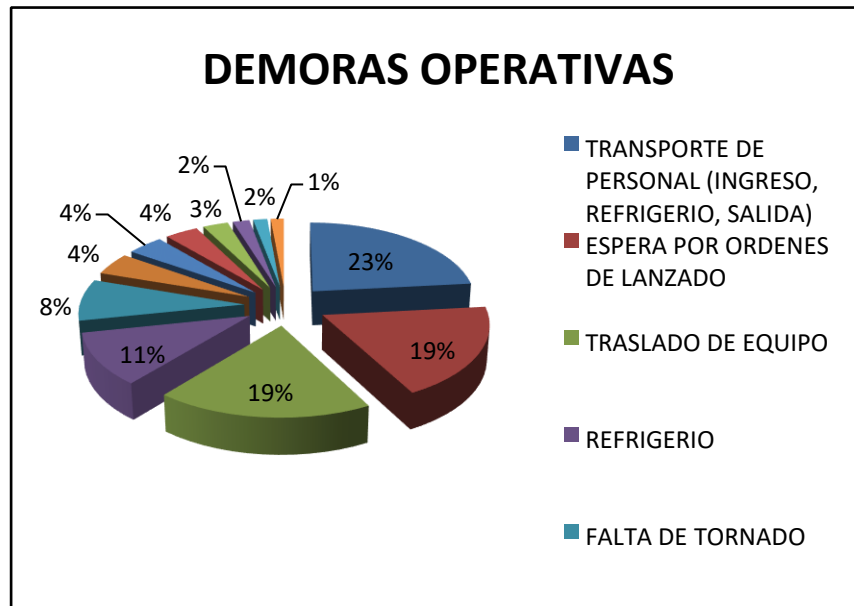


Gráfico 8: Demoras operativas por actividad (Fuente: Elaboración propia).

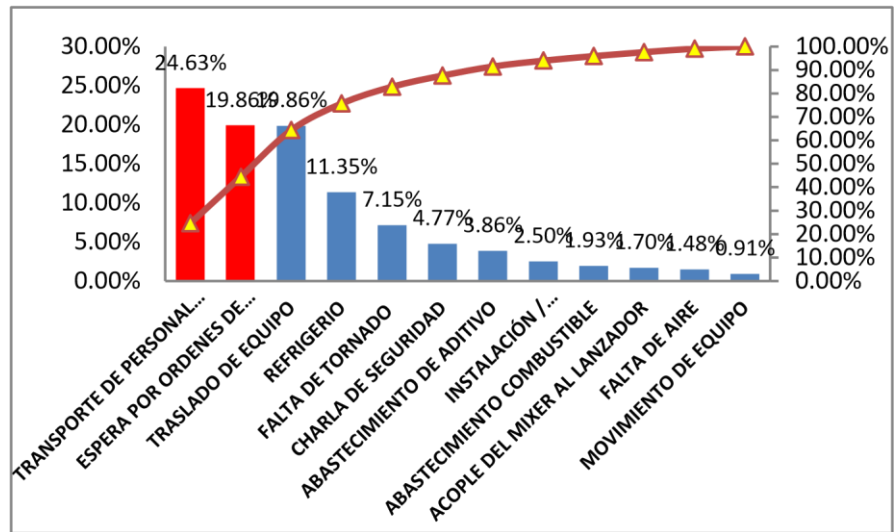


Gráfico 9: Diagrama de Pareto de las demoras operativas (Fuente:

Elaboración propia)

d) Distribución de tiempos global para el robot r-31

Son las figuras a.4 y a.5 el cual representa el diagrama circular y Pareto global del total de las actividades concernientes en el estudio de tiempos para el Robot R-31, de manera total vemos que los mayores tiempos muertos son la espera por órdenes de lanzado en un 15%.

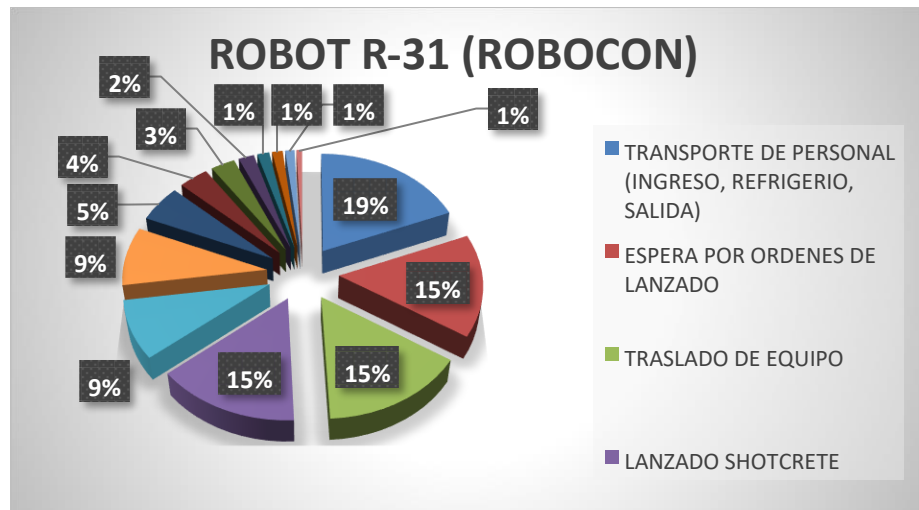


Gráfico 10: Actividades consideradas en el estudio de tiempos para el Robot

R-31 (Fuente: Elaboración propia)

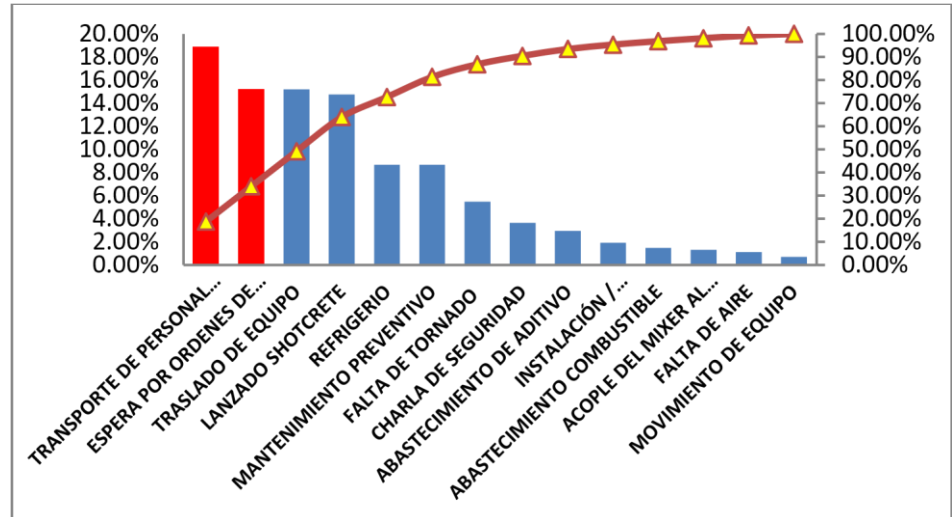


Gráfico 11: Diagrama de Pareto para las actividades consideradas en el estudio de tiempos para el Robot R-31 (Fuente: Elaboración propia)

2.2.13.5 Casos de espera más representativos

Tabla 18
Casos de espera

Fecha	Hora	Tiempo de espera (minutos)	Labor	Razón
28/01	16:08	84	SP-04	Faltaba desate en la labor y posterior limpieza con Scoop.
29/01	16:32	60	AC 672-4B (TJ 75 OESTE)	La rampa de acceso no cumple con los estándares, por lo que el tornado no puede acceder, al momento de ser forzado para subir la rampa el equipo es dañado.
30/01	10:40	Mezcla perdida	AC 672 -4B (TJ 75 ESTE)	Íbamos a lanzar Shotcrete sobre la malla, pero en el instante de llegar a la labor no se contaba con la malla, el cual estaría lista a las 15:00, por lo que se decidió llevar la mezcla a otra labor, pero aun era necesario la fibra metálica, dicho proceso tardo más de 2 horas y perdió la mezcla.
31/01	10:20	95	AC 986 -2	El tornado llego hasta 1 hora y media después por los problemas con el cargador frontal en la planta.
31/01	13:16	90	BP 987	El tornado no llego por diversos problemas suscitados con planta, el cargador frontal se prestó y no se tenía control sobre dicho equipo
31/01	14:47	93	BP 987	El tornado no puede subir por la rampa por diversas condiciones, una scoop ayuda a afirmar el terreno, pero no puede lograrlo, por lo que se llevó la mezcla a otra labor.
01/02	17:00	80	XC 1220	El equipo presento problemas con derrame de aceite y quedo inoperativo luego de lanzar, como era tarde para que bajen los mecánicos, el equipo quedo en la labor hasta la siguiente guardia

Fuente: Elaboración propia

Para tener una mayor interpretación de las demoras operativas, en el gráfico siguiente se muestra el horario de guardia en la Unidad Minera Carahuacra.

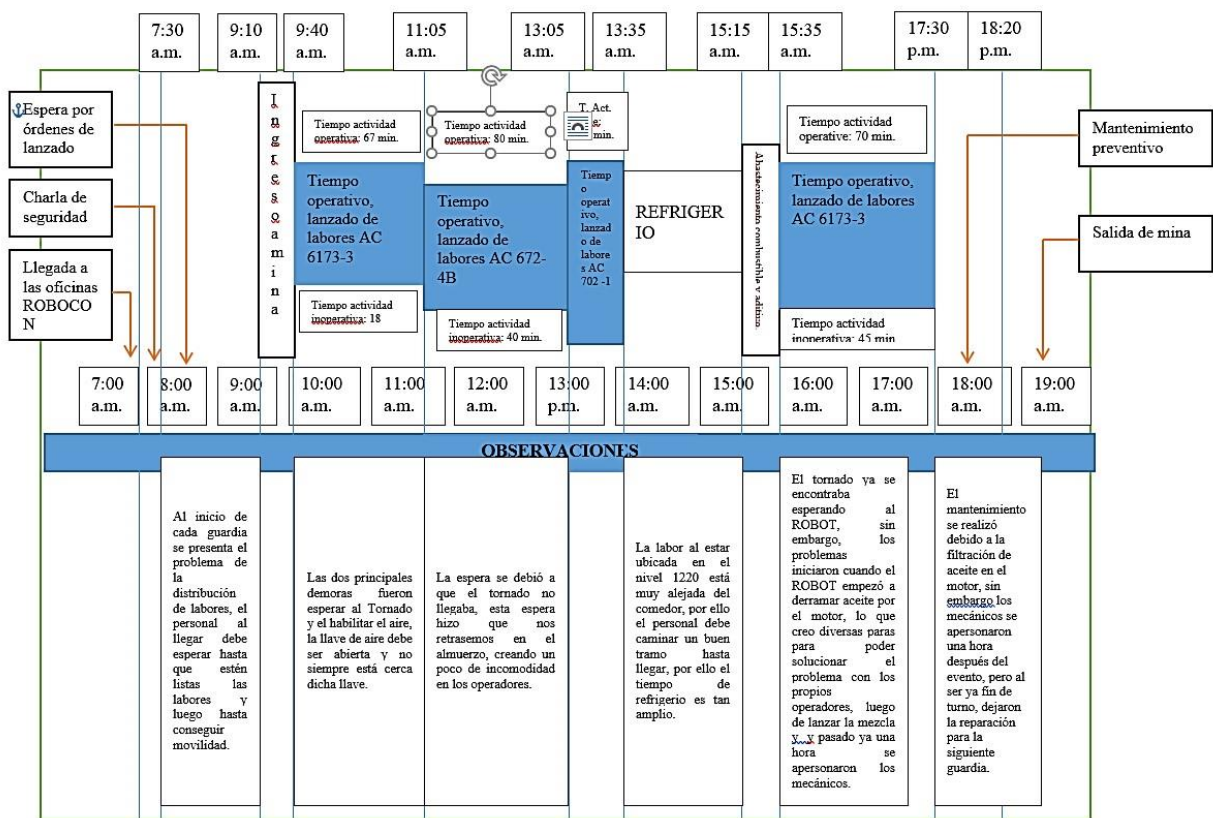


Gráfico 12: Horario de guardia en la Unidad Minera Carahuacra (Fuente: Elaboración propia)

2.2.13.6 Costos

Los costos de lanzado son fijados por la propiedad del equipo, en el siguiente cuadro firmado por los representantes de las empresas ROBOCON y VOLCAN observamos los costos:

Tabla 19

Costos de lanzado por propiedad de equipo

Combinacion de Equipos		Precio Unitario
Mixer	Robot	US\$/M ³
Robocon	Robocon	\$ 130.00
Cia volcan	Robocon	\$ 123.22
Robocon	Cia volcan	\$ 111.91
Cia volcan	Cia volcan	\$ 101.74
Traslado robocon		\$ 67.83
Traslado cia volcan		\$ 58.78
	Lanzado robocon	\$ 62.17
	Lanzado cia volcan	\$ 42.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 *Costo de aditivo para shotcrete*

Materiales	Unid.	PU (\$-Unid.)	Cant.	\$/m3
Aditivo Acelerante	L	1.321	21	27.8
Master Rock 160				

Dato obtenido del área de Costos y Presupuestos (Fuente: Elaboración propia)

2.2.13.7 Sugerencias


- Implementación de un taller y un grupo de trabajo de técnicos mecánicos en interior mina, los cuales realizarán el mantenimiento correctivo y preventivo de los robots, así como también la administración del robot en stand-by.

- Suministro de fibra para las cámaras de aditivos para optimizar el cambio de labor de shotcrete sin fibra. El día 30 de enero, no se habría perdido \$750 y mejor optimización de tiempos.
- Revisar y supervisar el diseño óptimo de las labores, como también la distribución estandarizada y mantener conductores adecuados, para la buena conservación de las tuberías que suministran el aire.
- Supervisión de los recipientes de aditivo acelerante en las cámaras para abastecer continuamente a los robots.
- Evaluar la adquisición de teléfonos CISCO, para los operadores de robot y/o ayudantes y así estos puedan estar comunicados con los jefes de guardia, la planta BETONMAC y su supervisor de zona. Por lo que, se podrían distribuir convenientemente y redistribuir eficientemente.
- Proveer mejor transporte para ingresar a mina de los operadores de robots y los respectivos ayudantes, implementando más camionetas o acondicionar buses para el ingreso a mina.
- Motivar y promover talleres y/o charlas de retroalimentación de los procesos y procedimientos entre las personas que trabajan.

2.2.14 Sostenimiento con perno y malla

2.2.14.1 SIPOC

Tabla 21
SIPOC Sostenimiento con perno y 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: Perno y malla Perno y shotcrete Perno malla y shotcrete	Operaciones de mina, que requiere el sostenimiento para continuar las operaciones unitarias con seguridad para los trabajadores.
	Malla electrosoldada	↓ checklist		
Atlas Copco	Accesorios de perforación	Acopio de insumos según tipo ↓		
Servicios Mina	Agua Energía	Instalación de servicios ↓ Perforación de taladros ↓ Colocación de ↓ Desinstalación		
		de servicios		

Fuente: Elaboración propia

2.2.14.2 Identificación de problemas

- Falta de mantenimiento preventivo y predictivo al equipo empernador.
- Los mecánicos de Atlas Copco laboran en superficie, cuando existen fallas en los equipos hay una pérdida de tiempo para el traslado donde se encuentra el equipo.
- Falta de presión de agua en algunas labores, no permite que el equipo perfora 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 geo mecánica básico, de los operadores de BOLTEC, para una óptima colocación de pernos en las labores.

2.2.14.3 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).

a) Guardia día del 06/02 al 08/02

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 22 *Tiempo operativo durante la guardia de 12 horas*

Actividad	Tiempo	%	% acum.
Colocación de malla	2.81	23.38%	23.38%
Perf. Y colocación de pernos	1.93	16.06%	39.44%
Traslado de equipo a labor	1.06	8.80%	48.24%
Desate de rocas	0.36	2.96%	51.20%
Otros trabajos en la labor	0.03	0.23%	51.44%

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 23 *Demoras operativas 1, durante la guardia de 12 horas*

Demora operativa 1	Tiempo	%	% Acum.
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%	28.19%

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 24 *Demoras operativas 2, durante la guardia de 12 horas*

Demora operativa 2	Tiempo	%	% acum.
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%	12.36%

Fuente: Elaboración propia

b) Distribución de tiempos

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

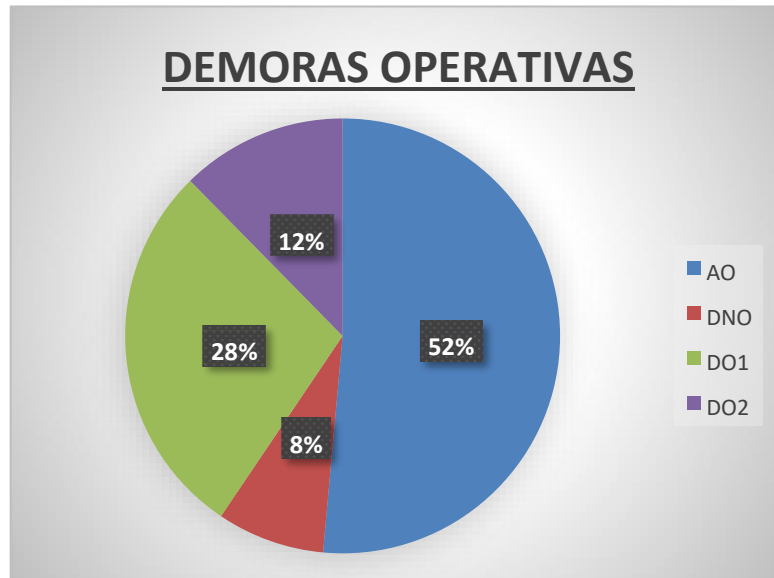


Gráfico 14: Distribución de las actividades y demoras operativas (Fuente: Elaboración propia)

A partir de las demoras operativas construimos el diagrama de Pareto para poder analizar las causas principales que generan las demoras operativas.

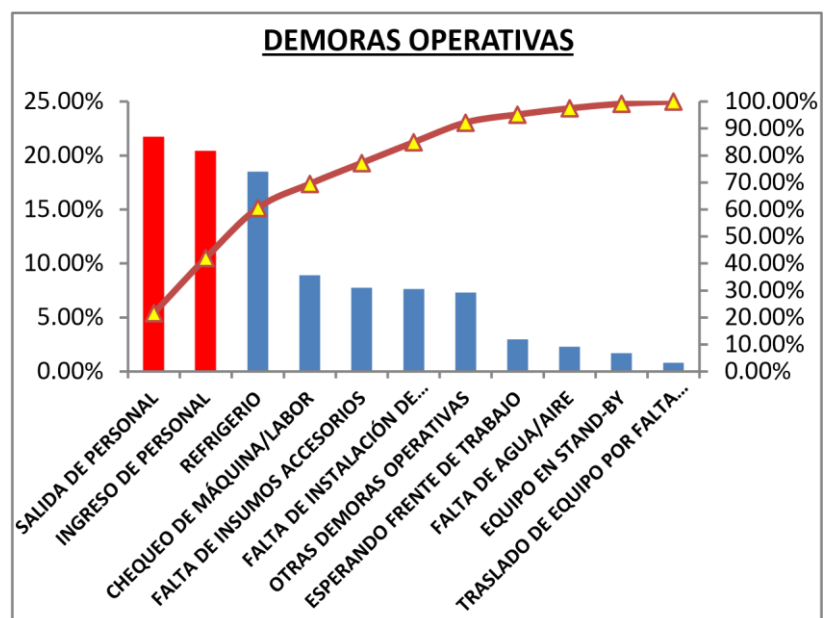
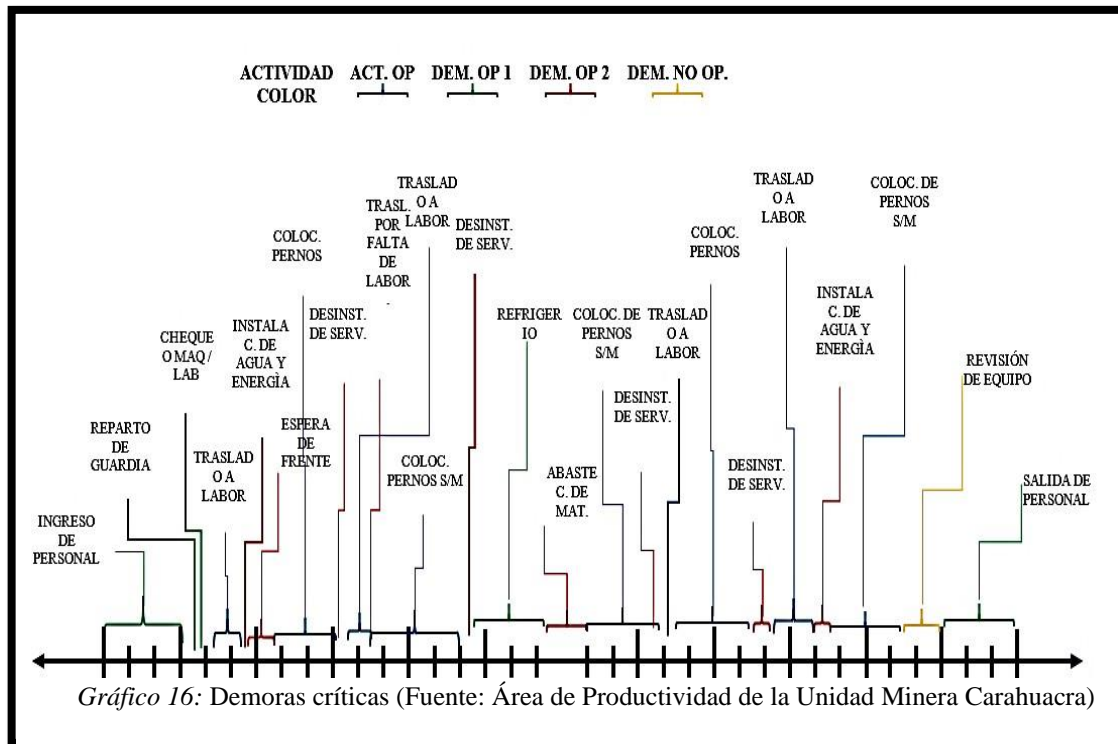


Gráfico 15: Diagrama de Pareto distribución de las actividades y demoras operativas, así como las demoras no operativas (Fuente:

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 scoop o el mismo empernador para lo cual no está apto) y falta de instalación de servicios de agua y energía.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

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

3.1.2 Nivel de investigación

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

3.1.3 Método de investigación

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

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Diseño general

- Experimental

3.2.2 Diseño específico

- Pre-experimental

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Universo

Sostenimiento mecanizado en las labores permanentes en Carahuacra
Volcan Compañía Minera S.A.A.

3.3.2 Muestra

Labores Tipo IIIB-IVA; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera

S.A.A

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Shotcrete de gradiente a gradiente

Reducir el consumo de Shotcrete de labores temporales (Accesos), sosteniendo con este material de gradiente a gradiente (calidad de roca IIIB – IVA; RMR 50-31). Costo m^3 : 259.94 \$/m³

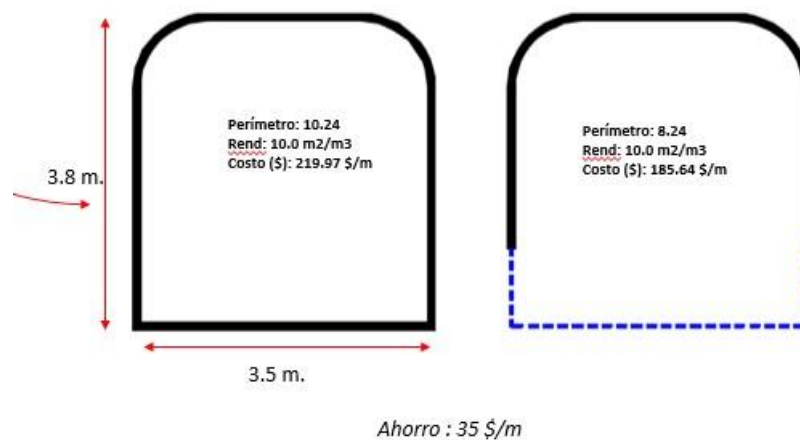


Figura 23: Diseño de shotcrete de gradiente a gradiente (Fuente: Elaboración propia)

3.5 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO

Primera fase: Se realizó a través de la planificación de las actividades necesarias para dar cumplimiento de la investigación. En esta fase se eligió la documentación que conformó el marco conceptual para definir las categorías principales, subcategorías y las dimensiones de cada una.

Segunda Fase: está referida a la investigación de campo, en donde a través de las técnicas de observación se llevó un diario o registro de los hechos desapercibidos para otros.

Tercera fase: Se refiere al análisis, interpretación e integración de los resultados. Esta se hizo a través de las conexiones de las categorías y las subcategorías. Se constató

con el marco conceptual existente. Para lo cual el autor en base a una exhaustiva revisión documental de los libros, Internet y los documentos enviados vía online.

Tabla 25 Lanzado de shotcrete por empresa

VETA	EJECUTOR	ETAPA	TOTAL
M.L.	AESA	PREPARACIÓN	470
MARY	AESA	PREPARACIÓN	1045
	VOLCAN	PREPARACIÓN	255
TOTAL			1770

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Lanzado de shotcrete por mes

VETA	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	Mav-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	TOTAL
M.L.	60	70	40	20		100	30	30	30	15	75	470
MARY	30	15	155	205	90	70	135	175	40	90	40	1045
				75	100				20	20	40	255
TOTAL	90	85	195	300	190	170	165	205	90	125	155	1770

Fuente: Elaboración propia

3.6.1 Método

En la investigación se aplicará básicamente el método experimental, buscando establecer las variables de estudio.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente protocolo de pruebas tiene como fin dar a conocer la ejecución de pruebas piloto para el sostenimiento con Shotcrete con la finalidad de optimizar costos para el presupuesto 2018, sin afectar el sostenimiento (factor de seguridad).

4.1 DISEÑO PROPUESTO DEL SHOTCRETE

4.1.1 Especificaciones

- Calcular las proporciones de los materiales a utilizar para el - shotcrete.
- La resistencia en compresión de diseño especificado es de 300 kg/cm² a una desviación estándar de $\sigma=20\text{kg/cm}^2$.
- El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/8”.

4.1.2 Materiales

- Cemento Portland
 - Peso específico = 3.15 kg/cm³
- Agregado fino
 - Peso específico de masa = 2.5 kg/cm³
 - Absorción = 4.3%
 - Contenido de humedad = 7.9%
 - Módulo de fineza = 3.59
 - Peso seco compactado = 1523 kg/cm³
- Agregado grueso
 - Tamaño máximo nominal = 3/8”
 - Peso seco compactado = 1486 kg/cm³
 - Peso específico de la masa = 2.4 kg/cm³
 - Absorción = 1.21%
 - Contenido de humedad = 0.13%
- Agua

- Fibra
- Aditivo

4.1.3 Volumen unitario de agua:

Usando la tabla N° 2 (VER ANEXO 02) para el asentamiento de 1'' a 2'' concreto sin aire incorporado con un máximo nominal de 3/8'' es de 180 lt/m³.

4.1.4 Contenido de aire:

Usando la tabla N° 3 (VER ANEXO 02) el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/8'' es de 3.0%.

4.1.5 Relación agua / cemento:

Usando la tabla N° 04 (VER ANEXO 02) para una resistencia inicial de 300 kg/cm² más el factor de seguridad, la resistencia total es de 375 kg/cm² en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación de agua / cemento de 0.45.

4.1.6 Factor cemento:

$$\text{Factor cemento} = 180 / 0.45 = 400$$

4.1.7 Contenido de agregado grueso:

Usando la tabla N° 5 (VER ANEXO 02) con un módulo de fineza del agregado fino de 3.59 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/8'' con un valor de b/b de 0.42 m³ de agregado grueso compactado por unidad de volumen del concreto, se tiene:

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.42 * 1650 = 693 \text{ kg/cm}^3$$

4.1.8 Cálculo de volúmenes absolutos:

Conocido los pesos de cemento, agua y agregados, calculamos los volúmenes absolutos de los materiales:

$$V = \frac{\text{Peso}}{\text{Peso específico}} = m^3$$

Cemento: 400 / (3.15 * 1000)	= 0.125 m ³
Agua: 180 / (1*1000)	= 0.180 m ³
Aire: 3.0%	= 0.030 m ³
Agregado grueso:	= 0.301 m ³
TOTAL	= 0.637 m ³

4.1.9 Contenido de agregado fino:

$$\text{Volumen: } 1000 - 0.637 = 0.362 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso: } 0.362 * 2.18 * 1000 = 790.97 \text{ kg/m}^3$$

4.1.10 Valores del diseño:

Se detalla los valores obtenidos para 1 m³ de concreto:

Tabla 27
Peso real de materiales para shotcrete

Insumo	Peso Real	Unidad
Arena	1483	Kg
Cemento	400	Kg
Agua	180	Lt

Fibra Metálica	20	Kg
Fibra Sintética	5	Kg
Aditivo Súperplastificante	5	Lt
Aditivo Acelerante de Fragua	26	Lt

Fuente: Elaboración propia

4.2 CÁLCULO DE ESPESOR DEL SHOTCRETE

Para determinar el espesor del shotcrete será necesario en una galería, el parámetro fundamental de la presión; sobre el techo y los hastiales. Este puede calcularse, a partir de, los criterios de Everling o de Protodiakonov; teniendo en cuenta, el coeficiente de Poisson.

Para el cálculo del espesor, puede aplicarse la fórmula de Rabcewicz:

$$e = \frac{\sqrt{3 P_i R}}{4 \tau} f$$

e = Espesor de la capa de gunita (m)

P_i = Presión sobre el sostenimiento (t/m²) R

= Radio de la galería (m) t = Resistencia a

cortante de la gunita (t/m²) f = Coeficiente

de seguridad

Tabla 28 Cálculo de espesor de shotcrete

Veta / Cuerpo	Litología	GSI	Densidad (TN/m ³)	Resistencia a la Compresión (Mpa)	Ancho	Altura	f (Coeficiente de Rozamiento)	h (Altura de Confinamiento)	Presión de Confinamiento (TN/m ²)	Espesor de Shotcrete (m)	Espesor de Shotcrete (pulg)
Mary	Volcánico	35	2.7	35	6	8	3.5	0.86	6.30	0.05	2
Mary	Volcánico		2.7		6	6		0.86	6.30	0.04	2
Mary	Volcánico		2.7		4.5	4.5		0.64	6.30	0.03	1
Mary	Volcánico		2.7		4	4		0.57	6.30	0.03	1
Mary	Mineral		3.8		3.5	3.8		0.50	8.87	0.04	1
Mary	Volcánico	35	2.7	40	6	8	4	0.75	7.20	0.06	2
Mary	Volcánico		2.7		6	6		0.75	7.20	0.05	2
Mary	Volcánico		2.7		4.5	4.5		0.56	7.20	0.03	1
Mary	Volcánico		2.7		4	4		0.50	7.20	0.03	1
Mary	Volcánico	44	2.7	60	6	8	6	0.50	10.80	0.09	4
Mary	Volcánico		2.7		6	6		0.50	10.80	0.07	3
Mary	Volcánico		2.7		4.5	4.5		0.38	10.80	0.05	2
Mary	Volcánico		2.7		4	4		0.33	10.80	0.05	2
Mary	Volcánico	47	2.7	60	6	8	6	0.50	10.80	0.09	4
Mary	Volcánico		2.7		6	6		0.50	10.80	0.07	3
Mary	Volcánico		2.7		4.5	4.5		0.38	10.80	0.05	2
Mary	Volcánico		2.7		4	4		0.33	10.80	0.05	2
Mary	Volcánico	56	2.7	100	6	8	10	0.30	18.00	0.15	6
Mary	Volcánico		2.7		6	6		0.30	18.00	0.12	5
Mary	Volcánico		2.7		4.5	4.5		0.23	18.00	0.09	3
Mary	Volcánico		2.7		4	4		0.20	18.00	0.08	3

Fuente: Elaboración propia

4.3 ANÁLISIS DE CONSUMO TOTAL DE SHOTCRETE AÑO 2018

El cálculo del volumen de shotcrete consumido se determina mediante:

$$V = 2p * l * e$$

V: Volumen (m³)

2p: Perímetro de la sección de labor (m) l:

Longitud de la labor de shotcrete lanzado (m)

e: Espesor del shotcrete lanzado (m)

Para realizar las pruebas solo se realizará en Accesos programados para el 2018 previa evaluación Geo mecánica.

Se consideró el sostenimiento para labores temporales (Accesos) con Shotcrete de 2'' + pernos (tipo de roca IIIB a IVA; RMR: 50-31).

Para determinar el ahorro proyectado se basa en consumo de shotcrete Vs consumo de shotcrete de gradiente a gradiente.

Tabla 29

Programa anual de accesos - 2018

<u>VETA</u>	<u>EJECUTOR</u>	<u>Mar-18</u>	<u>Abr18</u>	<u>May-18</u>	<u>Jun18</u>	<u>Jul18</u>	<u>Ago18</u>	<u>Set18</u>	<u>Oct18</u>	<u>Nov18</u>	<u>TOTAL</u>
M.L	AESA	40	20		100	30	30	30	15	75	340
	AESA	155	205	90	70	135	175	40	90	40	1000
MARY											
	VOLCAN		75	100				20	20	40	255
TOTAL GENERAL		195	300	190	170	165	205	90	125	155	1595

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a proyección para shotcrete a 2 pulgadas (programa Anual 2018) a una sección de 3.5m x 3.8m los m³ sería como el cuadro adjunto con un total de 1276m³.

Tabla 30

Programa anual de proyección para shotcrete 2018

<u>VETA</u>	<u>EJECUTOR</u>	<u>Mar-18</u>	<u>Abr18</u>	<u>May-18</u>	<u>Jun18</u>	<u>Jul18</u>	<u>Ago18</u>	<u>Set18</u>	<u>Oct18</u>	<u>Nov18</u>	<u>TOTAL</u>
M.L	AESA	32	16		80	24	24	24	12	60	272
	AESA	124	164	72	56	108	140	32	72	32	800
MARY											
	VOLCAN		60	80				16	16	32	204
TOTAL GENERAL		156	240	152	136	132	164	72	100	124	1276

Fuente: Elaboración propia

Para la cubicación teórica del shotcrete se considera restar los 2 m de gradiente al perímetro, los demás parámetros se mantienen constantes (espesor, rugosidad, rebote). El siguiente cuadro muestra los m³ estimados, lanzado de gradiente a gradiente siendo un total de 937m³.

Tabla 31 *Cubicación teórica de shotcrete*

VETA	EJECUTOR	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	TOTAL
M.L	AESA	23	12		59	18	18	18	9	44	201
	AESA	91	120	53	41	79	103	23	53	23	586
MARY											
	VOLCAN		44	59				12	12	23	150
TOTAL GENERAL		114	176	112	100	97	121	53	74	90	937

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos se realizó una comparación entre el consumo del shotcrete programado sin considerar la optimización y el consumo de shotcrete considerando la optimización de reducción de los 2m de la gradiente.

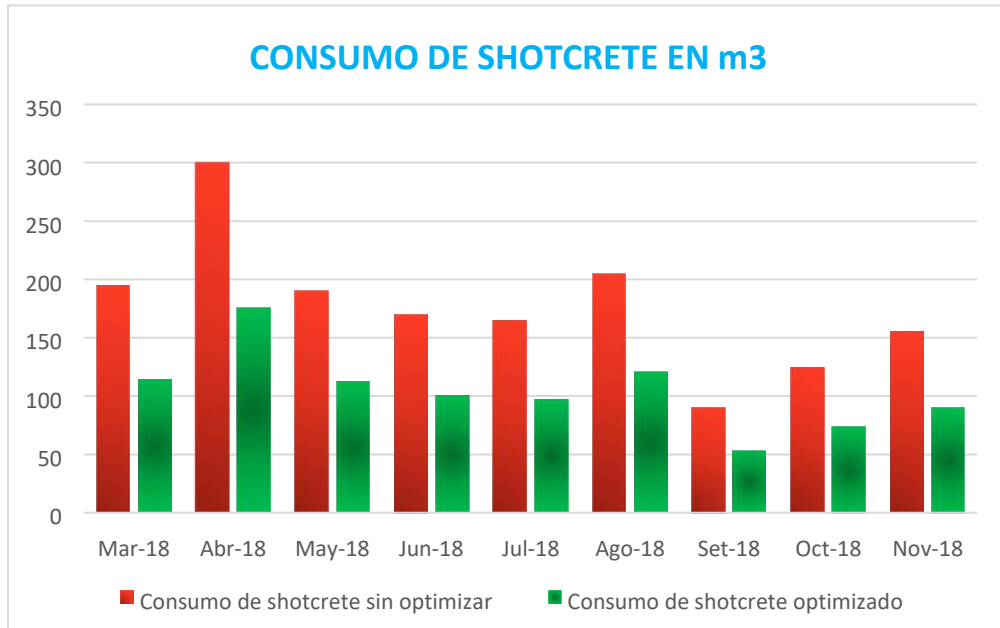


Gráfico 17: Consumo de shotcrete por meses (Fuente: Elaboración propia)

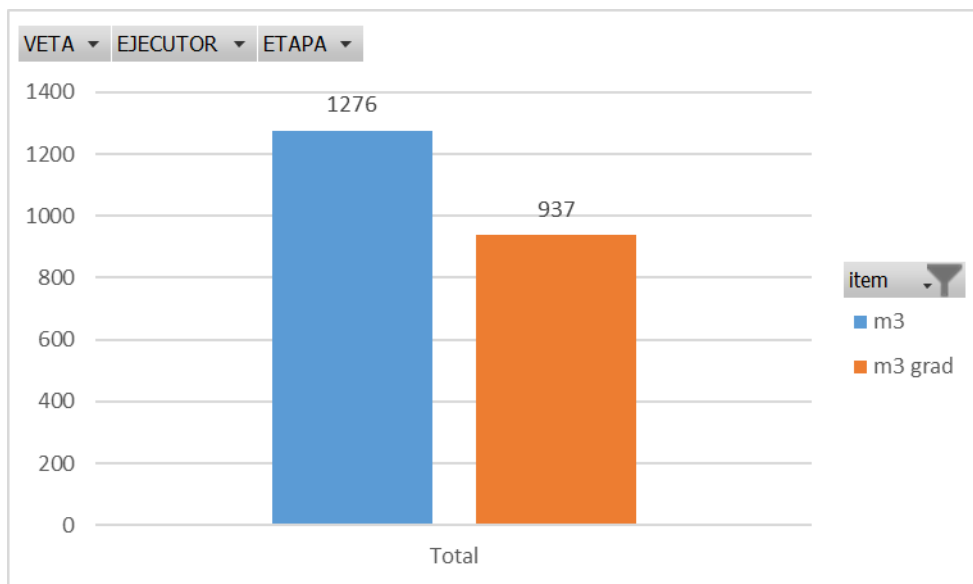


Gráfico 18: Programa de consumo de shotcrete vs proyección de de consumo de shotcrete (Fuente: Elaboración propia)

4.4 ANÁLISIS DE COSTO:

Para el análisis de costo se detalla el costo unitario de concreto lanzado, tanto del consumo sin la optimización; así como el costo total tras la optimización del consumo de shotcrete.

En primer lugar, se detalla el costo de material para 1m³ de concreto según especificaciones y precio unitario de la Unidad Minera Carahuacra.

Tabla 32 *Costo de material según diseño de shotcrete*

COSTO DE MATERIAL SEGÚN DISEÑO DE SHOTCRETE								
Material	Peso Seco Kg.	Peso Especifico	Volumen	Correccion Kg.	P.Correjidos Kg.	Tanda m ³ 0.020	PU - Carahuacra \$/Kg	Total \$
Cemento	400	3.2	125	-	400	8.00	0.16	\$62.29
Agua	180	1	180	0.00	180	3.600		
Arena	1483	2.4	618	0.00	1483	29.660	0.028	\$41.30
Superplastificante	0.00	0	0.00	-	0.00	0.000	-	\$0.00
Fibra Met. 45/35	20.0				20.0	0.400	1.46	\$29.20
Silice(10 %)	-	-	-	-		0.000		\$0.00
Vol. Pasta	-	-	340					
Vol. Aire %	-	-	35					
Vol. Aridos	-	-	660					
R: a/c	0.45	-	-					
Dosis	0.000	-	-					
TOTAL	2083		1000		2083	42		\$132.79

Fuente: Elaboración propia

Para el comparativo de costos se considera el transporte, lanzado y el costo del material por m³, teniendo un costo total de 259.94 \$/m³ (Robocon).

Tabla 33 *Cuadro comparativo de costos*

Material de sostenimiento	Costo de material	Ejecutor	Costo de servicio			Costo total
			Instalación	Transporte	Lanzado	
			-	57.49 \$/m ³	-	190.29 \$/m ³
			-	66.34 \$/m ³	-	199.14 \$/m ³
			-	127.14 \$/m ³		259.94 \$/m ³
SHOTCRETE	132.8 \$/m ³	ROBOCON	-	109.45 \$/m ³		242.25 \$/m ³
			-	120.51 \$/m ³		253.31 \$/m ³

-	99.50 \$/m3	232.30 \$/m3
0.99 \$/und	-	-

Fuente: Elaboración propia

El costo de sostenimiento con shotcrete en Accesos según programa 2018 se muestra en el cuadro adjunto con un total de \$ 331684.54.

Tabla 34
Costo por metro cúbico según programa anual 2018

VETA	EJECUTOR	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	TOTAL
M.L	AESA	8318.08	4159.04		20795.00	6238.60	6238.56	6238.60	3119.30	15596.40	70703.58
MARY	AESA	32232.60	42630.20	18715.70	14557.00	28074.00	36391.60	8318.10	18716.00	8318.08	207953.28
	VOLCAN		15596.40	20795.20				4159.00	4159.00	8318.08	53027.68
TOTAL GENERAL		40550.68	62385.64	39510.90	35352.00	34312.60	42630.16	18715.70	25994.30	32232.56	331684.54

Fuente: Elaboración propia

El costo de sostenimiento proyectado con shotcrete de gradiente a gradiente en accesos según programa 2018 se muestra en el cuadro adjunto con un total de \$243563.80.

Tabla 35
Costo por metro cúbico según programa 2018 – Lanzado de Shotcrete de gradiente a gradiente

VETA	EJECUTOR	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	TOTAL
M.L	AESA	5978.62	3119.28		15336.00	4678.92	4678.92	4678.90	2339.50	11437.40	52247.54
MARY	AESA	23654.50	31192.80	13776.80	10658.00	20535.00	26773.80	5978.60	13777.00	5978.62	152325.12
	VOLCAN		11437.40	15336.50				3119.30	3119.30	5978.62	38991.12
TOTAL GENERAL		29633.12	45749.48	29113.30	25994.00	25213.92	31452.72	13776.80	19235.80	23394.64	243563.78

Fuente: Elaboración propia

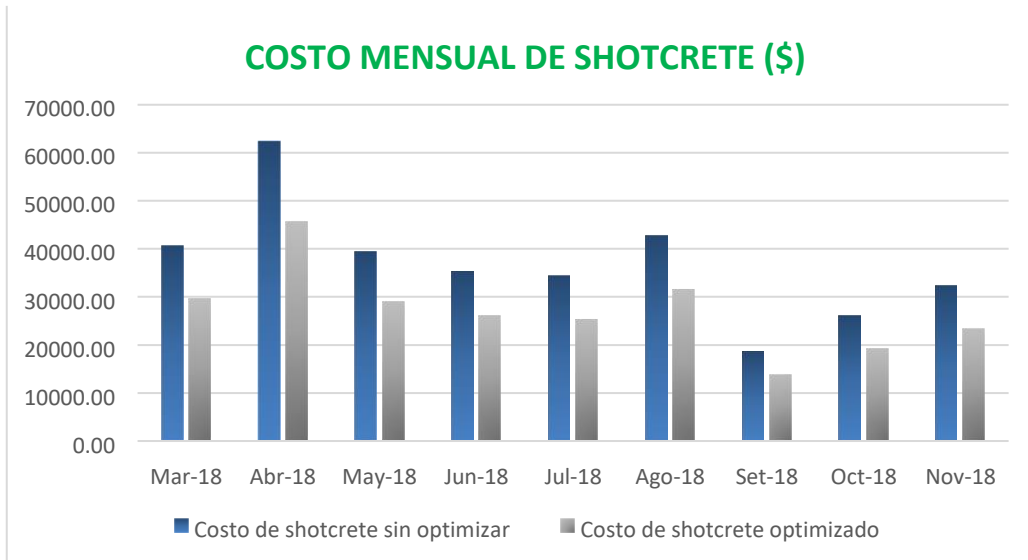


Gráfico 19: Costo mensual de shotcrete sin optimizar vs costo de shotcrete optimizado (Fuente: Elaboración propia)

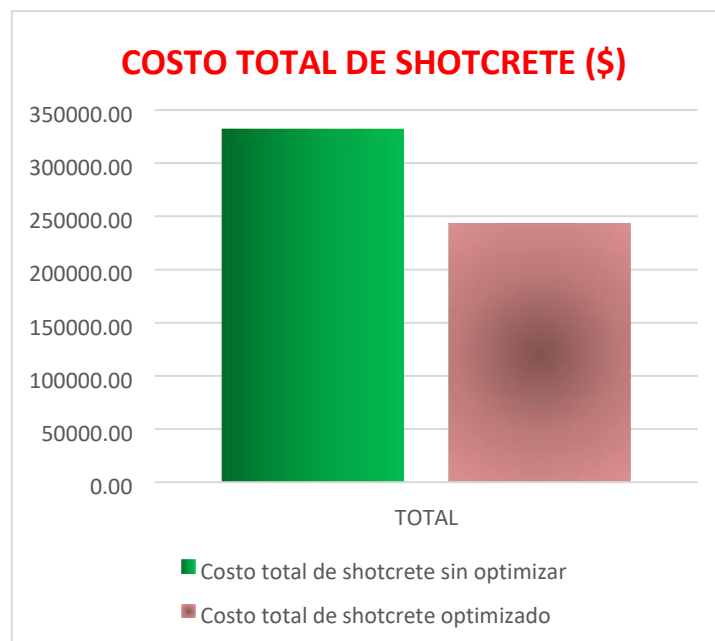


Gráfico 20: Costo total de shotcrete sin optimizar vs costo total de shotcrete optimizado (Fuente: Elaboración propia)

4.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA Y CONTROL DE CALIDAD DEL SHOTCRETE

4.5.1 Control de calidad del agregado

Para poder evaluar la resistencia del shotcrete primero se debe realizar el control de calidad del agregado, debido a que para una mejor consistencia del shotcrete es necesario un agregado de buena calidad.

Granulometrías obtenidas

Tabla 36

Control de calidad del agregado

FECHA							
	<u>17-Ago</u>	<u>18-Ago</u>	<u>19-Ago</u>	<u>20-Ago</u>	<u>21-Ago</u>	<u>22-Ago</u>	<u>23-Ago</u>
Gradación	Gruesa	Media	Media	Gruesa	Media	Media	Media
% de Humedad	4.08	3.81	4.31	5.2	3.87	3.97	4.82
% < N° 200	4.86	3.9	4.94	5.07	4.08	4.24	4.08
Módulo de Fineza	4.03	3.84	3.61	4.21	3.85	3.72	3.65
Peso Específico	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
% de Absorción	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83

Datos obtenidos del área de Geomecánica (Fuente: Elaboración propia)

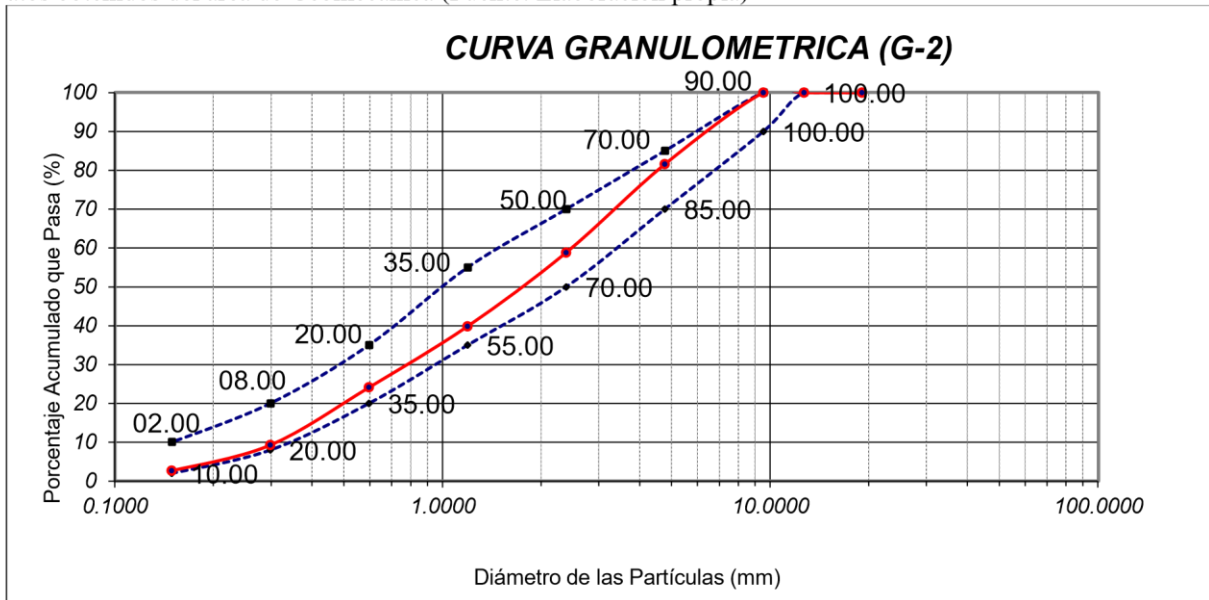


Gráfico 21: Curva granulométrica (Fuente: Área de Geomecánica)

4.5.2 Resistencia a la compresión

En las aplicaciones de Shotcrete es vital el control de las resistencias iniciales, tempranas y el desarrollo a edades de 1, 3, 7, 28 días para poder medir y conocer cuál es el comportamiento de Shotcrete.

En el laboratorio de superficie y planta se realizó la elaboración de los diseño de mezcla y la toma de probetas para la determinación de las resistencias a compresión del shotcrete a 1,3,7 y 28 desde el 5 hasta el 12 de marzo con las aditivos superplastificantes y acelerante de fragua de Sika y Eco andina, el día 07 de marzo en el Sub Nivel 8025, se realizaron las pruebas industriales a nivel de planta y labor con los aditivos de Sika en la que se tomaron 01 panel prismático para la extracción de núcleos diamantinos y poder determinar las resistencias alcanzadas con estos aditivos, también se tomaron 02 paneles cuadrados para pruebas de absorción de energía y el día 11 de marzo se realizaron las pruebas industriales con los aditivos de Eco andina en el Cx 0309 Nv 1020 piso 16, donde se tomaron las muestras respectivas para resistencia a compresión.

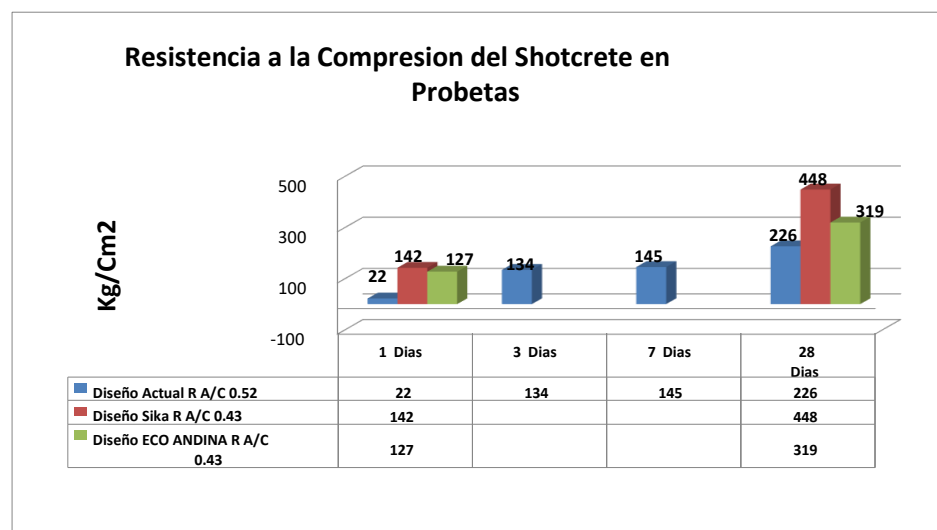


Gráfico 22: Resistencia a la compresión del shotcrete en probetas (Fuente: Área de Geomecánica)

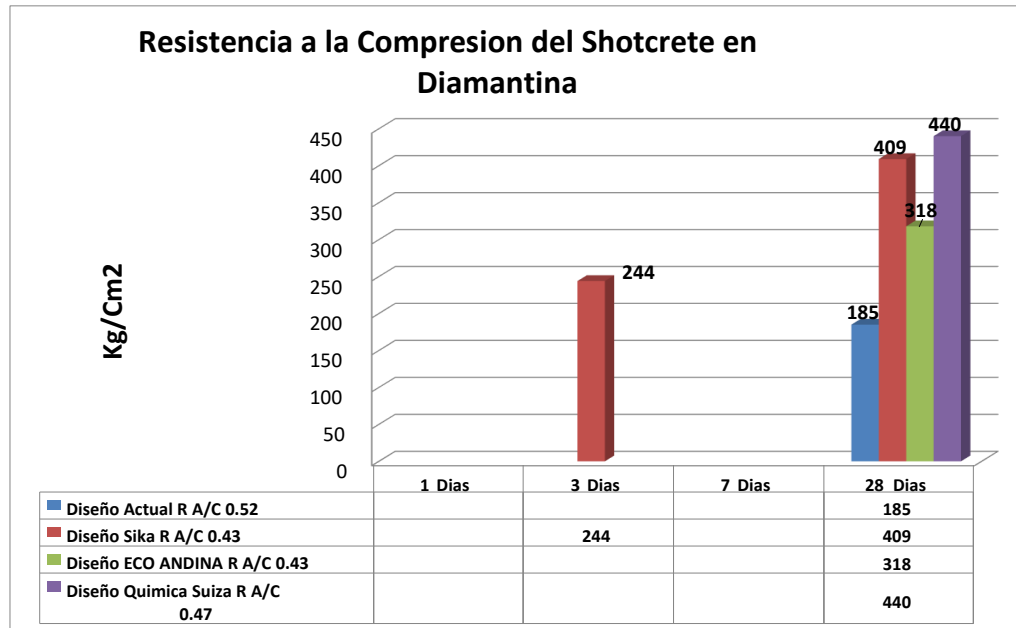


Gráfico 23: Resistencia a la compresión del shotcrete en diamantina (Fuente: Área de Geomecánica)

4.5.3 Simulación de tajeos y diagrama de contornos

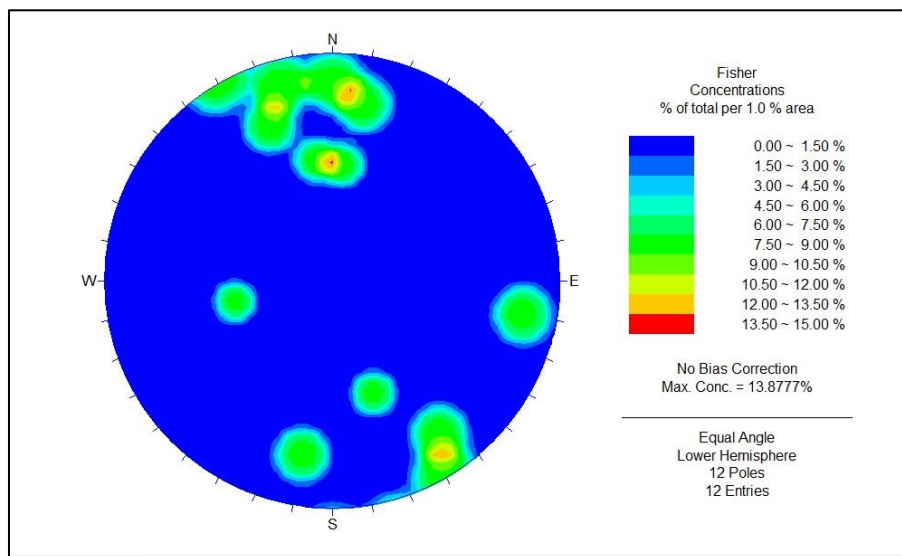


Figura 24: Diagrama de contornos (Fuente: Elaboración propia)

La simulación en el software Phase 2 nos permite verificar el factor de seguridad y poder analizar los esfuerzos que actúan sobre nuestra labor. Para ello analizaremos los factores de seguridad obtenidos antes y después de la optimización del consumo de shotcrete.

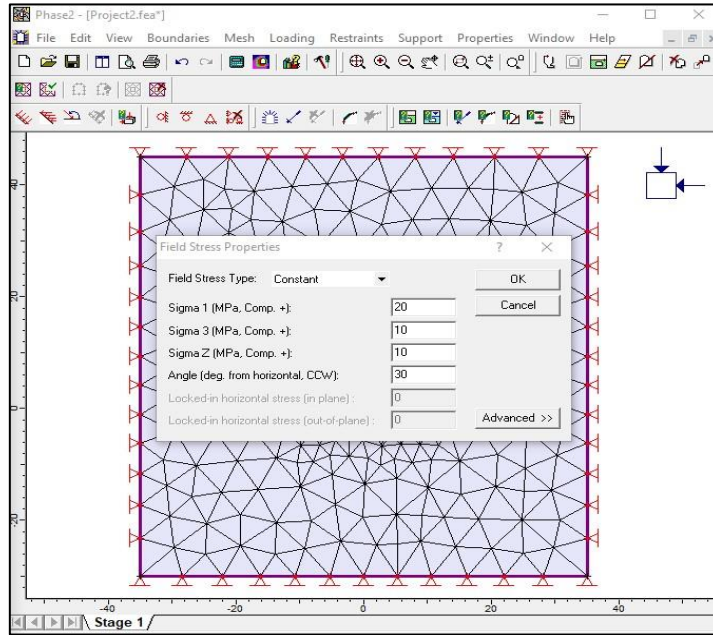


Figura 27: Llenado de datos en el software Phase 2 (Fuente:

Elaboración propia)

Colocamos en el programa los datos de los materiales existentes en la labor con sus respectivas especificaciones.

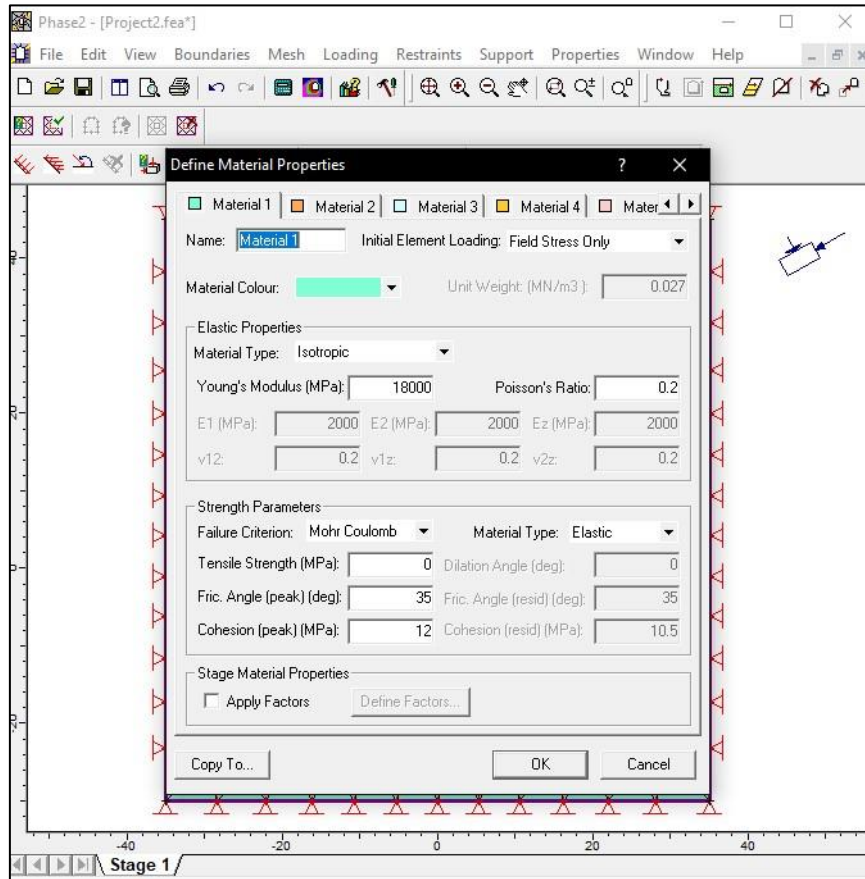


Figura 30: Especificaciones de los materiales existentes (Fuente: Elaboración propia)

Figura 31: Análisis del factor de seguridad de la labor con shotcrete sin optimizar (Fuente: Elaboración propia)
Figura 32: Especificaciones de los materiales existentes (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en el siguiente grafico el factor de seguridad obtenido en una labor sin la optimización del consumo del shotcrete, es un factor admisible dentro de los estándares de seguridad.

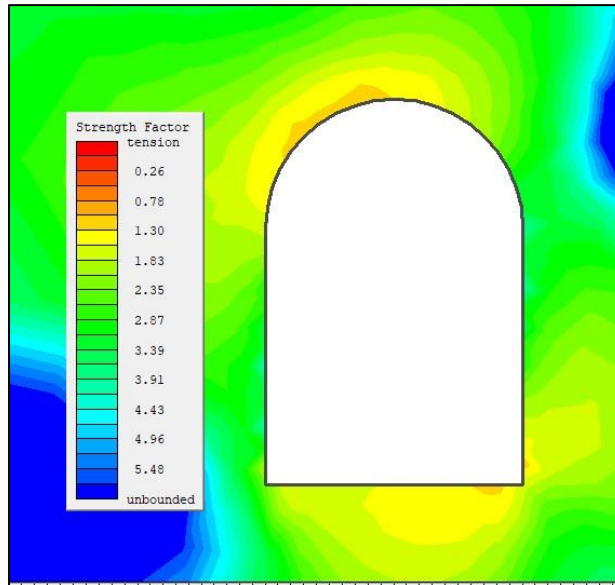


Figura 33: Análisis del factor de seguridad de la labor con shotcrete

sin optimizar (Fuente: Elaboración propia)

Se realiza la simulación del factor de seguridad tras la optimización propuesta, existe una variación del factor de seguridad con respecto al análisis del factor de seguridad sin la optimización del shotcrete.

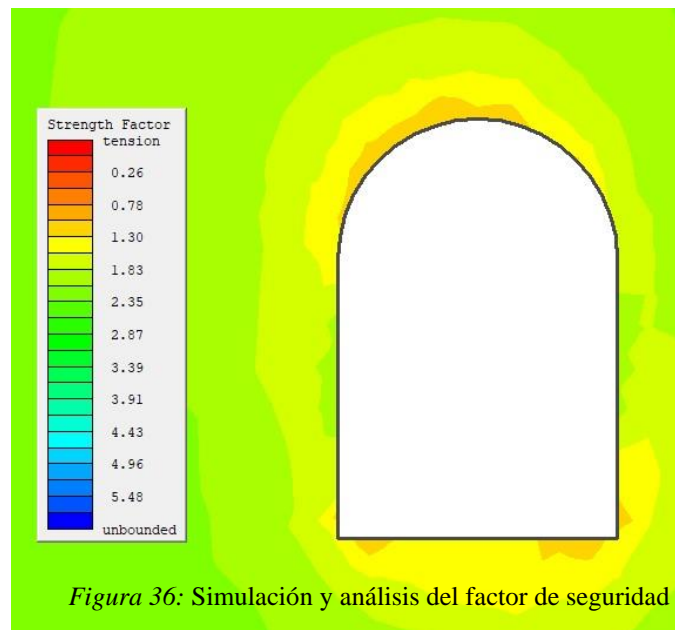


Figura 36: Simulación y análisis del factor de seguridad

con la nueva alternativa de optimización del shotcrete (Fuente:

Elaboración propia)

4.6 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Las tablas mostradas indican el resultado del trabajo que se ha desarrollado y explican el procedimiento de factibilidad en la reducción de costos y mejoramiento de la producción de lanzado con una buena aplicación y uso de las técnicas de sostenimiento proyectado con shotcrete de gradiente a gradiente, el resultado se muestra en el cuadro comparativo que se presentó; mejorando así, el sistema de sostenimiento y demás procesos de minado y por ende se puede decir que la hipótesis planteada es verdadera por los resultados obtenidos.

4.6.1 Hipótesis General

Es correcta y adecuada selección del diseño de shotcrete trajo como consecuencia un alto nivel de optimización y por consecuente permite mejorar el rendimiento y reducir costo en la operación en el consumo de shotcrete de gradiente a gradiente en labores permanentes, para labores Tipo IIIB-IVA; RMR 31-50 Carahuacra Volcan Compañía Minera S.A.A.

4.6.2 Hipótesis específicas

- Como se pudo demostrar la optimización en el consumo de shotcrete influye significativamente en la variación de costos; en la proyección de consumo de shotcrete se estimó un costo total de \$ 331,684.54; sin embargo, el costo de sostenimiento proyectado con shotcrete de gradiente a gradiente fue de \$ 243,563.78, obteniendo así una diferencia de \$ 88,120.76.
- Tras el análisis de resistencia y la simulación en el software se demostró que al no realizar la optimización del consumo de shotcrete tras la reducción

de los 2m de gradiente el factor de seguridad continúa estando dentro de los límites admisibles de seguridad.

CONCLUSIONES

1. El costo planificado de sostenimiento con shotcrete fue de \$ 331,684.54; mientras que el costo de sostenimiento proyectado con shotcrete de gradiente a gradiente fue de \$ 243,563.78, con una diferencia de \$ 88,120.76.
2. Siendo la seguridad del personal el factor más importante en una operación minera, la aplicación de la nueva alternativa de optimización mantiene un régimen óptimo de seguridad.
3. Considerando el tiempo de operación y la efectividad del sostenimiento con shotcrete como una de las opciones más utilizadas en materia de sostenimiento, se tiene en este un elemento importante para el control de accidentes por caída o desprendimiento de rocas.
4. El sostenimiento con shotcrete de gradiente a gradiente favorece la operación en mina ya que al reducir los dos metros de gradiente se logra una mejora en el tiempo del proceso de sostenimiento.
5. El control de rebote de fibras en el lanzado de shotcrete favorece 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 m³ de shotcrete.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable realizar un seguimiento continuo a las labores donde se realizó un sostenimiento de gradiente a gradiente para poder verificar su estabilidad y resistencia.
2. Por ser el sostenimiento con shotcrete uno de los métodos más eficientes, su uso es altamente recomendable en labores Tipo III A y IIIB facilitando y optimizando el proceso de minado.
3. Debido a la optimización de tiempos con el sostenimiento con shotcrete de gradiente a gradiente, es recomendable contar con labores preparadas para el sostenimiento con la finalidad de obtener mejoras en todo el proceso de minado.
4. Se recomienda considerar el factor estructural y la presencia del agua los cuales disminuyen la resistencia del macizo rocoso por lo que el refuerzo de estas labores es necesario (previa evaluación Geo mecánica).
5. Se recomienda que al no tener pie el shotcrete la tendencia al fisuramiento aumenta por lo que se debe realizar monitoreo a través de la instalación de fisuro metros y de ser necesario reforzar con cintas metálicas (straps) según evaluación geo mecánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sandoval, O. & Guillén, H. (2014). *Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA*. Trujillo, Peru.
- Celada, G. (1986) - *Diseño y Utilización de Sostenimiento con Shotcrete Activos en la Minería Española*, España.
- Guillén, H. (2013). *Aplicación del método de deformación controlada en la ejecución de labores de avance en CMHSA*. Trujillo, Peru.
- Manual Examine (2000) - *Departamento de Ingeniería Civil y Mecánica de Rocas* – Universidad de Toronto, Canadá.
- Melbye, T. (2001). *Shotcrete para soporte de Rocas*. Londres, Inglaterra.
- Hofler, J. & Schlumpf, J. (2004). *Concreto Proyectoado en la Construcción de Túneles*, San Francisco, EE. UU.
- Sika Informaciones Técnicas (2010). *Concreto reforzado con fibra*. Bogotá, Colombia
- Bates, R. y Jackson, (1984). *J. Dictionary of geological terms (rocks, minerals and gemstones)*. Michigan: EE.UU.
- Bateman, A. (1951). *The formation of mineral deposits*. New York: EE.UU.
- Bieniawski, Z. (1989), *Engineering Rock mass classifications*, A Wiley-Interscience, USA.
- Riedmüller, G., Brosch, F., Klima, K., Medley, E. (2001). *Engineering geological characterization of brittle faults and classification of fault rocks*. Canada.
- Brigham, E. & Ehrhardt, (2018) M. *Finanzas Corporativas: enfoque central*. (1° ed.). Cengage Learning. Mexico.
- Volcan Compañía Minera Carahuacra. (2017). *Plan Anual de Minado*, Perú.

ANEXOS

Matriz de consistencia

Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología de la investigación
-----------------------------------	------------------	------------------	--

<p>Problema General</p> <p>¿En qué medida la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influye la reducción del concreto de la gradiente en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.? • ¿Cuál es la variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.? 	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar en qué medida la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.. <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar cómo influye la reducción del concreto de la gradiente en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. • Determinar la variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 31-50 para reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. 	<p>Hipótesis general</p> <p>La optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 3150 influye significativamente en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La reducción del concreto de la gradiente, en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 3150, influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. • La variación del factor de seguridad en la optimización del consumo de Shotcrete en labores permanentes tipo IIIB – IVA de RMR 3150 influye en reducir los costos de sostenimiento en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A 	<p>MÉTODO GENERAL Método deductivo; y analítico.</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo – explicativo.</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Diseño general Experimental Diseño específico Pre-experimental</p>
--	---	--	---

ANEXO 02

TABLAS PARA EL DISEÑO DE CONCRETO LANZADO

1. Determinación de la resistencia promedio :

F _c	f _{cr}
Menos de 210	f _c + 70
210 a 350	f _c + 84
sobre 350	f _c + 98

2. Volumen unitario de agua:

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximo nominales de agregado grueso y distancia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	160	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	175	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	

3. Contenido de aire:

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
6"	0.2 %

4. Relación agua cemento

f cr (28 días)	Relación agua- cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

ANEXO





