

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Optimización del sostenimiento mecanizado para mejorar la  
seguridad en la empresa minera Volcan – Unidad San Cristobal**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Giancarlo Gianpiero MAYTA RAJO**

**Asesor:**

**Dr. Cesar Jhoel VICENTE AQUINO**

**Cerro de Pasco - Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**T E S I S**

**Optimización del sostenimiento mecanizado para mejorar la  
seguridad en la empresa minera Volcan – Unidad San Cristobal**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Edwin Elias SANCHEZ ESPINOZA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Mayer CARHUARICRA RIVERA**  
**MIEMBRO**



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR  
SURICHAGUI Santa Silvia FAU  
20154605046 soft  
No Soy el autor del documento  
0.11.2025 20:08:05 -05:00



## INFORME DE ORIGINALIDAD N° 045-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bach. MAYTA RAJO Giancarlo Gianpiero**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

Título del trabajo

**"OPTIMIZACION DEL SOSTENIMIENTO MECANIZADO PARA  
MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EMPRESA MINERA VOLCAN –  
UNIDAD SAN CRISTOBAL".**

Asesor:

**Dr. VICENTE AQUINO Cesar Jhoel**

Índice de Similitud: **9 %**

Calificativo

**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 11 de noviembre de 2025.

Sello y Firma del responsable  
de la Unidad de Investigación

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar mas importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mis abuelos Otilia, Teodora, Cremario y Juan, que desde donde se encuentren siempre están presentes en mi vida mediante sus oraciones. A mis hermanos que a pesar de la distancia siempre su cariño fue muy importante para mí. A mi familia, que siempre confiaron en mi a pesar de mis defectos.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis docentes universitarios que día a día transmitieron sus conocimientos a mi persona e impulsaron a poder seguir mi carrera universitaria de la mejor manera.

A mi alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión que a pesar de sus limitaciones siempre encontré soporte en cada labor encomendada.

A cada persona que siempre me motivo a seguir creciendo y me incentivaron con sus palabras para poder ser un profesional en la vida y una buena persona.

## RESUMEN

La investigación llevada a cabo titulado “OPTIMIZACION DEL SOSTENIMIENTO MECANIZADO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EMPRESA MINERA VOLCAN – UNIDAD SAN CRISTOBAL”. Establece como objetivo Optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcán – Unidad San Cristóbal. Y como hipótesis dice: Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado con el uso del equipo Small Bolter y scaler podremos mejorar la seguridad.

Respecto a su metodología, se considera una de tipo aplicada, con un nivel descriptivo analítico, un diseño no experimental y Observación directa como técnica utilizada, el análisis de documentos, como muestra indica que se ha tomado como muestra una rampa, y una galería de nivel, de la mina.

Al finalizar la investigación, se elaboran las conclusiones y se proponen las recomendaciones necesarias.

Una de las conclusiones es En cuanto a la optimización del sostenimiento mecanizado primeramente se ha tenido que evaluar el sostenimiento de las labores, durante 5 días a las dos guardias, como datos nos indica, el Numero de pernos instalados promedio 31 Pernos/guardia, Tiempo promedio de desate 57.3 minutos, Tiempo promedio de empernado de un perno 7 minutos/perno, Tiempo promedio de llevar e instalar el equipo 30 minutos, Tiempo promedio de empernado total 3 horas con 33 minutos, Tiempo total de sostenimiento 5 horas y una Eficacia o eficiencia del sostenimiento 76 %

**Palabras claves:** sostenimiento, seguridad, optimización, Bolter, scaler

## **ABSTRACT**

The research, titled "OPTIMIZATION OF MECHANIZED SUPPORT TO IMPROVE SAFETY AT THE VOLCAN MINING COMPANY - SAN

CRISTOBAL UNIT," establishes the objective of optimizing mechanized support to improve safety at the Volcan Mining Company - San Cristóbal Unit. The hypothesis is: If mechanized support can be optimized with the use of Small Bolter and Scaler equipment, we can improve safety.

Regarding its methodology, it indicates an applied approach, a descriptive-analytical approach, a non-experimental design, and the technique used is direct observation and document analysis. A sample of a ramp and a level gallery from the mine were taken as samples. Upon completion of the research, the respective conclusions and recommendations were made. One of the conclusions is: Regarding the optimization of mechanized support, the support of the work had to be evaluated first, for 5 days at both shifts. As data indicates, the average number of installed bolts was 31 bolts/shift, average unfastening time was 57.3 minutes, average bolting time was 7 minutes/bolt, average time to carry and install the equipment was 30 minutes, average total bolting time was 3 hours and 33 minutes, total support time was 5 hours, and a support effectiveness or efficiency of 76%.

Keywords: support, safety, optimization, Bolter, scaler

## INTRODUCCION

La presente tesis intitulada **“OPTIMIZACION DEL SOSTENIMIENTO MECANIZADO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EMPRESA MINERA VOLCAN – UNIDAD SAN CRISTOBAL”**. Presenta el estudio de factibilidad con el fin de la aplicación de un sistema mecanizado para las labores de sostenimiento de minado de la Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal, comparándolo con el método de sostenimiento tradicional que se emplea actualmente.

La importancia de este estudio se basa en el objetivo de reducir los índices negativos de seguridad, además de los costos y aumentar la productividad de esta etapa de las operaciones de mina.

Referente al contenido de la tesis, esta se organiza en cuatro capítulos que se resumen a continuación.

El primer capítulo plantea el problema central de investigación que aborda la metodología del sostenimiento para las labores mineras en la Unidad San Cristóbal, de esta manera se presenta el problema a nivel general y específico, de la misma manera se presentan los objetivos, la justificación e importancia, así como la hipótesis, para terminar, describiendo las variables, y determinando las limitaciones y la delimitación de este trabajo.

El segundo capítulo, presenta el marco teórico haciendo una revisión de los trabajos que antecedieron este estudio abordando el mismo tema. Así mismo, se realiza un análisis de los conceptos teóricos básicos relacionados con el tema central.

El tercer capítulo, se ocupa de presentar la metodología que se usó para este estudio, de esta manera se presenta el método usado para esta investigación, así como su nivel, tipo y el diseño, por otra parte, se señala los grupos poblacionales y muestrales, terminando con las Técnicas e instrumentos usados para recolectar y procesar los datos.

El capítulo cuatro, se analiza el tema central que viene a hacer el sostenimiento mecanizado con equipos como Bolter, Scaler Empleados en las labores



de desate y empernado.

Para finalizar este estudio, se elaboran las conclusiones y proponen las recomendaciones necesarias, además de citar a los autores y las referencias bibliográficas usados.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	4
1.2.1. Delimitación espacial .....	4
1.2.2. Delimitación temporal .....	4
1.3. Formación del problema .....	5
1.3.1. Problema general .....	5
1.3.2. Problemas específicos .....	5
1.4. Formulación de objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la investigación .....	6
1.6. Limitación de la investigación .....	6

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	7
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	7
2.2. Bases teóricas científicas.....	10

2.2.1. Aspectos generales de la Mina.....	10
2.2.2. Métodos de explotación.....	12
2.2.3. Sostenimiento subterráneo.....	15
2.2.4. Sostenimiento con equipo Small Bolter .....	19
2.3. Definición de términos conceptuales.....	26
2.4. Enfoque filosófico y epistémico.....	30

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1. Tipo de Investigación .....	34
3.2. Nivel de investigación .....	34
3.3. Características de la investigación.....	34
3.4. Métodos de investigación .....	36
3.5. Diseño de investigación .....	36
3.6. Procedimiento de muestreo .....	36
3.6.1. Población .....	36
3.6.2. Muestra .....	36
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.7.1. Técnicas.....	36
3.7.2. Instrumentos.....	36
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	37
3.9. Orientación ética.....	37

### **CAPITULO IV**

#### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	38
4.1.1. Seguridad, sostenimiento y geomecánica en la Unidad San Cristóbal ..	38
4.1.2. Desatado mecanizado.....	47
4.1.3. Ciclo de minado con sostenimiento mecanizado .....	53
4.1.4. Procedimiento de desatado mecanizado.....	57

4.1.5. Etapa de empernado .....	60
4.1.6. Características del equipo Bolter .....	61
4.1.7. Procedimiento de empernado mecanizado.....	62
4.2. Discusión de resultados.....	65
4.2.1. Optimización del sostenimiento .....	65
4.2.2. Rendimiento de los equipos de sostenimiento.....	67
4.2.3. Sostenimiento manual .....	69
4.2.4. Sostenimiento mecanizado.....	69
4.2.5. Evaluación del sostenimiento mecanizado .....	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Criterio para la clasificación de la masa rocosa .....	2
<b>Tabla 2</b> Unidades Geotécnicas San Cristóbal.....	3
<b>Tabla 3</b> Sostenimiento para labores de avance permanentes .....	4
<b>Tabla 4</b> Características de las perforadoras .....	20
<b>Tabla 5</b> Características del equipo Bolter 88 .....	22
<b>Tabla 6</b> Presiones de perforación de empernado .....	25
<b>Tabla 7</b> Presiones de empernado.....	26
<b>Tabla 8</b> Índice de frecuencia.....	39
<b>Tabla 9</b> Incidentes por tipo de causa .....	41
<b>Tabla 10</b> Accidentes personales por tipo .....	42
<b>Tabla 11</b> Sostenimiento para labores de avance permanentes.....	44
<b>Tabla 12</b> Sostenimiento para labores de avance temporales.....	45
<b>Tabla 13</b> Unidades Geotécnicas San Cristóbal.....	46
<b>Tabla 14</b> Especificaciones técnicas del equipo scaler .....	48
<b>Tabla 15</b> Equipos y personal .....	65
<b>Tabla 16</b> Tiempos de Sostenimiento.....	66
<b>Tabla 17</b> Tiempos de Desatado.....	66
<b>Tabla 18</b> Rendimiento de los equipos de sostenimiento/guardia .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación de la mina San Cristóbal.....	11
<b>Figura 2</b> Accesibilidad a la Mina San Cristóbal.....	11
<b>Figura 3</b> Vista isométrica metodo de minado breasting. ....	12
<b>Figura 4</b> Vista isométrica metodo de minado Bench and Fill (avoca).....	14
<b>Figura 5</b> Vista longitudinal minado Bench and Fill (avoca) con relleno detrítico.....	15
<b>Figura 6</b> Tipos de sostenimiento pasivos parte 1.....	17
<b>Figura 7</b> Tipos de sostenimiento pasivos parte 2.....	17
<b>Figura 8</b> Tipos de sostenimiento activos parte 1.....	18
<b>Figura 9</b> Tipos de sostenimiento activos parte 2.....	18
<b>Figura 10</b> Partes del Equipo Bolter 88.....	20
<b>Figura 11</b> Dimensiones del equipo Bolter 88.....	21
<b>Figura 12</b> Altura del equipo .....	21
<b>Figura 13</b> Radio de giro del equipo .....	22
<b>Figura 14</b> Diagrama de perforación.....	24
<b>Figura 15</b> Diagrama de sostenimiento con Split set.....	24
<b>Figura 16</b> Ubicación de la válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora .....	25
<b>Figura 17</b> Índice de frecuencia .....	39
<b>Figura 18</b> Índice de Severidad.....	40
<b>Figura 19</b> Índice de accidentabilidad .....	40
<b>Figura 20</b> Incidentes por tipo de causa.....	42
<b>Figura 21</b> Equipo desatador de rocas Scaler.....	50
<b>Figura 22</b> Dimensione horizontal del equipo.....	50
<b>Figura 23</b> Dimensión vertical y lateral del equipo .....	51
<b>Figura 24</b> Radio de giro del equipo .....	51
<b>Figura 25</b> Ciclo de minado con sostenimiento mecanizado .....	53
<b>Figura 26</b> Perforación.....	53

<b>Figura 27</b> Carguío .....	54
<b>Figura 28</b> Limpieza de Mineral .....	55
<b>Figura 29</b> Desate con Scaler .....	55
<b>Figura 30</b> Desatador escales en plena operación en un tajo .....	56
<b>Figura 31</b> Limpieza de Mineral – Segunda Etapa .....	56
<b>Figura 32</b> Sostenimiento .....	57
<b>Figura 33</b> Vista de instalación de perno en una de las labores.....	57

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Entre las distintas labores que se pueden emplear en las operaciones mineras a nivel subterráneo se debe destacar la importancia del sostenimiento, y sobre todo la utilización de sistemas mecanizados para estas operaciones.

Este aspecto se destaca debido a que las operaciones a nivel subterráneo se llevan a cabo en sectores que presentan altos niveles de inestabilidad debido a la fracturación que será sometida la roca, así como el vacío de los espacios en los que se generan al extraer el material mineral. Con la finalidad de estabilizar la zona para que adquiera las condiciones básicas operativas, Lo que significa la redistribución de fuerzas que ejercen presión sobre el macizo rocoso, lo que se logra a través de un sostenimiento óptimo que tenga en cuenta la tipología de la roca, las fallas que se producen en el relleno y las que se abre, entre otros aspectos específicos.

Estas operaciones están ubicadas en la localidad de Yauli, departamento de Junín.

El tipo de roca estimada Según el criterio de clasificación geomecánica adoptado (Bieniawski, 1989 – Cuadro 1) es.



**Tabla 1** *Criterio para la clasificación de la masa rocosa*

TIPO DE ROCA	RANGO RMR	RANGO Q	CALIDAD SEGÚN RMR
II	> 60	> 5.92	Buena
III A	51 - 60	2.18 - 5.92	Regular A
III B	41 - 50	0.72 - 1.95	Regular B
IV A	31 - 40	0.24 - 0.64	Mala A
IV B	21 - 30	0.08 - 0.21	Mala B
V	< 21	< 0.08	Muy Mala

El aspecto que prima en el análisis del cuerpo de rocas que se encuentra asociado a la estructura mineralizada es la variabilidad. debido a que se pueden identificar distintas estructuras de mineralización, o de las cajas piso y techo inmediatas, o de las cajas piso y techo alejadas, Así como una variación en la calidad de la roca. Específicamente, se encontraron los siguientes tipos de calidad. Mala B (IVB RMR 21-30), Regular A (IIIA RMR 51-60), además Mala A (IVA RMR 31-40) y Regular B (IIIB RMR 41-50).

La tabla 2 Muestra los distintos tipos de calidad identificados, así como su distribución.

**Tabla 2 Unidades Geotécnicas San Cristóbal**

UNIDADES GEOTECNICAS (UGT) - MSCR							
VETA	NIVEL	ID UGT	Descripción	IRS	RQD (%)	RMR(b)89	
						Promedio	Rango
658	580	BX. VOL	Brecha Volcánica	R2.5 - 3	75 - 95	60	55 - 75
		FLT GRIS	Filita Gris	R2.5 - 3	90 - 100	60	50 - 75
	1320 1370 1420	FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		AND	Andesita Gris	R3	88 - 100	59	50 - 68
		AND ARG	Andesita Argilizada	R1 - R2	8 - 90	37	29 - 46
VENUS	1370 1420	ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	21	16 - 25
		FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
722	780	ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	21	16 - 25
		FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
722B	340	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
RP722	340	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
	820	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
SHEYLA	780	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
	820	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
SP658	1020	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
	1370	AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
	1420	FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70

Se distinguen tres tipos distintos de categorías para las excavaciones: permanentes, temporales y tajeos.

Para el caso de las excavaciones permanentes se deben considerar las galerías de nivel, las rampas, los talleres de mantenimiento, estaciones de bombeo polvorines, comedores entre otras instalaciones. son justamente ese tipo de excavaciones el tema de la presente investigación.

Un sistema de sostenimiento permanente es justamente el indicado para este tipo de excavaciones. debido a que es resistente a la corrosión además de presentar un alto grado de soporte para cargas adicionales

ocasionadas a lo largo de la vida operativa de la mina por la variación en las De las condiciones del esfuerzo circundante.

La Tabla 3 presenta El tipo de sostenimiento que se recomienda en labores permanentes. Adicionalmente, Se indica los tipos de sostenimiento adecuados cuando la calidad de la roca es inferior, de manera que puede tenerse en cuenta en el avance de las labores como parte del desarrollo normal de la operación.

**Tabla 3 Sostenimiento para labores de avance permanentes**

DOMINIO	RANGO RMR	SOSTENIMIENTO
DE - II	> 60	Pernos esporádicos
DE - IIIA	51 - 60	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m. Donde se requiera añadir una capa de 2" de espesor de shotcrete
DE - IIIB	41 - 50	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + 2" a 3" de espesor de shotcrete reforzado
DE - IVA	31 - 40	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 4" de shotcrete reforzado. Donde se requerirá utilizar malla metálica
DE - IVB	21 - 30	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 5" a 6" de espesor. Alternativamente, cimbras tipo 6W20 espaciada reforzada de 2" a 3" de espesor.
DE - V	< 21	Cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.0m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes.

Viendo estas características del tipo de roca existente en la zona y el sostenimiento empleado en las diferentes labores nuestra investigación va dirigido a optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad.

## 1.2. Delimitación de la investigación

### 1.2.1. Delimitación espacial

Este estudio se limita a las operaciones de La mina de San Cristóbal, las que, si localizan en el distrito de Yauli, en el departamento de Junín.

### 1.2.2. Delimitación temporal

Está previsto que se concluya este estudio en el segundo semestre del año 2024.

### **1.3. Formación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿En qué medida se podrá optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

##### **Problema específico a**

¿Cómo podemos optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de desatado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal?

##### **Problema específico b**

¿Cómo podemos optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

##### **Objetivo específico a**

Ver como optimizamos el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.

##### **Objetivo específico b**

Ver como optimizamos el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **Justificación Teórica**

Justifica su realización de la investigación sobre optimización del sostenimiento mecanizado porque nos permitirá obtener información o datos sobre sostenimiento mecanizado que podrán servir para otras investigaciones.

### **Justificación Practica**

Este trabajo presentará resultados sobre sostenimiento mecanizado que se podrán aplicar al realizar el sostenimiento de las labores de la unidad San Cristóbal y a la vez evitar o disminuir los accidentes.

### **Justificación Económica**

La investigación sobre sostenimiento mecanizado permitirá reducir los gastos ocasionados por sostenimientos inadecuados y que perjudiquen económicamente a la empresa y al trabajador.

## **1.6. Limitación de la investigación**

Mientras se llevó a cabo la investigación se pudo identificar como unas limitaciones la falta de información referente al tema, el tiempo fijado para su realización, falta de personal con experiencia en el tema.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

###### **Primer antecedente:**

En la tesis de (ESCARCENA, CARRILLO, 2019) titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO BOLTER 88” tuvo como objetivo: con la aplicación de la metodología centrado en la confiabilidad mejorar el mantenimiento de los equipos Bolter 88.

Como conclusiones se tuvo.

Con el mantenimiento adecuado del equipo Bolter 88 se logró incrementar la disponibilidad en 6.68 % y la confiabilidad en 10.88 %.

El análisis de criticidad determino los siguientes puntos críticos, sistema de lubricación, de combustible, de admisión, bomba de agua, compresor de aire, de perforacion.

Se estableció 13 fallas funcionales, 44 modos y efectos de falla lo mas critico fueron falla del subsistema de inyección diésel, el hidráulico, el compresor de aire.

Se estableció 44 actividades de mantenimiento, donde 2 son predictivas, 34 preventivas, 8 correctivas

### **Segundo antecedente**

La tesis de (SARMIENTO, MEJIA , 2019) titulado MEJORA EN EL PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE EQUIPOS MINEROS JUMBO EN LA EMPRESA RESEMIN, tuvo como objetivo: Mejorar la planificación y control de la producción de la empresa Resemin.

Como conclusión se tuvo:

Una mejor planificación del requerimiento de equipos se tiene mediante un pronóstico de ventas.

Mediante una correcta planificación y control de la producción se reduce la cantidad de horas extras requeridas.

El proyecto de mejora es sumamente rentable ya que disminuye los niveles de inventario en mas de 2 millones de soles.

### **Tercer antecedente**

La tesis de (PAREDES , 2019) titulado REDUCCIÓN DE COSTOS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO SMALL BOLTER DE SOSTENIMIENTO MECANIZADO DE LA MINA SAN RAFAEL – PUNO, tuvo como objetivo. Mediante la mejora en el uso de los equipos Samll Bolter para el sostenimiento, se propone reducir los costos para colocar los pernos y mallas.

Como conclusión se tuvo:

Se logro incrementar la colocación de pernos helicoidales en un 3.4 % pernos/mes y en 10% en mallas mallas/mes reduciendo los costos en sostenimiento en relación al año anterior.

Al usar solo el equipo Small Bolter el costo de operación y propiedad fue de 104,23 \$/hora lo cual signifiko un ahorro de 29.84 \$/hora en la colocación de pernos helicoidales con mallas electrosoldadas.

Con el equipo Small Bolter el tiempo de empernado y enmallado fue menor teniendo un ciclo de trabajo de 4.41 horas lo que representa un 2.6 % con respecto a las actividades anteriores.

#### **Cuarto antecedente**

La tesis de (Zevallos, 2023) titulado Evaluación de los instrumentos de gestión en seguridad y salud ocupacional para minimizar los riesgos en la operación de sostenimiento y refuerzo del macizo rocoso con el Scissor Bolter E.E. Maclean S.A. Minera Atacocha Pasco – 2019, como objetivo tuvo: ver si se puede minimizar los riesgos durante el sostenimiento con el equipo Scissor Bolter mediante la evaluación de los instrumentos de la gestión de la seguridad.

Como conclusión se tuvo:

Se trabajo en cada actividad programada y también en el control, seguimiento de la gestión de la seguridad.

Se estableció el cumplimiento estricto de las herramientas de gestión de la seguridad mejorando el comportamiento ante un riesgo y condiciones de riesgo.

La gestión de la seguridad se trabajó desde la perspectiva de la prevención con la que se disminuyó las perdidas por accidente.

#### **Quinto antecedente**

La tesis de (ÑAUPARI, 2029) titulado Estudio de componentes críticos en los equipos Empernadores bolter para mejorar la mantenibilidad en la Unidad Minera Atacocha – Nexa Resources, tuvo como Objetivo: evaluar los aspectos críticos de los Empernadores Bolter para mejorar su mantenimiento,

Como conclusión se tuvo.

Mediante el análisis de Pareto se determinó las fallas del 80 % que ocasionan el mayor tiempo de paradas de los equipos.



Las horas de parada por reparación se logró disminuir a 136.31 hrs de reparación el 2018 al realizar un buen mantenimiento de la unidad de giro y de la perforadora HC 50.

Los tiempos de para y reparaciones se disminuyó mediante un programa de reparaciones para sistemas de stand by.

## **2.2. Bases teóricas científicas**

### **2.2.1. Aspectos generales de la Mina**

#### **Ubicación**

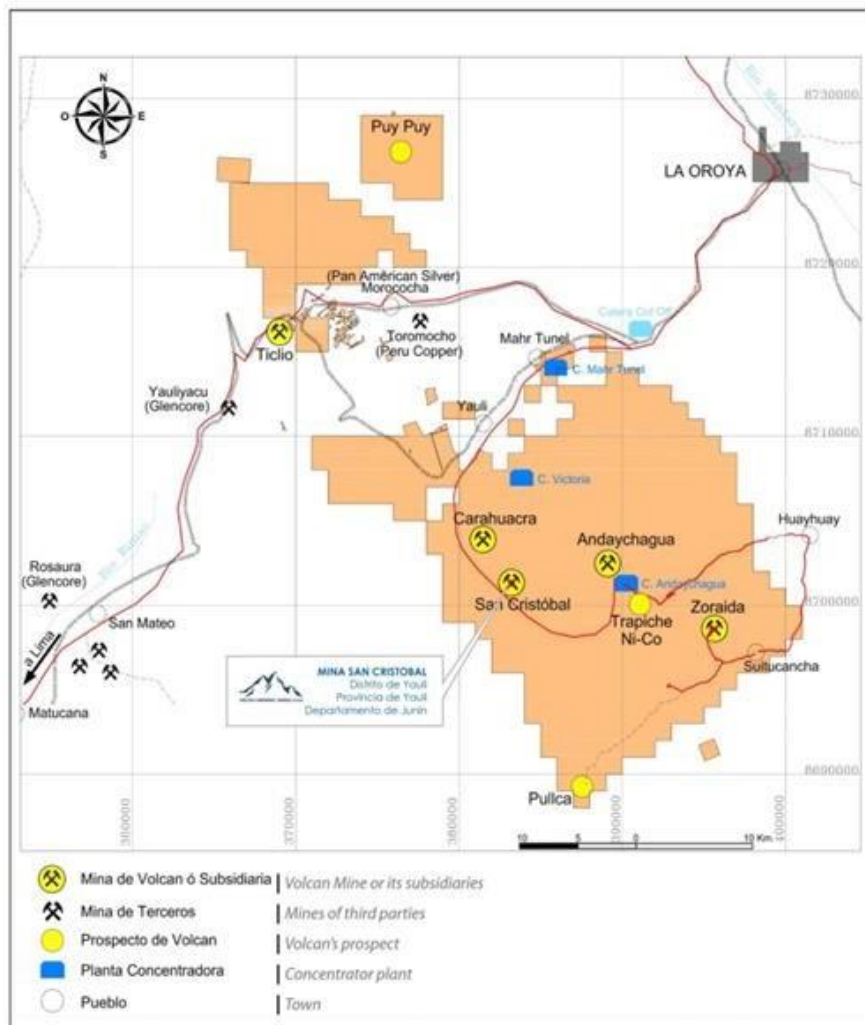
La localización de esta mina se encuentra en el distrito de Yauli, cuya provincia que pertenece al departamento de Junín lleva el mismo nombre. La distancia desde la mina hasta la ciudad de Lima es de aproximadamente 110 Km.

#### **Accesibilidad**

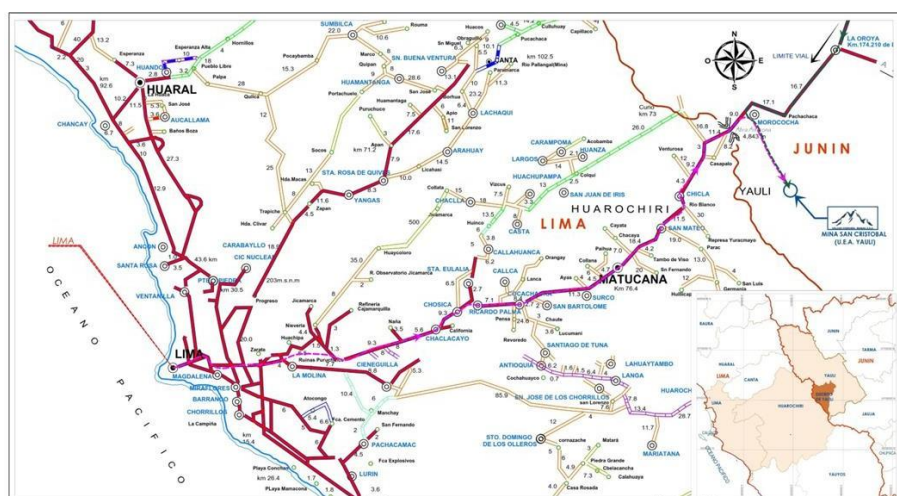
Se puede acceder a las operaciones de San Cristóbal directamente desde la carretera central, a partir de la vía de acceso a la localidad de Pachachaca de 20 kilómetros; otra forma de acceso es por tren, cuya estación más cercana se encuentra ubicada en Yauli y se ubica a 12 kilómetros de las operaciones.

Si se quiere llegar desde Lima la ruta de acceso directa es a través de la ciudad de La Oroya y la localidad de Mahr Túnel, a partir de ahí se toma el acceso a Yauli hasta Mina San Cristóbal. En condiciones normales el trayecto desde Lima debe tomar 6 horas como máximo.

**Figura 1** *Ubicación de la mina San Cristóbal*



**Figura 2** *Accesibilidad a la Mina San Cristóbal*



### 2.2.2. Métodos de explotación

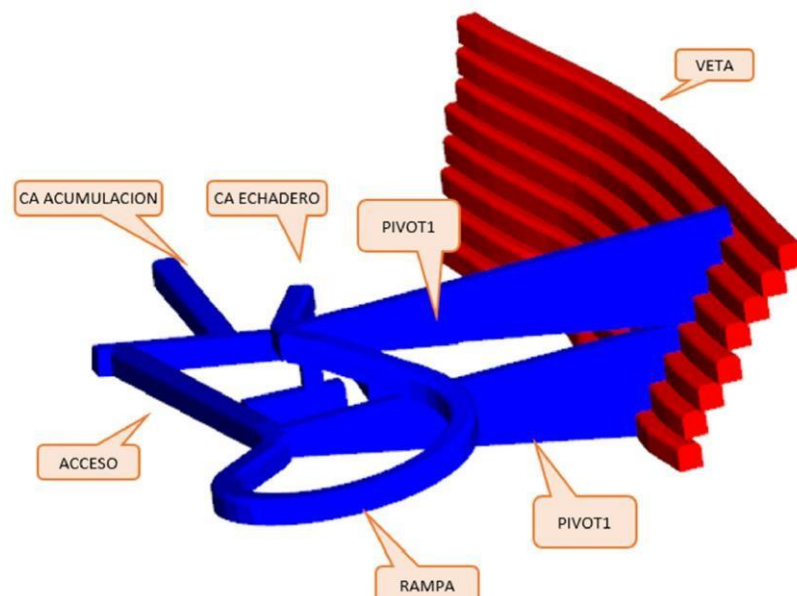
En la actualidad se aplican dos métodos para explotar la Unidad San Cristóbal los cuales son Over Cut and Fill (Breasting) y el Sub level Stopping (AVOCA).

#### Over Cut and Fill (Breasting)

Cuando una veta presenta un buzamiento por debajo de 500 se recomienda aplicar este método. para aplicarlo en un buzamiento mayor se debe considerar en la calidad de la roca de las cajas no permiten realizar la labor usando taladros largos.

Se debe iniciar las preparaciones a partir de la rampa utilizando para ello secciones de 4.5m x 4.5m (-12%), con un crucero que sirva para ingresar con una sección de 4.5m x 4.5m hacia un By - Pass de 4.5m x 4.5m, a partir de ahí se pueden generar las rampas basculantes o accesos que interceptarán la veta en el lugar donde se inician las galerías y los subniveles de explotación con secciones de 3.8m x 4.0m Cuya orientación está marcada por el rumbo de la veta. podrá ser variable el número de accesos y dependerá de la longitud de la veta. entre cada 1 de ellos se debe guardar una distancia de 150m que permita una labor en cada ala separada por Si es caro 75 m.

**Figura 3** Vista isométrica metodo de minado breasting.



En este caso se usará volquetes de 25 t para poder evacuar el desmonte partiendo desde las cámaras de carguío que se ubicarán en cada uno de los By – Pass.

Las dimensiones de los cortes para cada tajeo son de 4m de altura y 75m de longitud. el gradiente del acceso principal tendrá 13% (-). en los cortes posteriores se realizará un batido de los accesos para completar los 05 cortes.

Eliminado abarcará un ciclo correspondiente a perforación, voladura, desatado, limpieza y sostenimiento. Cada uno de estos ciclos alcanza una longitud de 75 m en cada ala totalizando 150 m.

El material usado para rellenar será detrítico proveniente de desmonte que se genere como parte de las labores de infraestructura, desarrollo y preparación como parte de los avances lineales dentro de la mina, La luz que debe dejar el corte debe ofrecer una cara libre de 0.5m que pueda ser usada para el siguiente minado del corte.

- Cuando una potencia sea inferior a 3.8 m corresponde un minado con sección de 3.8 x 4.0 m.
- Cuando una potencia sea superior a 3.8 m corresponde un minado del ancho de la veta.

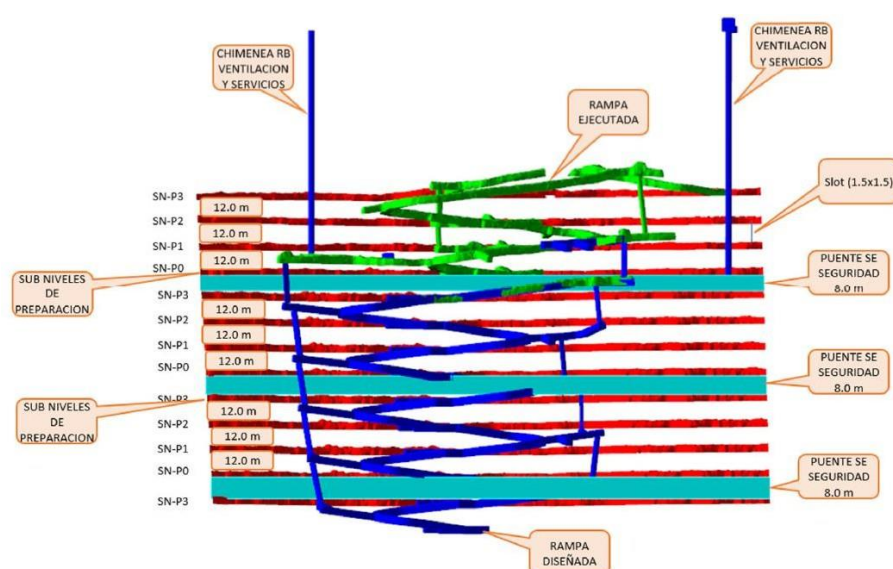
La cantidad promedio que puede proporcionar un disparo es 140 t de mineral. este material se debe acarrear a las cámaras de acumulación que se ubican en los By – Pass, que después serán transportadas por medio de volquetes con 25t de capacidad hasta los echaderos o superficie.

### **Bench and Fill (AVOCA)**

En términos prácticos este método representa una variación del Cut and Fill, pero a diferencia de éste ofrece una mejor productividad a un menor costo operativo.

Normalmente este método encuentra su aplicación en buzamientos superiores a 55° y con una calificación de Regular A hasta Mala A para la calidad del macizo, y adicionalmente un RMR >30, específicamente en la caja techo, con el objetivo de reducir al mínimo el desprendimiento de la caja techo por debilitación posterior a la voladura, y una dilución que se encuentre en el rango establecido. Esta medida se debe encontrar en un rango de 10% en promedio.

**Figura 4** Vista isométrica metodo de minado Bench and Fill (avoca).

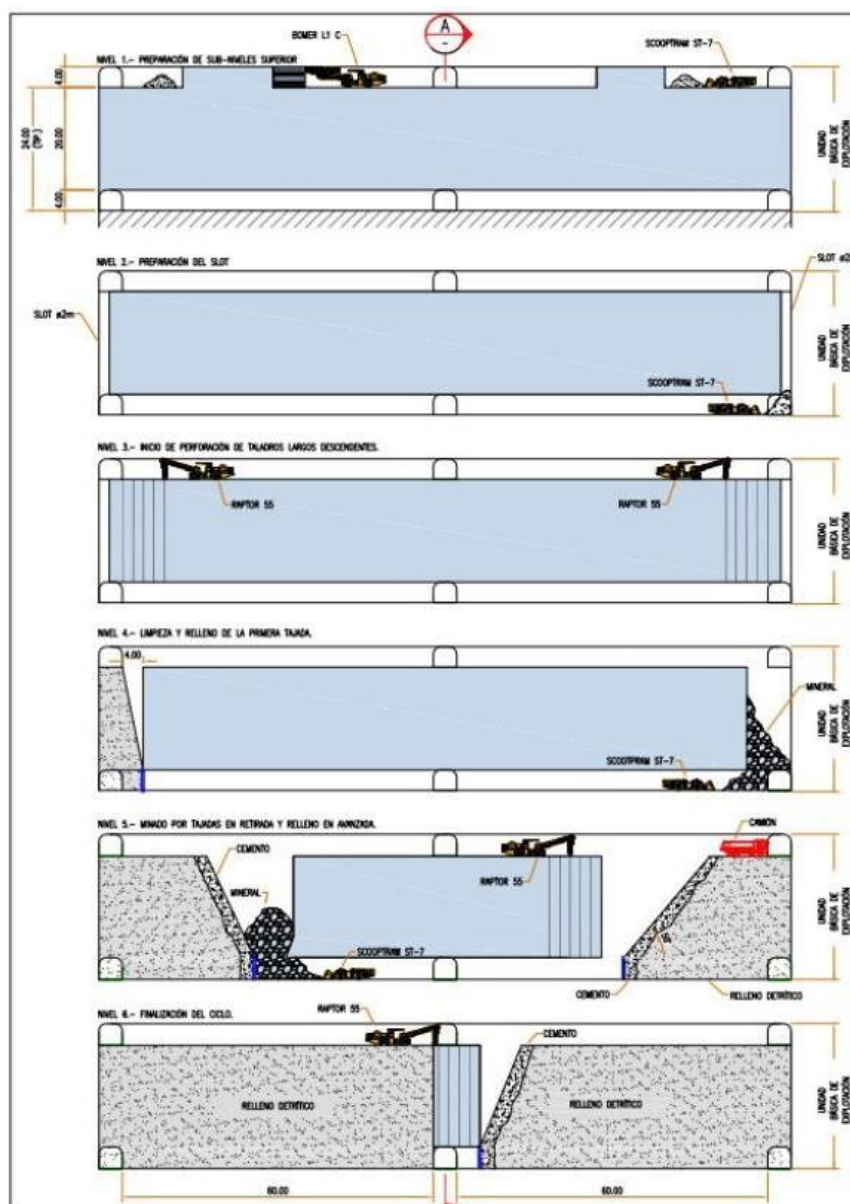


La extracción se realiza con una secuencia de retroceso que se continua por la aplicación del relleno detrítico en avance. En la rampa (-12%) se inicia la preparación, con un ingreso por un cruceo hacia el By – Pass, a partir de este punto se inician los accesos con longitudes variables entre 25 – 35 m de acuerdo con el análisis geomecánico, sus dimensiones son 3.8 m x 4.0 m y cortaran las vetas para poder dar inicio a las galerías o subniveles de explotación. La ubicación de los accesos se encuentra a una distancia de 150m.

