

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TESIS

**Mejora del avance mediante la implementación de barras de 16  
pies para el proceso de perforación horizontal en minería  
subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Henry Hector Peceros Oscoco

 [0009-0004-0337-3942](https://orcid.org/0009-0004-0337-3942)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Peceros Oscoco [1]
Referencia/Reference	[1] H. Peceros Oscoco, <i>“Mejora del avance mediante la implementación de barras de 16 pies para el proceso de perforación horizontal en minería subterránea”</i> . [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---

---

Citar/How to cite	(Peceros, 2024)
Referencia/Reference	Peceros, H. (2024). <i>Mejora del avance mediante la implementación de barras de 16 pies para el proceso de perforación horizontal en minería subterránea</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino,  
por darme las fuerzas necesarias para superar los obstáculos y  
por brindarme su infinita sabiduría y a mis padres Matilde y  
Teodocio quienes con su amor incondicional, sacrificio y constante  
apoyo han sido mi mayor inspiración. Gracias por enseñarme el  
valor del esfuerzo, la perseverancia y la fe. Este logro es reflejo de  
todo lo que me han dado y no hubiera sido posible sin ustedes.*

## **Agradecimientos**

A mi alma mater Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme el espacio y los recursos necesarios para crecer académica y personalmente. Agradezco a todos los docentes, con su esfuerzo y dedicación, hicieron posible mi formación en un ambiente de excelencia.

De manera especial, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi asesor, M.Sc. Ing. José Antonio Corimanya Mauricio, por su valiosa orientación, paciencia y apoyo a lo largo de este proceso. Su conocimiento, dedicación y consejo han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

## Resumen

La presente tesis desarrolla el estudio que se realiza al implementar el uso de barras de perforación de 16 pies en una operación subterránea. Para lo cual se usan indicadores de productividad tales como, eficiencia de voladura y avance, para poder visualizar los beneficios de las barras.

El objetivo es realizar un plan de implementación consistente en tres fases. En la Fase uno se prepara una labor piloto, para tener los parámetros base. En la Fase dos se buscan oportunidades de mejora y en la Fase tres se dio seguimiento a las labores disparadas para obtener datos topográficos que nos permite calcular los indicadores.

Como resultado de implementar las barras de perforación y dar el correcto seguimiento, se logra aumentar el avance promedio por disparo de 3.73 metros a 4.43 metros, equivalente a un 17 % de incremento. También, se logra aumentar la eficiencia de voladura de 84.2 % a 98.7 %, lo que significa un incremento de 3.7 % respecto a la eficiencia teórica. De igual manera la eficiencia de avance aumenta de 88.6 % a 103.9 %. Como parte final del trabajo se logra controlar la sobre-rotura de las labores, obteniendo un 6 %, lo cual excede en 1 % al objetivo. Adicional, al tener un mayor avance por disparo, nos permite generar un ahorro en las operaciones unitarias post-voladura (sostenimiento, extracción y transporte de material). El caso analizado nos permite ahorrar en promedio 64,810 dólares por mes.

Palabras clave — Perforación, sobre-rotura, barra de perforación, eficiencia de voladura, eficiencia de avance, costos.

## **Abstract**

This thesis develops the study that is carried out when implementing the use of 16-foot drill rods in an underground operation. For which productivity indicators such as blasting efficiency and advance are used, in order to visualize the benefits of the rods.

The objective is to carry out an implementation plan consisting of three phases. In Phase one, a pilot task is prepared, to have the base parameters. In Phase two, improvement opportunities are sought and in Phase three, the tasks shot were followed up to obtain topographic data that allows us to calculate the indicators.

As a result of implementing the drill rods and giving the correct follow-up, the average advance per shot is increased from 3.73 meters to 4.43 meters, equivalent to a 17% increase. Also, the blasting efficiency is increased from 84.2% to 98.7%, which means an increase of 3.7% with respect to the theoretical efficiency. Likewise, the advance efficiency increases from 88.6% to 103.9%. As a final part of the work, the over-breakage of the work is controlled, obtaining 6%, which exceeds the objective by 1%. Additionally, by having a greater advance per shot, we can generate savings in post-blasting unit operations (support, extraction and transport of material). The case analyzed allows us to save an average of 64,810 dollars per month.

Keywords — Drilling, over-break, drill rod, blasting efficiency, advance efficiency, costs.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Descripción del problema. ....	1
1.2 Formulación del problema .....	1
1.2.1 Problema general .....	1
1.2.2 Problemas específicos .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Hipótesis .....	2
1.4.1 Hipótesis general.....	2
1.4.2 Hipótesis específicas .....	2
1.5 Operacionalización de variables .....	2
1.5.1 Variable independiente (X) .....	2
1.5.2 Variables dependientes (Y) .....	2
1.6 Antecedentes Investigativos .....	6
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	7
2.1 Marco teórico.....	7
2.1.1 Perforación.....	7
2.1.2 Geometría de la perforación.....	16
2.1.3 Controles asociados a la perforación horizontal. ....	18
2.1.4 Ratios asociados a la perforación.....	23
2.1.5 Evaluación de los resultados de voladura.....	26
2.1.6 Controles generales y objetivos estratégicos.....	27

2.2	Marco conceptual .....	29
2.2.1	Malla de perforación.....	29
2.2.2	Eficiencia de perforación .....	29
2.2.3	Perforación.....	30
2.2.4	Voladura.....	30
2.2.5	Frente.....	30
2.2.6	Burden.....	30
2.2.7	Espaciamiento.....	30
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....		31
3.1.	Unidad de estudio .....	31
3.1.1	Ubicación y vías de acceso .....	31
3.1.2	Geología.....	32
3.1.3	Mineralización .....	33
3.1.4	Descripcion geomecánica.....	35
3.1.5	Métodos de minado.....	38
3.1.6	Operaciones mina .....	40
3.2	Plan de implementación de barras de perforación de 16 pies.....	48
3.2.1	Labor piloto XC_617.....	48
3.2.2	Oportunidades de mejora. ....	52
3.2.3	Fase de seguimiento .....	58
Capitulo IV. Análisis e interpretación de resultados .....		67
4.1	Análisis de indicadores de productividad .....	67
4.2	Análisis de costos por implementación.....	74
4.2.1	Secciones de 4.0 x 4.0 regular .....	75
4.2.2	Secciones de 4.0 x 4.0 buena .....	75
4.2.3	Secciones de 4.0 x 4.5 regular .....	76
4.2.4	Secciones de 4.0 x 4.5 buena .....	77
4.3	Validación de hipótesis.....	79

Conclusiones .....	81
Recomendaciones .....	83
Referencias bibliográficas .....	84
Anexos .....	85

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Operacionalización de variables e indicadores.....	4
Tabla 2 : Matriz de consistencia.....	5
Tabla 3 : Equipos de perforación en Chungar.....	8
Tabla 4 : Equipos de TL en Chungar.....	10
Tabla 5 : Resultados XC_617 – disparo 1.....	48
Tabla 6 : Resultados XC_617 – disparo 2.....	49
Tabla 7 : Resultados XC_617 – disparo 3.....	50
Tabla 8 : Labores disparadas durante semana 2.....	53
Tabla 9 : Labores disparadas durante semana 2.....	54
Tabla 10: Levantamiento topográfico de labores disparadas – mayo.....	59
Tabla 11: Levantamiento topográfico de labores disparadas – junio.....	60
Tabla 12: Levantamiento topográfico de labores disparadas – julio.....	61
Tabla 13: Levantamiento topográfico de labores disparadas – agosto.....	62
Tabla 14: Levantamiento topográfico de labores disparadas – setiembre.....	63
Tabla 15: Levantamiento topográfico de labores disparadas – octubre.....	64
Tabla 16: Levantamiento topográfico de labores disparadas – noviembre.....	65
Tabla 17: Resumen de avances por disparo por mes.....	66
Tabla 18: Resumen de indicadores de productividad.....	71
Tabla 19: Resumen de mejora de indicadores.....	72
Tabla 20: Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4 regular.....	75
Tabla 21: Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4 buena.....	75
Tabla 22: Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4.5 regular.....	76
Tabla 23: Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4.5 buena.....	77
Tabla 24: Resumen de ahorro de costos.....	78

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Proceso de perforación roto-percutiva .....	7
Figura 2 : Jumbo electrohidráulico .....	9
Figura 3 : Equipo de perforación Simba E6-W .....	10
Figura 4 : Equipo de perforación DD 212 .....	11
Figura 5 : Equipo de perforación Raptor 44 .....	11
Figura 6 : Inclínometros digitales.....	12
Figura 7 : Sarta de perforación horizontal más usada en Chungar.....	13
Figura 8 : Shank adapter .....	14
Figura 9 : Varillaje según tipo de perforación .....	14
Figura 10: Uno y dos taladros de alivio .....	17
Figura 11: Esquema para diseño de Burden.....	18
Figura 12: Estándar de marcas de perforación .....	19
Figura 13: Estándar de pintado de malla de perforación .....	19
Figura 14: Plantillas para pintado de malla de perforación .....	20
Figura 15: Marcado de puntos en el techo .....	21
Figura 16: Entubado de taladros.....	23
Figura 17: Metros perforados por equipo – semanal.....	24
Figura 18: Diagrama toneladas producidas vs toneladas perforadas.....	25
Figura 19: Determinación de sobreexcavación en labores .....	27
Figura 20: Sobreexcavación promedio por unidades mineras.....	28
Figura 21: Eficiencia de avance promedio por unidades mineras.....	28
Figura 22: Vías de acceso a Cia. Minera Chungar.....	32
Figura 23: Afloramientos de las capas rojas de la Formación Casapalca.....	33
Figura 24: Mineralización de Cia. Minera Chungar .....	34
Figura 25: Plano de zonificación geomecánica .....	37
Figura 26: Método de minado Bench and Fill.....	39

Figura 27: Sección típica de 4.50 m x 4.50 m .....	42
Figura 28: Sección típica de 4.00 m x 4.50 m .....	42
Figura 29: Sección típica de 4.00 m x 4.00 m .....	43
Figura 30: Sección típica de accesos (+/- 15 %) .....	44
Figura 31: Ciclo de minado taladros largos negativos .....	45
Figura 32: Levantamiento topográfico XC_617 – disparo 1 .....	49
Figura 33: Levantamiento topográfico XC_617 – disparo 2 .....	49
Figura 34: Levantamiento topográfico XC_617 – disparo 3 .....	50
Figura 35: Geometría del diseño de arranque .....	51
Figura 36: Geometría del diseño de arranque en campo .....	52
Figura 37: Avance por disparo – semana 1 .....	53
Figura 38: Grafica de distribución normal – semana 1 .....	54
Figura 39: Avance por disparo – semana 2 .....	55
Figura 40: Grafica de distribución normal – semana 2 .....	55
Figura 41: Boxplot de rendimientos por niveles .....	56
Figura 42: Boxplot a detalle de rendimientos por zonas .....	57
Figura 43: Alternativa de diseño de arranque .....	58
Figura 44: Boxplot de rendimientos por mes .....	65
Figura 45: Indicadores de productividad – mayo .....	68
Figura 46: Indicadores de productividad – junio .....	68
Figura 47: Indicadores de productividad – julio .....	69
Figura 48: Indicadores de productividad – agosto .....	69
Figura 49: Indicadores de productividad – setiembre .....	70
Figura 50: Indicadores de productividad – octubre .....	70
Figura 51: Indicadores de productividad – noviembre .....	71
Figura 52: Mejora en el avance promedio por disparo .....	72
Figura 53: Mejora en eficiencia de voladura por disparo .....	73
Figura 54: Mejora en eficiencia de avance por disparo .....	73

Figura 55: Ahorro mensual – sección 4 x 4 regular .....	75
Figura 56: Ahorro mensual – sección 4 x 4 buena .....	76
Figura 57: Ahorro mensual – sección 4 x 4.5 regular .....	77
Figura 58: Ahorro mensual – sección 4 x 4.5 buena .....	78
Figura 59: Resumen de ahorro de costos .....	79

## Introducción

En el Capítulo I, se presenta la introducción del trabajo de investigación, el planteamiento del problema y el objetivo de estudio. Además, se muestra la hipótesis general y específica, así como los antecedentes referenciales.

En el Capítulo II, presenta el marco teórico, donde se abarcará la teoría de perforación e indicadores de productividad. Y el marco conceptual donde se mostrará conceptos generales al objetivo del estudio

En el Capítulo III, se describe el caso aplicativo, donde se mostrará datos generales de la mina donde se realizó el estudio. Y se detallara el proceso de implementación de las barras de perforación de 16 pies. Empezamos con una labor piloto, donde se recopilará los datos base y así buscar oportunidades de mejora. En la segunda fase se mostrará el seguimiento de labores disparadas y así encontrar posibles fallas y darles solución. Como parte final se monitoreará los disparos en un periodo de tiempo para recopilar data que será analizada en el siguiente capítulo para calcular indicadores.

En el Capítulo IV, presentara el análisis e interpretación de resultados. En el cual calcularemos las eficiencias de voladura y avance, así como el porcentaje de sobre-rotura. Se realizarán graficas para visualizar la evolución de resultados y así comparar con los datos obtenidos anteriormente. Posterior a ello se hará la validación de hipótesis mediante métodos estadísticos.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Descripción del problema.

La minería en el Perú es un sector crucial para la economía nacional siendo uno de los principales contribuyentes al PIB del país. Representa aproximadamente entre el 10% y el 15% del PIB, dependiendo de los precios internacionales de los minerales y el nivel de producción. Por lo cual, en la actualidad el desarrollo del sector minero es importante, hay la preocupación de la industria de generar operaciones mineras más eficientes y productivas a fin de generar competitividad que permitan responder eficazmente a la demanda del mineral

Dentro del ciclo de minado, la operación unitaria de perforación y voladura es una de las primordiales para el proceso productivo. Estas operaciones conllevan a un trabajo ingenieril desde el diseño de malla de perforación, trazado de malla, selección de barras de perforación, perforación, carguío y voladura. Todo ello conlleva a la optimización de perforación para obtener un mayor avance por disparo.

En la unidad minera Chungar se presentan oportunidades de mejora de avance a través de la selección de barrenos en la operación unitaria de perforación. Actualmente se puede evidenciar el cumplimiento del de avances por disparo mediante el reporte diario y mensual de las labores horizontales, es la razón por la cual este plan de tesis busca dar respuesta a esta interrogante.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cómo influye la implementación de barras de 16 pies en el proceso de perforación en las labores de avance horizontales subterráneas por disparo?

### 1.2.2 *Problemas específicos*

- ¿De qué manera una baja eficiencia de voladura y avance influye negativamente en los indicadores de productividad de la mina?

- ¿De qué manera una baja eficiencia de voladura y avance influye en el costo de operaciones unitarias?

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar cómo influye la implementación de la barra de 16 pies en el proceso de perforación en las labores de avance horizontales subterráneas por disparo.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Determinar los beneficios en indicadores de productividad por la implementación de barras de perforación de 16 pies.
- Demostrar que el proceso implementación de la barra de 16 pies para la perforación horizontal de labores subterráneas contribuye en un ahorro por costos de operación asociados al desarrollo de túneles

### **1.4 Hipótesis**

#### ***1.4.1 Hipótesis general***

H: La implementación de la selección de la barra de 16 pies en perforación, influirá positivamente en la mejora del avance por disparo.

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

- H1: La implementación de barra de 16 pies en la perforación, permitirá incrementar la productividad de la mina por disparo realizado.
- H2: La implementación de barra de 16 pies en la perforación, permitirá reducir costos de operaciones unitarias asociadas al desarrollo de túneles

### **1.5 Operacionalización de variables**

#### ***1.5.1 Variable independiente (X)***

- X1: Barra de perforación.

#### ***1.5.2 Variables dependientes (Y)***

- Y1: Productividad
  - Avance por disparo
  - Eficiencia de voladura

- Sobre-rotura
- Y2: Costos
  - Costos de perforación
  - Costos de explosivos y accesorios
  - Costos de extracción y transporte

**Tabla 1***Operacionalización de variables e indicadores*

CLASE	VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independiente (X)	X1: Barra de perforación	Es una barra con hueco en toda su longitud que se utiliza en la perforación de la roca para el carguío correspondiente con explosivos; hecho de material acero	Longitud de barra	Pies
	Y1: Productividad	Describe cómo se medirá y cuantificará la productividad dentro de un contexto específico, de manera precisa y objetiva. Establece indicadores o variables medibles que reflejan la eficiencia o el rendimiento.	Eficiencia de avance Eficiencia de voladura Sobre-rotura	%
Dependiente (Y)	Y2: Costos	Se refiere a la identificación y clasificación de los distintos tipos de costos que se generan durante las actividades mineras, desde la prospección hasta el cierre de mina. Esta definición busca hacer más eficiente el control financiero de las operaciones, mejorando la toma de decisiones y optimizando la rentabilidad de los proyectos.	Costos de perforación Costos de explosivos y accesorios Costos de extracción y transporte	\$/mes

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2**

*Matriz de consistencia*

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADOR	DISEÑO METODOLOGICO
	<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿De qué manera la implementación de barras de 16 pies influye en el avance por disparo?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar cómo influye la implementación de la barra de 16 pies en el avance horizontales por disparo.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b></p> <p>H: La implementación de la selección de la barra de 16 pies en perforación, influirá en la mejora del avance por disparo.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>X1: Barra de perforación</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Longitud de barra</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>Es una investigación de orden aplicativo. No experimental. Transeccionales o transversales.</p>
<p>Mejora del avance mediante la implementación de barras de 16 pies para el proceso de perforación horizontal en minería subterránea</p>	<p><b>PROBLEMA ESPECIFICO</b></p> <p>¿De qué manera una baja eficiencia de voladura y avance influye en los indicadores de productividad de la mina?</p>	<p><b>OBJETIVO ESPECIFICO</b></p> <p>Determinar los beneficios en indicadores de productividad por la implementación de barras de perforación de 16 pies.</p>	<p><b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b></p> <p>H1: La implementación de barra de 16 pies en la perforación, permitirá incrementar la productividad de la mina</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Y1: Productividad</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Eficiencia de voladura</p> <p>Sobre-rotura</p>	<p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El procedimiento para abordar el desarrollo de la tesis fue la metodología cuantitativa.</p>
	<p>¿De qué manera una baja eficiencia de voladura y avance influye en el costo de operaciones unitarias?</p>	<p>Demostrar que la implementación de barras de 16 pies para la perforación de contribuye en un ahorro por costos de operación</p>	<p>H2: La implementación de barra de 16 pies en la perforación, permitirá reducir costos de operaciones unitarias</p>	<p>Y2: Costos</p>	<p>Costos operativos</p>	

Fuente: Elaboración propia

## **1.6 Antecedentes Investigativos**

En el año 2020, Randal Concha Cuadros Edwin Tarifa Huillca, es su investigación Reducción y Optimización de Costos en Perforación y Voladura Implementando Barrenos de 16 Pies para Labores de Desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. concluye que “El diseño de una malla de perforación aplicando barrenos de 16 pies que es más viable en costos de avance en relación de una malla de perforación de 12 pies estándar en labores de desarrollo en la unidad minera. Comprobándose que el diseño de la malla de 16 pies es más viable técnicamente y económicamente debido a un avance mayor con un costo beneficio positivo para la empresa”

En el 2021, Mirco Cuaquira Poma, en su investigación Influencia de la perforación con barras de 16 pies en el metraje y producción en el NV - 10 SN - 099 E de la mina Ticlio – Volcan Compañía Minera S.A.A. concluye que “ Aplicando la perforación con barras de 16 pies se logró superar los 4 m de avance llegando a tener un promedio de 4.30 m por disparo en el NV -10 SN 099E y se determinó un aumento de avance lineal con la barra de 16 pies en 26.47% en relación a avances obtenidos antes de la investigación”.

En el 2019, Lenin Hitler Toribio Diego, en su tesis de Optimización de avances con barra de 16 pies en zona cuerpos de la Unidad Americana de la Compañía Minera Casapalca S.A., se concluyó que él se llega a mejorar los avances basados en un eficiente control del proceso de perforación y voladura en el uso de la barra de 14 pies, la optimización el cual se refiere a la reducción de costos e incremento de productividad en los avances, se logra mediante el nuevo sistema de perforación y voladura, el cual refiere a realizar perforaciones con barra de 16 pies. Por consiguiente, se logró un incremento de productividad de avance por disparo en 21% y una reducción de costo general en avance de 37.9 US\$/m el cual refiere una mejora de 8%

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico.

#### 2.1.1 Perforación

Es la primera operación en el ciclo que consiste en generar aberturas cilíndricas longitudinales en el macizo rocoso de un diámetro determinado y con una configuración geométrica adaptada a las necesidades de la voladura. La perforación electrohidráulica transmite su energía para generar estas cavidades a través de:

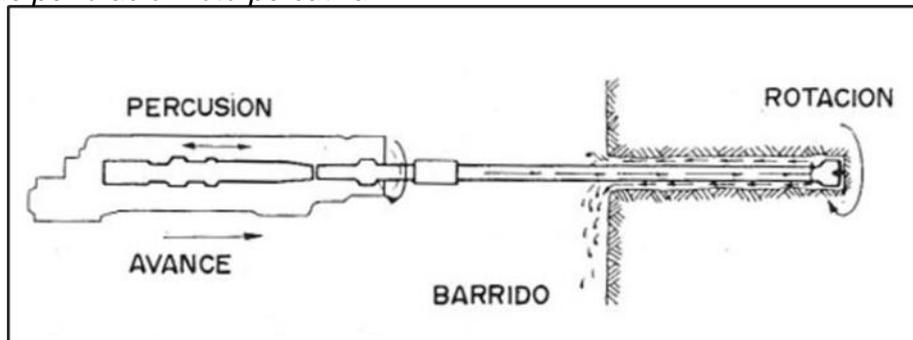
##### 2.1.1.1 Perforación Roto-percutiva.

###### Percusión:

Son los impactos que produce la broca en contacto con el macizo rocoso y que se transmiten a esta a través de un tren de ondas producidos por el pistón de la perforadora (martillo en cabeza).

#### Figura 1

*Proceso de perforación roto-percutiva*



Fuente: Famesa

###### Rotación:

Es el movimiento que hace girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.

###### Empuje:

La energía generada por el mecanismo de impacto del martillo debe transmitirse a la roca, por lo que es necesario que la broca se encuentre en contacto permanente con el

fondo del taladro, esto se consigue con la fuerza de empuje suministrada por el cilindro de avance.

### **Barrido:**

El fluido de barrido (aire, agua o espuma) permite extraer el detritus del fondo del taladro justo después de su formación, de lo contrario se consumirá una gran cantidad de energía en su trituración generando desgaste y pérdidas.

**2.1.1.2 Equipos de perforación.** En las diferentes unidades de Chungar se cuentan con diversos equipos de perforación horizontal; Jumbos cuyos modelos y marcas se detallan en la siguiente Tabla.

**Tabla 3**

*Equipos de perforación en Chungar*

<b>EQUIPO</b>	<b>LONG DE PERFORACION</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>NUMERO DE BRAZOS</b>
Jumbo	14 pies	Epiroc	Boomer 282	2
Jumbo	14 pies	Epiroc	Boomer S1D	1
Jumbo	14 pies	Epiroc	Boomer S2D	2
Jumbo	14 pies	Sandvik	DD311	1

Fuente: Elaboración propia

### **Jumbos electrohidráulicos:**

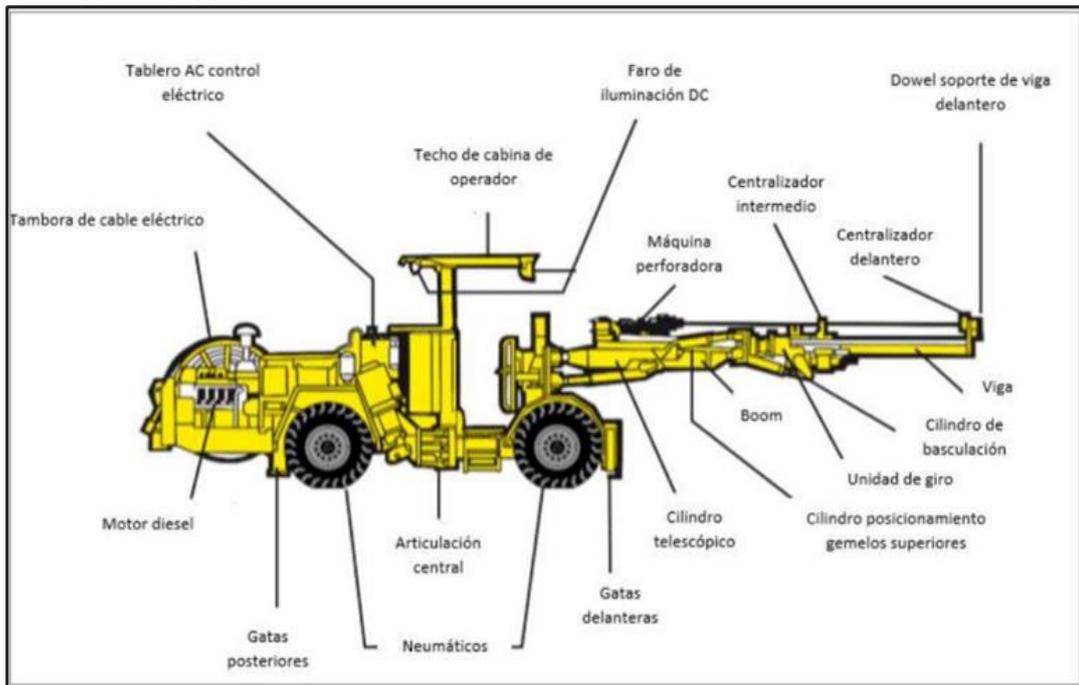
Son unidades de perforación equipadas con uno o más martillos, en la actualidad son equipos electrohidráulicos con sistemas electrónicos que administran todo su funcionamiento. Su principal aplicación se encuentra en el avance de túneles y galerías, empernado y banqueo con taladros horizontales.

Sus sistemas se clasifican en 7, por sus funciones y son:

- Sistema de Perforación
- Vehículo Transportador
- Sistema Eléctrico
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Aire y Agua
- Sistema de Control
- Software de gestión

**Figura 2**

*Jumbo Electrohidráulico*



Fuente: Epiroc

Las consideraciones operativas que se deben tener en cuenta con los Jumbos son tres:

- La cobertura: Se refiere a la capacidad del área de perforación que puede cubrir un determinado Jumbo, pueden perforar desde 10 m<sup>2</sup> hasta 200 m<sup>2</sup> y en razón a ello también se determina el número de brazos que se requieren.
- Automatización: Dependiendo de su grado, puede mejorar la Sobre excavación, avance, calidad de la excavación y en general mejorar los costos de operación.
- Guiado: Se refiere a el grado de planificación de las labores donde trabajan los Jumbos, como plantillas, perfiles, planes de voladura, reportes y otros.

**Equipos de perforación de taladros largos:**

Se presenta un cuadro resumen con la información más importante de los equipos de perforación de Taladros Largos (TL) con los que se trabajan en las distintas unidades de Chungar.

**Tabla 4**

*Equipos de TL en Chungar*

EQUIPO	LONG DE VIGA	MARCA	MODELO	NRO DE BARRAS
Simba	5 pies	Epiroc	S7D	12
DL	5 pies	Sandvik	331	10
Simba	4 pies	Atlas Copco	T1D	
Raptor	4 pies	RESEMIN	44 – 2R	10

Fuente: Elaboración propia

Son equipos diseñados para perforar taladros de longitudes mayores a 10 m y pueden llegar a perforar hasta 60 m, dependiendo de su envergadura, asimismo están diseñados para adaptar su estabilidad en la perforación vertical ascendente, descendente y en abanico dentro de planos determinados. Son equipos que se adaptan a métodos de explotación denominados “masivos” en minería subterránea como cámaras y hundimiento por Subniveles.

En la actualidad estos equipos disponen de un sistema de perforación electrohidráulico y un motor Diesel para los traslados o para el accionamiento de la central hidráulica. El empleo de martillos hidráulicos en cabeza y varillajes pesados ha permitido llegar a diámetros de hasta 102 mm y 127 mm, mientras que con martillos de fondo se ha podido perforar taladros entre 95 mm y 178 mm.

**Figura 3**

*Equipo de perforación Simba E6-W*



Fuente: Epiroc

## Figura 4

*Equipo de perforación DD 212*



Fuente: Sandvik

## Figura 5

*Equipo de perforación Raptor 44*



Fuente: RESEMIN

Estos equipos pueden perforar en cinco esquemas descritos a continuación:

- Taladros en plano vertical: Es el tipo de perforación más común, la deslizadera se encuentra perpendicular al eje de rotación de la unidad de perforación.
- Taladros en plano inclinado: Se forman cuando la deslizadera es perpendicular al eje de rotación, pero este no se encuentra en una posición horizontal.
- Taladros en plano vertical pero no perpendicular a la galería desde la que se perfora. Es cuando el eje de rotación es horizontal, pero no es paralelo a la galería.

- Taladros en una superficie o anillo cónico. Se configuran cuando la deslizadera no es perpendicular al eje de rotación.
- Taladros paralelos: Se dan cuando la deslizadera se desplaza lateralmente. Se utilizan en los cortes iniciales de las cámaras, en la excavación de chimeneas y en el banqueo subterráneo.

### **Inclinómetros:**

Son aparatos de diversa índole cuya función es la de controlar la dirección de los taladros. A continuación, describimos las ventajas de su utilización:

- Se aumenta la productividad, al disminuir los tiempos invertidos en el posicionamiento de las deslizaderas.
- Se disminuye los errores de alineamiento de los taladros a perforar, lo que implica una serie de beneficios como: La ampliación de la malla de perforación y de la profundidad de los taladros, la reducción del consumo específico de explosivo manteniendo la fragmentación, la disminución de las sobre excavaciones y los costos de sostenimiento.

**Figura 6**

*Inclinómetros digitales*



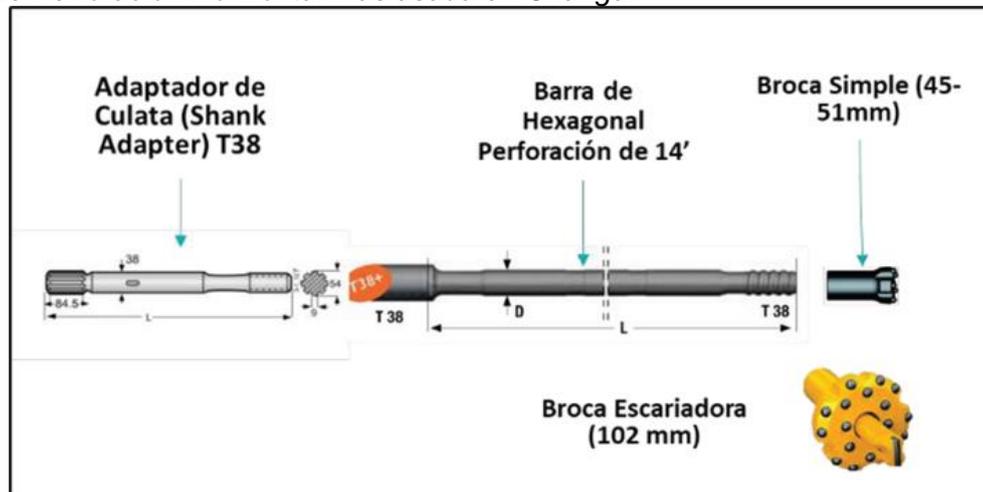
Fuente: Cía. Minera Chungar

**2.1.1.3 Accesorios de perforación.** Es el sistema de los elementos de perforación que entran en contacto con la roca y específicamente desarrollan el trabajo útil para generar los taladros, ya que a través de ellos se transmite la energía en sus diversas formas que el equipo entrega.

Los aceros de perforación están compuestos por elementos como adaptadores de culata, manguitos, barras de extensión y brocas, los cuales debido al trabajo que deben realizar deben estar contruidos con materiales (aceros) resistentes a la fatiga, a la flexión, a los impactos y al desgaste en las roscas y culatas.

### Figura 7

*Sarta de Perforación Horizontal más usada en Chungar*



Fuente: Epiroc

#### **Adaptadores (Shank):**

Llamados comúnmente “Shank adapter” (figura 14), son elementos que van fijados directamente a las perforadoras para transmitir la energía de rotación, percusión y empuje a las barras de extensión. Existen de dos tipos:

- De arrastre Leiner
- Estriados

#### **Varillaje (Barras):**

Son los elementos de prolongación de la columna de perforación, generalmente barras y tubos. Las primeras se utilizan cuando se perfora con Martillo en Cabeza y pueden tener sección hexagonal y cilíndrica, asimismo tienen roscas machos en ambos extremos

o mixtos. Las barras de sección hexagonal generalmente se usan cuando los cambios son manuales, y son cilíndricos cuando tienen intercambiadores mecánicos. Por otro lado, las tuberías de extensión se usan cuando se perfora con Martillo de Fondo, estas tuberías al acoplarse tienen mayor rigidez por lo que reducen las desviaciones.

**Figura 8**

*Shank adapter*



Fuente: Epiroc

**Figura 9**

*Varillaje según tipo de perforación*



Fuente: Epiroc

**Manguitos:**

Son los elementos que acoplan los adaptadores con las barras de extensión y también entre las barras, y esto sucede cuando las barras tienen ambos extremos un sistema de roscas macho.

En la actualidad, su uso es mínimo debido a que las barras y tuberías de perforación son auto – acoplables al tener extremos mixtos.

**Brocas:**

Son aquellos elementos que van en el extremo de la columna de perforación, golpean y rozan la roca generando el taladro, están compuestos con los aceros más resistentes de toda la sarta como el carburo de tungsteno que compone los insertos de las brocas. Las brocas que componen la perforación roto-percutiva son de dos tipos:

- Brocas de Botones: Son las que tienen botones o insertos distribuidos sobre su superficie, se fabrican en diámetros desde 50 mm hasta los 251 mm.
- Broca de Pastillas: Son aquellas donde los insertos son en forma de plaquita y generalmente tienen cuatro dispuestas en forma de cruz y X, se fabrican en diámetros desde 35mm a 57 mm en cruz y de 64mm a 127 mm en X.
- Brocas Especiales: Son aquellas conocidas como Retractiles, de Escariar, de centro hundido y balísticas, se caracterizan por ser usadas en terrenos donde la roca se desmorona por lo que cuentan con estrías y dientes detrás del frente que permiten la perforación en retroceso.
- Brocas de Martillo de Fondo: son aquellas que llevan incorporadas en su diseño las culatas sobre las que golpean directamente los pistones, los diámetros usuales de este tipo de brocas van de 85mm a 250 mm, pero existen de mayor dimensión.

**Adaptadores guía:**

Son accesorios de extensión que se utilizan para reducir la desviación de los taladros, de diámetros muy cercanos a los de la broca, también existen aquellos que poseen aletas longitudinales y en ambos casos se colocan después de la broca.

## **2.1.2 Geometría de la perforación.**

La perforación define la distribución espacial sobre la cual estará enmarcada la distribución energética de los explosivos en la voladura, por lo tanto, el diseño espacial es la relación intrínseca entre ambos procesos, por esta razón es muy importante tener claros los conceptos de estas dimensiones.

**2.1.2.1 Burden.** Es la distancia mínima desde el eje de un taladro a la cara libre, en el caso de un frente el Burden inicial es la distancia mínima del primer taladro de arranque al taladro de alivio y en el caso de un Breasting o SLS es básicamente la distancia a la cara libre.

Una vez calculado el Burden debe tenerse en cuenta la desviación promedio que alcanzan los taladros próximos a la cara libre a fin de considerar en su asignación este error, dado que probablemente es la dimensión más importante en el diseño de la perforación.

**2.1.2.2 Espaciamiento.** Es la distancia entre taladros de una misma fila, tanto el Burden como el Espaciamiento dependen básicamente del diámetro de Perforación, de las propiedades del macizo, de los explosivos y del banco de voladura.

El Espaciamiento se calcula en función del Burden, del tiempo de retardo entre taladros y de la secuencia de encendido, espaciamientos muy pequeños producen entre las cargas un exceso de trituración y roturas superficiales en cráter, bloques de gran tamaño por delante de la fila de taladros y problemas de Toe.

**2.1.2.3 Cara libre.** Son los frentes o superficies de roca hacia donde llegan las ondas de rotura de las cargas detonadas en los taladros y donde se reflejan para generar el fracturamiento masivo del terreno entre el taladro y la superficie.

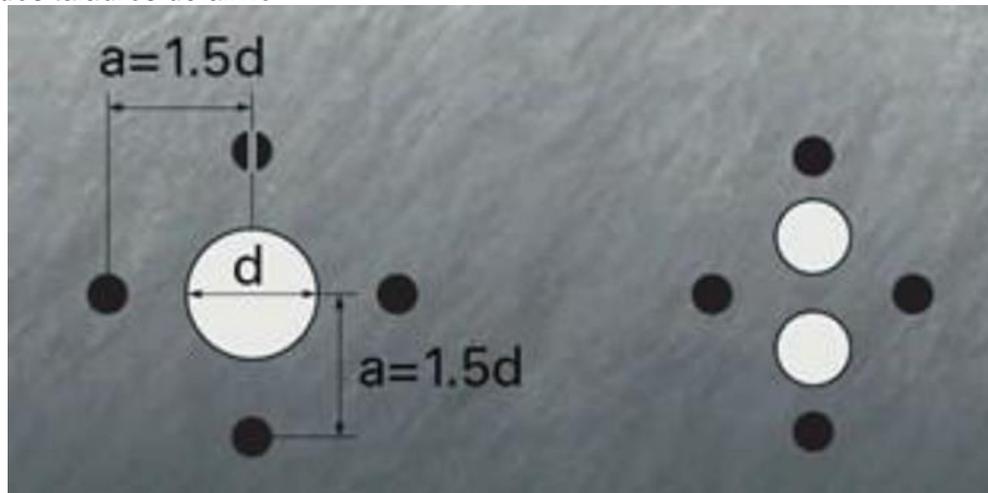
**2.1.2.4 Taladros de alivio.** Taladros que se diseñan para no cargarse y su función puede ser:

- Generar una nueva cara libre para el fracturamiento y expansión de la roca fragmentada.
- Amortiguamiento: Porque colocados en línea pueden generar un plano de rotura.

- Extensión de fracturas cuando se encuentran entre taladros cargados para este fin.

**Figura 10**

*Uno y dos taladros de alivio*



Fuente: EXSA

**2.1.2.5 Taladros radiales.** Son taladros que estrictamente son proyectados desde un punto denominado Baricentro, Se diseñan generalmente en Métodos para TL, en una misma sección se pueden utilizar uno o más baricentros para la conformación de una Malla.

**2.1.2.6 Collar del taladro.** Es el borde de un taladro por donde se inició su perforación; por consiguiente, se considera el otro extremo como fondo del taladro o TOE, esto es muy fácil de determinar cuando los taladros no son pasantes y obviamente tienen un fondo, pero cuando son pasantes y positivos tenemos que aplicar el concepto, otra forma de identificar el Collar de un taladro es identificando el extremo por donde se ejecuta regularmente el carguío.

**2.1.2.7 Fundamentos técnicos del diseño de arranque.** El arranque es la fase más importante de la operación, de la cual depende el éxito de la voladura.

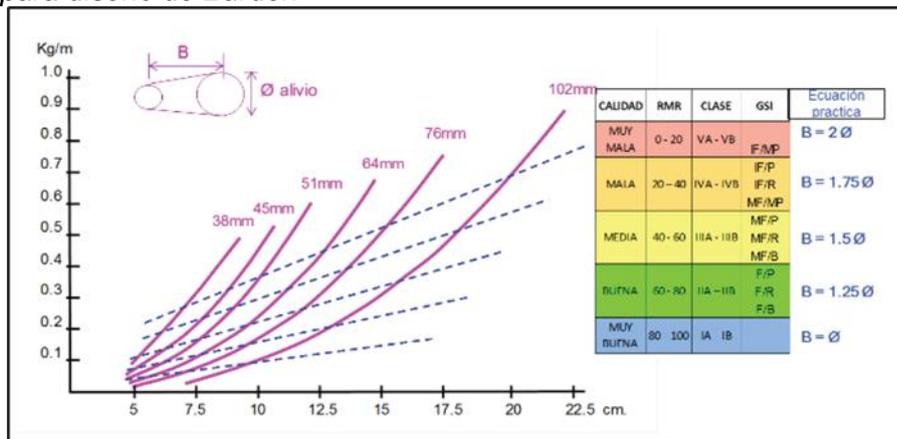
El arranque se debe perforar con una geometría tal que los taladros de alivio sirvan de escudo a los taladros cargados, con lo cual se minimiza los riesgos de desensibilización del explosivo por presión dinámica y la sinterización de la roca, pues los taladros restantes no podrán romper eficientemente, a menos que la roca fracturada en el arranque sea evacuado y desplazado totalmente fuera de su cobertura.

Consideraciones de diseño son:

- Tipo de roca.
- Tipo de explosivos
- Diámetro de taladro
- Burden – espaciamiento
- