

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación del sistema Raise Climber ascendente para  
optimizar el avance de construcción de chimeneas en  
U. M. Orcopampa-Buenaventura 2020**

José Carlos Navarro Romero

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo reconocimiento a los distinguidos catedráticos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, por mi formación profesional y por su apoyo invaluable con sus sabios consejos para esta presente tesis de investigación.

Asimismo, mi gratitud, a las E. E. Montali S. A.; a la Gerencia General, presidente del Directorio y todo el equipo de trabajo, por la oportunidad y apoyo que me brindaron durante la permanencia en la plana de ejecutivos, cuyo fruto es el presente trabajo. Finalmente, a todas aquellas personas que contribuyeron en la elaboración del presente trabajo.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a mi familia, con profundo cariño y reconocimiento, por el esfuerzo que desplegaron durante mi formación profesional y les digo: **misión cumplida.**

A nuestros docentes, por el apoyo moral y espiritual durante la elaboración del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>x</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xi</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>13</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1. Formulación del problema .....	14
1.1.1.1. Problema general .....	14
1.1.1.2. Problemas específicos .....	14
1.2. Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	15
1.4.1. Hipótesis general.....	15
1.4.2. Hipótesis específicas .....	15
1.4.3. Identificación y clasificación de las variables.....	16
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>17</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	17
2.1.1. A nivel internacional.....	17
2.1.2. A nivel nacional .....	18
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Sistema raise climber .....	19
2.2.1.1. Características .....	19
2.2.1.2. Ventajas .....	20
2.2.1.3. Requerimientos.....	21
2.2.1.4. Componentes .....	21
2.2.1.5. Seguridad.....	23

2.2.1.6. Tipos de sistemas.....	24
2.2.1.7. Preparación .....	25
2.2.1.8. Costos.....	26
2.2.2. Metodos de construccion de chimeneas: sistema raise boring.....	27
2.2.2.1. Características .....	27
2.2.2.2. Ventajas .....	27
2.2.2.3. Componentes .....	27
2.2.2.4. Seguridad.....	28
2.2.2.5. Costos .....	29
2.2.3. Metodos de construccion de chimeneas metodo convencional con puntales.....	31
2.2.3.1. Características: .....	31
2.2.3.2. Requerimientos.....	32
2.2.3.3. Componentes .....	32
2.2.3.4. Seguridad.....	32
2.2.3.5. Costos .....	33
2.2.4. Optimización de las operaciones .....	34
2.2.4.1. Optimización en construcción de chimeneas.....	34
2.2.4.2. Comparación de los métodos.....	34
2.3. Definición de términos básicos .....	34
2.3.1. Clasificación geomecánica.....	34
2.3.2. Sostenimiento.....	34
2.3.2.1. Sostenimiento activo .....	35
2.3.2.2. Sostenimiento pasivo.....	35
2.3.3. Sistema de anclaje.....	35
2.3.4. Anclajes de la categoría por adherencia.....	35
2.3.5. Anclajes de la categoría por fricción.....	35
2.3.6. Shotcrete .....	35
2.3.7. Malla electrosoldada .....	35
2.3.8. Empresa contratista minera.....	36
2.3.9. Empresa contratista de actividades conexas .....	36
2.3.10. Logística interna .....	36
2.3.11. Explotación minera.....	36
2.3.12. Estándares de trabajo.....	36
2.3.13. Labores de avance lineal .....	37
2.3.14. Crucero .....	37
2.3.15. Piques .....	37
2.3.16. Chimenea.....	37

2.3.17. Chimenea convencional .....	37
2.3.18. Chimenea Alimak.....	37
2.3.19. Chimenea con raise boring .....	38
2.3.20. Split set.....	38
2.3.21. Malla electro soldada.....	38
2.3.22. Pernos de fierro helicoidal con resina y cemento encartuchado.....	38
2.3.23. Cuadros completos de madera.....	38
2.3.24. Instalación de cimbras metálicas con planchas acanaladas .....	39
2.3.25. Concreto lanzado (shotcrete).....	39
2.3.26. Shotcrete mezcla seca.....	39
2.3.27. Shotcrete mezcla húmeda .....	39
2.3.28. Servicios auxiliares.....	39
2.3.29. Línea de energía .....	39
2.3.30. Línea de aire comprimido.....	40
2.3.31. Línea de agua.....	40
2.3.32. Línea de relleno hidráulico.....	40
2.3.33. Bombeo de agua .....	40
2.3.34. Circuito de ventilación .....	40
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>42</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>42</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	42
3.1.1. Método .....	42
3.1.2. Tipo de investigación: aplicada .....	42
3.1.3. Nivel de investigación: descriptivo-correlacional.....	42
3.1.4. Diseño de la investigación .....	42
3.1.5. Población y muestra.....	42
3.1.5.1. Población .....	42
3.1.5.2. Muestra.....	43
3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.1.6.1. Técnicas de recolección de datos .....	43
3.1.6.2. Instrumentos de recolección de datos.....	43
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>45</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1. Parámetros de línea base para la construcción de chimeneas .....	45
4.1.1. Método convencional de construcción de chimeneas .....	45
4.1.2. Diseño de chimenea .....	45
4.1.3. Alturas máximas de construcción de chimeneas convencionales .....	46

4.1.4. Perforación.....	46
4.1.5. Cálculo teórico del número de taladros.....	47
4.1.6. Limpieza .....	47
4.1.7. Sostenimiento.....	47
4.1.8. Resultados de avance de las chimeneas .....	48
4.2. Factibilidad del uso del método raise climber en la construcción de chimeneas .....	52
4.2.1. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 1 .....	53
4.2.2. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 2 .....	53
4.2.3. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 1 .....	54
4.3. Figuras comparativas de los metros de avance del método convencional y el método raise climber .....	55
4.4. Evaluación de beneficios en la construcción de chimeneas con el método raise climber	58
4.4.1. Comparacion general .....	58
4.4.2. Prueba de hipótesis .....	59
4.4.2.1. Conclusión de hipótesis.....	60
4.4.3. Conclusión de evaluación de beneficios del sistema RC.....	60
4.5. Discusión de resultados.....	62
<b>Conclusiones.....</b>	<b>64</b>
<b>Lista de referencias.....</b>	<b>65</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plataforma trepadora STH_5E de propulsión eléctrica.....	24
Tabla 2. Plataforma trepadora STH-5D de propulsión hidráulica .....	24
Tabla 3. Costos de construcción de chimenea de 2.40 x 2.40 con raise climber .....	26
Tabla 4. Costos de método RB .....	29
Tabla 5. Costos unitarios de excavación chimeneas .....	33
Tabla 6. Método de construcción de chimeneas .....	45
Tabla 7. Resultado de metros por guardia de la chimenea 1.....	48
Tabla 8. Resultado de metros por guardia de la chimenea 2.....	49
Tabla 9. Resultado de metros por guardia de la chimenea 3.....	50
Tabla 10. Resultado de metros por guardia de la chimenea 4.....	51
Tabla 11. Resultado de metros por guardia de la chimenea 5.....	52
Tabla 12. Avance de chimenea RC1 .....	53
Tabla 13. De avance de chimenea RC2 .....	53
Tabla 14. De avance de chimenea RC3 .....	54
Tabla 15. Comparación general .....	58
Tabla 16. Proceso de casos (hipótesis).....	59
Tabla 17. Resultados estadísticos .....	59
Tabla 18. Prueba de normalidad .....	60
Tabla 19. Estadísticas de muestra emparejadas .....	60
Tabla 20. Correlación de muestras emparejadas.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plataforma trepadora Alimak STH-5.....	23
Figura 2. Tramos de carril guía.....	23
Figura 3. Unidad de fuerza diésel-hidráulica.....	25
Figura 4. Método raice boring .....	28
Figura 5. Métodos para excavar chimeneas.....	34
Figura 6. Comparación uno de MC y RC.....	55
Figura 7. Comparación dos de MC y RC.....	56
Figura 8. Comparación tres de MC Y RC.....	57
Figura 9. Conjunto de datos MC.....	61
Figura 10. Área de acción de resultados MC.....	61
Figura 11. Conjunto de datos RC.....	62
Figura 12. Área de acción de resultados RC.....	62
Figura 13. Componentes del equipo raise climber.....	68
Figura 14. Traslado de componentes a la galería con la ayuda del scooptram .....	68
Figura 15. Bodega de almacenamiento de componentes .....	68
Figura 16. Instalación del sistema raise climber .....	69
Figura 17. Instalación completa del sistema raise climber .....	69
Figura 18. Instalación de los carriles de avance.....	69
Figura 19. Instalación del carril curvo .....	70
Figura 20. Jaula trepadora y jaula de auxilio .....	70
Figura 21. Ascendido del sistema raise climber .....	70
Figura 22. Traslado del equipo de perforación .....	71
Figura 23. Finalización del proyecto .....	71

## RESUMEN

Las operaciones mineras son poco eficientes en labores de preparación de profundización en la mina Buenaventura, por ello, la necesidad de aplicar un nuevo sistema y mejorar los avances de construcción de chimeneas. La mayoría de las empresas optan por realizar dichos trabajos con métodos inadecuados, que han conllevado a poner en riesgo al personal y a no aplicar estándares adecuados para un trabajo seguro. Motivo por el que, en este trabajo de investigación se propone la aplicación del sistema.

El objetivo de este estudio es determinar una adecuada aplicación del sistema *raise climber* descendente para optimizar los avances y sostenimiento de chimeneas. Con este fin, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cómo será la aplicación del sistema *raise climber* ascendente para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020? Con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente se optimizarán los trabajos de chimeneas, mejorando así los avances y el nivel de seguridad en trabajos de chimeneas a partir de un análisis de resultados de rentabilidad después de aplicar el sistema *raise climber* descendente con los criterios aplicados en este estudio, presentando así los resultados positivos en la optimización de las operaciones.

**Palabras claves:** avances de construcción de chimeneas, optimización de operaciones, sistema *raise climber*

## ABSTRACT

The mining operations are not very efficient in preparation for deepening work at the Buenaventura mine, for this reason the need to apply a new system and improve the advances in the construction of chimneys. Most companies choose to perform such work with inadequate methods which have entailed placing staff at risk and not applying adequate standards for safe work. reason why in this research work is proposed application of the system.

The objective of this study is to determine an adequate application of the descending raise climber system to optimize the progress and maintenance of chimneys. To this end, the research question is as follows: What will the application of the ascending raise climber system be like to optimize operations in the construction of chimneys in UMW Orcopampa-Buenaventura-2020? With the application of the raise climber Ascending system, we will optimize the works of chimneys improving the advances and the security level in works of chimneys from an analysis of profitability results after applying the descending raise climber system with the criteria applied in this study, thus presenting the positive results in the optimization of operations.

**Keywords:** advances in chimney construction, raise climber system, optimization of operations

## INTRODUCCIÓN

Muchas empresas mineras en el Perú tienen problemas con la eficiencia en los avances de chimeneas y a la par del sostenimiento, ya sea por el método convencional que aplican en la actualidad de sus labores y preparaciones y esto trae consigo que labores se realicen en más tiempo y se obtengan las toneladas métricas de mineral un poco más tarde. Según los estudios de otras investigaciones al aplicar este sistema genera una mejora en los trabajos mencionados, además, da características para la aplicación y los procedimientos que se debe tener en cuenta. La presente tesis “*Aplicación del sistema raise climber ascendente para optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020*”. Es una nueva opción para mejorar estos problemas y generar optimización en las operaciones mineras de la empresa Buenaventura. Por otro lado, este sistema también es flexible en otros usos en la construcción de chimeneas.

El problema planteado es ¿Cómo será la aplicación del sistema *raise climber* ascendente para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020? Con esto se realiza la investigación en la empresa minera Buenaventura en el nivel 3110 y se traza como objetivo evaluar las operaciones en la construcción de chimeneas con este método.

La aplicación del sistema *raise climber* ascendente optimiza directamente las operaciones en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020, para esto se realiza un estudio de recolección de datos en la mina.

En el capítulo II se realiza el marco teórico de las variables de la investigación.

El capítulo III trata de la metodología de la investigación y selección de la población y muestra, para luego realizar el tratamiento de data, se presentan los resultados y discusión en el capítulo IV y, luego en el capítulo V, se realiza la prueba de hipótesis.

Finalmente, se presentan las conclusiones, lista de referencias y anexos.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

En el afán de construir chimeneas seguras con el menor tiempo posible, las empresas nacionales e internacionales siempre implementan o actualizan sus sistemas de construcción de chimeneas, esto se debe a los problemas de avance en la construcción y está tomando fuerza actualmente en el proceso de implementación que, a su vez, pocas empresas van cambiando del sistema convencional a semimecanizados y mecanizados.

El sistema *raise climber* se emplea en la minería del Perú como una alternativa para minimizar costos y elevar la productividad en la construcción de chimeneas. Por ello, para la presente problemática, se aplica el sistema *raise climber* ascendente para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020, así mejorar los trabajos y controlar más la seguridad y tener las construcciones en el menor tiempo posible.

En el desarrollo de esta tesis se obtuvo en principio un diagnóstico de la situación actual de las operaciones unitarias de minado de chimeneas y su respectiva repercusión en los costos operativos de la empresa, para la optimización del sistema *raise climber* ascendente, como primer paso fue la revisión de los estándares, procedimientos, nivel de seguridad y costo del proceso operativo, se procedió el monitoreo en campo de las principales operaciones unitarias de construcción de chimeneas como la instalación de la línea riel y otros componentes.

Este análisis *in situ* permitió detectar deficiencias y problemáticas después de haber excavado la chimenea con el sistema *raise climber*, encontrando deficiencias en avance, y de esta manera perjudicando el proceso operativo en tiempo y costos.

Con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente se propone optimizar los metros de avance por guardia y así mejorar las construcciones de las chimeneas, los niveles de seguridad y estableciendo procedimientos adecuados para su nueva instalación y laboreo respectivo para construir chimeneas.

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

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

- ¿Cómo será la aplicación del sistema *raise climber* ascendente para la optimización del avance en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020?

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

- ¿Cuáles son los parámetros de línea base en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020?
- ¿Será factible realizar el sistema *raise climber* ascendente para la optimización en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020?
- ¿Cuáles serían los beneficios del sistema *raise climber* en la optimización de construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Planificar cómo será la aplicación del sistema *raise climber* ascendente para mejorar el avance en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar cuáles serán los parámetros de línea base en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.
- Proponer el sistema *raise climber* para la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.
- Evaluar cuáles serían los beneficios del sistema *raise climber* ascendente en la mejora de construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

## **1.3. Justificación**

De acuerdo con Llanque (1) muestra que este método de excavación se utiliza para chimeneas y piques, debido a su flexibilidad, economía y velocidad, y se ha convertido en uno

de los más usados del mundo, sobre todo en aquellos casos donde no existe ningún nivel de acceso superior. En estudios de Marcos (2) dice que, debido a su gran flexibilidad, economía y velocidad se utiliza para la excavación de chimeneas y piques.

La investigación planteada se justifica por la importancia económica que significa para ambos, Cía. de minas Buenaventura y E. C. Montali S. A.; ya que la magnitud y riesgo de estos trabajos implica una responsabilidad técnica y administrativa, el cumplimiento de objetivos de producción y el cumplimiento de roles socioambientales basado en los recursos minerales existentes en la zona.

Asimismo, los resultados del estudio ayudarán a crear un mayor desarrollo en el proceso de construcción de chimeneas, por consiguiente, este trabajo de investigación obtuvo en principio un diagnóstico de la situación actual de las operaciones y su respectiva repercusión en los costos en avances lineales de la E. C. Montali S. A., proseguido esto por la aplicación de factores de éxito de los avances lineales con sistema *raise climber* ascendentes que permitieron establecer propuestas de mejora de los estándares de minado e implementación, mediante el control de rendimientos de las operaciones en mina.

Por otro lado, mediante la investigación se podrá extender un método para medir las variables del estudio, pero solo con aplicaciones en preparaciones de chimenea de ángulos mayores a 45°.

#### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

##### **1.4.1. Hipótesis general**

El sistema *raise climber* ascendente optimizó beneficiosamente las operaciones en la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

Los parámetros de línea base para la construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020 son el tiempo de avance y los metros avanzados.

La propuesta del nuevo sistema afectó positivamente en la mejora de construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

Los beneficios al aplicar el sistema *raise climber* ascendente en la mejora de construcción de chimeneas en la U. M. Orcopampa, Buenaventura, 2020 son de menor tiempo en la construcción

#### **1.4.3. Identificación y clasificación de las variables**

- **Variable independiente:** método *raise climber* ascendente
- **Variable dependiente:** tiempo y metros de avance

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

##### 2.1.1. A nivel internacional

En la tesis «*Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak*» (3) el objetivo general fue diseñar el sistema de excavación de una chimenea mediante el sistema de levantamiento mecánico Alimak, para el traspaso de material mineralizado, en el área minera Selva Alegre 1. Cuyo resultado fue de optimizar el trasiego del material de mina (caliza), tomando en cuenta todos los parámetros de seguridad que contempla la reglamentación interna de la compañía. La toma de datos geotécnicos en el tramo franqueado de la chimenea, ensayos de resistencia a la compresión, interpretación de resultados, con ello, al conjunto de consideraciones, parámetros y actividades que conforman el diseño de excavación de una labor subterránea. Con eso se recomienda actualizar el mapeo geotécnico a medida que avanza la excavación para solventar las necesidades de sostenimiento que se presenten (3).

En la tesis «*Construcción de la chimenea de equilibrio en el proyecto hidroeléctrico Quijos mediante el método Alimak*» (4) el objetivo general fue analizar la metodología constructiva Alimak para la construcción de la chimenea de equilibrio en el proyecto hidroeléctrico Quijos de 50 MW, parroquia Cuyuja, cantón Quijos, provincia del Napo. Tomando en consideración el sondeo vertical SCHE-01 realizado en el eje de la chimenea, de este registro se interpretaron las diferentes unidades geotécnicas y geomecánicas de los materiales, clasificándoles por tipos de rocas y definiendo parámetros concretos para el sostenimiento adecuado para cada litología. Así se explica la metodología del sistema de excavación del Alimak, considerando parámetros técnicos diseñados para la construcción de la chimenea y su objetivo principal por el que se pondrá en marcha, también se conocerá su secuencia operacional, elección del equipo de trabajo, cálculos de perforación y voladura, diseño de la malla de perforación y secuencia de encendido, sistema de ventilación, ciclo de carga y transporte, cronograma de las actividades de avance de la chimenea de equilibrio, cálculo de costos, duración del proyecto, seguridad durante la construcción y aspectos ambientales. Concluyendo así que, aplicando la metodología de la plataforma Alimak la chimenea de equilibrio cuenta con una longitud de 116 m, para su construcción atravesara los depósitos volcano - sedimentarios, evidenciándose que

las excavaciones serán en rocas tipo II, III, IV y V, cumpliendo con el siguiente ciclo de trabajo: perforación, carga, voladura, ventilación, desquinche, rezagado, topografía e instalación del riel. La eficiencia y el seguimiento que se dé en todas las etapas de construcción de la chimenea de equilibrio dependerán de la organización que se haya dado por parte de la constructora y personal técnico en todas sus áreas de trabajo, cumpliendo con el cronograma establecido (4).

En la tesis «*Construcción de chimenea de equilibrio, con plataforma elevadora Alimak, en las obras subterráneas del proyecto hidroeléctrico Misicuni Cochabamba-Bolivia*» (5) el objetivo general fue el diseño y la construcción de la chimenea, piloto y ensanche, cuyo resultado permitirá dar equilibrio al trasvase de agua desde el túnel de baja presión hasta la caída, y de ahí hacia las turbinas generadoras de energía eléctrica, el sistema de perforación y voladura se efectuará a través de una plataforma elevadora Alimak (5).

### **2.1.2. A nivel nacional**

En la tesis «*Construcción de chimeneas por método convencional y plataforma Alimak en la mina Raúl, 2011 perteneciente a la empresa minera condestable S. A. C.*» (6) el objetivo fue el estudio comparativo de construcción de chimenea por método convencional vs. mecanizado con plataforma trepadora Alimak; los métodos de construcción, desde su diseño, alcances y limitaciones, proceso de construcción, costos unitarios y eficiencias de cada uno para finalmente realizar el estudio comparativo de ambos métodos, donde se mostraron que los resultados obtenidos se basaron en la decisión del método más viable en términos de tiempo, seguridad y costo. Para este trabajo de investigación se toma como antecedente a las excavaciones de chimeneas en forma ascendente con el *raise climber*, donde también se precisan los funcionamientos del *raise climber* y sus principales componentes (6).

En la tesis «*Sistema electromecánico para recuperación de chimeneas raise borer, chimenea RB12, desde 2002 en Marsa*» (7) el objetivo fue recuperar chimeneas *raise borer*, para optimizar la ventilación en interior de mina, dándose el caso que también en chimeneas RB se han implementado servicios como energía eléctrica, energía neumática, tubería de agua y tubería de relleno hidráulico. Todas estas actividades se realizan con el sistema electromecánico de recuperación de chimeneas *raise borer*. Dada la necesidad de ventilar las labores de la profundización en la rampa Patrick 3 y de explorar el nivel 2570, se genera el proyecto de ventilación denominado *raise borer* RB 12 como un circuito de extracción de aire viciado de 130,000 CFM y

una longitud de 700 metros verticales con una inversión de US\$ 1 200,000. Parte del sistema integral de este circuito corresponde a la chimenea RB-12A construida con equipo mecanizado *raise borer* de  $L = 230$  m,  $\varnothing = 2.4$  m entre las cotas 3358 – superficie (curva 15, carretera nacional) y el 3125 (interior de mina). Frente a esta problemática se desarrolla el sistema electromecánico para recuperación de la chimenea RB12. Objetivo que se cumplió en forma satisfactoria sin accidentes. El costo total de diseño, fabricación, instalación y sostenimiento alcanzó la cifra de US\$ 70,000 en un periodo de 4 meses (100 metros con *shotcrete dramix* y 40 metros con anillos metálicos-concreto). Para este trabajo de investigación se toma como antecedente la aplicación del sistema electromecánico para recuperación y sostenimiento de chimeneas *raise borer*, chimenea RB12, donde muestran esquemas y diseños similares al trabajo (7).

En la tesis «*Implementación de chimeneas con el sistema de plataformas y escaleras metálicas en la unidad de producción Mallay en la compañía de minas Buenaventura S. A. A.*» (8) el objetivo fue detallar la secuencia operacional para el desarrollo de chimeneas usando el método convencional de plataformas y escaleras metálicas, donde se mostraron los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la unidad de producción Mallay Cía. de minas Buenaventura (8).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistema *raise climber***

Este método de excavación de chimeneas y piqueras se introdujo en 1957, y desde entonces debido a su flexibilidad, economía y velocidad se han convertido en los más usados del mundo, sobre todo en aquellos casos donde no existe ningún nivel de acceso superior (9).

#### **2.2.1.1. Características (10)**

- Es un equipo que permite el desarrollo seguro de chimeneas verticales e inclinadas ( $39^\circ$  a  $90^\circ$ ) de sección circular o rectangular, en diferentes tipos de rocas.
- La sección de la chimenea va de  $1.6$  m \*  $1.6$  m a  $2.4$  m \*  $2.4$  m a más (9 a  $20$  m<sup>2</sup> existiendo para ellos plataformas plegables) y las longitudes de 13 a más de 900 m.

- La perforación, carguío y desate se efectúa debajo de la cubierta protectora.
- El disparo se efectúa cuando la plataforma se halla en la estación.
- El personal (perforista y ayudante) viaja en la jaula debajo de la plataforma.
- Fueron introducidos a la minería en 1957 en Suecia.
- Existen modelos STH 5, STH 5L (neumáticos), STH 5E (eléctricos) y STH 5D (diésel).

#### **2.2.1.2. Ventajas (11)**

- Pueden usarse para chimeneas de pequeña o gran longitud y con cualquier inclinación.
- Las diferentes secciones y geometrías de las chimeneas se pueden conseguir cambiando las plataformas, siendo posible excavar secciones desde 3 m<sup>2</sup> hasta 30 m<sup>2</sup>.
- Es posible en una misma obra cambiar la dirección e inclinación de las chimeneas mediante el uso de carriles curvos.
- La longitud de las excavaciones puede ser prácticamente ilimitada. La chimenea más larga efectuada hasta la actualidad tiene 1040 m y una inclinación de 45°.
- En el ensanchamiento de chimeneas piloto para la excavación de pozos de gran sección puede complementarse con unidades de perforación horizontal.
- En terrenos malos las plataformas pueden utilizarse para realizar el sostenimiento mediante bulonaje, inyección, etc.
- La inversión es menor que con el sistema *raise boring*.
- No requiere mano de obra demasiado especializada.

- La preparación inicial del área de trabajo es muy reducida.

#### **2.2.1.3. Requerimientos (10)**

- Aire comprimido
- Agua
- Energía eléctrica
- Petróleo (para la propulsión a diésel, para chimeneas largas)

#### **2.2.1.4. Componentes (10)**

- Plataforma de trabajo, construido de acero soldado, cuenta con una cubierta protectora, barandilla, escotilla, soporte de barrenos. Su peso oscila entre 280 y 420 kg.
- Equipo de accionamiento, comprende dos engranajes de tornillo sinfín, cada uno provisto de piñones trepadores que se apoyan sobre el carril guía por medio de rodillos. Cuenta con motores que son activados por aire comprimido, electricidad o petróleo. El conjunto cuenta con frenos de mando y frenos centrífugos.
- Jaula o cabina, constituido de tubos de acero y recubierto con tela mecánica, suspendida debajo de la plataforma, pudiendo bascular en chimeneas inclinadas.
- Cuenta con una escalera fija para subir a la plataforma, cajas especiales para explosivos y accesorios de voladura, su peso medio es de 500 kg.
- Carril guía o monorraíl con cremallera, que soporta y guía la plataforma trepadora; conducen a través de 4 tuberías interiores el aire, agua y electricidad al frente de trabajo (la conducción de la electricidad es mediante un cable bipolar).
- con aislamiento de plástico y sirve para la comunicación telefónica, detonación y control remoto de suministro de aire y agua.
- A medida que avanza la chimenea, se van empalmando los tramos con

pernos; cada tramo se fija a la roca mediante placas y pernos de anclaje, en taladros expresamente preparados.

- Para el cierre hermético entre cada una de las tuberías interiores se aplican anillos obturadores especiales.
- Existen carriles rectos, curvados y de servicio que van de 0,50 a 2,00 metros de longitud.
- Ascensores de servicio y de seguridad, conocidos como *Alitrolley* (con propulsión neumática, eléctrica o diésel-hidráulica) y *Alicab* (con propulsión neumática o eléctrica) respectivamente, y que son similares a las jaulas. Aseguran la comunicación entre la estación y la plataforma de trabajo.
- Carretes de manguera o cable eléctrico, para enrollar o desenrollarlos. Pueden ser accionados en forma manual, por electricidad o por aire comprimido.
- Circuito de aire, agua y electricidad que, desde las tomas respectivas instaladas en la estación, son transportados al frente de trabajo.
- Equipo de seguridad, constituido por un dispositivo de freno automático al exceder la velocidad de subida/bajada de la jaula de 54 m/min o al cortarse la energía, dos pares de zapatos trepadores de acero, dos ganchos con cinturones y sogas adecuados, además de la palanca para operar manualmente la jaula.

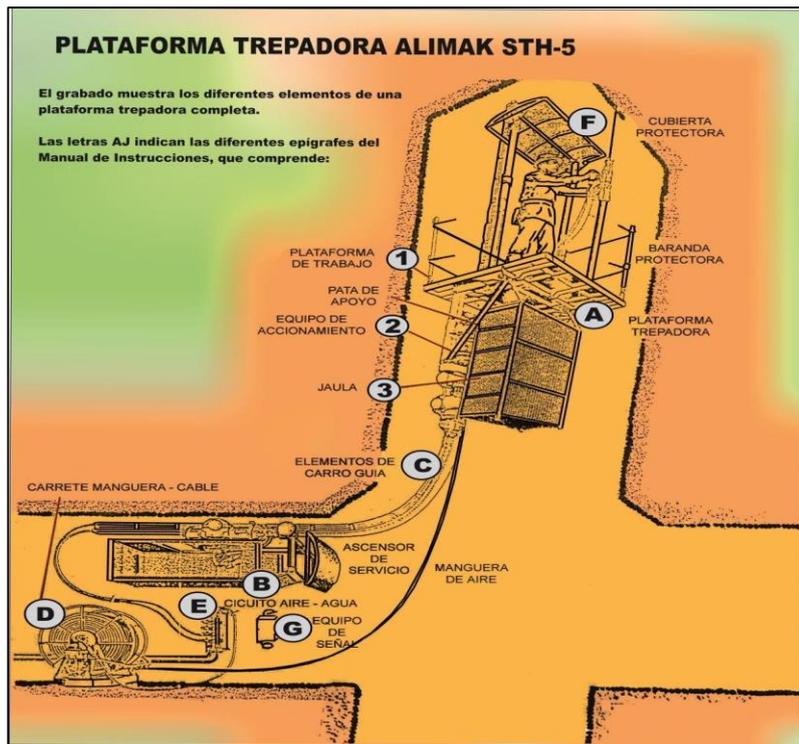


Figura 1. Plataforma trepadora Alimak STH-5



Figura 2. Tramos de carril guía

### 2.2.1.5. Seguridad

Los fabricantes de la plataforma trepadora Alimak STH (*raise climber*) se adecuaron a las disposiciones de la Real Dirección de Protección de Trabajadores de Suecia (KAS) para que el equipo tenga mecanismos de seguridad incorporado contra accidentes, tales como el dispositivo de seguridad (paracaídas), el freno de mano y los frenos centrífugos superior e inferior (12).

En cuanto a los reglamentos de seguridad que tienen que observar los trabajadores especializados en el tema de seguridad, la empresa tiene información y experiencia para la capacitación de los trabajadores en esta materia e implementando procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS) y estándares de seguridad para el trabajador en chimeneas con el método Alimak (12).

#### 2.2.1.6. Tipos de sistemas (11)

Existen 2 tipos de plataformas trepadoras (*raise climber*) tal como se muestra en las tablas 1 y 2.

##### A) Plataforma trepadora STH- 5E de propulsión eléctrica

Se tiene 2 tipos:

**Tabla 1. Plataforma trepadora STH\_5E de propulsión eléctrica**

<b>STH-5E con una unidad propulsora</b>	<b>Unidad</b>
Área máxima aproximada chimenea vertical	7 m <sup>2</sup>
Longitud máxima aproximada de chimenea	800 - 900 m
Velocidad de ascenso	18 m/min
Velocidad de descenso por gravedad	25 - 30 m/min
Potenciar motor	10 HP
<b>STH-5E con dos unidades propulsoras</b>	
Área máxima aproximada de chimenea vertical	15 m <sup>2</sup>
Longitud máxima aproximada de chimenea	800 – 900 m
Velocidad de ascenso	18 m/min
Velocidad de descenso por gravedad	25 – 30 m/min
Potencia motora	2 x 10 HP

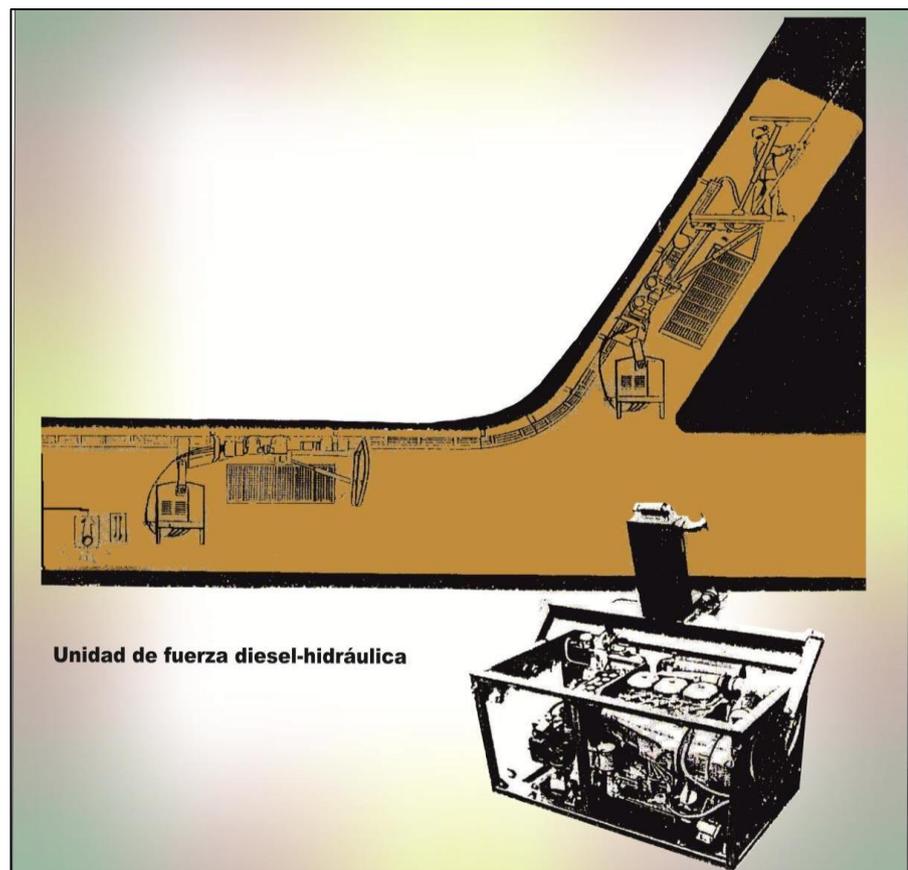
##### B) Plataforma trepadora STH-5D de propulsión hidráulica

Se tiene 2 tipos:

**Tabla 2. Plataforma trepadora STH-5D de propulsión hidráulica**

<b>STH-5E con una unidad propulsora</b>	<b>Unidad</b>
Área máxima aproximada de chimenea vertical	5 m <sup>2</sup>
Longitud máxima aproximada de chimenea	2000 m
Velocidad de ascenso	22 m/min

Velocidad de descenso por gravedad	25 – 30 m/min
Potenciar motor	38 HP
STH-5E con dos unidades propulsoras	
Área máxima aproximada de chimenea vertical	10 - 15 m <sup>2</sup>
Longitud máxima aproximada de chimenea	2000 m
Velocidad de ascenso	15 - 22 m/min
Velocidad de descenso por gravedad	25 – 30 m/min
Potencia motora	38 HP



*Figura 3. Unidad de fuerza diésel-hidráulica*

#### **2.2.1.7. Preparación**

Al proyectar la perforación de una chimenea es necesario tomar en cuenta ciertas condiciones como son:

- Longitud
- Inclinación
- Características físicas del terreno donde estará ubicada la chimenea, dureza, fragilidad. Tenacidad y plasticidad afectarán directamente a la perforación y voladura y sostenimiento de las caras.

- Sistema de extracción del desmonte o carga.
- Como las condiciones de un sitio varían con respecto a otro, es difícil adoptar un patrón único para la instalación de Alimak, pero se puede dar las siguientes sugerencias prácticas.
- Es mejor trasladar el elevador Alimak en piezas para facilitar su transporte al sitio donde va a ser instalado. La pieza mayor es el bastidor cuyo peso es de 523.9 kg y sus dimensiones son: 1.9 m x 1,01 m x 0.5 m.
- Una vez trasladado el equipo se debe revisar que todas sus piezas estén completas, así como las herramientas para su montaje (13).

### 2.2.1.8. Costos

**Tabla 3. Costos de construcción de chimenea de 2.40 x 2.40 con raise climber**

<b>Costo de construcción de chimenea de 2.40 x 2.40 metros con raise climber</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (S/)</b>	<b>Parcial (S/)</b>	<b>Total (S/)</b>
<b>1. Mano de obra</b>				
Líder	1	100.00	100.00	
Operario	2	70.00	140.00	
Valvulero	2	45.00	90.00	
Mecánico	2	80.00	160.00	
Bodeguero	1	50.00	50.00	540.00
<b>2. Equipos de perforación</b>				
Barra cónica de 2"	21	1.20	25.20	
Barra cónica de 4"	21	1.28	26.88	
Barra cónica de 6"	21	1.64	34.44	
Barra cónica de 8"	21	1.80	37.80	
Broca descartable	85	0.52	44.20	
Manguera de jebe lona 1/2", 100psi	50	2.50	125.00	
Manguera de jebe lona 1", 100psi	50	4.50	225.00	
Plataforma	1	256.00	256.00	
Perforadora Stoper	1	170.00	170.00	944.52
<b>3. Explosivos y accesorios</b>				
Emulsión	22.81	7.64	174.27	
Fanel	31	5.68	176.08	
Pentacord 3P	9	0.68	6.12	
Fulminante eléctrico	2	1.52	3.04	
cable de disparo	1	6.00	6.00	359.51
<b>4. otros:</b>				
Lámparas mineras	5	3.60	18.00	
Implementos de seguridad	2	11.60	23.20	
Herramientas manuales	5	47.32	236.60	277.80
<b>Total</b>				<b>2,121.83</b>
Avance por disparo promedio				3.70

## **2.2.2. Metodos de construccion de chimeneas: sistema *raise boring***

### **2.2.2.1. Características**

El método *raise boring* consiste principalmente en la utilización de una máquina electrohidráulica, donde la rotación se logra a través de un motor eléctrico y el empuje del equipo se realiza a través de bombas hidráulicas que accionan cilindros hidráulicos.

Básicamente, la operación consiste en perforar, descendiendo, un tiro piloto desde una superficie superior, donde se instala el equipo, hasta un nivel inferior.

Posteriormente, se conecta en el nivel inferior el escariador, que actúa en ascenso, excavando por corte y cizalle, la chimenea, al diámetro deseado.

Dependiendo de las características del equipo, el motor eléctrico puede ser de 150 HP a 500 HP, este rango de potencias irá directamente en relación con el diámetro final de escariado y la longitud del pique o chimenea.

En este método de excavación de chimeneas se necesitará contar con dos superficies de trabajo: al inicio de la excavación, en la parte superior y al final de la excavación, en la parte inferior.

Es decir, el método será aplicable para excavaciones en interior de la mina entre dos galerías o desde la superficie a una galería ubicada al interior de la mina.

### **2.2.2.2. Ventajas**

- Gran velocidad de avance en chimeneas de ventilación verticales
- Diámetro de chimeneas grandes

### **2.2.2.3. Componentes**

- Torre de perforación RB
- Pack hidráulico
- Pack eléctrico
- Sistema de lubricación

- Estación de control
- Componentes de perforación

#### **2.2.2.4. Seguridad**

El personal trabaja en todo momento fuera de la chimenea, con las ventajas que ello involucra. No se trabaja en ambiente tóxico, por acumulación de gases producto de la voladura.



*Figura 4. Método raise boring*

### 2.2.2.5. Costos

**Tabla 4. Costos de método RB**

<b>Análisis de costos para chimenea raise boring</b>								
	Dimensiones	2.5 m		Rendimiento de piloto:	20,00			65,62 m: pie
	Unidad de medida:	ML		Rendimiento de escariado:	18,00			59,06 m: pie
	Elaborado por:	Bach. Carlos Choque Catare		Varillaje de perforación:	1,50			4,92 m: pie
	Tipo de roca:	III-IV		Distancia entre estabilizadores:	10,00			32,81 m: pie
	Longitud de excavación:	180 590,5512 mtpie						
	Fecha de elaboración:	Jun-10		Horas por guardia:	12,00			h/guardia
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	% incid.	P. U. (US\$)	Parcial	Subtotal	Total (US\$/m)
1	Mano de obra							
	Operador de <i>raise boring</i>	30,00	hh		3,78	113,29	6,29	
	Asistente de <i>raise boring</i>	90,00	hh		3,02	271,90	15,11	
	Electromecánico	5,00	hh		3,78	18,88	1,05	
	Bodeguero	10,00	hh		2,64	26,43	1,47	
	Capataz	5,00	hh		5,54	27,69	1,54	
	Ing. supervisor de <i>raise boring</i>	5,00	hh		8,21	41,04	2,28	27,74
2	Materiales y herramientas							
	Triconos	590,55	Pp		4,85	2864,17	143,21	
	Varillaje de perforación	108,00	Und.		1,39	150,12	7,51	
	Estabilizadores	12,00	Und.		2,48	29,76	1,49	
	Escariador	590,55	Pp		2,98	1759,84	97,77	
	Cortadores	590,55	Pp		7,52	4440,94	246,72	
	Aditivos	1,00	Global		500,00	500,00	27,78	
	Herramientas	1,00	Global		50,00	50,00	2,78	527,25
3	Implementos							
	Implementos de seguridad normal	12,08	Und.		0,99	11,96	0,66	

	Implementos de seguridad agua	0,00	Und.	0,53	0,00	0,00	0,66
4	Equipos y maquinarias						
	Robbins 71R	590,55	Pp	5,68	3354,33	186,35	
	Cargador de lámparas	145,00	hm	0,17	24,65	1,37	
	Radios	24,00	hm	0,80	19,20	1,07	
	Camioneta	4,00	hm	7,50	30,00	1,67	
	Scoop 2,5 y d <sup>3</sup>	4,00	hm	55,00	220,00	12,22	
	Grúa	2,00	hm	50,00	100,00	5,56	
	Compresora eléctrica 500 CFM	0,50	hm	25,00	12,50	0,69	208,93
5	Mantenimiento de equipo						
	Mantenimiento de equipo Robbins 71R	1,00	Global	400,00	400,00	22,22	22,22
			Costo directo				786,80
	Gastos generales		15%				118,02
	Utilidad		10%				78,68
	Costo total		US\$/ML				983,49

### **2.2.3. Metodos de construccion de chimeneas metodo convencional con puntales (14)**

#### **2.2.3.1. Características:**

Se da esta denominación cuando la construcción se efectúa colocando puntales de línea de avance sobre el que se tienden tablas que sirven de plataforma. En este caso se utiliza para la perforación una sola máquina neumática *stoper*, barrenos integrales de 6 pies y brocas de hasta 40 mm de diámetro.

La longitud de la chimenea en promedio es de 50 m pudiéndose construir chimeneas de mayor longitud, pero deberán ser mellizas por razones de seguridad.

Por otro lado, la sección es simple o doble, generalmente sobre estructura mineralizada y su inclinación puede ser vertical o inclinada.

El suministro de aire comprimido es con mangueras de hasta 30 m de 1" de diámetro y cuando la altura o longitud de la chimenea supera los 30 m se instalan tuberías de 1".

El suministro de agua es con manguera de ½" de diámetro de longitud de hasta 30 m y cuando la longitud de la chimenea es mayor también se instalan tuberías de ½".

Los tubos de aire y agua son protegidos con tablas contra el golpe que puedan sufrir por las rocas producto de la voladura.

La manguera de aire se deja protegido a 5.0 m del tope de la chimenea a fin de poder ventilar luego de realizado el disparo.

Cuando no se tiene agua suficiente para la perforación o la presión no es suficiente, se utiliza botellas de agua, que son recipientes metálicos ubicados en la galería, donde se llena de agua y luego se conecta la manguera de aire comprimido para impulsar hasta la perforadora.

### **2.2.3.2. Requerimientos**

Para la construcción de chimeneas por el método convencional se requieren:

- Un equipo de perforación vertical *stoper*
- Puntales de madera
- Barrenos de 3 y 6 pies
- Mangueras de aire de 1”
- Manguera de agua de ½”
- Maestro perforista
- Ayudante de maestro perforista
- Capataz

### **2.2.3.3. Componentes**

El equipo de perforación consta de una máquina perforadora *stoper* y barrenos integrales de 3 y 6 pies, además se tendrán las respectivas mangueras de aire de 1” de diámetro y de agua de ½” de diámetro.

Para el avance de la chimenea se coloca puntales en línea que a su vez sirve de sostenimiento, en caso de encontrarse roca incompetente se sostendrá con cuadros completos toda la sección de la chimenea.

### **2.2.3.4. Seguridad**

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D. S. N.º 055). Artículo 258º dice que la perforación de chimeneas convencionales de más de 20 m de longitud deberá hacerse utilizando dos compartimientos independientes: uno para el tránsito del personal y otro como echadero. Se exceptúan las chimeneas preparadas por medios mecánicos.

### 2.2.3.5. Costos

**Tabla 5. Costos unitarios de excavación chimeneas**

<b>Cuadrado N°3.5. 10</b>					
Costo unitario de excavación chimenea 1.20 x 2.40 m en roca tipo 1					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	Total US\$
<b>1-Mano de obra</b>					
Maestro perforista	HH	8	2.80	22.40	
Ayudante perforista	HH	8	2.00	16.00	
Maestro enmaderador	HH	4	2.80	11.20	
Ayudante enmaderador	HH	4	2.00	8.00	
Bodeguero	HH	1	1.50	1.50	
Capataz	HH	2	3.00	6.00	
Leyes sociales (65 %)				42.32	107.42
<b>2-Barrenos y brocas:</b>					
Barreno de perforación de 3 pies	M	39.60	0.18	7.13	
Barreno de perforación de 6 pies	M	39.60	0.24	9.50	16.63
<b>3-Explosivos y accesorios</b>					
Dinamita de 60 %	KG	9.00	1.90	17.10	
Fanales con microrretardo	Pieza	18.00	1.28	23.04	
Cordón detónante 3P	M	4.60	0.15	0.69	
Guía	M	2.00	0.10	0.20	
Fulminante N.º 6	U	1.00	0.12	0.12	42.15
<b>4-Equipo de perforación</b>					
Maquina perforadora Stoker	HM	8.00	10.00	80.00	
Maquina patilladora	HM	2.00	3.00	6.00	
Manguera jebe 1"	M	1.80	0.15	0.27	
Manguera jebe 1/2"	M	1.80	0.10	0.18	
Compresora neumática de 1,000 CFM	HM	4.00	30.00	120.00	206.45
<b>5-Sostenimiento</b>					
Puntual de madera de 6"	M	7.20	5.00	36.00	
Tablas de 2" x 6"	M	8.00	6.00	48.00	
Escaleras de madera	M	1.00	20.00	20.00	104.00
<b>6-Otros</b>					
Implementos de seguridad personal	Tarea	1.00	0.90	0.90	
Lámparas mineras	Tarea	1.00	2.90	2.90	
Herramientas manuales	% MO	5.00	5.37	26.85	30.65
<b>Total</b>					<b>506.30</b>
Metros de avance/disparo					1.74
Costo por metro					290.98

*Nota:* tomada de Evaluación económica del sistema de extracción (2)

## 2.2.4. Optimización de las operaciones

«Es el método con el que se optimizan los procesos y sus operaciones, como la productividad, utilizando herramientas de mejora continua» (15).

### 2.2.4.1. Optimización en construcción de chimeneas

La optimización de las construcciones de las chimeneas con el sistema *raise climber* permite planear, programar y controlar la producción de las operaciones en el nivel 3110 reteniendo en cuenta los avances proyectados.

### 2.2.4.2. Comparación de los métodos

«Realizamos una breve comparación de métodos, en diferentes aspectos, y se pueden mencionar los siguientes: en seguridad, costos, eficiencia, ventajas y desventajas» (16).

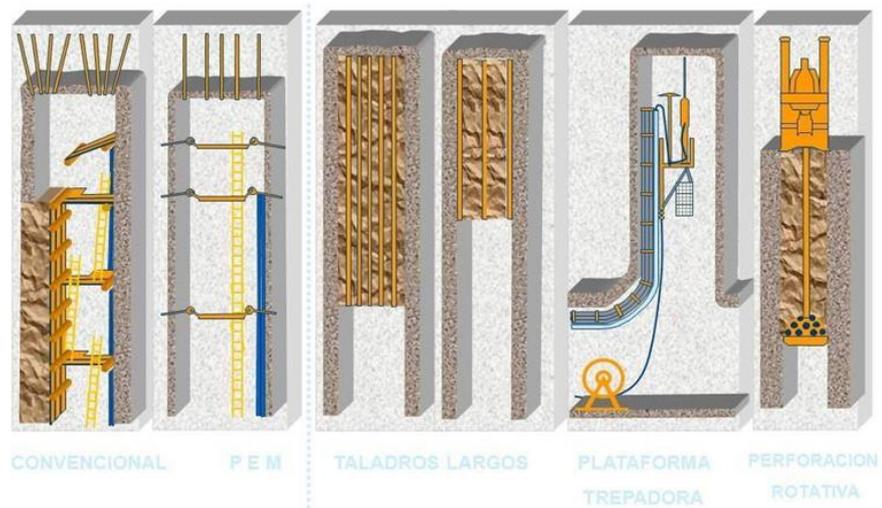


Figura 5. Métodos para excavar chimeneas

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Clasificación geomecánica

La clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos en función al índice RMR, este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD, condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos (17).

### 2.3.2. Sostenimiento

«Es el refuerzo que requiere una labor cuando las condiciones de inestabilidad y seguridad lo requieran. Para conseguir un buen sostenimiento es necesario una correcta indagación y evaluación del macizo rocoso a fin de elegir el correcto elemento

de soporte» (17). Término usado para describir los materiales y procedimientos utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca en los bordes de una excavación subterránea; el tiempo de autososteo que la excavación rocosa puede permanecer abierto autososteniéndose depende del tipo de roca; de acuerdo a ello se clasifican en:

#### **2.3.2.1. Sostenimiento activo**

Llamado también refuerzo, en donde los elementos de sostenimiento forman parte integrante de la masa rocosa. Ejemplo típico de refuerzo son los pernos de roca o los cables.

#### **2.3.2.2. Sostenimiento pasivo**

Llamado también soporte, en donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y actúan después que la roca empieza a deformarse.

### **2.3.3. Sistema de anclaje**

Los pernos de anclaje están agrupados en dos categorías de refuerzo: anclajes por adherencia y anclajes por fricción. Dentro de los cuales se encuentran agrupados los diversos tipos de anclajes.

#### **2.3.4. Anclajes de la categoría por adherencia**

Su uso es para el soporte permanente de una labor, están: con resina (cartuchos), cemento (inyecciones de cartuchos), para luego aplicar el perno de anclaje de barra helicoidal.

#### **2.3.5. Anclajes de la categoría por fricción**

Su uso es para el soporte temporal de una labor, están: de alta carga de contacto: (perno mecánico), de baja carga de contacto: compresión de anclaje (perno tipo *split set*), expansión de anclaje (perno tipo *swellex*).

#### **2.3.6. Shotcrete**

Es hormigón proyectado, se utiliza principalmente para fines de soporte de rocas y suelos, y es considerada una de las tecnologías más adaptables.

#### **2.3.7. Malla electrosoldada**

Consiste en una cuadrícula de alambres número 8 soldados en sus intersecciones, con cocadas de 4" x 4" construida en material de acero negro (alambón

SAE-1006 MB05B 5.50 mm). Esta malla es recomendada para uso con refuerzo de concreto lanzado (*shotcrete*). Utilizado para los siguientes fines: prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando como sostenimiento de la superficie de la roca. Las especificaciones técnicas que el mercado ofrece son: el rollo de malla es de 50 m<sup>2</sup> con dimensiones de largo 25 ml y ancho 2 ml, con cocadas de 4" x 4".

### **2.3.8. Empresa contratista minera**

Es toda persona jurídica que, por contrato, ejecuta una obra o presta servicio a los titulares mineros, en las actividades de exploración, desarrollo, explotación o beneficio, y que ostenta la calificación como tal emitida por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.3.9. Empresa contratista de actividades conexas**

Es toda persona natural o jurídica que realiza actividades auxiliares o complementarias a la actividad minera por encargo del titular minero.

### **2.3.10. Logística interna**

Conformado por requisición, recepción, almacenamiento, distribución, mantenimiento de inventarios.

### **2.3.11. Explotación minera**

Determinado por exploración, desarrollo, preparación y explotación. Perforación, voladura, sostenimiento, carguío, acarreo, transporte.

### **2.3.12. Estándares de trabajo**

El estándar es definido como los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente o resultado del avance tecnológico, con los que es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Es un parámetro que indica la forma correcta de hacer las cosas; el estándar satisface las siguientes preguntas: ¿qué hacer?, ¿quién lo hará?, ¿cuándo se hará? y ¿quién es el responsable de que el trabajo sea bien hecho?

### **2.3.13. Labores de avance lineal**

Son labores horizontales, verticales o inclinadas que se les denominan: crucero, chimenea, galerías rampa, y subniveles, que pueden ser para exploración, desarrollo, preparación e infraestructura.

### **2.3.14. Crucero**

Excavación subterránea en forma horizontal construida de acuerdo a las necesidades de mina, con ligera gradiente positiva respecto a la horizontal para el drenaje de agua de mina.

### **2.3.15. Piques**

Excavación subterránea vertical generalmente descendente de secciones variables y ángulos cuasiverticales, las actividades primarias dependen de la sección a excavar, tienen como finalidad múltiples usos como izaje de minería, de personal y de equipos, vía de acceso, etc.

### **2.3.16. Chimenea**

Excavación subterránea que varía su inclinación desde los 45° hasta la vertical (90°) en términos de voladura tiene una sola cara libre y son utilizadas generalmente para los servicios auxiliares, circuito de ventilación, tránsito de persona, traspaso de mineral, etc.

### **2.3.17. Chimenea convencional**

Ejecutada con una pareja de obreros, un equipo de perforación manual (*stopper*), puntales de línea distanciados de 1.0 m a 1.2 m y sus respectivas plataformas de madera instalado sobre los puntales de línea. En avances mayores a 20 m de longitud deberá hacerse utilizando doble compartimiento, uno para el tránsito del personal y el otro para el echadero.

### **2.3.18. Chimenea Alimak**

Equipo trepador de ascenso eléctrico o neumático con una plataforma donde sube la pareja de perforistas, el ángulo de inclinación varía con respecto al eje de instalación de los carriles por donde se desplaza la plataforma y jaula (18).

### **2.3.19. Chimenea con *raise boring***

La perforación se realiza del nivel superior al nivel inferior con broca tricónica y unidas con barras de perforación de 1.00 m a 1.20 m, el ángulo de inclinación varía o gira en forma cónica y es la forma más segura de construir chimeneas.

### **2.3.20. Split set**

Son pernos que trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro. Consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud. Uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la placa; al ser introducido a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial en toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura; la fricción constituye el anclaje, logrando así, indirectamente, una tensión de carga; el diámetro del tubo varía de 35 a 46 mm y pueden alcanzar valores de anclaje de 0.80 a 1.50 toneladas por pie de longitud del perno.

### **2.3.21. Malla electro soldada**

Consiste en una cuadrícula de alambres número 8 soldados en sus intersecciones, con cocadas de 4" x 4" construida en material de acero negro (alambroñ SAE-1006 MB05B 5.50 mm). Esta malla es recomendada para uso con refuerzo de concreto lanzado (*shotcrete*). Utilizado para los siguientes fines: prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando como sostenimiento de la superficie de la roca. Las especificaciones técnicas que el mercado ofrece son: el rollo de malla es de 50 m<sup>2</sup> con dimensiones de largo 25 ml y ancho 2 ml, con cocadas de 4" x 4".

### **2.3.22. Pernos de fierro helicoidal con resina y cemento encartuchado**

Es una varilla de barra de acero, con un extremo biselado forma de hilo helicoidal de amplio paso, que es confinado dentro del taladro por medio de cemento y resina en cartuchos. El anclaje entre la varilla y la roca es proporcionado a lo largo de la longitud de la varilla de refuerzo, por tres mecanismos: adhesión química, fricción y fijación.

### **2.3.23. Cuadros completos de madera**

Utilizados en labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos; los elementos que componen los cuadros son: los postes, sombrero, encribado, enrejado y topeado. Todos estos elementos unidos entre sí por destajes o elementos exteriores de unión, forman una estructura de sostenimiento.

#### **2.3.24. Instalación de cimbras metálicas con planchas acanaladas**

Sostenimiento pasivo o soporte utilizado generalmente para sostenimiento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de estabilidad en tales condiciones de terreno, las cimbras son utilizadas debido a su excelente resistencia mecánica y sus propiedades de deformación, lo que contrarresta el cierre de la excavación y evita su ruptura prematura.

#### **2.3.25. Concreto lanzado (*shotcrete*)**

Es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregado, agua, aditivos y elementos de refuerzo, aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre la superficie del terreno, el proceso comprende de mezcla seca o mezcla húmeda.

#### **2.3.26. *Shotcrete* mezcla seca**

Los componentes del *shotcrete* seco o ligeramente húmedo, son alimentados a una tolva con agitación continua, el aire comprimido es introducido a través de un tambor giratorio para transportar los materiales en un flujo continuo hacia la manguera de suministro. El agua es adicionada a la mezcla en la boquilla.

#### **2.3.27. *Shotcrete* mezcla húmeda**

La mezcla del *shotcrete* y el agua son mezcladas antes de la entrega a una unidad de bombeo de desplazamiento positivo, que luego suministra la mezcla hidráulicamente hacia la boquilla, donde es añadido el aire comprimido para proyectar el material sobre la superficie del terreno.

#### **2.3.28. Servicios auxiliares**

Son las instalaciones temporales de las líneas principales de servicios que abastecen a las labores de trabajo asignadas. Todas las instalaciones deben estar instaladas en sus respectivos cáncamos, de acuerdo a los estándares.

#### **2.3.29. Línea de energía**

Es la línea de alimentación de energía eléctrica distribuida a los diferentes transformadores ubicados en los niveles de operación, que luego alimenta a los equipos ubicados en las diferentes labores (tableros). Todo equipo eléctrico de mina, aparatos automáticos de ruptura, interruptores y todos los dispositivos de control deben de estar

protegidos contra la humedad, polvo, agua corrosiva, roedores y el ingreso de personal no autorizado.

#### **2.3.30. Línea de aire comprimido**

Son instalaciones de tuberías de fierro y polietileno de diferentes diámetros para abastecer aire comprimido a los equipos neumáticos. Las instalaciones deben estar separadas de las de energía eléctrica según el estándar establecido por la Cía. minera. Al usar aire comprimido se deben tomar todas las precauciones necesarias para prevenir lesiones personales. En ningún momento se debe dirigir el aire comprimido hacia una persona.

#### **2.3.31. Línea de agua**

Son instalaciones de tuberías de polietileno que abastecen agua a las diferentes labores en operación de la mina, que captan el agua de los diferentes tanques de abastecimiento.

#### **2.3.32. Línea de relleno hidráulico**

Es la línea de distribución del relave enviado por medio de tuberías de polietileno, impulsado con bombas instaladas en planta concentradora e interior de mina a las labores de la mina. Para la instalación y desinstalación de las tuberías, el jefe de Servicios Auxiliares coordinará, en el reparto de guardia, con el Ingeniero de Guardia de la E. E. o quien lo reemplace, para el apoyo de su personal de servicios. La construcción adecuada de las barreras de contención (material detrítico) es responsabilidad del Ingeniero de Guardia de E. E. quien verificará con el responsable del relleno hidráulico para la conformidad o adecuarlo según el requerimiento.

#### **2.3.33. Bombeo de agua**

En la poza donde se obtiene el agua con bajo contenido de sólidos en suspensión se construye una cámara para la estación de las bombas que impulsan el agua al nivel principal de evacuación a superficie.

#### **2.3.34. Circuito de ventilación**

Es el ingreso de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a la necesidad del personal y equipo para evacuar los gases, humos y polvo suspendido en el ambiente.

El costo de los equipos y mangas para ventilación auxiliar o secundaria se está considerando en los precios unitarios. El equipo completo está compuesto por el

ventilador y su respectivo arrancador, considerado en el análisis de precios unitarios, los ventiladores que frecuentemente se usan en CMBSA son las de 60 000 cfm, 30 000 cfm, 20 000 cfm, 10 000 CFM y 5 000 cfm que están ubicados en accesos de aire fresco, el lugar de ubicación será definido por el jefe de Ventilación de la minera en coordinación con el representante de la empresa especializada.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Método y alcance de la investigación

##### 3.1.1. Método

Para esta investigación se utilizó el método estadístico analítico, porque es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, al igual que en este caso al utilizar el método *raise climber* se necesitan todos los datos de avance y por separado para observar las mejoras que traen en comparación al método convencional.

##### 3.1.2. Tipo de investigación: aplicada

Este tipo de investigación busca la obtención de nuevos conocimientos a partir de la aplicación directa hacia los problemas que circundan. Están guiadas por hallazgos tecnológicos de la investigación básica creando una relación entre la teoría y los resultados.

##### 3.1.3. Nivel de investigación: descriptivo-correlacional

Es conocida como estadística, se explican los datos y características obtenidas de una población en estudio, y estas responden a preguntas como: quién, dónde, cuándo y cómo.

Tiene como objetivo hallar un nivel de relación no causal existente entre dos o más variables. Se diferencian porque primero se miden las variables y luego mediante las hipótesis y la aplicación se establecen relaciones.

##### 3.1.4. Diseño de la investigación

En este tipo de trabajo se considera el diseño de investigación no experimental, porque se refiere a estudios que se realizan sin manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. En efecto, se desarrolla el diseño transversal, porque se centra en analizar el nivel o estado de una o diversas variables en un único punto en el tiempo.

##### 3.1.5. Población y muestra

###### 3.1.5.1. Población

Considerando que la población es el universo de elementos que se toma en cuenta para la investigación, es adecuado decir que abarca todas las chimeneas para echaderos de mineral de la Cía. minera Buenaventura S. A. A.

### **3.1.5.2. Muestra**

Teniendo en cuenta que la muestra es parte de este universo de datos (población) se tomaron en cuenta solo los trabajos con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente en la construcción de chimeneas destinadas a ser echaderos de mineral ejecutado por E. C. Montali S. A. Se tomaron 3 muestras, utilizando como criterio el muestreo al azar simple, porque todas las muestras son aceptables para la investigación.

### **3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

«En opinión de las técnicas, son los medios empleados para recolectar información, entre las que destacan la observación, cuestionario, entrevistas, encuestas» (19).

#### **3.1.6.1. Técnicas de recolección de datos**

##### **A) Medición con flexómetro**

Se mide la distancia con la ayuda de un punto guía localizado con una estaca a 2.5 m de la última voladura y luego de la voladura se mide nuevamente para saber cuánto se avanzó en una voladura.

##### **B) Observación directa**

Se refiere a la observación directa a la acción de presenciar las actividades en las labores, de este modo recopilar los datos y características en la construcción de las chimeneas, donde se aplica el sistema *raise climber*.

##### **C) Entrevistas no estructuradas**

La entrevista no estructurada es una sucesión de diálogos no estructurados con el personal especializado en las construcciones de las chimeneas con el objetivo de obtener información específica de las actividades y los factores que afectan a las construcciones de las chimeneas.

#### **3.1.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

##### **A) Ficha de observación**

La ficha de observación es una herramienta de gestión que ayuda a monitorear todo lo ocurrido en la guardia, del que se tomaron los datos que más sirvieron para el desarrollo de la investigación.

#### **B) Flexómetro**

Es un instrumento utilizado para hacer mediciones precisas en distancias cortas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Parámetros de línea base para la construcción de chimeneas

##### 4.1.1. Método convencional de construcción de chimeneas

Se le da este nombre de método convencional al hecho de construir acomodando puntales de avance, sobre este se tienden tablas que sirven de plataforma para la construcción de abajo hacia arriba. Para este caso se hizo uso para la perforación la máquina *stopper* neumática con barrenos de 2.4 m (8 pies) y brocas con diámetro de 40 mm. La longitud de la chimenea en promedio es de 50 m pudiéndose construir chimeneas de mayor longitud, pero deberán ser mellizas por razones de seguridad. Por otro lado, la sección es simple o doble, generalmente, sobre estructura mineralizada y su inclinación puede ser vertical o inclinada. Estas chimeneas están oxigenadas mediante aire comprimido usando manguera, dependiendo de la longitud de la chimenea, pero con un diámetro de 1". El agua es llevada por mangueras de 1/2" de diámetro, pero si la chimenea supera los 30 metros se acopla con tuberías de 3/4" o 1". Ambas tuberías son protegidas con tablas, que observen todo golpe que pueda sufrir y dañar a la estructura.

*Tabla 6. Método de construcción de chimeneas*

Máquina	Tamaño de barrenos	Tamaño de brocas	Tamaño de manguera	
			Agua	Aire
<i>Stopper</i>	2.4 m	40 mm	1/2" Y 3/4"	1"

##### 4.1.2. Diseño de chimenea

Para la construcción de la chimenea con el método convencional se requieren los siguientes parámetros:

- Longitud
- Sección
- Tipo de roca

En el objetivo de esta investigación, la chimenea tendrá una sección de 1.20 m x 2.40 m (4' x 8') por lo que se considera una chimenea doble y alcanzará una longitud promedio de 50 metros. La chimenea cumplirá con 2 funciones principales, la de camino y la de un echadero, por lo que será necesario una división hecha con entablado.

#### **4.1.3. Alturas máximas de construcción de chimeneas convencionales**

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D. S. N.º 055). Artículo 258º dice que la perforación de chimeneas convencionales de más de 20 m de longitud deberá hacerse utilizando dos compartimentos independientes: uno para el tránsito del personal y otro como echadero. Se exceptúan las chimeneas preparadas por medios mecánicos. Para el caso de chimeneas desarrolladas en «H», el procedimiento debe hacerse comunicándose cada 20 metros. Para dar cumplimiento la chimenea por método convencional en general es hasta 50 m de longitud. Para longitudes mayores el método resulta costoso y de bajo rendimiento, además del mantenimiento constante del entablado en el lado del echadero. Para mayores longitudes a 50 m y que alcancen los 100 m, se suelen levantar chimeneas mellizas (chimeneas en H), que son chimeneas simples de un compartimiento, separadas de 10 m a 15 m y que se comunican cada 20 m mediante un subnivel. En este caso una de las chimeneas sirve como camino y el otro como echadero y para avanzar el camino hacia el subnivel se coloca tapón y la carga del disparo es limpiado por el subnivel hacia el echadero.

#### **4.1.4. Perforación**

La perforación en las chimeneas se realiza con *stopper* neumática que utiliza barrenos de 2.4 m y diámetro de 38 mm, cuando se trata de roca dura se realizará un trazo de perforación de corte quemado.

#### 4.1.5. Cálculo teórico del número de taladros

$$Nt = \frac{P}{dt} + (C * S)$$

##### Donde

Nt: número de taladros

P: perímetro de la sección

dt: espaciamiento de los taladros del perímetro:

C: coeficiente o factor de roca

S: sección de la chimenea a excavarse

##### Teniendo los siguientes datos

P = 6.88m

dt = 0.5m

C = 2

S = 2.88m<sup>2</sup>

$$Nt = \frac{6.88}{0.5} + (2 * 2.88)$$

$$Nt = 20 \text{ taladros}$$

#### 4.1.6. Limpieza

El material explotado cae por el buzón del lado de la chimenea que sirve como echadero por la ayuda de la gravedad y al final es descargado a carros mineros, que trasladan el material a la superficie o en algunos casos son usados como relleno detrítico, dependiendo de la cantidad de mineral que contengan, ya que las chimeneas se construyen sobre veta. Después de esto se procede al desquinche que consiste en sobreperforación que se realiza para agrandar mediante tronadura una zona de trabajo.

#### 4.1.7. Sostenimiento

Para el avance de la chimenea se colocan puntales en línea, que a su vez sirve de sostenimiento, en caso de encontrarse roca incompetente se sostendrá con cuadros completos, en toda la sección de la chimenea.

#### 4.1.8. Resultados de avance de las chimeneas

##### Chimenea 1

**Tabla 7. Resultado de metros por guardia de la chimenea 1**

Chimenea 1 MC				
I	Metros por guardia	Mg ordenado	P	Zi = Φ (P)
1	1.2	1.69	0.03	-1.95
2	1.84	1.73	0.06	-1.54
3	1.85	1.7	0.10	-1.29
4	1.5	1.79	0.14	-1.10
5	1.9	1.82	0.17	-0.95
6	1.97	1.84	0.21	-0.81
7	1.84	1.84	0.24	-0.69
8	1.96	1.84	0.28	-0.58
9	2.1	1.85	0.32	-0.47
10	1.79	1.85	0.35	-0.37
11	1.95	1.86	0.39	-0.28
12	1.85	1.9	0.43	-0.18
13	1.84	1.92	0.46	-0.09
14	1.86	1.93	0.50	0.00
15	1.97	1.94	0.54	0.09
16	1.95	1.94	0.57	0.18
17	1.94	1.95	0.61	0.28
18	1.94	1.95	0.65	0.37
19	1.97	1.96	0.68	0.47
20	1.96	1.96	0.72	0.58
21	1.93	1.96	0.76	0.69
22	1.97	1.97	0.79	0.81
23	1.96	1.97	0.83	0.95
24	1.98	1.97	0.86	1.10
25	1.82	1.97	0.90	1.29
26	1.92	1.98	0.94	1.54
27	1.29	2.1	0.97	1.95
<b>Promedio</b>	<b>1.853703704</b>			

## Chimenea 2

**Tabla 8. Resultado de metros por guardia de la chimenea 2**

Chimenea 2 MC				
I	Metros por guardia	Mg ordenado	P	Zi= $\Phi$ (P)
1	1.94	1.22	0.03	-1.95
2	1.97	1.85	0.06	-1.54
3	1.97	1.86	0.10	-1.29
4	1.96	1.91	0.14	-1.10
5	2.1	1.92	0.17	-0.95
6	1.91	1.92	0.21	-0.81
7	1.98	1.92	0.24	-0.69
8	1.97	1.93	0.28	-0.58
9	1.93	1.93	0.32	-0.47
10	1.97	1.94	0.35	-0.37
11	1.85	1.94	0.39	-0.28
12	1.86	1.94	0.43	-0.18
13	1.99	1.95	0.46	-0.09
14	1.97	1.96	0.50	0.00
15	1.93	1.97	0.54	0.09
16	1.97	1.97	0.57	0.18
17	1.92	1.97	0.61	0.28
18	1.97	1.97	0.65	0.37
19	1.92	1.97	0.68	0.47
20	1.95	1.97	0.72	0.58
21	1.94	1.97	0.76	0.69
22	1.97	1.97	0.79	0.81
23	1.94	1.98	0.83	0.95
24	1.98	1.98	0.86	1.10
25	1.92	2.1	0.90	1.29
26	1.24	1.98	0.94	1.54
<b>Promedio</b>	<b>1.853703704</b>			

### Chimenea 3

**Tabla 9. Resultado de metros por guardia de la chimenea 3**

Chimenea 3 MC				
I	Metros por guardia	Mg ordenado	P	Zi= Φ (P)
1	1.58	1.58	0.03	-1.95
2	1.98	1.83	0.06	-1.54
3	1.96	1.85	0.10	-1.29
4	1.94	1.86	0.14	-1.10
5	1.94	1.91	0.17	-0.95
6	1.97	1.91	0.21	-0.81
7	1.97	1.92	0.24	-0.69
8	1.98	1.92	0.28	-0.58
9	1.83	1.93	0.32	-0.47
10	1.96	1.93	0.35	-0.37
11	1.92	1.94	0.39	-0.28
12	1.94	1.94	0.43	-0.18
13	1.94	1.94	0.46	-0.09
14	1.97	1.94	0.50	0.00
15	1.93	1.94	0.54	0.09
16	1.92	1.95	0.57	0.18
17	1.96	1.96	0.61	0.28
18	1.95	1.96	0.65	0.37
19	1.98	1.96	0.68	0.47
20	1.93	1.97	0.72	0.58
21	1.91	1.97	0.76	0.69
22	1.94	1.97	0.79	0.81
23	1.91	1.98	0.83	0.95
24	1.85	1.98	0.86	1.10
25	1.86	1.98	0.90	1.29
26	1.98	1.98	0.94	1.54
<b>Promedio</b>	<b>1.853703704</b>			

### Chimenea 4

**Tabla 10. Resultado de metros por guardia de la chimenea 4**

Chimenea 4 MC				
I	Metros por guardia	Mg ordenado	P	$Z_i = \Phi (P)$
1	1.82	0.8	0.03	-1.95
2	1.96	1.45	0.06	-1.54
3	1.95	1.75	0.10	-1.29
4	1.97	1.81	0.14	-1.10
5	1.93	1.82	0.17	-0.95
6	1.97	1.82	0.21	-0.81
7	1.95	1.84	0.24	-0.69
8	1.92	1.86	0.28	-0.58
9	1.91	1.89	0.32	-0.47
10	1.81	1.9	0.35	-0.37
11	1.96	1.91	0.39	-0.28
12	1.94	1.92	0.43	-0.18
13	1.93	1.92	0.46	-0.09
14	1.92	1.93	0.50	0.00
15	1.97	1.93	0.54	0.09
16	1.9	1.93	0.57	0.18
17	1.94	1.94	0.61	0.28
18	1.89	1.94	0.65	0.37
19	1.93	1.94	0.68	0.47
20	1.45	1.95	0.72	0.58
21	1.97	1.95	0.76	0.69
22	1.75	1.96	0.79	0.81
23	1.82	1.96	0.83	0.95
24	1.94	1.97	0.86	1.10
25	1.86	1.97	0.90	1.29
26	1.84	1.97	0.94	1.54
27	0.8	1.97	0.97	1.95
<b>Promedio</b>	<b>1.853703704</b>			

## Chimenea 5

**Tabla 11. Resultado de metros por guardia de la chimenea 5**

Chimenea 5 MC					
I	Metros por guardia	Mg ordenado	P	$Z_i = \Phi (P)$	
1	1.24	1.24	0.03	-1.95	
2	1.86	1.52	0.06	-1.54	
3	1.81	1.7	0.10	-1.29	
4	1.9	1.77	0.14	-1.10	
5	1.92	1.79	0.17	-0.95	
6	1.89	1.79	0.21	-0.81	
7	1.93	1.81	0.24	-0.69	
8	1.94	1.83	0.28	-0.58	
9	1.91	1.86	0.32	-0.47	
10	1.9	1.86	0.35	-0.37	
11	1.86	1.87	0.39	-0.28	
12	1.87	1.89	0.43	-0.18	
13	1.93	1.9	0.46	-0.09	
14	1.98	1.9	0.50	0.00	
15	1.92	1.91	0.54	0.09	
16	2	1.92	0.57	0.18	
17	1.77	1.92	0.61	0.28	
18	1.52	1.92	0.65	0.37	
19	1.94	1.93	0.68	0.47	
20	1.98	1.93	0.72	0.58	
21	1.97	1.93	0.76	0.69	
22	1.93	1.94	0.79	0.81	
23	1.83	1.94	0.83	0.95	
24	1.79	1.97	0.86	1.10	
25	1.92	1.98	0.90	1.29	
26	1.79	1.98	0.94	1.54	
27	1.72	2	0.97	1.95	
<b>Promedio</b>	<b>1.853703704</b>				

### 4.2. Factibilidad del uso del método *raise climber* en la construcción de chimeneas

Para el tratamiento del estudio y evaluación el sistema *raise climber* ascendente para la mejora de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020 se obtuvo de acuerdo a la totalidad de data.

#### 4.2.1. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 1

**Tabla 12. Avance de chimenea RC1**

Chimenea RC 1	
I	Metros por guardia
1	3.42
2	3.96
3	3.9
4	3.79
5	3.84
6	3.92
7	3.92
8	3.85
9	3.81
10	3.94
11	3.86
12	3.91
13	3.88
<b>Promedio</b>	<b>3.846</b>

#### 4.2.2. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 2

**Tabla 13. De avance de chimenea RC2**

Chimenea RC 1	
I	Metros por guardia
1	2.7
2	3.84
3	3.92
4	3.64
5	3.79
6	3.86
7	3.97
8	3.92
9	3.96
10	3.74
11	3.86
12	3.91
13	3.85
14	1.04
<b>Promedio</b>	<b>3.638</b>

#### 4.2.3. Resultados de los metros de avance en relación a las 13 guardias de la chimenea 1

**Tabla 14. De avance de chimenea RC3**

<b>Chimenea RC 1</b>	
<b>I</b>	<b>Metros por guardia</b>
1	3.18
2	3.64
3	3.78
4	3.78
5	3.92
6	3.66
7	3.85
8	3.92
9	3.84
10	3.97
11	3.68
12	3.79
13	3.98
14	1.01
<b>Promedio</b>	<b>3.602</b>

### 4.3. Figuras comparativas de los metros de avance del método convencional y el método *raise climber*

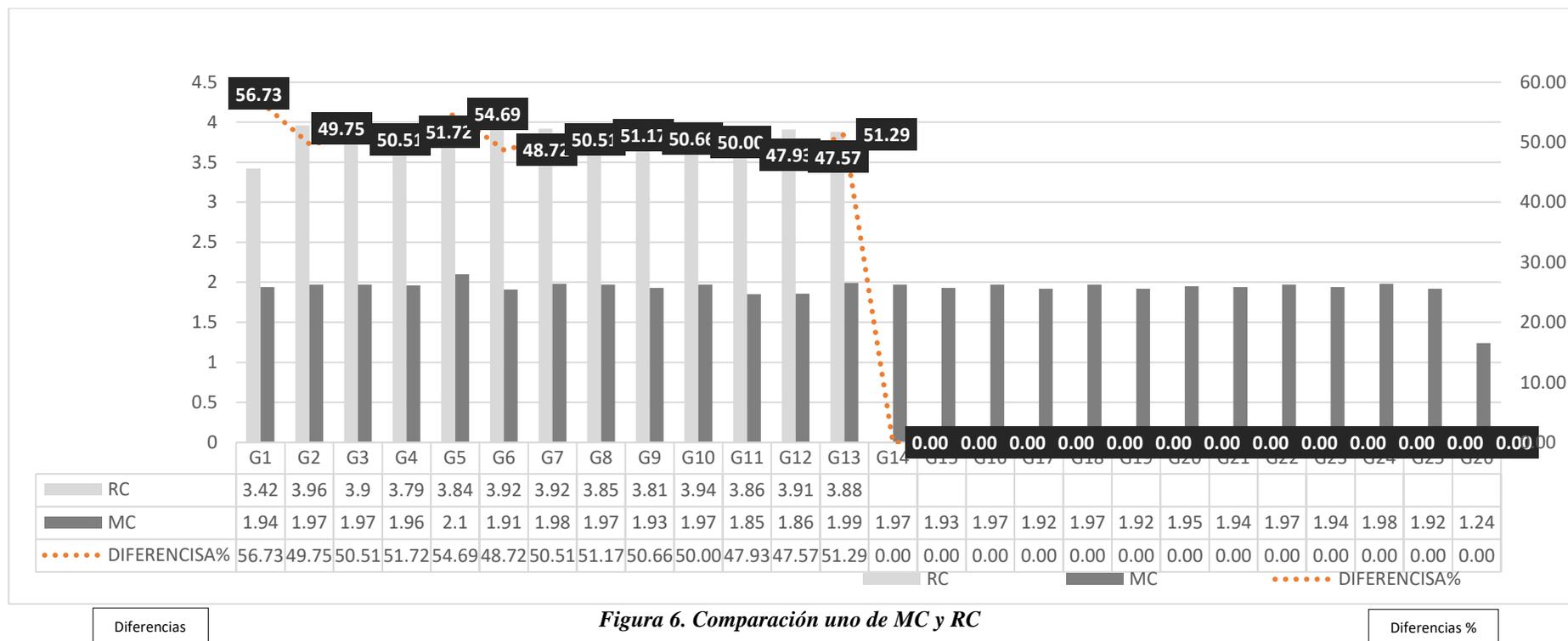
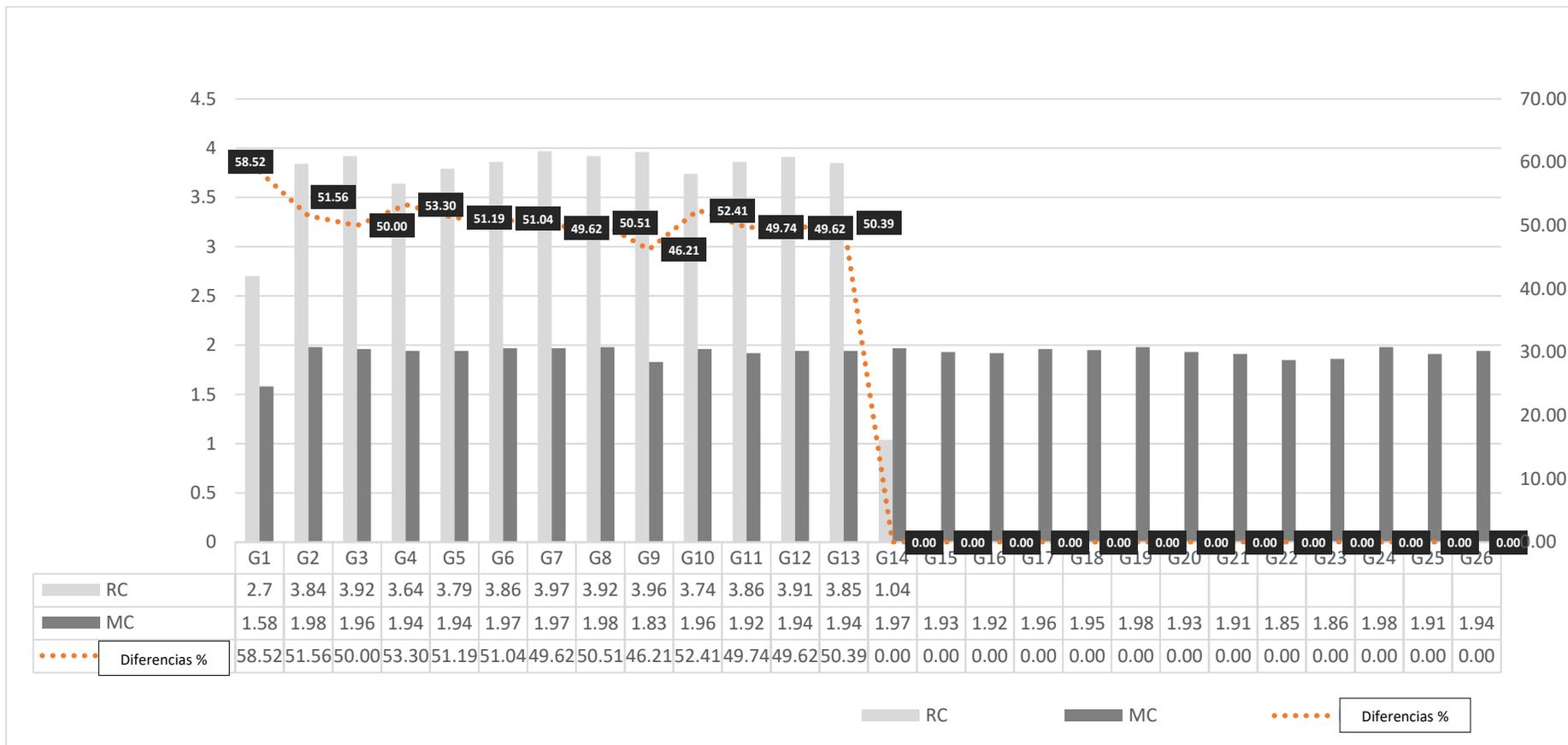


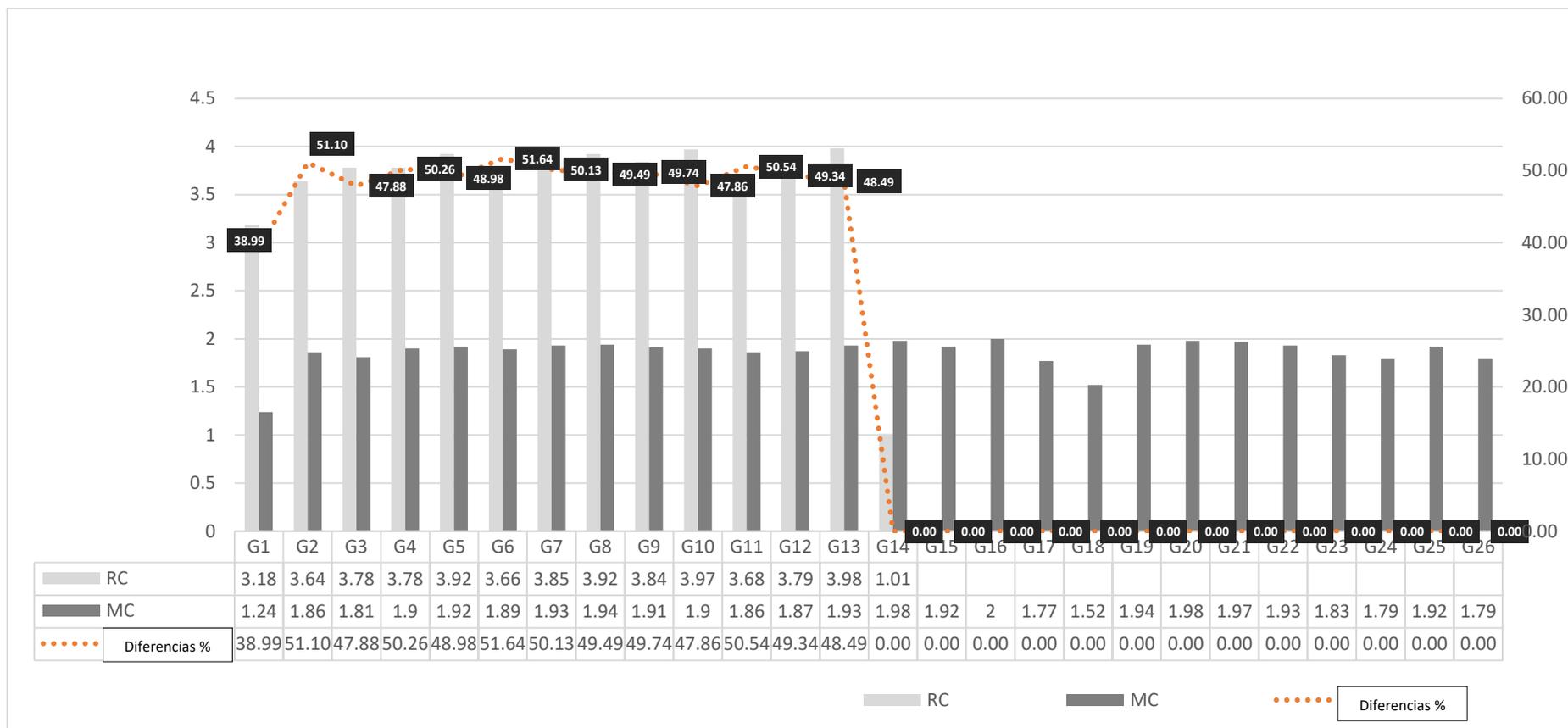
Figura 6. Comparación uno de MC y RC

En el gráfico se observa que el método *raise climber* termina la construcción de la chimenea en trece perforaciones, mientras que, al método convencional se demora 26 para lograr terminar la construcción, teniendo en cuenta que el método *raise climber* perfora con una profundidad del 48 % más que el del método convencional.



**Figura 7. Comparación dos de MC y RC**

En el gráfico se observa que el método *raise climber* termina la construcción de la chimenea en 14 perforaciones mientras que al método convencional se demora 26 para lograr terminar la construcción, teniendo en cuenta que el método *raise climber* perfora con una profundidad del 53.84 % más que el del método convencional.



**Figura 8. Comparación tres de MC Y RC**

En el gráfico se observa que el método *raise climber* termina la construcción de la chimenea en 14 perforaciones, mientras que el método convencional se demora 27 para lograr terminar la construcción, teniendo en cuenta que el método *raise climber* perfora con una profundidad del 51.7 % más que el del método convenció

#### 4.4. Evaluación de beneficios en la construcción de chimeneas con el método *raise climber*

##### 4.4.1. Comparación general

**Tabla 15. Comparación general**

Cuadro comparativo general				
	Ventajas	Desventajas	Costos	Posible aplicación
Sistema RC	C) Seguridad alta D) Costo beneficioso E) Requerimientos intermedios	F) Tiempo de instalación	S/ 573.47	Este método se aplica porque las dimensiones son las adecuadas y el espacio de instalación son muy convenientes junto con los costos.
Sistema RB	G) Seguridad alta H) Costos altos I) Requerimientos altos	J) Estar al aire libre o tener un amplio espacio para instalación	S/ 983	Este método es el más rápido, pero sus condiciones hacen que no se pueda aprovechar al máximo, ya que las chimeneas que produce son circulares y las chimeneas que se hacen son en interior de mina.
Convencional	K) Seguridad baja L) Costos altos M) Requerimientos bajos	N) Avance muy lento O) Seguridad mínima	S/ 1044	Este método es el más deficiente, ya que no solo es costoso, también es muy riesgoso para el personal y solo se aplica cuando la minería está en fase inicial.

#### 4.4.2. Prueba de hipótesis

Aplicación del sistema *raise climber* ascendente para la mejora de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

**Ho:** con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente no existe mejora de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

**H1:** con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente existe mejora de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

**Tabla 16. Proceso de casos (hipótesis)**

Resumen de procesamiento de casos						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
MC	20	100,0	0	0,0	20	100,0
RC	20	100,0	0	0,0	20	100,0

**Tabla 17. Resultados estadísticos**

Descriptivos				
		Estadístico	Desv. Error	
MC	Media	1,9225	,00260	
	95 % de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior		1,9171 1,9279
	Media recortada al 5 %	1,9233		
	Mediana	1,9200		
	Varianza	,000		
	Desv. Desviación	,01164		
	Mínimo	1,24		
	Máximo	2,00		
	Media	3,5900		
	RC	95 % de intervalo de confianza para la media		Límite inferior Límite superior
Media recortada al 5 %		3,5889		
Mediana		3,6000		
Varianza		,014		
Desv. Desviación		,11653		
Mínimo		3,60		
Máximo		3,98		

**Tabla 18. Prueba de normalidad**

Pruebas de normalidad						
	Kolmogórov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MC	,315	20	,000	,819	20	,002
RC	,230	20	,007	,867	20	,010

Corrección de significación de Lilliefors

**Normalidad**

Chapiro Wilk muestras grandes (< 30)

**Criterio para determinar normalidad**

P-valor =>  $\alpha$  aceptar Ho = los datos provienen de una distribución **normal**.

P-valor =>  $\alpha$  aceptar H1 = los datos No provienen de una distribución **normal**.

**Normalidad**

P-valor avance MC = 233 <  $\alpha$  = 0.002

P-valor avance RC = 233 <  $\alpha$  = 0.010

**4.4.2.1. Conclusión de hipótesis**

Los datos provienen de una distribución normal con la prueba de Shapiro-Wilk para datos menores que 30.

**Tabla 19. Estadísticas de muestra emparejadas**

*Se realiza la prueba t de Student para la investigación*

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	MC	1,9225	20	0,01164	0,00260
	RC	3,570 w	20	0,11653	0,02606

**Tabla 20. Correlación de muestras emparejadas**

		N	Correlación	Sig.
Par 1	MC	20	0,291	,213
	RC	20	0,291	,243

**4.4.3. Conclusión de evaluación de beneficios del sistema RC**

Hay una diferencia significativa en las medias de los metros de avance/guardia antes y después del tratamiento. Por lo que, se concluye que el tratamiento (metros de avance /guardia con sistema RC) sí tiene efectos significativos sobre los avances del sistema convencional.

De hecho, los metros de avance/guardia en promedio aumentaron de 1.92 m a 3.57 m.

### El criterio para decidir es

Si la probabilidad obtenida P-valor  $\leq \alpha$ , rechaza  $H_0$  (se acepta  $H_1$ )

Si la probabilidad obtenida P-valor  $> \alpha$ , no rechaza  $H_0$  (se acepta  $H_0$ )

De acuerdo a los datos obtenidos, se concluye que se rechaza la hipótesis nula debido a que  $0.000 < 0.05$ , con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , lo que indica que, con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente existe mejora de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020.

### Gráficas del MC

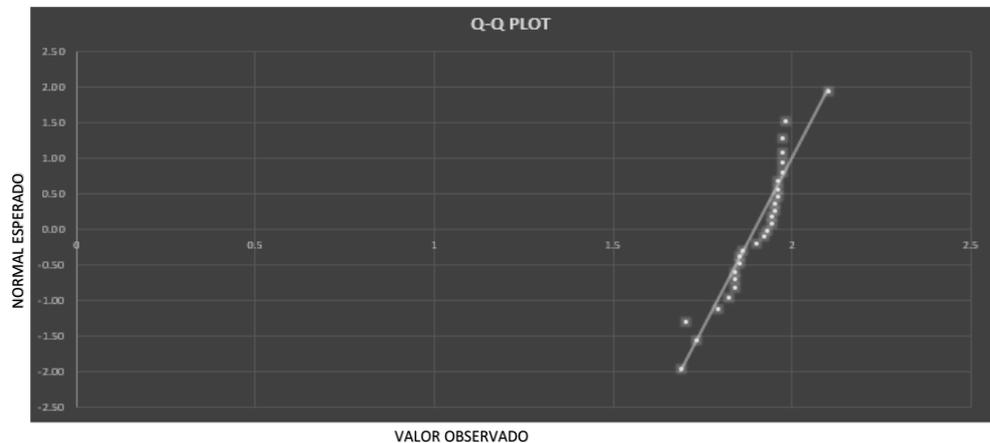


Figura 9. Conjunto de datos MC

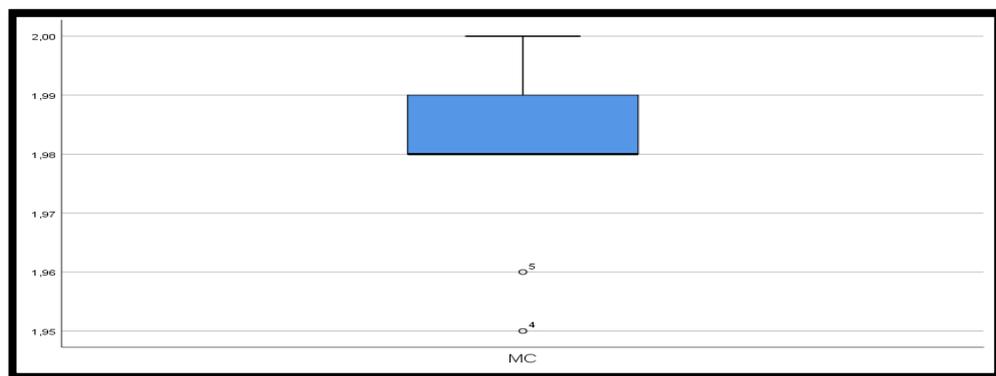


Figura 10. Área de acción de resultados MC

## Graficas del RC

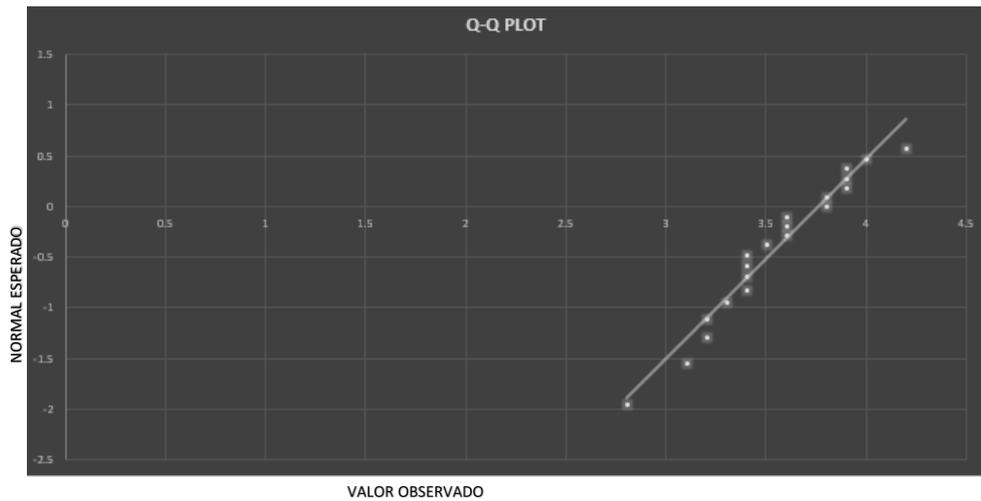


Figura 11. Conjunto de datos RC

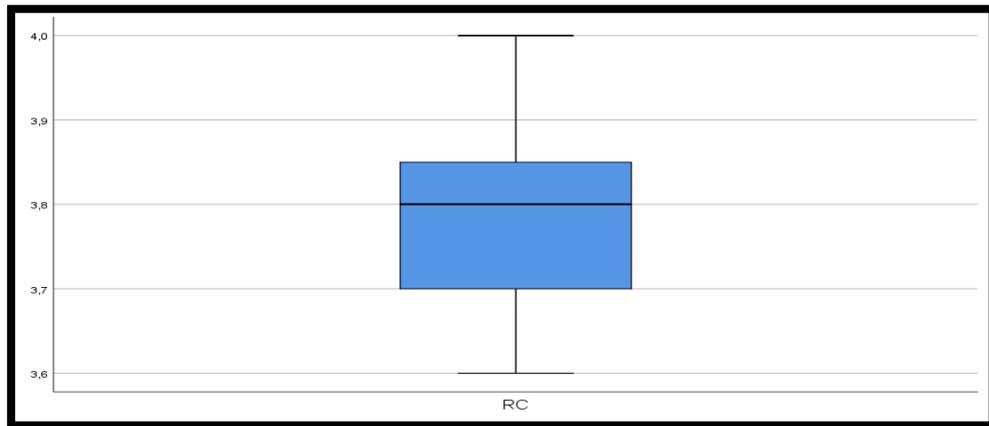


Figura 12. Área de acción de resultados RC

### 4.5. Discusión de resultados

A partir de los hallazgos, se acepta la hipótesis alterna que establece que con la aplicación del sistema *raise climber* ascendente «existe mejora de las operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2020».

Según las bases teóricas de los métodos de construcción de chimeneas el método *raise climber* mejoró el avance en la construcción en comparación del método de construcción convencional mejorando así 1.8 m (47.5 %) de avance por guardia y un total en tonelaje de 7.85 t/guardia, 15.7 t/día, 471.312 t/mes, 5655.74 t/año, que se hacía en la empresa minera Buenaventura, como se puede apreciar en la figura.

Con lo que respecta a la relación de las variables de mejora según los antecedentes, existe relación con las variables de sistema de aplicación del *raise climber* y mejora de

operaciones mineras (6), y se mencionan que es el método más viable en términos de tiempo, seguridad y costo.

Con lo que respecta a la variable de aplicación del sistema *raise climber*, los parámetros y actividades que conforman el diseño de excavación de una labor subterránea, existe relación con la investigación (3). Con ello, se recomienda actualizar el mapeo geotécnico a medida que avanza la excavación para solventar las necesidades de sostenimiento que se presenten.

En el registro se interpretaron las diferentes unidades geotécnicas y geomecánicas de los materiales, clasificándoles por tipos de rocas y definiendo parámetros concretos para el sostenimiento adecuado para cada litología (4), entonces sí existe relación con la aplicación del sistema *raise climber* mencionados en este estudio.

El análisis de la aplicación del *raise climber* se realizó con éxito en la mayoría de trabajos de instalación en los avances, teniendo en promedio de 3.4 de avance por guardia.

Los resultados muestran que, «la construcción de chimenea de equilibrio», con plataforma elevadora Alimak, en las obras subterráneas del proyecto hidroeléctrico Misicuni con el diseño y la construcción de la chimenea, piloto y ensanche hay una relación con la variable de aplicación del sistema *raise climber* (5), el sistema de perforación y voladura se efectuará a través de una plataforma elevadora Alimak.

Pero, en lo que no concuerda el estudio es con Marcañaupa y Quispe (8), secuencia operacional para el desarrollo de chimeneas, usando el método convencional de plataformas y escaleras metálicas, porque este método es muy lento y requiere más materiales para su construcción y no guarda mucha relación con la investigación.

## CONCLUSIONES

La aplicación del sistema *raise climber* mejora el avance de la construcción de chimeneas para echaderos en un promedio de 1.6477 m equivalente a un 51.87 % por guardia, por lo que, se tienen 3.2955 m al día, 99 m al mes, 1186 m al año, por esta razón, se sabe que a lo largo del tiempo esto ayudará de manera muy buena a la velocidad de progreso de la mina, ya que al tener una velocidad mayor de construcción de chimeneas, las labores que siguen se realizarán antes, aparte, según el estudio de costos en comparación con los métodos de construcción convencional, también ofrece más seguridad que los métodos convencionales por tener protección de cabeza y de lados y del sistema *rise climber*.

- Los parámetros de línea base fueron recabados en base al tiempo (guardias) y al avance realizado con el método de construcción de chimeneas convencional, esto fue de mucha ayuda, ya que con esto se pudo realizar la evaluación correctamente.
- El sistema *raise climber* es factible, ya que, al realizar los estudios, se observó que se pudo avanzar 51.87 % extra, esto hace que la eficiencia mejore y con la reducción de costos de construcción se puede decir que es uno de los mejores métodos para construcción de chimeneas para las labores mineras.
- La evaluación del sistema *raise climber* resultó muy favorable a lo largo del tiempo, al hacer la comparación con los datos recabados de la línea base, se observó mediante un método estadístico y experimental con el que se puede ahorrar 1.6477 metros por guardia y un costo de 471 soles por metro lineal de avance, y que ofrece una disminución significativa del riesgo de accidentes.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **LLANQUE MAQUERA, Oscar E. et al.** *Explotación subterránea métodos y casos prácticos*. Puno: s.n., 1999.
2. **MARCOS ÁLVAREZ, Dennis Iván.** *Evaluación económica del sistema de extracción de la mina Papagayo de Cía. minera Poderosa*. Lima: 2015.
3. **BAYAS BALLEJO, Cesar Silvio; LUCAS MEJÍA, Víctor Hugo.** *Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak*. Ecuador: s.n., 2015.
4. **JIMENEZ ROJAS, Frankin Esstalin.** *Construcción de la chimenea de equilibrio en el proyecto hidroeléctrico Quijos mediante el método Alimak*. S. l. : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016. FRN-CENID-UD;53T0012.
5. **ZUNI USCA, Jaqueline Guadalupe.** *Construcción de chimenea de equilibrio, con plataforma elevadora Alimak, en las obras subterráneas del proyecto hidroeléctrico Misicuni Cochabamba - Bolivia*. Tesis. Arequipa: s.n., 2015
6. **Huamani Huaylla, Kiusa.** *Construcción de chimeneas por método convencional y plataforma Alimak en la mina Raúl, 2011 perteneciente a la empresa minera Condestable S.A.C.* Ayacucho: s.n., 2012.
7. **Chiroque Yarleque, José Mercedes.** *Sistema electromecánico para recuperación de chimeneas raise boring, chimenea RB12*. Trujillo : minera aurífera Retamas, 2012. (4)
8. **MARCAÑAUPA TOVAR, Rómulo Tobías; QUISPE ÑAHUINCOPA, Yolanda Angélica.** *La minería en el Perú, caso práctico*. Tesis. Huancavelica: s.n., 2012.
9. **López Jimeno, Carlos.** *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Entorno Grafico, 2004. 8478401644. (5)
10. **MALLQUI TAPIA, Aníbal.** *Maquinaria y equipo utilizado en minería*. Huancayo : s.n., 2003. (6)
11. **LLANQUE MAQUERA, Oscar.** *Explotación subterránea métodos y casos prácticos*. Puno: Perú Offser, 1999. 84-306-0267-4. (7)
12. **TORRES, Frank.** Scribd. [En línea] 18 de enero de 2013. [Citado el: 1 de mayo de 2019.] <https://es.scribd.com/doc/294908815/CHIMENEA-ALIMAK-2013>. (8)
13. **VASQUEZ MERINO, PAUL.** *Informe de práctica en la compañía Atacocha S. A.* 2006.

14. **Cemal, Biron, Ariogilu, Ergin y Morales Castro, Mario.** *Diseño de ademes en minas.* México : Noriega Edits, 1987.
15. **Plus integral consultores.** *Plusintegral consultores S.C.* [En línea] [Citado el: 6 de mayo de 2019.] [www.plusintegralconsultores.com](http://www.plusintegralconsultores.com).
16. **GRANADOS HUAYTALLA, Hugo.** *Excavación de chimeneas con equipo raise climber.* Lima : s.n., 2010.
17. **Maldonado, Yandry.** *geologiaweb.com.* [En línea] 27 de marzo de 2018. [Citado el: 6 de mayo de 2019.]17. **Arkbros Industries.** *Raise Climber.* [En línea] 1967. <http://www.arkbro.com/>.
18. **Murillo Torrecilla, Francisco Javier.** *Metodología de la investigación.* 2008.
19. **Rodríguez Peñuelas, Marco Antonio.** *Métodos de investigación.* 2010.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Componentes e instalación del raise climber



*Figura 13. Componentes del equipo raise climber*



*Figura 14. Traslado de componentes a la galería con la ayuda del scooptram*



*Figura 15. Bodega de almacenamiento de componentes*



*Figura 16. Instalación del sistema raise climber*



*Figura 17. Instalación completa del sistema raise climber*



*Figura 18. Instalación de los carriles de avance*



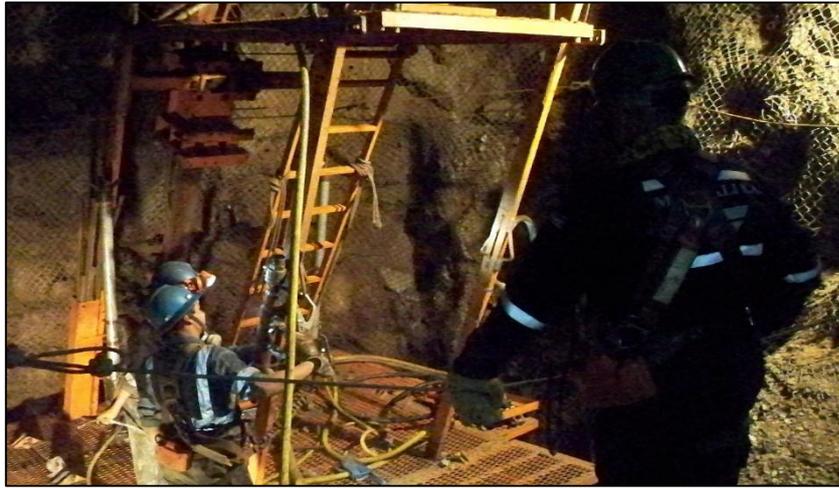
*Figura 19. Instalación del carril curvo*



*Figura 20. Jaula trepadora y jaula de auxilio*



*Figura 21. Ascendido del sistema raise climber*



*Figura 22. Traslado del equipo de perforación*



*Figura 23. Finalización del proyecto*

## Anexo 2

### Instrumento de recolección de datos

#### Ficha de observación para operaciones en la construcción de chimeneas RC

**Nombre del evaluador:** Navarro Romero, José Carlos

**Fecha:**

**Nombre de la empresa:** Minera Orcopampa

**Número de chimenea**

1

**Orden de trabajo:** Construcción de CH

1 = Regular 2 = Buena 3 = Muy buena 4 = Excelente

#### Aplicación del sistema *raise climber*

Aspectos a tener en cuenta en la observación de la aplicación del sistema RC

Ítem	<i>Aspectos a tener en cuenta en la observación de la seguridad en la instalación del sistema RC ascendente</i>	<i>Valoración</i>			
		1	2	3	4
1	Montaje de equipo <i>raise climber</i>				
2	Anclaje de carriles en chimenea				
3	Desatado de rocas en chimeneas <i>raise climber</i>				
4	Sostenimiento con malla y <i>split set</i> en CH RC				
5	Instalación de cimbras en ch RC ascendentes				
6	Sostenimiento con <i>shotcrete</i> en <i>raise climber</i> ascendente				
7	Perforación de chimeneas con <i>raise climber</i>				
8	Carguío y voladura en chimenea <i>raise climber</i> ascendente				
9	Desmontaje de carriles en chimenea RC ascendente				
10	Desmontaje de carriles en chimenea RC ascendente				
	Total				

---

**Optimización de operaciones**

Ítem	<i>Aspectos a tener en observación de reportes de avance y valorización</i>	<i>Valoración</i>			
		1	2	3	4
11	Control de avance de la chimenea				
12	Control de avance de sostenimiento				
	Total				

**Evaluador:** Navarro Romero, José Carlos

Nivel de CH.120

---

**Anexo 3**  
**Matriz de consistencia**

<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Metodología</b>	<b>Población</b>
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la aplicación del sistema <i>raise climber</i> ascendente para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar el sistema <i>raise climber</i> ascendente para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La aplicación del sistema <i>raise climber</i> ascendente optimizan directamente las operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Sistema <i>raise climber</i></p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p>	<p><b>Población:</b> Unidad operativa minera Orcopampa, Buenaventura</p> <p><b>Muestra:</b> Chimeneas en nivel 3110</p>
<p><b>Problemas específicos</b> ¿Cuáles son los atributos, criterios y condiciones que se necesitará para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b> Dar a conocer cuáles son los atributos, criterios y condiciones que se necesitará para la optimización de operaciones en la construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b> Los atributos, criterios y condiciones optimizan directamente las operaciones en la construcción de chimeneas en U.O. Orcopampa-Buenaventura-2019</p>	<p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Atributos, criterios y condiciones</li> <li>● Optimización Construcción</li> </ul>	<p><b>Nivel de Investigación:</b> Descriptivo-explicativo</p>	
<p>¿Será factible realizar el sistema <i>raise climber</i> ascendente para la optimización de construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019?</p>	<p>Realizar el sistema <i>raise climber</i> ascendente para la optimización de construcción de chimeneas en U. O. Orcopampa, Buenaventura, 2019.</p>	<p>La realización del sistema <i>raise climber</i> ascendente optimizan directamente la construcción de las chimeneas en U.O. Orcopampa-Buenaventura-2019.</p>	<p><b>Variable dependiente</b> Optimización de operaciones</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Experimental</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Preexplicativo</p>	

#### Anexo 4

#### Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Sistema <i>raise climber</i>	Alimak ( <i>raise climber</i> ): son ascensores de elevación accionados por aire comprimido o energía eléctrica, se utilizan para impulsar levantamientos verticales o inclinados en operaciones de minería subterránea, proyectos hidroeléctricos y construcción civil. Este sistema sirve para producción y el sostenimiento de chimeneas mayores de 100 m.	Para impulsar levantamientos verticales o inclinados en operaciones de minería subterránea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atributos, criterios y condiciones</li> <li>• Construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área de planeamiento</li> <li>• Área de costos y producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros avance/guardia</li> <li>• Metros de sostenimiento/guardia</li> </ul>
Optimización de operaciones	Es el método con el que se optimizan los procesos y sus operaciones, como la productividad, utilizando herramientas de mejora continua.	Procesos y sus operaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos de trabajo y operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área de operaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes de los procedimientos de trabajo y operación</li> </ul>