La longitud de los bancos de explotación es de 15 m. Se emplea scoops diésel con capacidad de 6.0 yd<sup>3</sup> y telemando para realizar la limpieza y extracción de mineral y volquetes de 10 m<sup>3</sup> en los puntos de carguío Para

transportar a las parrillas el material o hasta la superficie. Cuando se concluya la etapa de limpieza se usa relleno detrítico que proviene de los desarrollos y preparaciones para seguir el ciclo de minado.

**Figura 5** Vista longitudinal minado Bench and Fill (avoca) con relleno detrítico



### 2.2.3. Sostenimiento subterráneo

#### Concepto de sostenimiento

Este concepto se emplea para hacer referencia a los distintos aspectos que se encuentran vinculados a los pernos de roca que pueden ser las siguientes técnicas de estabilización de la masa rocosa: relleno, madera

(puntales, paquetes, cuadros y conjuntos de cuadros), gatas, cimbras de acero, concreto lanzado (shotcrete) simple y con refuerzo de fibras de acero, cintas de acero (straps), malla, cables, Split sets y swellex), barras helicoidales ancladas con cemento o con resina, de varillas de fierro corrugado o de anclaje mecánico. (SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA PETROLEO Y ENERGIA, 2004)

Así mismo, Osinergmin se refiere a sostenimiento en actividades mineras como: El sistema usado para asegurar, controlar y estabilizar excavaciones subterráneas, con la finalidad de ofrecer las condiciones de seguridad en el trabajo y poder dar acceso a las labores subterráneas

### **Clases de sostenimiento**

Tenemos sostenimiento de apoyo pasivo y sostenimiento de apoyo activo.

**LOS DE APOYO PASIVO;** Este sistema consiste en utilizar elementos externos a la roca, y tiene en cuenta el movimiento interno de la roca que se encuentra en contacto con el perímetro de la excavación.

**LOS DE APOYO ACTIVO;** Este sistema consiste en utilizar elementos que forman parte parte integral de la roca.

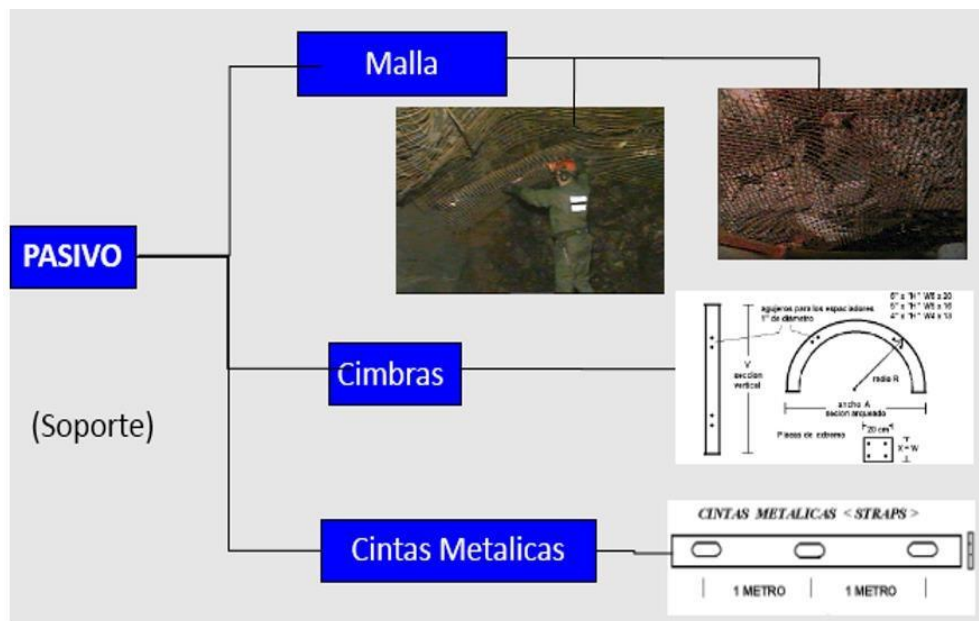
### **Sostenimientos pasivos:**

Principalmente su actuación incide en el nivel superficial de la excavación o dentro de ella como lo hacen los pernos cementados, concreto lanzado (shotcrete) cuadros de madera o las cimbras metálicas,

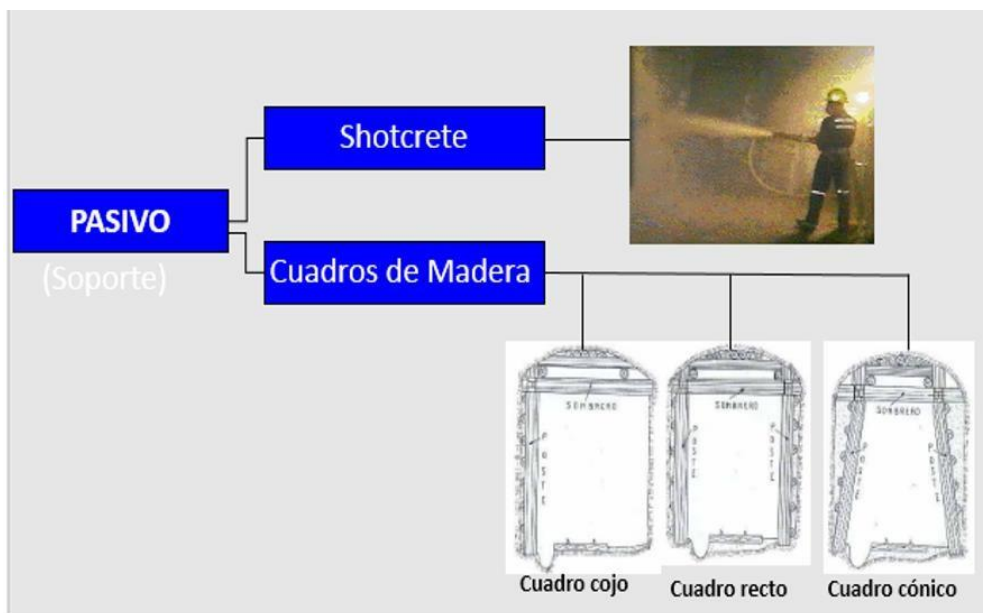
Este sistema necesita un desplazamiento o deformación de la roca Que le permita efectuar el soporte necesario. Se les denomina sostenimiento pasivo a los sistemas que se instalan en la superficie de la roca.



**Figura 6** Tipos de sostenimiento pasivos parte 1



**Figura 7** Tipos de sostenimiento pasivos parte 2



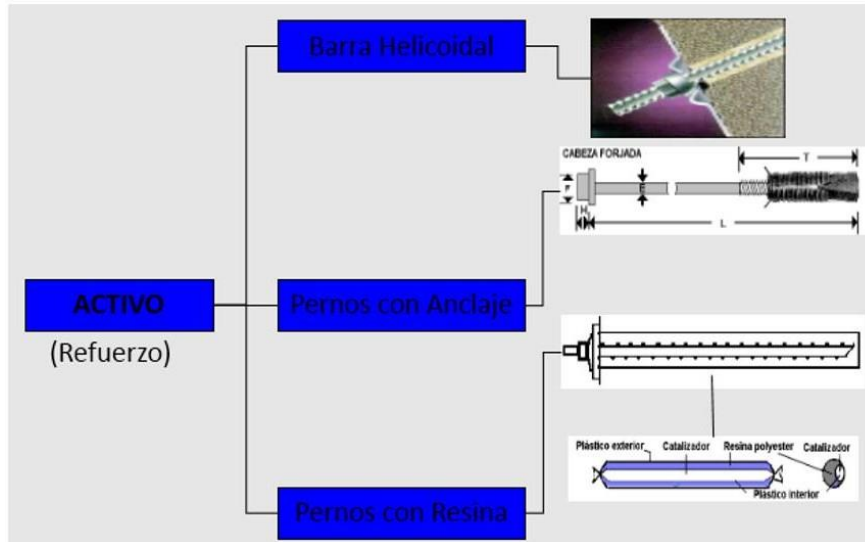
### Sostenimientos activos:

Estos sistemas actúan del interior de la roca como lo hacen los cables de anclaje tensados o los pernos de anclaje tensados. Tienen la capacidad de proporcionar un refuerzo inmediatamente después de ser

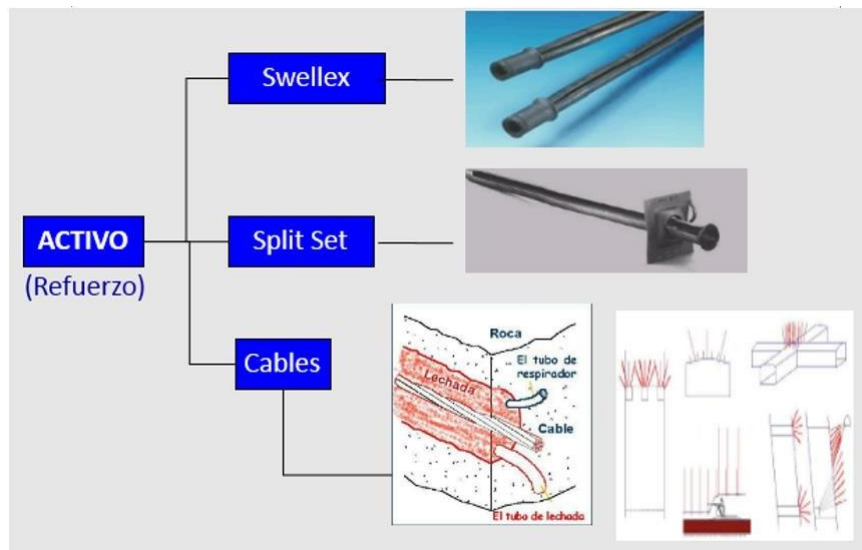


instalados, de esta manera logran conformar una compresión en la zona de la labor, otorgando con ello un nivel de estabilidad a la excavación.

**Figura 8** Tipos de sostenimiento activos parte 1



**Figura 9** Tipos de sostenimiento activos parte 2



### Tipos de sostenimiento de mina subterránea

En cuanto a los sistemas de sostenimiento utilizados en excavaciones podemos mencionar distintos tipos utilizado en las labores mineras de manera individual o juntamente con otros sistemas para poder dotar de la estabilización necesaria a las labores, estos son:

Elementos de pre soporte (micropilotes y spilling bars)

Pernos autoperforantes con relleno cementado (para rocas blandas)

Relleno (simple o cementado)

Malla metálica eslabonada y electrosoldada Gatas hidráulicas

Cimbras cedentes Cimbras metálicas

Cuadros de madera con encribado de madera Paquetes de madera  
(Wood pack)

Puntales de madera

Concreto lanzado (simple o reforzado con fibra) Revestimiento de  
concreto

Cables de acero Pernos de anclaje

#### **2.2.4. Sostenimiento con equipo Small Bolter**

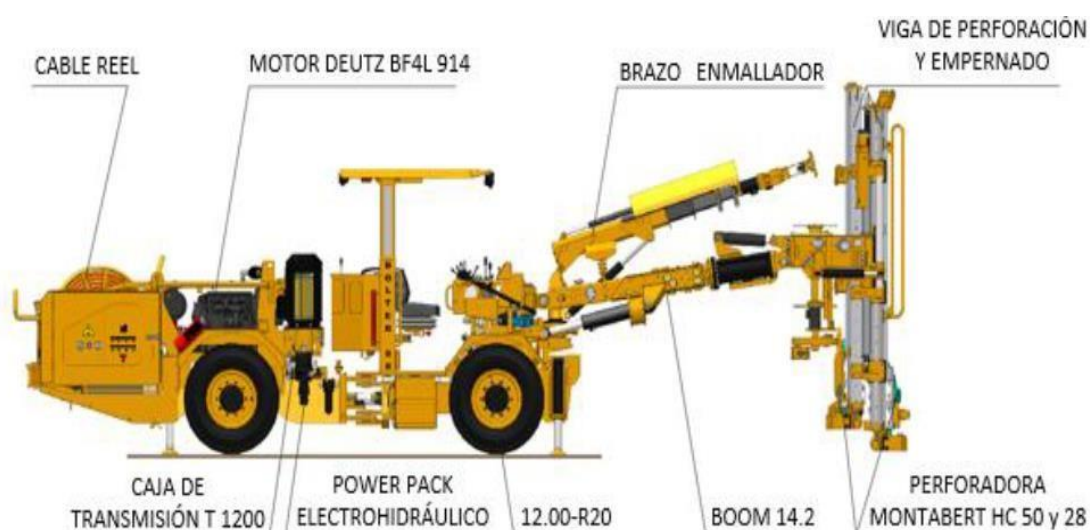
Este equipo utilizado para fortificaciones mecanizadas se emplea para realizar refuerzos de forma eficiente y con las condiciones de seguridad adecuadas de manera que estabilicen las estructuras de los techos en las operaciones subterráneas, las dimensiones ideales para las secciones deben ser de 3.1 x 3.1m. y pueden alcanzar labores de 5.6 m de altura.

Este equipo cuenta con Torreta de Empernado T88 y lleva un par de perforadoras Montabert, una HC 50 De perforación y una HC 28 de empernado y Carrusel de pernos. Los pernos Split Set Phyton Hydrabolt Helicoidales con resina y cemento Pueden ser instalados usando este equipo. adicionalmente cuenta con un chasis resistente al trabajo pesado, articulado 4WD, Utiliza un motor diésel para auto propulsarse y uno electrohidráulico para las perforaciones.

#### **Partes del Equipo Bolter 88**

La figura nos muestra las partes principales del equipo Small Bolter

**Figura 10 Partes del Equipo Bolter 88**



**Tabla 4 Características de las perforadoras**

**PERFORADORA HC 50**

Modelo/marca	HC50/Montabert
Potencia máxima de la perforadora	13 kW
Precarga del acumulador de alta	35 bar
Precarga del acumulador de baja	4 bar
Presión máxima de percusión	130 bar
Presión máxima de rotación	150 bar
Frecuencia máxima de percusión	3700 BPM
Aceite de lubricación del shank	0.8 cm³/min
Presión de aire de lubricación del shank	3 bar
Longitud sin el shank	833 mm
Shank	hembra R-32

**PERFORADORA HC 28**

Modelo/marca	HC 28/Montabert
Potencia máxima de la perforadora	9,5 kW
Precarga del acumulador de alta	60 bar
Presión máxima de percusión	130-170 bar
Presión máxima de rotación	210 bar
Frecuencia máxima de percusión	2800-3200 BPM
Aceite de lubricación del shank	0.8 cm³/min
Presión de aire de lubricación del shank	3 bar
Longitud sin el shank	800 mm
Shank	hembra R-32

**BRAZOS**

Brazo de la torreta	
Modelo	Boom 14.2
Extensión del boom	1 000 mm
Dimensión total extendido	3 160 mm
Ángulo de giro lateral	<-30°-0°> ; <0°-30°>
Unidad de rotación	L30-95-S-RF-360
Peso	1170 Kg
Brazo enmallador	
Extensión total	5 577 mm
2 x unidad de rotación	L10-5-5-M 360°

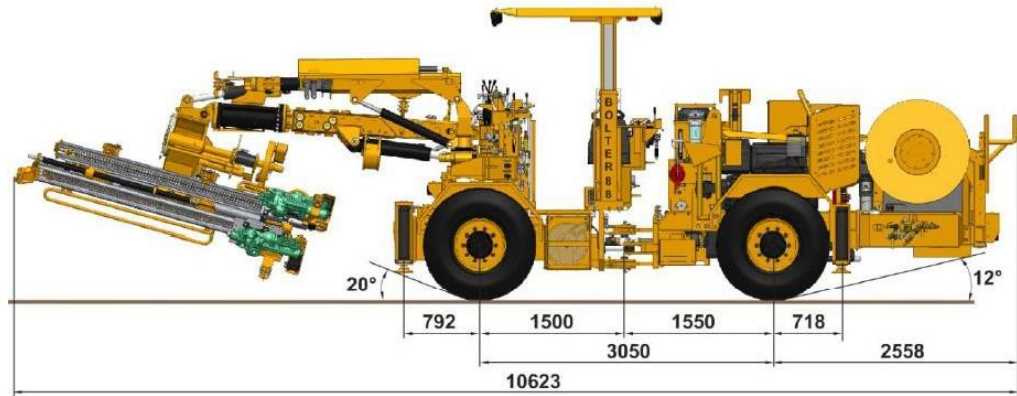
**TORRETA**

Modelo	T88
Sistema de alimentación	Carrusel de pernos X 9
Unidad de rotación	L30-95-S-RL-360°
Presión máxima de trabajo	210 bar
Viga de perforación	
Tipo de avance	con cadena 100H
Aplicación	barra de 9 pies
Motor de avance	OMT-500 S/F
Peso	370 Kg
Extensión de la viga	400 mm
Viga de empalme	
Modelo	RE BD10 08
Tipo de avance	con cadena 100H
Aplicación	para pernos de 08 pies
Motor de avance	OMT-500 S/F
Peso	290 Kg
Extensión de columna	350 mm

### Dimensiones del equipo Bolter 88

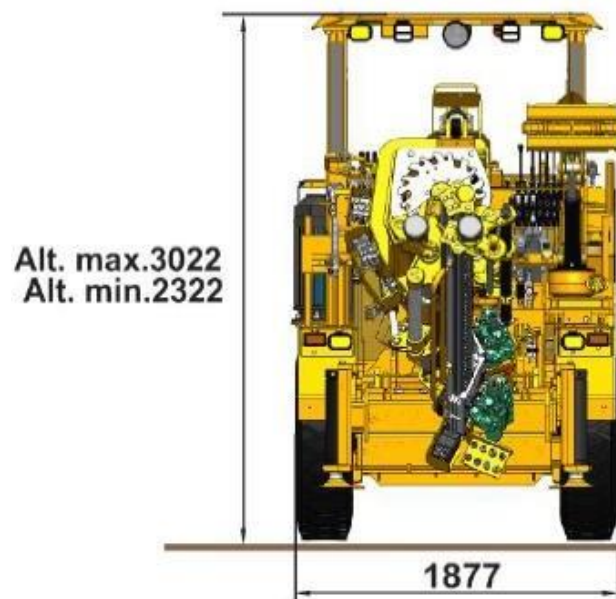
La figura siguiente muestra las dimensiones del equipo

**Figura 11** *Dimensiones del equipo Bolter 88*

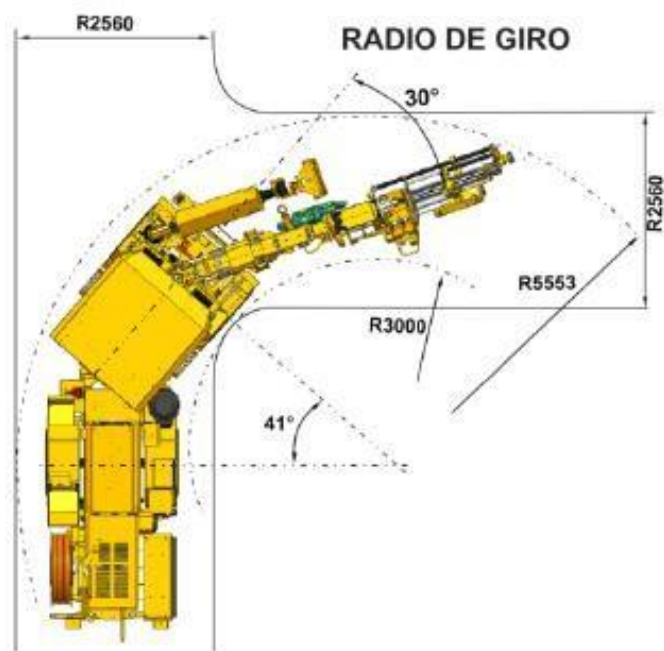


### Altura del equipo

**Figura 12** *Altura del equipo*



**Figura 13** *Radio de giro del equipo*



### Características del equipo

**Tabla 5** *Características del equipo Bolter 88*

CARRIER		SISTEMA DE CONTROL	
Modelo	C66.3	Modelo	K-18-HC50
Motor diésel	Deutz BF4L914	Power pack	Electrohidráulico
Potencia	72.4 kW (90 HP)	Motor eléctrico	de aluminio de 75 HP
Sistema de transmisión	Hidrodinámico	Frecuencia	60 Hz
Caja de transmisión power shift	Dana T 12000	Voltaje	440 V
Ejes diferenciales	Dana 112/367-368	Cable eléctrico	3X1/0 AWG 2 kV (90 mts)
Oscilante posterior	15° +/- 7.5°	Bombas hidráulicas	1 X pistones axiales desplazamiento variable (percusión, avance y posicionamiento)
Llantas	12.00-R20 (aro 20" Ø)	Desplazamiento variable máximo	71 cm³
Sistema hidráulico del carrier		1 X engranaje doble	(rotación, bomba de agua)
Articulación de la dirección	+/- 40°	Desplazamiento fijo	50 cm³/rev - 11 cm³/rev
Bomba de posicionamiento	Engranaje simple	Máxima presión	210 bar - 250 bar
Sistema eléctrico del carrier			
Tensión	24 VDC		
Potencia del arrancador	4.0 Kw		
Faros led	70 W, 24 VDC		
Batería	2 X 70 Ah		
Luces de marcha	8 X halógenos 50W HD		
Cabina del operador (canopy)	FOPS/ROPS		
Tanque de combustible	65 litros		
Tanque hidráulico	130 litros		
Sistema de extinción	Ansul 16 Kg (4 boquillas)		
Extintor manual	1 X 9 Kg (tipo ABC)		

**SISTEMA DE AGUA Y AIRE**

<b>Compresor</b>	
Modelo	G 11P
Tipo	de tornillo
Presión máxima de trabajo	9.1 bar
Caudal	56 CFM
Potencia del motor	11 kW
Nivel sonoro	68 dB
Peso	250 Kg
<b>Bomba de agua con motor hidráulico</b>	
Tipo	CR5-9
Caudal	6.9 m³/h
Tipo de motor	Pistones de eje inclinado
Velocidad máx. de operación	3540 rpm
Desplazamiento	5 cm³/rev
Enfriador tubular	FG 120-1427
Presión de trabajo máx. del aceite	20 bar
Temperatura de trabajo máx. del aceite	120°C
Presión de trabajo máx. del agua	20 bar
Delta de temperatura	8°C

**SISTEMA HYDRABOLT (OPCIONAL)**

<b>Bomba cat</b>	
Modelo	66DX30G11
Flujo	3.0 gpm (11.4 lpm)
Rango de presión	7 a 275 bar
Carreta	8.6 mm
Desplazamiento volumétrico	3.35 cm³/rev

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Peso total de máquina	14330 kg
-----------------------	----------

**Contexto operacional**

Este equipo fue diseñado únicamente para realizar trabajos que requieran perforaciones empernados y enmallados, así como para el

sostenimiento de labores, tajos, galerías en operaciones mineras subterráneas y túneles. Además, tiene múltiples funciones para ejecutar empernado si enmallados Presentando la facilidad para la instalación y el trabajo de diversos tipos de accesorios de sostenimiento como pueden ser: perno de anclaje helicoidal de cartucho de cemento o resinas con sus respectivos drivers de sostenimiento y perno de anclaje split set,

Las figuras 14, 15 muestran sus funciones y aplicaciones.

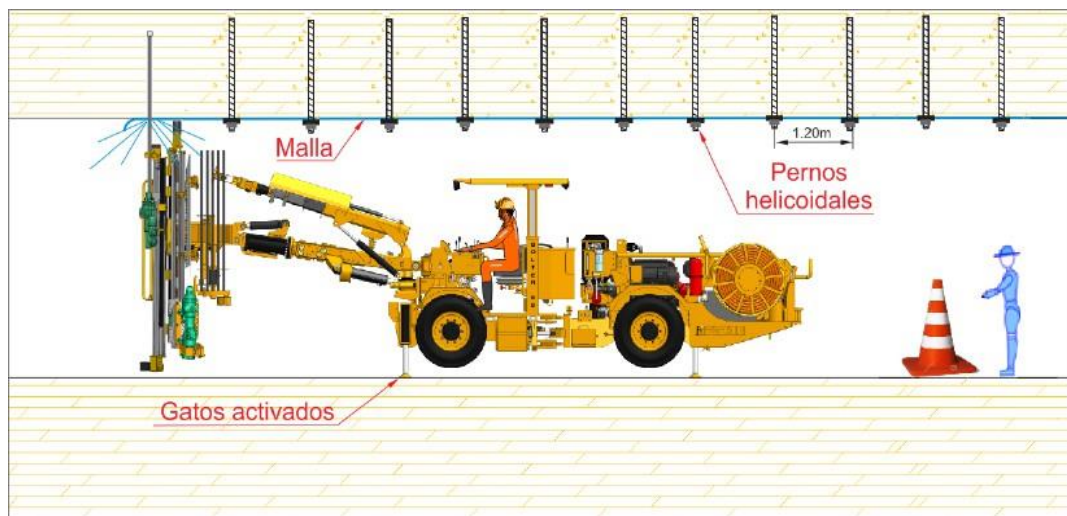
Adicionalmente se pueden mencionar otras aplicaciones no son tan recomendadas para realizarlas con este equipo:

Desate de rocas. Transporte de rocas. Soporte de objetos.

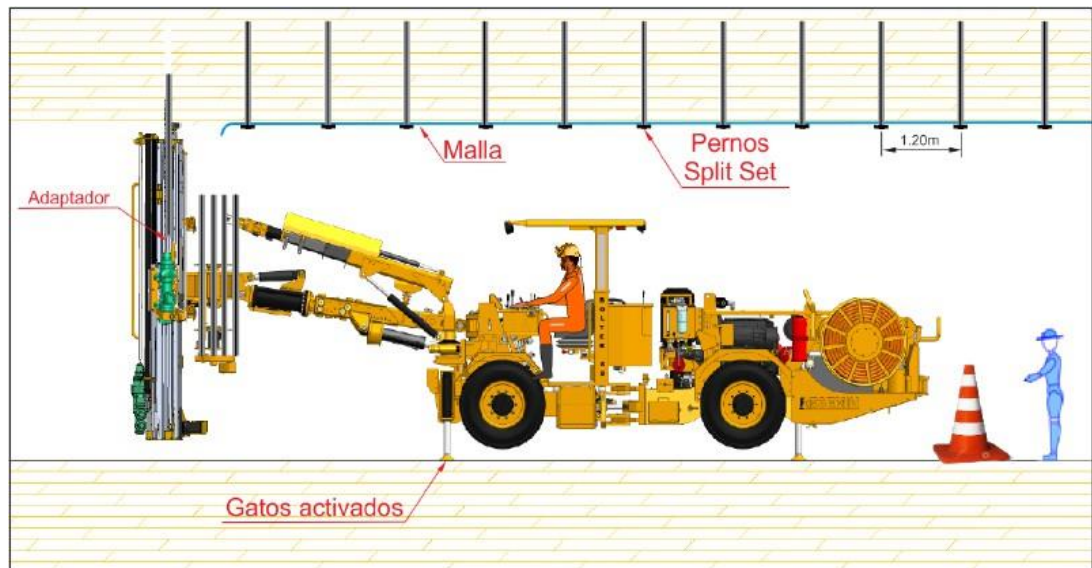
Elevación y transporte de cargas y personas. Perforación de taladros largos.



**Figura 14** Diagrama de perforación



**Figura 15** Diagrama de sostenimiento con Split set



### **Sistema de perforación**

#### **Presión y velocidad de rotación de la perforadora**

De acuerdo con el tipo de roca, la condición de la roca y el diámetro de la broca se debe ajustar la velocidad de rotación en la perforación. Además de acuerdo con la presión de percusión de trabajo regulado se debe regular la frecuencia de percusión corregida.

1. Se debe usar la palanca de control que se encuentra en el panel para activar la rotación de perforación.

2. La velocidad de rotación puede ser medida usando la barra o un tacómetro en el shank, con la perilla de la válvula reguladora de flujo ajuste la velocidad deseada, la que se ubica al lado del power pack electrohidráulico, entre 230 a 270 rpm se ubica la velocidad recomendada, aunque depende de la dureza del terreno, diámetro de la broca y frecuencia a la que está percutando la perforadora), en este rango de velocidades la presión de rotación debe ubicarse entre 35 - 60 bar de acuerdo con la resistencia de la rotación que la perforación presente.
3. La presión se verifica mediante el manómetro correspondiente.

**Figura 16** *Ubicación de la válvula reguladora de flujo del sistema de rotación de la perforadora*



### Presión de perforación

**Tabla 6** *Presiones de perforación de empernado*

DESCRIPCIÓN		PERFORADORA HC 50
PRESIÓN DE PERCUSIÓN	BAJA (EMBOQUILLADO)	90 bar
	ALTA	115 - 130 bar
PRESIÓN DE AVANCE	BAJA (EMBOQUILLADO)	40 - 55 bar
	ALTA	60 - 100 bar
PRESIÓN ROTACIÓN		35 - 60 bar
RPM DE ROTACIÓN (Broca de D = 38 mm y D =41 mm )		(216 - 324 rpm)
PRESIÓN DE BARRIDO DE AGUA		12 - 20 bar
PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE LAS PERFORADORAS		3 bar



**Tabla 7 Presiones de empernado**

DESCRIPCIÓN	PERFORADORA MONTABERT HC 28
SISTEMA DE EMPERNADO (válvula reductora de presión)	130 bar
CILINDRO INYECTOR (válvula reductora de presión)	45 bar
EXTENSIÓN DE LA CLAVIJA DE GOMA (válvula reductora de presión)	40 bar
PRESIÓN ROTACIÓN	25 - 35 bar
VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM)	100 - 120 rpm
PRESIÓN PERCUSIÓN	40 -90 bar
PRESIÓN AVANCE	50 - 70 bar
PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE PERFORADORA	3 bar
PRESIÓN LADO CILINDRO INYECTOR DE CEMENTO	45 bar

Dependiendo del tipo de terreno en el que se efectue el sostenimiento las presiones pueden variar, así como a su método de aplicación.

### **2.3. Definición de términos conceptuales**

#### **Equipo de empernador bolter**

Los equipos Bolter MEM-SSB son sistemas completos para fortificar trabajos en operaciones subterráneas en minas específicamente para rocas con alta dureza, su diseño facilita el empernado y enmallado lo que hace posible que todo el trabajo los realice un solo operario. (MacLean Engineering Perú, 2012).

#### **Enmallado de rocas**

El enmallado de rocas es un sistema de mallas y pernos de anclaje que se utiliza para mejorar la estabilidad de las rocas y prevenir desprendimientos. Se usa en minería subterránea y en taludes

#### **Empernado de rocas**

El empernado de rocas es una técnica de ingeniería que utiliza pernos de anclaje para mejorar la estabilidad de formaciones rocosas. Se usa en la construcción y geotecnia. Normalmente el empernado se lleva a cabo usando una perforadora abra el agujero en la pared de rocas, cuando sea retirada la

perforadora se debe colocar un perno para después atornillarlo al agujero y finalmente rellenarlo con concreto.

### **Indicadores de gestión**

Es la información de carácter tanto cualitativa como cuantitativa que muestran el estado general de los sistemas, el personal relacionándolo con un aspecto específico que se quiere evaluar. La forma de presentación de los indicadores puede ser por medio de números, medidas, opiniones, hechos o percepciones, que puedan establecer contextos o situaciones específicas. García (2012a)

### **Macizo rocoso.**

Es un medio conformado por bloques sólidos cuya separación está marcada por discontinuidades, Es comportamiento está condicionado por el perfil estructural de las discontinuidades que forman parte de él, además de su litología de la roca matriz y su evolución histórica. (Villacrés, 2016).

### **Optimización**

En términos básicos después de entender cómo las acciones y las consecuencias de optimizar algo. Generalmente, puede ser entendido como el proceso para dotar de eficiencia la resolución de alguna cosa, Asimismo se asocia con utilizar una cantidad menor de recursos para el fin determinado.

### **Perforadora montabert hc 50**

Se trata de un martillo de acción hidráulica que puede ofrecer en perforaciones frontales una velocidad considerablemente alta. Entre sus cualidades se destacan una vida útil excelente y una confiable penetración a alta velocidad, así como la alta calidad de sus componentes. por estas características son bastante demandados en el mercado de las operaciones mineras. (Resemin, 2014).

**Productividad:**

Se puede definir como la relación entre una cantidad determinada de producción y una cantidad determinada de recursos empleados en esa producción. en el sector minero este concepto ayuda en la evaluación del desempeño de los talleres, la maquinaria, el equipamiento de trabajo y los operarios.

**Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo**

El SG-SST es un proceso que ayuda a las empresas a prevenir accidentes y enfermedades laborales. Por finalidad cuidar la salud, la integridad física y mental de las personas que realizan funciones como parte del trabajo.

**Sostenimiento**

Su objetivo es ofrecer condiciones de estabilidad adecuadas en todas las labores que se ejecuten en el macizo rocoso. Como sistema es primordial para llevar a cabo tus trabajos bajo condiciones garantizadas de seguridad en entornos subterráneos debido a que los desprendimientos de rocas son las principales causas de accidentes en este tipo de operaciones. (Huamani, 2014).

**Sostenimiento mecanizado**

Este tipo de sostenimiento se emplea en minería subterránea por medio de un conjunto de técnicas y materiales orientados a reforzar y estabilizar la roca que rodea una excavación. El objetivo es que la excavación pueda sostenerse por sí misma.

**Vida útil:**

Es el tiempo que elemento puede ser utilizado en condiciones óptimas sin necesitar reparación de algún tipo.

### **2.3.1. Hipótesis general**

Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado con el uso del equipo Small Bolter podremos mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal.

### **2.3.2. Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica a**

Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de desatado podremos mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.

#### **Hipótesis específica b**

Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado podremos mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.

### **2.3.3. Identificación de variables**

Variables para la hipótesis general

Variable independiente

Optimizar el sostenimiento mecanizado.

**Variable dependiente**

Mejorar la seguridad.

*Variables para la hipótesis específicas* Variables para la hipótesis específica a Variable independiente Optimizar el sostenimiento mecanizado.

Variable dependiente

Etapa de desatado mejora la seguridad. Variables para la hipótesis específica b Variable independiente

Optimizar el sostenimiento mecanizado.

Variable dependiente

Etapa de empernado mejora la seguridad.

## **2.4. Enfoque filosófico y epistémico**

Optimización del Sostenimiento Mecanizado para Mejorar la Seguridad en la Empresa Minera Volcan – Unidad San Cristóbal\*\*

El estudio sobre la optimización del sostenimiento mecanizado en una operación minera subterránea, como la Unidad San Cristóbal de la empresa Volcan, no solo se sustenta en criterios técnicos y operativos, sino también en determinadas posturas filosóficas que orientan la forma de observar, interpretar y explicar la realidad operacional y los riesgos inherentes a la actividad minera. Estas concepciones actúan como marcos epistémicos que permiten delimitar el problema, organizar la evidencia y otorgar sentido a las decisiones metodológicas adoptadas en la investigación.

### ***Enfoque Filosófico Positivista***

El primer fundamento filosófico que sostiene esta tesis es el positivismo, corriente que propone que la realidad puede conocerse mediante la observación sistemática, la medición y el análisis objetivo de los fenómenos. Este enfoque se enlaza estrechamente con la naturaleza del problema estudiado: la seguridad minera basada en la eficiencia de los sistemas de sostenimiento mecanizado.

En minería subterránea, los riesgos geomecánicos —como desprendimientos, colapsos o inestabilidad de terrenos— constituyen hechos físicamente observables, susceptibles de ser medidos mediante parámetros como resistencia del macizo rocoso, cargas de sostenimiento, fallas estructurales o tasas de accidentes laborales. Bajo la mirada positivista, la investigación asume que es posible identificar relaciones de causa y efecto entre la calidad del sostenimiento y la ocurrencia de eventos adversos, siempre que se utilicen procedimientos rigurosos y datos verificables.

En consecuencia, este enfoque justifica:

- La recolección de datos numéricos sobre tiempos de instalación, ciclos de

producción y desempeño del sostenimiento.

- El análisis estadístico de incidentes y accidentes asociados a fallas del soporte.
- La aplicación de modelos predictivos para proyectar escenarios de mejora en seguridad.

Por lo tanto, el enfoque positivista permite comprender el sostenimiento mecanizado como un sistema técnico susceptible de ser optimizado mediante evidencia empírica, contribuyendo a decisiones más seguras y eficientes dentro de la operación minera.

### ***Enfoque Filosófico Empirista***

El empirismo complementa al positivismo al sostener que el conocimiento deriva fundamentalmente de la experiencia. En minería, este principio se manifiesta en la dependencia que existe entre las prácticas operativas, la observación de campo y el aprendizaje acumulado en situaciones reales.

La Unidad San Cristóbal presenta condiciones geológicas particulares que solo pueden comprenderse mediante la experiencia directa: comportamiento de la roca, influencia del agua subterránea, respuesta del terreno al sostenimiento mecanizado y variabilidad propia de cada labor. Estos elementos no pueden comprenderse únicamente desde la teoría; requieren trabajo in situ, observación continua y retroalimentación de los operadores.

El enfoque empirista se refleja en:

- La observación directa del desempeño del sostenimiento en diferentes frentes de minado.
- La evaluación de experiencias previas de accidentes o incidentes generados por sostenimientos deficientes.
- La sistematización de la percepción de operadores, supervisores y personal técnico sobre los riesgos asociados.

Desde este enfoque, la investigación reconoce que la práctica operativa es una fuente indispensable de conocimiento, y que la optimización del sostenimiento mecanizado solo es posible si se integran las experiencias reales del entorno laboral.

### ***Enfoque Filosófico Racionalista***

La dimensión racionalista se expresa en la necesidad de una estructura lógica y conceptual que sustente el análisis del problema. Aunque la experiencia en campo es crucial, también es indispensable apoyarse en modelos teóricos, principios de ingeniería y marcos normativos para comprender y solucionar los problemas de seguridad.

En la tesis, el racionalismo permite:

- Analizar las leyes de la mecánica de rocas y su relación con los parámetros de sostenimiento.
- Organizar la información empírica bajo categorías conceptuales como estabilidad, factor de seguridad o comportamiento deformacional.
- Elaborar estrategias de optimización basadas en razonamientos coherentes y sistemáticos.

Así, mientras el empirismo aporta la evidencia concreta, el racionalismo permite transformar esa evidencia en conocimiento estructurado, capaz de orientar mejoras operativas.

### ***Enfoque Filosófico Dialéctico***

La actividad minera se caracteriza por la interacción dinámica entre el ser humano, la tecnología y la naturaleza. La dialéctica permite comprender esta complejidad al concebir la realidad como un proceso en constante cambio, donde múltiples factores se interrelacionan y condicionan mutuamente.

Bajo este enfoque, el sostenimiento mecanizado no se considera un elemento aislado, sino parte de un sistema dinámico donde convergen:

- Condiciones geológicas cambiantes.
- Procesos de producción que alteran el entorno.
- Comportamientos humanos que influyen en la seguridad.
- Innovaciones tecnológicas que redefinen prácticas y procedimientos.

La dialéctica permite entender que mejorar la seguridad no es un proceso lineal, sino una transformación continua que requiere identificar contradicciones entre producción y seguridad, entre velocidad de avance y calidad del sostenimiento, y entre la tecnología disponible y las capacidades operativas del personal.

Con ello, la tesis adopta una perspectiva evolutiva que reconoce que la optimización del sostenimiento mecanizado es un proceso sujeto a reajustes constantes.

Los enfoques filosóficos que sustentan la tesis se convierten en pilares para comprender y analizar la realidad operacional de la Unidad San Cristóbal. Cada postura filosófica cumple un rol específico: mientras el positivismo y el racionalismo orientan la medición y el análisis técnico, el empirismo aporta la experiencia real, y la dialéctica permite interpretar la complejidad de los procesos mineros. En conjunto, estos enfoques proporcionan una base sólida para justificar la metodología empleada y para fundamentar la necesidad de optimizar el sostenimiento mecanizado como estrategia esencial para mejorar la seguridad minera.



### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

##### **3.1. Tipo de Investigación**

Este trabajo será de tipo APLICADO porque en un primer instante haremos un diagnóstico del sostenimiento mecanizado luego capacitaremos al personal sobre sostenimiento, finalmente evaluaremos la aplicación del sostenimiento mecanizado para poder ver si ha mejorado la aplicación del sostenimiento mecanizado, como dice (BAENA, 2017)

##### **3.2. Nivel de investigación**

Este trabajo se ejecutará a un nivel descriptivo, analítico; porque vamos a describir y analizar los aspectos de la aplicación del sostenimiento mecanizado y la seguridad en la mina San Cristóbal como nos manifiesta (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014)

##### **3.3. Características de la investigación**

La presente investigación sobre la *“Optimización del sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en la empresa minera Volcan – Unidad San Cristóbal”* se caracteriza por abordar un problema operativo y de seguridad que incide directamente en la continuidad productiva y en la integridad de los trabajadores. Su principal rasgo distintivo es que se desarrolla dentro de un contexto real de minería subterránea, lo que permite analizar

situaciones concretas derivadas de las labores de explotación, del comportamiento geomecánico del macizo rocoso y de las prácticas de sostenimiento empleadas en la unidad.

Se trata de un estudio de enfoque cuantitativo, pues se basa en la recopilación, comparación y análisis de datos técnicos como índices geomecánicos, tiempos de instalación de equipos de sostenimiento, frecuencia de incidentes y reportes de condiciones inseguras. Este enfoque permite establecer relaciones medibles entre las deficiencias del sistema de sostenimiento y los riesgos operativos identificados.

El nivel de investigación es aplicado, ya que busca no solo comprender la naturaleza del problema, sino también proponer mejoras orientadas a optimizar el desempeño del sostenimiento mecanizado. Las soluciones planteadas se fundamentan en criterios técnicos, normativos y de ingeniería, con el fin de generar cambios concretos en los procesos de la unidad minera.

Asimismo, la investigación adopta un diseño no experimental, puesto que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se estudian tal como se presentan en las labores de la empresa. La recolección de información se realiza mediante observación directa en campo, revisión documental, análisis de informes geotécnicos y entrevistas con personal especializado, lo que garantiza una visión integral del problema.

Finalmente, el estudio se apoya en un marco conceptual sólido, que comprende principios de mecánica de rocas, sistemas de sostenimiento mecanizado, normativas de seguridad minera vigentes y metodologías de evaluación del riesgo. Esta base teórica permite sustentar de manera rigurosa los análisis y las recomendaciones, orientadas a fortalecer la seguridad y reducir incidentes en las labores subterráneas de la Unidad San Cristóbal.

### **3.4. Métodos de investigación**

El método empleado en este trabajo será el científico, porque se apoya en un análisis analítico-deductivo (BERNAL, 2010)

### **3.5. Diseño de investigación**

Aplicaremos el diseño no experimental porque no haremos ninguna variación de las variables de la investigación solo nos avocaremos a observar y recoger datos de las operaciones de sostenimiento mecanizado. Apoyado en “se aplican en un determinado momento para evaluar un fenómeno que está sucediendo en el presente” (SANCHEZ, REYES, MEJIA, 2018)

### **3.6. Procedimiento de muestreo**

#### **3.6.1. Población**

Todas las labores que realizan como sostenimiento mecanizado rampas, galerías de nivel, talleres de mantenimiento, estaciones de bombeo, comedores, polvorines en la mina San Cristóbal de la Empresa VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. conforman el grupo poblacional materia de estudio.

#### **3.6.2. Muestra**

De la población se ha tomado como muestra una rampas, y una galería de nivel, de la mina San Cristóbal de la Empresa VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.

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

#### **3.7.1. Técnicas**

- Observación directa
- Análisis de documentos

#### **3.7.2. Instrumentos**

Tenemos:

- Guía de observación

- Fichas de registros
- Documentos escritos

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para poder obtener los resultados y conclusiones ordenaremos los datos de campo en base a los instrumentos Excel, Word.

### **3.9. Orientación ética**

Mi tesis estará basado su desarrollo considerando los aspectos éticos como la responsabilidad, verdad, la confidencialidad, respeto que debemos guardar en todo momento.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

##### **4.1.1. Seguridad, sostenimiento y geomecánica en la Unidad San Cristóbal**

En operaciones mineras se pueden aplicar tres factores que nos ayuden a la cuantificación de los niveles de seguridad en las operaciones subterráneas a continuación se desarrolla en cada uno de ellos:

##### **Índice de Frecuencia**

Este es el indicador que se obtiene como resultado de dividir el cociente de las horas hombre que se acumulan durante un mes por un millón entre la cantidad de accidentes de naturaleza incapacitante. El indicador base o el nivel normal se establece en 5, resultados por encima de este valor indican que las operaciones presentan un grado de seguridad deficiente.

##### **Índice de Severidad**

Este indicador se obtiene a partir del cociente de las horas hombre que se acumulan durante un mes por un millón entre la cantidad de días que se perdieron. el indicador base o el nivel normal se establece en 300, resultados por encima de este valor indican que las operaciones presentan problemas en cuanto a la seguridad.

### Índice de Accidentabilidad

Este indicador se obtiene a partir del cociente del índice de frecuencia entre el de severidad. Un indicador base un nivel normal sí establece en 1.5, resultados por encima de este valor indica que las operaciones comienzan a presentar problemas de seguridad.

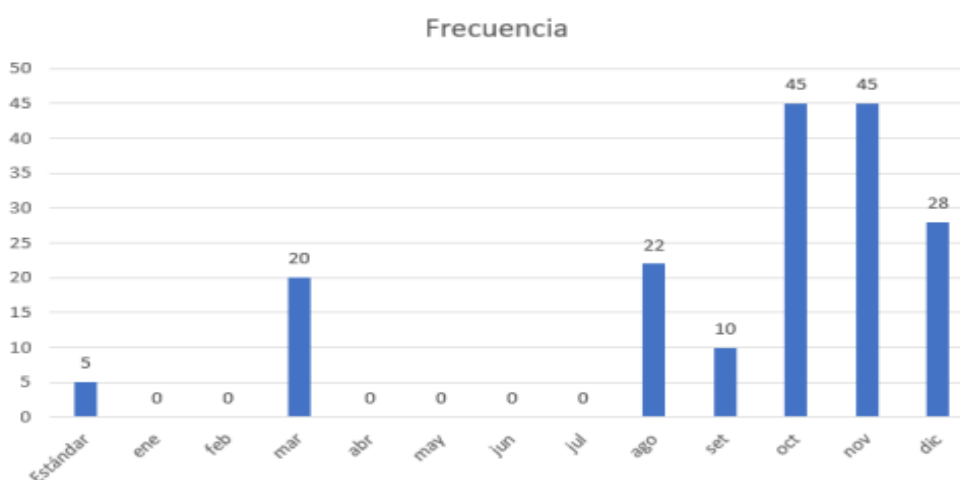
### Accidentes presentados en los tajeos

El problema que se ha presentado es los accidentes ocurridos en los tajeos donde la continuidad de voladura han hecho de alto riesgo el trabajo del personal en esas zonas, como se ha podido apreciar en el cuadro de índices de Seguridad existe una notorio y evidente crecimiento de los mencionados índices tanto de severidad, frecuencia como de accidentabilidad en el transcurso de los últimos dos años e igualmente los costos en instalación de pernos también han experimentado un claro aumento, así como el uso de elementos de sostenimiento, como se aprecian en los cuadros siguientes:

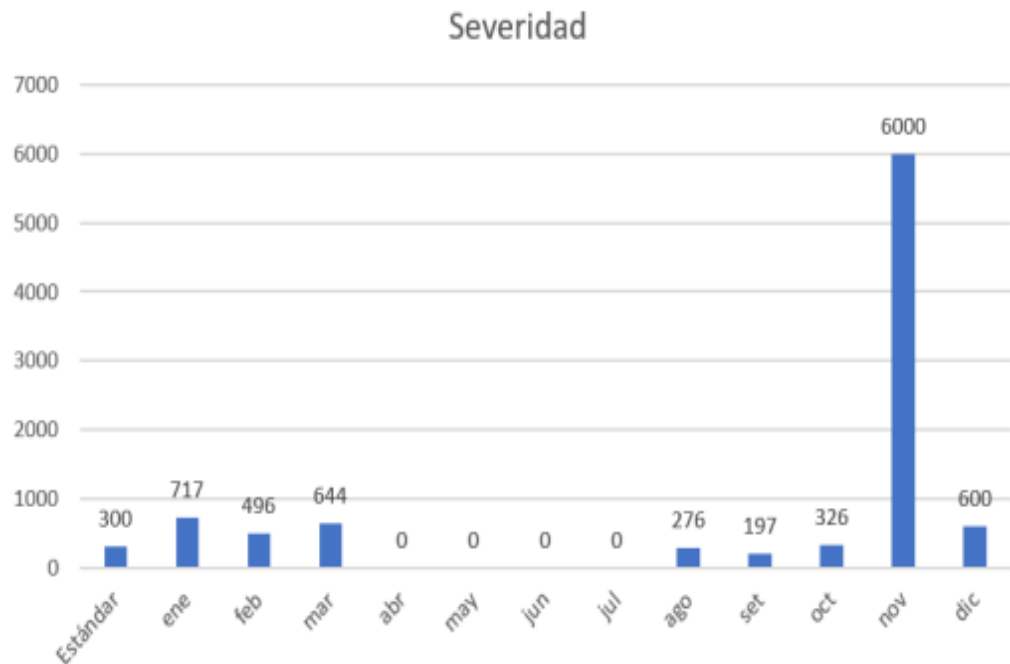
**Tabla 8** *Índice de frecuencia*

INDICES	Estándar	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
Frecuencia	5	0	0	20	0	0	0	0	22	10	45	45	28
Accidentabilidad	1.5	0	0	13	0	0	0	0	4	3	18	60	16
Severidad	300	717	496	644	0	0	0	0	276	197	326	6000	600

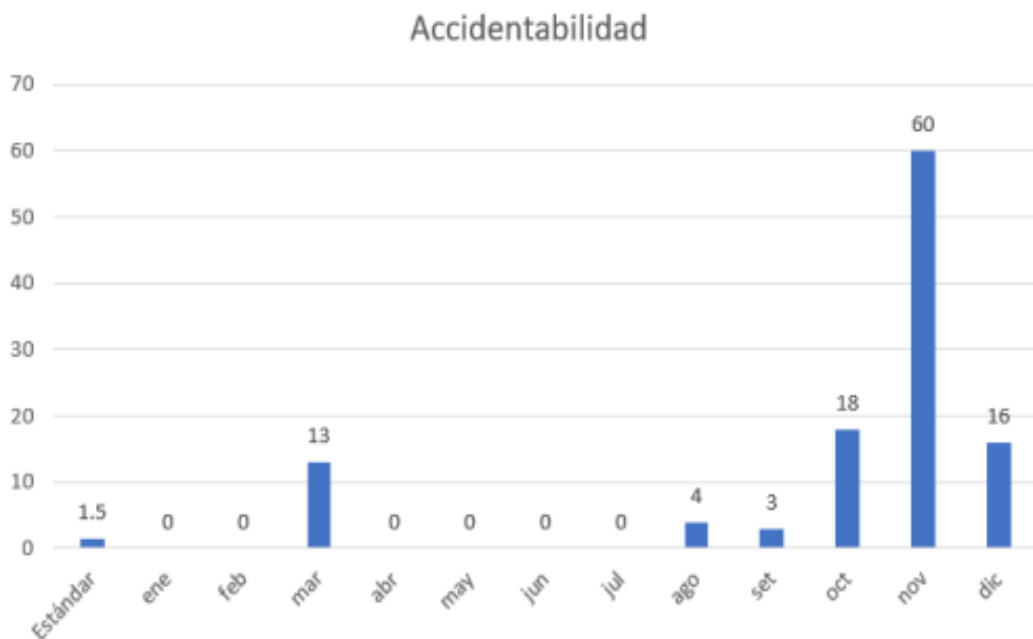
**Figura 17** *Índice de frecuencia*



**Figura 18** *Índice de Severidad*



**Figura 19** *Índice de accidentabilidad*



### **Sostenimiento**

Si bien en la Minera Volcan, Unidad San Cristóbal se tiene mucho cuidado en realizar una voladura controlada y avanzar los frentes con un techo en forma de arco, la mayor cantidad de incidentes y accidentes se deben a

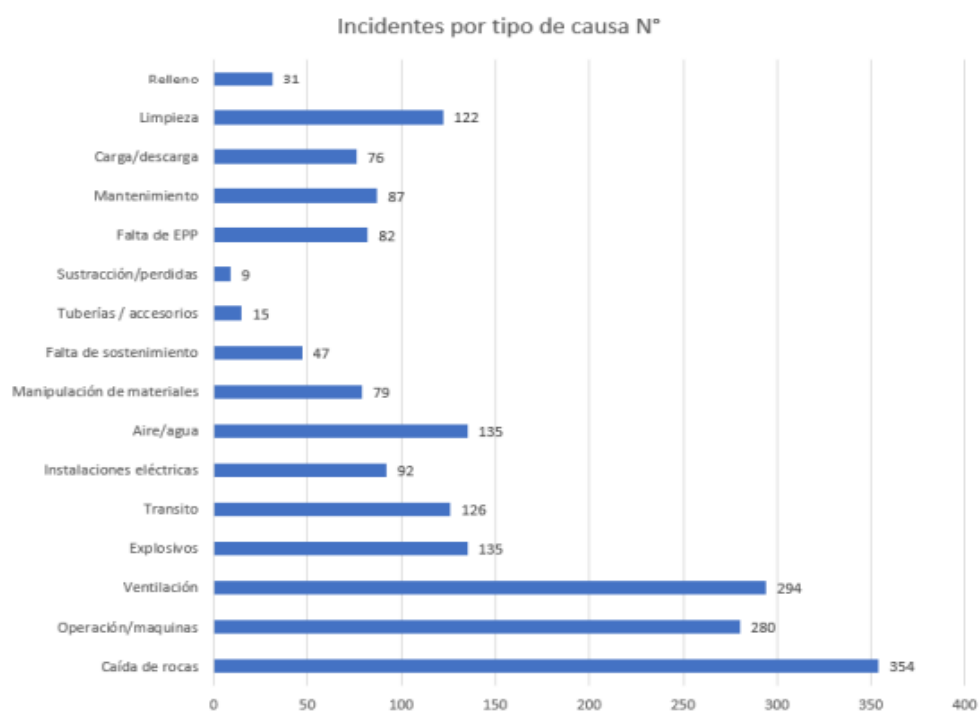
colapsamientos producidos por un mal desate, de ahí la importancia que tiene un buen desatado de rocas. A continuación, se presentan dos cuadros estadísticos que muestran la cantidad de incidentes y accidentes presentados en nuestra unidad durante el año 2023.

**Tabla 9** *Incidentes por tipo de causa*

<b>Incidentes por tipo de causa</b>	
Tipo de causa	Nº
Caída de rocas	354
Operación/maquinas	280
Ventilación	294
Explosivos	135
Transito	126
Instalaciones eléctricas	92
Aire/agua	135
Manipulación de materiales	79
Falta de sostenimiento	47
Tuberías / accesorios	15
Sustracción/perdidas	9
Falta de EPP	82
Mantenimiento	87
Carga/descarga	76
Limpieza	122
Relleno	31



**Figura 20** *Incidentes por tipo de causa*



**Tabla 10** *Accidentes personales por tipo*

Accidentes personales por tipo				
Tipo de causa	Incapacitantes	Trivial	Total	%
DESPRENDIMIENTO DE ROCAS	5	4	9	28.13
CAIDA DE PERSONAS	5	3	8	25.00
MANIPULACION DE MATERIALES	1	6	7	21.88
OPERACIÓN DE MAQUINARIAS	1		1	3.13
CARGA Y DESCARGA	1		1	3.13
EXPLOSIVOS		1	1	3.13
FALTA DE VENTILACION		1	1	3.13
TRANSITO		2	2	6.25
PERFORACIÓN		2	2	6.25
Totales	13	19	32	100.0

Como se puede observar, la mayor causa de accidentes es el desprendimiento de rocas.

Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento

Se dividen en 3 categorías las excavaciones: permanentes, temporales y tajeos.

### **Excavaciones permanentes**

Dentro de este conjunto se puede considerar polvorines comedores estaciones de bombeo talleres de mantenimiento galerías de nivel o rampas.

Estas excavaciones deben orientarse en la medida de lo posible de acuerdo con la dirección preferencial del avance que se menciona anteriormente. teniendo en cuenta esta condición se podrá mejorar el avance de la excavación en cuanto a su velocidad, además se reducirá el requerimiento de sostenimiento

Se debe instalar un sostenimiento permanente en este tipo de excavaciones. Este sistema debe poder ser resistente a la corrosión además de ofrecer un soporte a cargas adicionales como consecuencia del cambio de las condiciones en los esfuerzos correspondientes desarrollo de la vida de la mina. este tipo de excavaciones se deben ubicar en una caja piso alejada, donde tenga predominancia una calidad Regular A (IIIA) para la masa rocosa.

En el caso de la Mina San Cristóbal las vetas Tiene una orientación paralela Debido a que una excavación permanente se debe ubicar en el piso de una veta representaría su ubicación en la caja techo en relación a la otra veta adyacente.

En la Tabla 11 Está registrado el sistema de sostenimiento que se recomienda en labores permanentes. Adicionalmente se señala qué tipo de sostenimiento se debe aplicar en una calidad inferior de rocas de manera que

se pueda tener en cuenta si esta situación se presenta durante el desarrollo de nuevos sectores dentro de la mina.

**Tabla 11** *Sostenimiento para labores de avance permanentes*

DOMINIO	RANGO RMR	SOSTENIMIENTO
DE - II	> 60	Pernos esporádicos
DE - IIIA	51 - 60	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m. Donde se requiera añadir una capa de 2" de espesor de shotcrete
DE - IIIB	41 - 50	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + 2" a 3" de espesor de shotcrete reforzado
DE - IVA	31 - 40	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 4" de shotcrete reforzado. Donde se requerirá utilizar malla metálica
DE - IVB	21 - 30	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 5" a 6" de espesor. Alternativamente, cimbras tipo 6W20 espaciada reforzado de 2" a 3" de espesor.
DE - V	< 21	Cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.0m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de hierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes.

En el caso de presencia de agua, Se recomienda emplear pernos de tipo varilla corrugada o barras helicoidales con 7 pies de longitud, con una cementación de resina.

### **Excavaciones temporales**

Cuando los avances se encuentran asociados al minado de tajeos como pueden ser cruceros de acceso o galerías en roca estéril o en mineral, las excavaciones de carácter temporal del tipo de ingreso de personal dentro de las minas, deben presentar un tamaño suficiente le permita realizar el desatado periódico en buenas condiciones o un refuerzo adicional.

La Tabla 12 muestra los estimados De acuerdo con los tipos de roca que presenta la mina para el sostenimiento del avance temporal, Dentro de los que se incluyen a los tajeos. En los tajeos, el sostenimiento utilizado será por lo general los correspondientes a rocas pertenecientes a los dominios DE – IIIB y DE – IVA.

**Tabla 12 Sostenimiento para labores de avance temporales**

DOMINIO	RANGO RMR	SOSTENIMIENTO
DE - II	> 60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico
DE - IIIA	51 - 60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico
DE - IIIB	41 - 50	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE - IVA	31 - 40	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 2" a 3" de shotcrete reforzado.
DE - IVB	21 - 30	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 3" a 4" de espesor.
DE - V	< 21	Una capa preventiva de shotcrete de 3" de espesor + pernos + malla + otra capa de shotcrete de 3" de espesor. De ser necesario usar cuadros de madera, paquetes de madera, gatas, puntales y otros.

Los pernos de roca a utilizarse en este caso deben ser los pernos swellex de 7 pies de longitud. A excepciones de labores de secciones reducidas "3.5m x 3.8m" donde si será posible instalar pernos swellex de 6 pies de longitud.

#### **Condiciones geomecánicas**

Siguiendo el sistema para clasificar geomecánica mente el macizo propuesto por (Bieniawski, 1989 ), Estructura mineralizada se encuentra asociada a la masa rocosa evaluada presenta características variables en cuanto a su calidad. al tratarse de estructuras mineralizadas que pertenecen a las cajas piso y techo inmediatas, o de las cajas piso y techo alejadas, Es normal que en la calidad varíe, en ese sentido se pueden encontrar niveles de calidad a partir de Mala B (IVB RMR 21-30) Mala A (IVA RMR 31-40) Regular B (IIIB RMR 41-50) y Regular A (IIIA RMR 51-60). La siguiente tabla se puede apreciar la distribución de estas calidades.

**Tabla 13 Unidades Geotécnicas San Cristóbal**

UNIDADES GEOTECNICAS (UGT) - MSCR							
VETA	NIVEL	ID UGT	Descripción	IRS	RQD (%)	RMR(b)89	
						Promedio	Rango
658	580	BX. VOL	Brecha Volcánica	R2.5 - 3	75 - 95	60	55 - 75
		FLT GRIS	Filita Gris	R2.5 - 3	90 - 100	60	50 - 75
	1320 1370 1420	FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		AND	Andesita Gris	R3	88 - 100	59	50 - 68
		AND ARG	Andesita Argilizada	R1 - R2	8 - 90	37	29 - 46
VENUS	1370 1420	ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	21	16 - 25
		FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
722	780	ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	21	16 - 25
		FLT	Filita	R2 - 3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
722B	340	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
RP722	340	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
	820	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
SHEYLA	780	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
	820	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
		FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70
		FLT NEGRA	Filita Negra	R1 - R3	75 - 100	68	51 - 80
SP658	1020	FLT	Filita	R2 - R3	77 - 100	54	45 - 64
	1370	AND	Andesita	R2 - R2.5	95 - 100	69	60 - 80
	1420	FLT GRIS	Filita Gris	R3	90 - 100	62	54 - 70

La zonificación geomecánica Indica lo siguiente resultados para la masa rocosa estudiada:

**En la Veta Split 658** se puede observar que la calidad varía con relación a las otras estructuras donde se puede apreciar mayor regularidad en la calidad. En cuanto al tramo de mineralización la calidad que se puede observar pertenece en promedio al dominio estructural DEIVB (RMR 21–30) y DE-IVA (RMR 31–40). También se puede observar distintas calidades para la caja piso y techo de acuerdo con su ubicación, las que se pueden encontrar entre los dominios DE-IVB (RMR 21–30) y DE-IIIB (RMR 41–50). En el caso de

las cajas alejadas su calidad mejora ubicándose en promedio en el dominio DE-IIIA (RMR 51–60).

**En el caso de la Veta 658**, presenta una regularidad en cuanto a su calidad, el tramo de mineralización presenta una calidad que se puede ubicar en el dominio DE-IVA (RMR 31–40) Así mismo las cajas inmediatas, presentan una calidad ubicada en DE-IIIB (RMR 41–50). Cuánto más la estructura mineralizada se aleja de la roca la calidad de esta mejora ubicándose en DE-IIIA (RMR 51–60).

**Para la Veta 722** el mineral y la caja piso se pueden ubicar en el dominio DE-IVA (RMR 31–40) en cambio en la caja techo la calidad se ubica en el dominio DE-IIIB (RMR 41– 50). De igual manera que en las anteriores estructuras las cajas alejadas presentan una calidad mejor ubicándose en DE-IIIA (RMR 51–60).

Como resultado de este análisis podemos ver la estrecha relación que hay entre la seguridad, el sostenimiento y la geomecánica en la explotación de una labor subterránea.

#### **4.1.2. Desatado mecanizado**

Sistema representa una mejora tecnológica implementada por la empresa Volcan en sus operaciones Con lo cual busca tocar de las condiciones de seguridad adecuadas para realizar un trabajo óptimo asegurando con ello la integridad de sus trabajadores y del equipamiento.

Con ello busca elevar la productividad de la labor del desatado, mejorando de esta manera por medio de sistemas tecnológicos la seguridad en la productividad de los procesos de perforación.

El desatado se realiza posteriormente a la voladura utilizando equipos que se denominan scaler brock 330.

### Equipo Scaler: Desatador de Rocas Subterráneo

El desatador de rocas subterráneo ha sido diseñado para trabajos de desatado de rocas sueltas en galerías, túneles y cuevas. Este equipo proporciona tanto una alta calidad de desatado de rocas como un alto nivel de seguridad, productividad y eficacia, acelerando en gran medida el trabajo y todo el proceso de excavación.

Este desatador de rocas minero tiene un brazo plegable con un martillo hidráulico accionado por un cilindro giratorio y puede utilizarse para desatar rocas en techos, paredes laterales y suelos en minas subterráneas o túneles. Además, el sistema hidráulico de este desatador está equipado con un control de detección de carga, que proporciona un bajo consumo de combustible, una dirección estable y un posicionamiento preciso.

### Especificaciones técnicas

**Tabla 14** *Especificaciones técnicas del equipo scaler*

Especificaciones técnicas		
	Especificaciones	Medidas
General	Dimensiones totales (largo x ancho x alto)	7700x1650x2600 mm
	Longitud retractil (brazo)	6600 mm
	Altura máxima de desatado de rocas	6060 mm
	Ángulo de giro del martillo hidráulico	50° arriba, 65° abajo, +-60° (izquierda/derecha)
	Ángulo de giro del brazo	+/- 30°
	Radio de giro	Interior 2900 mm, exterior 4900 mm
	Diámetro de la varilla	53
Martillo hidráulico	Índice de impacto	550 – 1100 bpm
	Potencia nominal	60 kw

### **Características**

- Los desatadores de rocas subterráneos tienen un diseño modular para facilitar su mantenimiento.
- Su estructura robusta y compacta permite un fácil manejo, con la capacidad de soportar condiciones severas.
- El desatador de rocas, compuesto por un bastidor articulado y ruedas de goma, ofrece una operación de desatado de rocas con un radio de giro pequeño y una capacidad de cambio gradual que se adapta a una amplia gama de áreas de trabajo.
- El desatador de rocas hidráulico cuenta con un freno de disco húmedo de ajuste automático por resorte y liberación hidráulica.
- La cabina ergonómica del operador aprobada por FOPS y el sistema HVAC proporcionan una gran visibilidad y comodidad, manteniendo una excelente seguridad del personal. La cabina está diseñada con una protección contra las rocas en la parte delantera para evitar las lesiones del operador. La luz de trabajo de la placa del techo es ajustable manualmente, lo que proporciona una mejor iluminación en el pozo, mejorando la capacidad de visualización del minero y evitar posibles peligros en la mina.
- Este equipo se caracteriza por su dirección estable, un posicionamiento preciso y unos circuitos hidráulicos optimizados.
- El dispositivo de protección del nivel de fluido/temperatura del aceite garantiza que el equipo tenga una vida útil más prolongada.
- Los principales componentes hidráulicos de este desatador de rocas provienen de marcas conocidas, lo que garantiza la calidad y el rendimiento de todo el equipo. El desatador de rocas mejora la seguridad gracias a un diseño especial. En caso de peligro, se activan simultáneamente varios mecanismos, como la elevación de la viga de



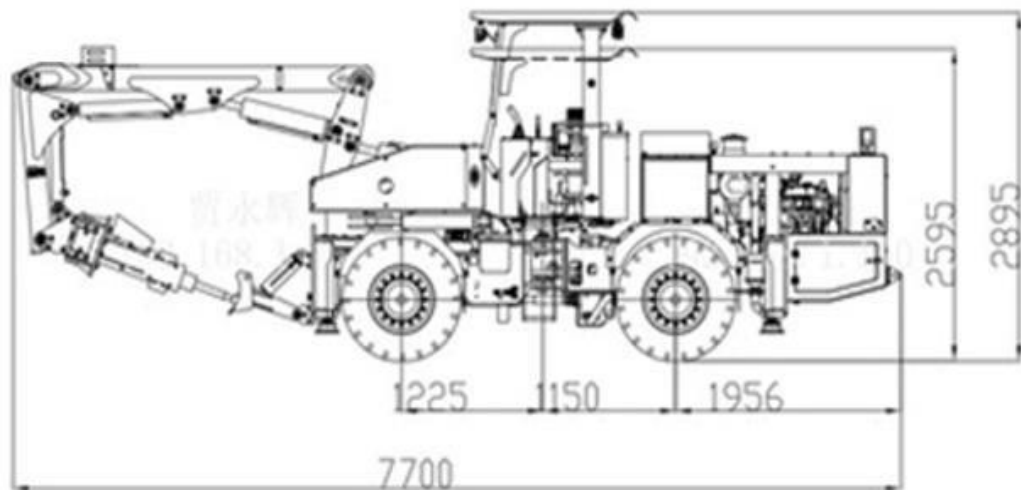
empuje y de las patas de estabilización, la retracción del martillo hidráulico y el retroceso del vehículo. Gracias a ello, se puede garantizar una rápida evacuación y una gran protección para los trabajadores y el equipo.

**Figura 21** *Equipo desatador de rocas Scaler*

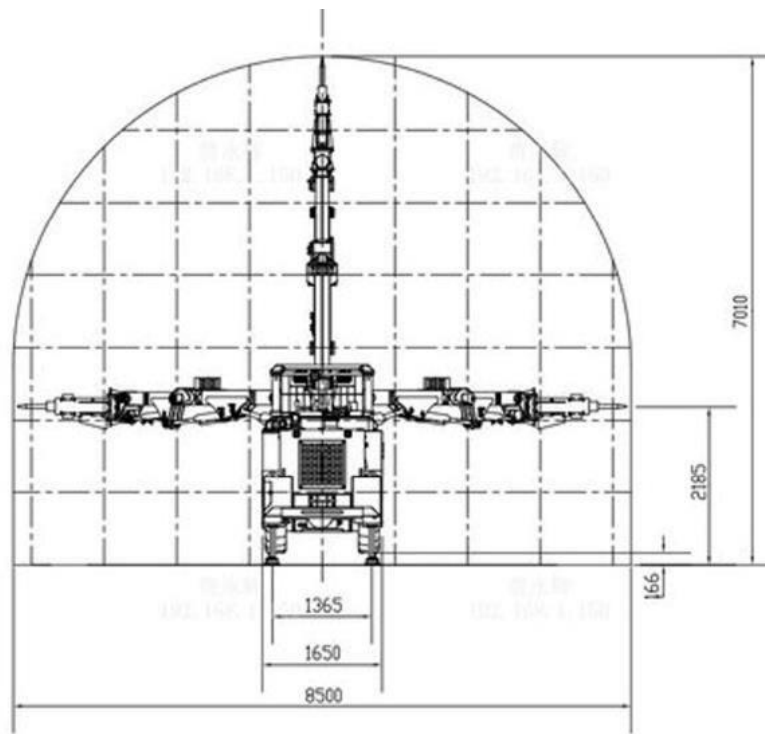


**Cobertura de desate de rocas**

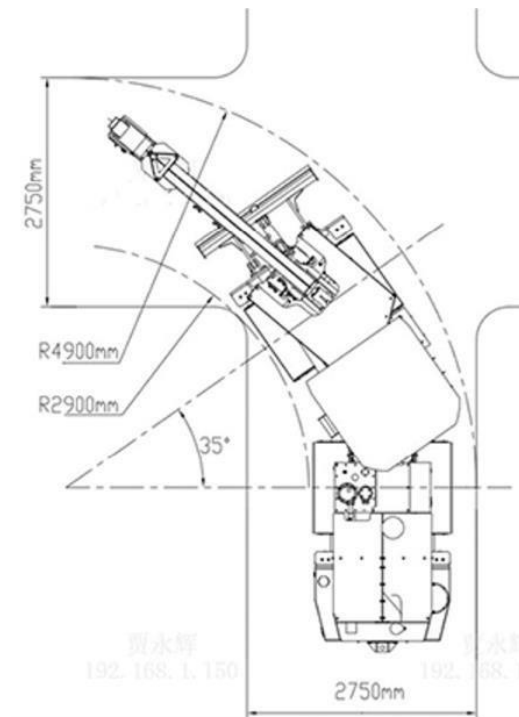
**Figura 22** *Dimensione horizontal del equipo*



**Figura 23** Dimensión vertical y lateral del equipo



**Figura 24** Radio de giro del equipo



### **Factor de Desate**

Entre un minado y otro puede variar la calidad en la ejecución de la labor del desate, por este motivo se debe emplear el denominado factor de desatado de manera que se pueda comparar esta labor realizada en diferentes operaciones mineras.

Qué factor se puede emplear de la misma manera que el factor de taladro, Es decir se establece una relación entre el tonelaje dinámico y el metraje hueco taladro.

Este factor está definido como el radio del área que se desatara entre el tonelaje de material volado.

$$\text{FD} = \text{M2 Desatado/TMR}$$

Puede variar de acuerdo con el método que se use para el minado, así como también con el ancho de la labor y la altura del tajeo:

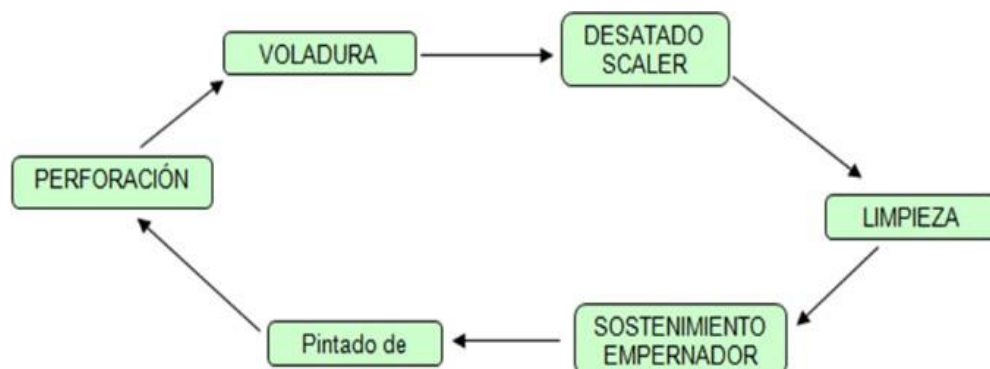
En mina San Cristóbal E implementarán las siguientes medidas:

- Altura de corte en los tajeos = 5 mts
- Ancho promedio en los tajeos = 6 mts
- Longitud de perforación = 4,5 mts.
- Área promedio a desatar por disparo = 102 mts

Con el objetivo de establecer este factor para la unidad San Cristóbal se consideró el ancho de la voladura y en relación con las características del tajo se ha asumido un porcentaje adicional para el desate.

#### 4.1.3. Ciclo de minado con sostenimiento mecanizado

**Figura 25** *Ciclo de minado con sostenimiento mecanizado*



##### **Perforación**

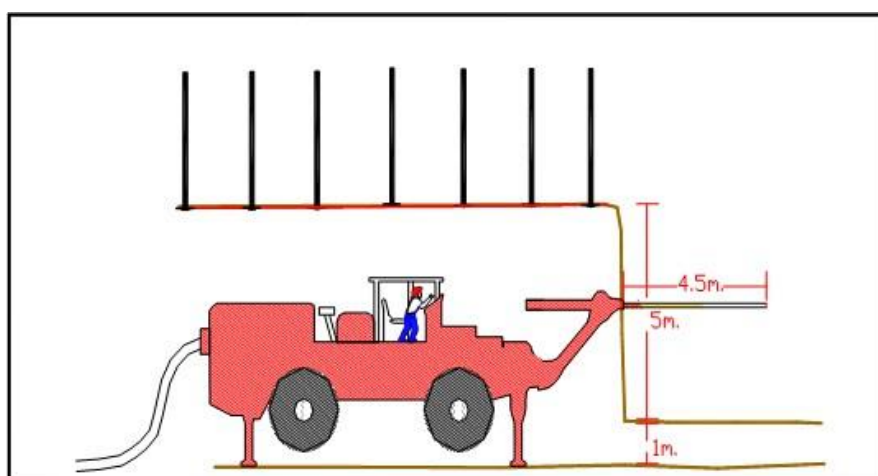
Esta actividad se está realizando en forma normal con un avance promedio de perforación de 4.50m. el operador y el equipo deben estar protegidos con sostenimiento de pernos o Split Set con malla hasta el tope del techo ya que anteriormente dejaban aproximadamente de 1 a 2 metros del tope sin sostenimiento.

Asimismo, el banco de perforación debe ser el estándar establecido para el breasting, que es de 5m.

Altura más 1 metro de cara libre.

En las pruebas la altura del tajo fue de 5.50m. y el ancho fue de 6.50m

**Figura 26** *Perforación*

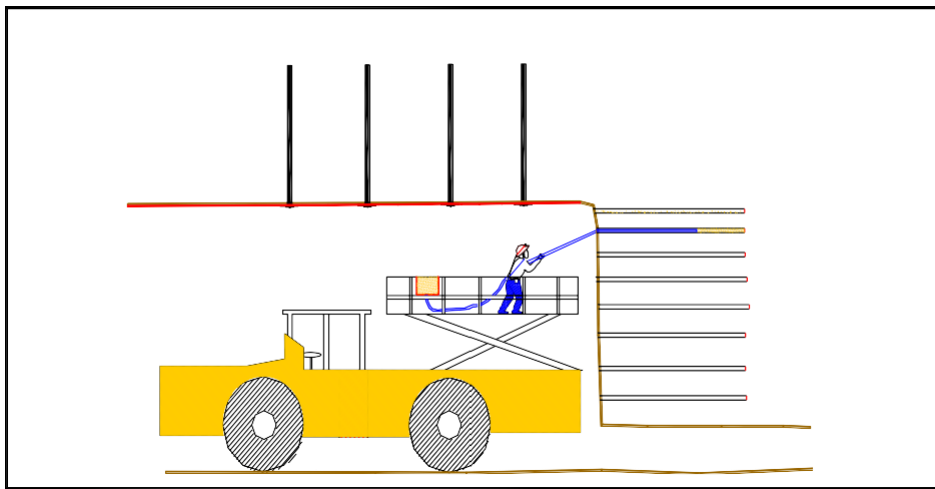


### **Carguío de Explosivos y voladura**

Después de realizada la perforación se realiza la actividad del carguío con explosivos de los taladros realizados por la perforación con el Jumbo, previo desate del frente si se requiere.

Se debe tener en cuenta que la voladura sea bien controlada, sobretodo en el techo para que la voladura no desestabilice el sostenimiento realizado anteriormente en el techo.

**Figura 27 Carguío**



### **Limpieza de Mineral – Primera Etapa**

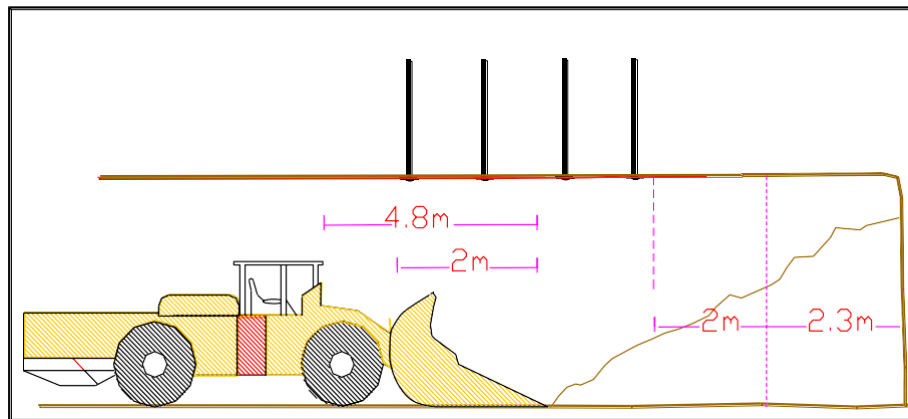
Luego de realizada la voladura, en la actualidad se ventila y riega la zona para luego el Scoop realiza piso (aprox.1hr) para que suban trabajadores, para realizar trabajos de desate aproximadamente 2hr y sostenimiento (aprox.5hr). actividad que están en constante riesgo de caída de rocas a los trabajadores y sus equipos.

En el nuevo ciclo el Scoop ingresa después de la ventilación y riego para limpiar la carga desde el inicio hasta 2 metros después de la última malla de sostenimiento, que es la medida de la cuchara del equipo. (la medida de la cuchara hasta la cabina del operador es de 4.80m.), esta carga será enviado al echadero inmediatamente (aprox.3hr), llevando al OP1B 170 TM

aproximadamente de mineral, lo que estaría expuesto a una posible caída de roca sería solo la cuchara del Scoop.

Esta exposición de la cuchara va a disminuir cuando el brazo del Scaler sea modificado su longitud.

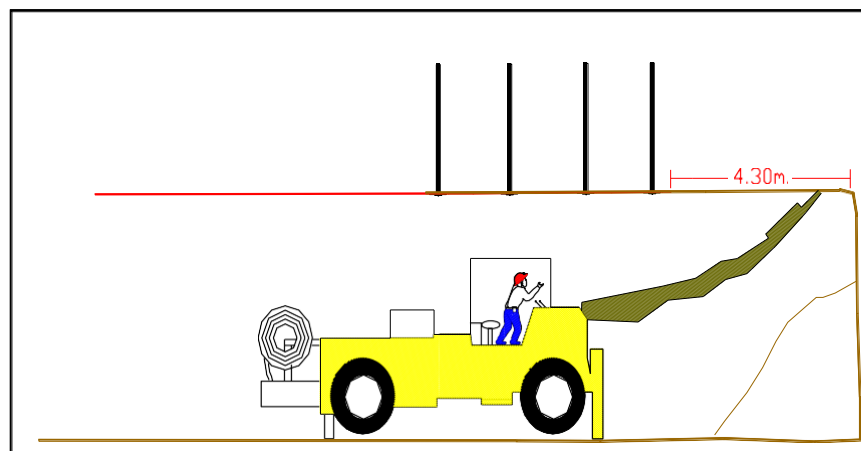
**Figura 28** *Limpieza de Mineral*



#### **Desate con Scaler**

Posteriormente la limpieza realizada por el Scoop en la última malla de sostenimiento, el Scaler ingresa para realizar el desate de todo el techo en la zona alta del frente y la zona lateral, aprovechando el espacio que ha dejado el Scoop, Puede usar su brazo de percusión libremente.

**Figura 29** *Desate con Scaler*



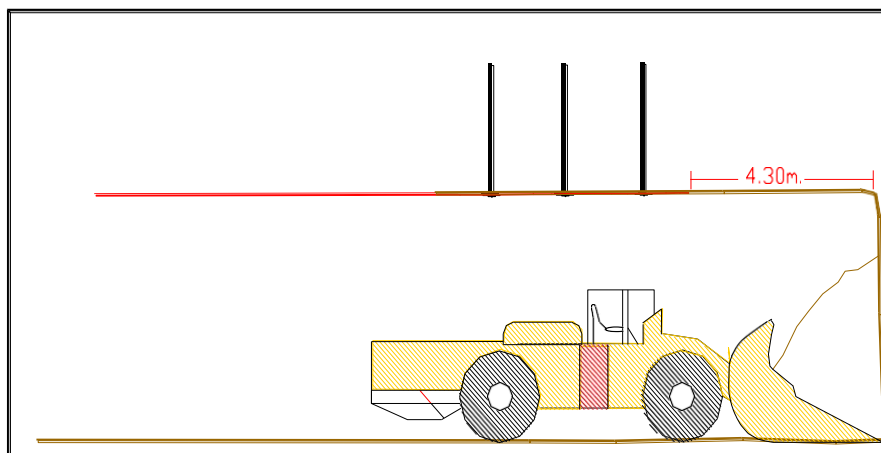
**Figura 30** *Desatador escales en plena operación en un tajo*



### **Limpieza de Mineral – Segunda Etapa**

Luego de realizado el desate de aproximadamente 1.30 hr, el Scaler se retira para darle paso al Scoop para que en un tiempo aprox. de 4 hrs complete la limpieza de aprox. 370 TM. de material.

**Figura 31** *Limpieza de Mineral – Segunda Etapa*

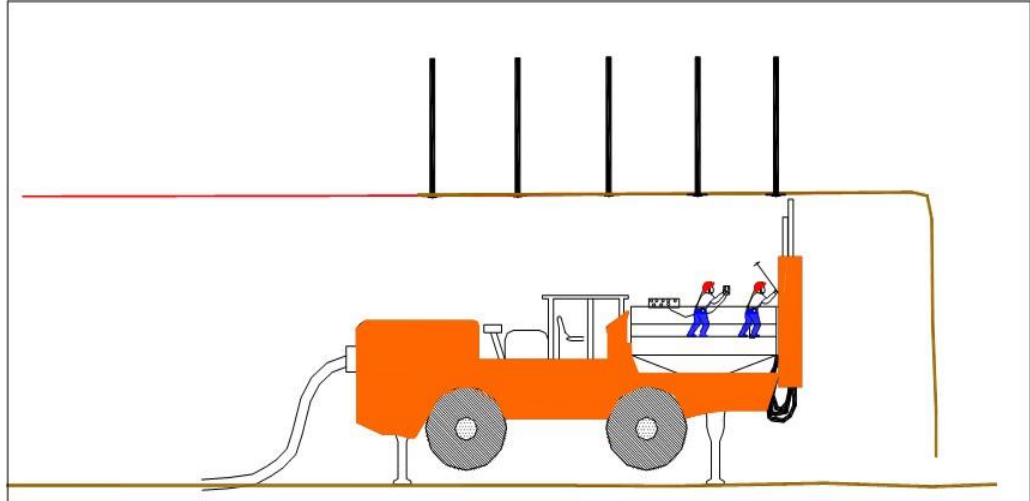


### **Sostenimiento**

Posteriormente a la limpieza realizada por el Scoop, el Scissor Bolter Debe comenzar a instalar el sostenimiento con los elementos necesarios y de la malla hasta topar con el techo, esta tarea dura 4 horas en promedio por cada

labor. La ventaja de este sistema es su rápida instalación, así como la seguridad que ofrece y el menor uso de personal.

**Figura 32** *Sostenimiento*



**Figura 33** *Vista de instalación de perno en una de las labores*



#### **4.1.4. Procedimiento de desatado mecanizado**

Se debe seguir los siguientes pasos

1. Coordinar Trabajo.
2. Inspección del scaler
3. Trasladar el equipo scaler al acceso de labor.
4. Estacione el equipo scaler.



5. Verifique las condiciones y bloqueo de la labor a desatar.
6. Trasladar el equipo scaler a la zona de desate.
7. Desate de rocas con equipo scaler
8. Retirar el scaler de la labor.
9. Estacionar y desinfectar el equipo.

#### **Desate de rocas con equipo scaler**

- El equipo debe encontrarse en una zona segura sin presencia de bancos colgados además de una limpieza del piso donde se encuentra.
- El ayudante deberá de bloquear el área donde el equipo realizará el desate.
- El desatado de rocas se inicia a partir de la entrada de la labor y su avance se debe proyectar hasta el fondo y debe realizarse parejamente en toda su extensión siguiendo la secuencia de franjas no se deben dejar detrás rocas sueltas.
- Identifique la rajadura del banco y coloque el lápiz empezando a percutar.
- Se debe realizar la verificación de la proyección de caídas del Banco cuando se desprenda el área desatada.
- se debe comenzar desatando el techo de la labor hasta alcanzar los laterales de la Cámara. Para regresar a desatar la otra franja por el techo hasta el otro lateral, Continuar de esa manera hasta alcanzar el tope de la labor.
- Nunca posicione el lápiz del scaler debajo del banco.
- En zonas de rehabilitación desatar en tramos de 5 metros para luego sostener.

## **Restricciones**

- Se debe aplicar el PARE en la actividad cuando se presenten las situaciones siguientes:
- Exista desprendimiento continuo de roca y el desate no llegue a controlarlo.
- Cuando no se tenga buena visibilidad durante la operación.
- No cuente con el ayudante.
- No se cuente con la autorización de operación de equipo.
- Si la labor donde se realizara el desate tiene una altura mayor a la capacidad del equipo o forme un ángulo mayor a 45 grados.
- Si el equipo presenta fallas mecánicas.
- Cuando se encuentre tiros cortados.
- Si no se cuenta con el cordón de bloqueo, 02 conos de seguridad y 02 bastones luminosos
- Exista cables eléctricos energizados que obstruyeran el proceso de desate.
- No se cuente con el IPERC continuo para realizar la actividad.
- No se está capacitado y autorizado para realizar la actividad.
- La manga de ventilación se encuentre a más de 15 m. del tope de la labor.
- Se presente condiciones sub estándares en el área.
- El operador no tenga llenado el Check list de su equipo.
- El equipo no cuente con los componentes preventivos de seguridad (conos, circulina, extintor).
- No cuenta con control de emisión de gases de equipos móviles.
- Sobrepasa los límites máximos permisibles de emisión de gases

de equipos diésel CO: 500 ppm y NO<sub>2</sub>:100 ppm.

- Tener una temperatura de 37.3° C o no habérsela tomado
- Tener sintomatología de gripe o resfrío.
- No usar correctamente la mascarilla o respirador o no contar con ella.
- No usar correctamente los guantes o no contar con ellos
- No haber desinfectado correctamente la lámpara minera y autorrescatador

#### **4.1.5. Etapa de empernado**

Después de que el Scoop termine las tareas de limpieza, el Bolter podrá realizar el sostenimiento e instalar la malla hasta alcanzar el tope del techo, Lo cual le llevará aproximadamente 4 horas. este método ofrece una ejecución más rápida y segura contando con una cantidad menor de operarios. El Bolter Lleva a cabo el sostenimiento por medio de una perforadora hidráulica y una plataforma en la que opera un solo personal.

El equipo bolter y el Jumbo Cuentan con un par de tijerales con capacidad para elevarse 7 metros de altura como máximo, y un desplazamiento horizontal.

Adicionalmente a empernar usando este equipo también se pueden poner las mallas que se fabrican a partir de planchas de 5`x11` las que pueden ser ubicadas en las paredes como en el techo. Además, se usa malla en rollos. Este equipo rinde aproximadamente 160 pernos por día, pudiendo colocar 4000 a 4500 unidades a lo largo de un mes trabajo en dos turnos.

El equipo deja de funcionar solo para mantenimiento. Se calcula un 85% de rendimiento para este equipo.

#### **4.1.6. Características del equipo Bolter**

A continuación, se presentan las principales características de este equipo denominado Jumbo “Empernador - Enmallador” Bolter del tipo MEM – 946:

- Perforación de taladros para pernos de anclaje.
- Capacidad Para la instalación de pernos mecánicos y helicoidales, Split Sets y mallas.
- plataforma Con un alcance para llevar a cabo el desate del techo de forma adecuada.
- Perforación hidráulica.
- Anclaje y perforación controlados remotamente
- capacidad de almacenaje en su plataforma para los accesorios de anclaje, mallas y otros.
- una sola persona para su operación.
- Siempre trabaja bajo un techo seguro.
- Adecuados para realizar labores de avance de galerías, minado de cámaras y pilares, además de corte y relleno en breasting.
- Ofrece una altura de alcance hasta de 8 m en techos y un ancho mínimo de labor de 3.65 mts.
- La parte lateral del equipo sirve para montar la malla que se utilizará
- se efectúa con brocas y barras La perforación con el Jumbo Hidráulico del equipo para garantizar el diámetro adecuado para el anclaje.
- Las mallas en el techo se colocan usando el cabezal de fijación de la perforadora utilizando para ello la columna de colocación del anclaje y gracias a la pericia del operador, se ubica tanto en el techo como en las paredes sin dificultades mayores.

#### **4.1.7. Procedimiento de empernado mecanizado**

##### **Generalidades**

- El área a sostener debe estar ventilada y cumplir los límites máximos permisibles de gases según el Estándar de ventilación, además debe estar señalizada con letreros de seguridad.
- Se contará con un reflector en la labor.
- Inspeccionar las labores mineras con el objetivo de verificar el terreno y sus condiciones previamente al ingreso a la zona de trabajo.
- Se debe efectuar el desatado total de la labor previamente a la fortificación o sostenimiento de las labores
- el área de Geomecánica debe emitir una recomendación escrita contando con los planos donde se indique el tipo de sostenimiento para la labor específica.
- Se debe aplicar el principio "labor avanzada, labor sostenida" cuando se encuentre rocas incompetentes en medio del avance de labores mineras horizontales, inclinadas o verticales de manera que se pueda proceder inmediatamente a su sostenimiento.
- la instalación de los elementos de sostenimiento o fortificación debe ser realizada hasta el tope en los frentes donde se realiza las actividades de exploración y explotación para evitar que los trabajadores se expongan a la caída de rocas en los sectores que no cuenten con fortificación, En el caso que la roca no sea competente en dicha labor.
- Mantener el orden y limpieza en el lugar de trabajo para llevar a cabo las tareas con seguridad y mantener las salidas de escape libres.
- Se seguirá el principio de taladro perforado, perno instalado "No está permitido acumular taladros".
- El sostenimiento en los techos y los hastiales deben ubicarse de manera

uniforme, respetando las especificaciones técnicas según la recomendación geomecánica.

- El frente debe estar sostenido con shotcrete de sacrificio el cual es  $\frac{1}{4}$  parte de la altura de la sección.
- El personal que realizar la operación de sostenimiento debe de estar capacitado y entrenado en la actividad y también debe usar correctamente la tabla Geomecánica GSI.

#### **Sostenimiento con perno hydrabolt**

- Verificar las condiciones del equipo a través del “Check list de Bolter”, a fin de asegurar su buen funcionamiento del equipo durante la operación.
- El perno hydrabolt será de 29 mm. y el omega bolt de 26 mm. de diámetro, 7' de longitud, además contará con una placa con domo.
- Para la perforación se utilizarán brocas de 38 mm, en función al tipo de terreno.
- Para la distribución de taladros se tendrá que cumplir con la recomendación Geomecánica de espaciamiento de 1,2 m x 1,2 m de gradiente a gradiente; para ello se debe realizar el pintado de la malla de sostenimiento.
- La presión del agua para el inflado será de 300 bares.
- El equipo trabajará con una energía eléctrica de 440 Voltios.
- Los pernos se instalan perpendicular al terreno con las placas de sujeción.

#### **Sostenimiento con pernos y malla electrosoldada**

- Verificar las condiciones del equipo a través del “Check list de Bolter”, a fin de asegurar su buen funcionamiento del equipo durante la operación.
- Diámetro de perforación para los pernos expansivos de 38 mm.
- La instalación de la malla con evaluación Geomecánica podrá estar a
- 0.60 m del tope del frente para ejecutar los disparos, considerando el refuerzo previo con shotcrete.

- La malla debe abarcar desde el piso, hastiales y techo de la labor (dependiendo de la recomendación de geomecánica) y los traslapes entre mallas se harán a 2 cocos (20 cm) y el perno debe ir en la segunda cocada, los casquillos se colocarán en los traslapes, para unir las mallas.
- En este caso se deberá cumplir con la separación de perno a perno de 1,0 m. x 1,0 m., de piso a piso el primer perno se deberá colocar a 30 cm. del piso.
- Para presentar la malla en la labor se utilizarán el brazo del Jumbo Empernador apoyado con el tensionador.
- En labores con presencia de filtración de agua se usa las mallas electrosoldadas galvanizadas.
- En labores húmedas se utilizará las mallas electrosoldadas de acero negro.

#### **Sostenimiento de intersecciones**

- En los segmentos en los que converjan al menos 02 excavaciones subterráneas, las cuales se ubican en labores temporales, permanentes y en pasivos de excavaciones mineras antiguas se deberán efectuar intersecciones.
- El tipo de sostenimiento a colocarse será pesado (Shotcrete de 2" con fibra metálica + malla y perno expansivo separado a 1 m x 1m + shotcrete de 2" sin fibra metálica.
- El área de influencia deberá abarcar de 2 a 3 m o un paño de malla.
- Para el caso del sellado de una labor a partir de una labor principal (a modo de T), se deberá avanzar 10 metros la labor principal, para después realizar el desarrollo de la siguiente labor.
- Para el caso de una intersección de tipo cruz  $\perp$ , se deberá seguir la premisa anterior, avanzar 10 metros para realizar el desarrollo de la primera labor,

una vez culminada dicha labor, se procederá a realiza el desarrollo de la siguiente labor.

## 4.2. Discusión de resultados

### 4.2.1. Optimización del sostenimiento

A continuación, se tratará de mostrar cómo fue mejorado nuestro ciclo de minado. Primero se presentan los equipos, personal de sostenimiento y los parámetros de operación en un sostenimiento manual. Ciclo de minado en guardia de 12 horas.

**Tabla 15 Equipos y personal**

Equipos y personal involucrado	
Jumbo 89	Desatador (Scaler)
Jumbo 90	Empernador
Scoop 102 - 6 yds3	Tres parejas de sost de contrata
Scoop 104 - 6 yds3	
Scoop 105 - 6 yds3	
Parámetros de operación	
Tiempo promedio de perforación	3.5 hrs
Tonelaje promedio x voladura	400 Tm
Rendimiento de Scoops	80tm/hr
Tiempo promedio empernado	2.67 horas
Tiempo promedio desatado	45 minutos
Tiempo promedio sost contrata	6.33 horas

A continuación se muestra los tiempos de sostenimiento de la empresa contratista y los tiempos del desatador y empernador.

#### Tiempo de Sostenimiento manual

Antes se laboraba con los siguientes parámetros:



**Tabla 16** *Tiempos de Sostenimiento*

Nº pernos promedio/labor	20 unidades
Tiempo promedio/perno	12 minutos
Tiempo de desate promedio	2 horas
Tiempo de instalación	20 minutos
Tiempo de sostenimiento promedio	4 horas
<b>TOTAL</b>	<b>6 horas /labor</b>

**Tiempos de Sostenimiento Mecanizado****Tabla 17** *Tiempos de Desatado*

Tiempo de desatado Scaler	45 minutos
Nº pernos promedio/labor	20 unidades
Tiempo promedio con empernador	7 minutos
Tiempo de movilización al área a sostener	5 minutos
Tiempo de instalación	15 minutos
Tiempo de sostenimiento promedio	2 horas 20 minutos
<b>TOTAL</b>	<b>2 horas 40 minutos</b>

Antes se disponía de 5 parejas para sostener cada una un frente disparado por la guardia anterior; pero se tenía que esperar a que sostengan y los frentes se habilitaban para limpieza después de media guardia (1 pm a 2 pm en el mejor de los casos). En cambio, ahora podemos usar tres parejas solamente y habilitar para la limpieza durante toda la guardia un promedio de 7 a 8 frentes, lo cual significa un incremento significativo en la velocidad del ciclo de minado y, por tanto, permitirnos cumplir con la cota diaria de 3600 tm sin ningún problema.

### **Optimización del sostenimiento mecanizado**

Para poder mejorar u optimizar el sostenimiento mecanizado se tuvo que realizar una serie de actividades encaminadas a tener un mejor rendimiento de estas etapas, para lo cual se realizó algunas acciones como:

- Capacitación obligatoria de personal del área de sostenimiento maestro, ayudante en desatado, empernado, enmallado tanto teórico como practico.
- Planificación adecuada de las actividades de perforacion, voladura, sostenimiento, limpieza, acarreo de todas las labores que se encuentran en explotación.
- Suministro de materiales en forma oportuna y suficiente de pernos, mallas, aceite, aire, agua etc.
- Equipo de sostenimiento desatadores y empernadores deben estar en buen estado y con mantenimiento programado.
- Personal motivado para realizar sus tareas.
- Contar con el apoyo de la superioridad

Para poder ver los resultados de estas acciones se realizaron observaciones obteniendo los siguientes resultados.

Datos previos: Horas/guardia = 12 horas

Instalación de pernos y malla programados = 40 pernos/guardia

Eficiencia de instalación de pernos y malla = 85 %

#### **4.2.2. Rendimiento de los equipos de sostenimiento**

Tabla Rendimiento de los equipos de sostenimiento/guardia

**Tabla 18 Rendimiento de los equipos de sostenimiento/guardia**

Rendimiento de los equipos de sostenimiento/guardia											
Parámetro	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5		Prom.
	GA	GB	GA	GB	GA	GB	GA	GB	GA	GB	
Nº de pernos colocados/g	30	32	28	35	30	26	33	30	29	31	31
Tiempo de desate (min)	60	50	60	50	60	48	70	60	60	55	57.3
Tiempo promedio de empernado/taladro (min)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tiempo de movilización del equipo promedio (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tiempo de instalación del equipo (min)	15	20	20	25	15	20	25	15	20	25	20
Tiempo total de empernado (min)	210	224	196	245	210	182	231	210	203	217	213
Tiempo total de empernado (hrs)	3h30'	3h44'	3h16'	4h5'	3h30'	3h2'	3h51'	3h30'	3h23'	3h37'	3h33'
Tiempo total de sostenimiento (min)	302	311	233	337	302	267	343	302	300	314	301
Tiempo total de sostenimiento (hrs)	5h2'	5h31'	3h53'	5h37'	5h2'	4h27'	6h17'	5h2'	5h	5h14'	5h1'
Eficacia del sostenimiento (%)	75	80	70	87.5	75	65	82.5	75	72.5	77.5	76

Analizando los datos hallados decimos que:

Al hacer un comparativo del sostenimiento manual con el mecanizado en las mismas condiciones vemos.

#### **4.2.3. Sostenimiento manual**

En el sostenimiento manual para instalar 20 pernos se empleó.

- Tiempo de empernado/perno 12 minutos
- Tiempo de desate 2 horas
- Tiempo de llevar e instalar el equipo 20 minutos
- Tiempo de empernado total 4 horas
- Tiempo total de sostenimiento 6 horas.

#### **4.2.4. Sostenimiento mecanizado**

**Con el sostenimiento mecanizado** en las mismas condiciones empleando 20 pernos obtuvimos

- Tiempo de desatado 45 minutos
- Tiempo de empernado de un perno 7 minutos/perno
- Tiempo de llevar e instalar el equipo 20 minutos
- Tiempo de empernado total 2 horas con 20 minutos
- Tiempo total de sostenimiento 2 horas con 40 minutos

Vemos la gran diferencia que hay entre un sostenimiento manual y un sostenimiento mecanizado en cuanto a ahorro de tiempo en el sostenimiento, disponibilidad de labores para la perforacion, voladura, limpieza etc. Mayor seguridad para los trabajadores de sostenimiento,

#### **4.2.5. Evaluación del sostenimiento mecanizado**

**En cuanto a la evaluación del sostenimiento mecanizado** realizado durante 5 días a las dos guardias se pudo obtener como resultados lo siguiente.

Datos estándares

Numero de pernos programados 40 pernos/guardia Rendimiento del sostenimiento 85 %

Personal de sostenimiento 3 personas Horas de trabajo 12 horas/guardia Tenemos:

- Numero de pernos instalados promedio 31 Pernos/guardia
- Tiempo promedio de desate 57.3 minutos
- Tiempo promedio de empernado de un perno 7 minutos/perno
- Tiempo promedio de llevar e instalar el equipo 30 minutos
- Tiempo promedio de empernado total 3 horas con 33 minutos
- Tiempo total de sostenimiento 5 horas
- Eficacia o eficiencia del sostenimiento 76 %

Esto nos indica que la eficiencia del sostenimiento llega a un nivel aceptable pero falta para llegar al estándar establecido de 85 %, la labor de sostenimiento consume 5 horas de las 12 horas, teniendo una disponibilidad de 7 horas para las otras actividades.

## **CONCLUSIONES**

1. Al hablar de seguridad, sostenimiento, geomecánica vemos que hay una estrecha relación de estos tres elementos, si realizamos un buen sostenimiento teniendo en cuenta las recomendaciones de la geomecánica obteniendo un alto nivel de la seguridad evitando que se produzcan incidentes y accidentes.
2. Al emplear el equipo Escaler en el desatado de las rocas, estaremos optimizando el proceso de sostenimiento de las labores mineras, proporcionando una alta calidad de desatado de rocas como un alto nivel de seguridad, productividad y eficacia, acelerando en gran medida el trabajo y todo el proceso de excavación.
3. El desatado manual es fatigoso para los trabajadores, debido a que se ejerce considerables esfuerzos de tensión y tracción, usando la barretilla de desatado con posiciones difíciles e incómodas, Y para ello el operario debe ubicarse en el techo sin sostener con una desestabilización lo cual representa un área de riesgo cuando realice el taladro para el soporte.
4. En cuanto a la optimización del sostenimiento mecanizado primeramente se ha tenido que evaluar el sostenimiento de las labores, durante 5 días a las dos guardias, donde se pudo obtener como resultados un sostenimiento más rápido, seguro y con menos personal, y como datos nos indica, el Número de pernos instalados promedio 31 Pernos/guardia, Tiempo promedio de desate 57.3 minutos, Tiempo promedio de empernado de un perno 7 minutos/perno, Tiempo promedio de llevar e instalar el equipo 30 minutos, Tiempo promedio de empernado total 3 horas con 33 minutos, Tiempo total de sostenimiento 5 horas y una Eficacia o eficiencia del sostenimiento 76 %

## **RECOMENDACIONES**

1. Se debe elaborar una programación para el mantenimiento de los equipos de desate y sostenimiento de manera que se pueda evitar cruces o contratiempos y así se tengan disponibles los equipos necesarios.
2. Se debe planificar adecuadamente la explotación de los tajeos, para evitar que se tengan equipos paralizados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATLAS COPCO. (2012). *Lineas de perforacion Magnum SR35*.
- BAENA , G. (2017). Metodologia de la investigacion. En G. E. PATRIA (Ed.). BERNAL, C. (2010). *Metodologia de la investigacion* (Tercera edicion ed.). (P. Educacion, Ed.)
- Colegio de Ingenieros del Peru (2006). *Geomecanica aplicada al minado subterraneo*. Lima .
- COMPAÑOA MINERA VOLCAN - Mina San Cristobal. (2020). *memoria de Compañia Minera Volcan S.A.C.*
- ENAEX. (s.f.). *Manual de tronadura ENAEX S.A.* ENAEX, Gerencia tecnica.
- ESCARCENA, CARRILLO, C. (2019). *"IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO BOLTER 88"*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Callao] repositorio institucional Universidad Nacional del Callao, Callao - Peru.
- ESPINOZA, & Onan. (2018). *Optimización de la rentabilidad en las operaciones de las vetas San Cristóbal Sur Oeste de la mina San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.* [tesis de licenciamiento Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion] repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco - Peru.
- HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). *Metodologia de la investigacion* (sexta edicion ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- Instituto Geologico y Minero de España. (1987). *Manual de perforacion y voladura de rocas*. Instituto Geologico y Minero de España.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2017). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en mineria , D.S. N° 024-2016-EM, MODIFICADO POR D.S. N° 023-2017-EM.
- Ministerio de energia y minas (MINEM) . (2016). Decreto Supremo N° 024- 2016.



Lima.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. (2012). *D.S. 005-2012-TR. Reglamento de la Ley N°29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.*

Ministerio de Energia y Minería (MEM). (2021). *Estadísticas de accidentes* .

Ministerio de Trabajo, Ley 29783. (2012). *Ley de seguridad y salud en el trabajo.*

(D. e. Peruano, Ed.) Lima.

New Concept Mining. (2015). *Pernos hidrabolt*. Recuperado el 2022, de [https://newconceptmining.com/hydrabolt\\_SPA.html](https://newconceptmining.com/hydrabolt_SPA.html).

ÑAUPARI, A. (2029). *Estudio de componentes críticos en los equipos empernadores bolter para mejorar la mantenibilidad en la Unidad Minera Atacocha – Nexa Resources*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo - Peru.

PAREDES , H. (2019). *REDUCCIÓN DE COSTOS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO SMALL BOLTER DE SOSTENIMIENTO MECANIZADO DE LA MINA SAN RAFAEL – PUNO*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Altiplano] repositorio institucional Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Peru.

Prevencion Laboral Rimac Seguros . (2018). *Formato de un Análisis de seguridad en el trabajo (AST)*. Prevención Laboral, RIMAC seguros. Disponible en <https://prevencionlaboralrimac.com/Herramientas/ATS.RESEMIN>. (2016). *Equipos de perforacion*.

SANCHEZ, REYES, MEJIA, H. (2018). *Manual de terminos de investigacion cientifica, tecnologica y humanistica*. Lima.

SARMIENTO, MEJIA , J. (2019). *MEJORA EN EL PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE EQUIPOS MINEROS JUMBO EN LA EMPRESA RESEMIN*. [tesis de grado academico Universidad Antonio Ruiz de Montoya] repositorio institucional Universidad Antonio Ruiz de Montoya,

Lima Peru.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (SERNAGEOMIN) (2008).

GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS. En S. A. Gallardo. Santiago de Chile.

SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA PETROLEO Y ENERGIA. (2004).

*Manual de geomecanica aplicada a la prevencion de accidentes por caida de rocas.*

SUPO, CAVERO, F. (2014). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PROCEDIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN CIENCIAS SOCIALES.* (E. Universitario, Ed.)

Zevallos, C. (2023). *Evaluación de los instrumentos de gestión en seguridad y salud ocupacional para minimizar los riesgos en la operación de sostenimiento y refuerzo del macizo rocoso con el Scissor Bolter E.E. Maclean S.A. Minera Atacocha Pasco – 2019.* [tesis de Maestro Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion] repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco - Peru.

## ANEXOS

### Instrumentos de Recolección de Datos

#### Incidentes por tipo de causa

Incidentes por tipo de causa	
Tipo de causa	Nº
Caída de rocas	354
Operación/maquinas	280
Ventilación	294
Explosivos	135
Transito	126
Instalaciones eléctricas	92
Aire/agua	135
Manipulación de materiales	79
Falta de sostenimiento	47
Tuberías / accesorios	15
Sustracción/perdidas	9
Falta de EPP	82
Mantenimiento	87
Carga/descarga	76
Limpieza	122
Relleno	31

## Matriz de consistencia

Título: “OPTIMIZACION DEL SOSTENIMIENTO MECANIZADO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EMPRESA MINERA VOLCAN – UNIDAD SAN CRISTOBAL”.				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general</b> ¿En qué medida se podrá optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal?</p> <p><b>Problemas específicos</b> <b>Problema específico a</b> ¿Cómo podemos optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de desatado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal?</p> <p><b>Problema específico b</b> ¿Cómo podemos optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Optimizar el sostenimiento mecanizado para mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> <b>Objetivo específico a</b> Ver como optimizamos el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.</p> <p><b>Objetivo específico b.</b> Ver como optimizamos el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado para mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado con el uso del equipo Small Bolter podremos mejorar la seguridad en Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristóbal.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> <b>Hipótesis específica a</b> Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de desatado podremos mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.</p> <p><b>Hipótesis específica b</b> Si se logra optimizar el sostenimiento mecanizado en la etapa de empernado podremos mejorar la seguridad, en Compañía Minera Volcan- Unidad San Cristóbal.</p>	<p><b>Identificación de variables</b> <b>Variables para la hipótesis general</b> <b>Variable independiente</b> optimizar el sostenimiento mecanizado.</p> <p><b>Variable dependiente</b> mejorar la seguridad.</p> <p><b>Variables para la hipótesis específicas</b> <b>Variables para la hipótesis específica a</b> <b>Variable independiente</b> optimizar el sostenimiento mecanizado.</p> <p><b>Variable dependiente</b> etapa de desatado mejora la seguridad.</p> <p><b>Variables para la hipótesis específica b</b> <b>Variable independiente</b> optimizar el sostenimiento mecanizado.</p> <p><b>Variable dependiente</b> etapa de empernado mejora la seguridad.</p>	<p>-Tipo de I. aplicativo.</p> <p>-Nivel de I. Descriptivo, analítico</p> <p><b>Diseño de I.</b> no experimental</p> <p><b>muestra</b> La muestra está constituida por una rampa, y una galería de nivel de la mina San Cristóbal, de la Empresa VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.</p>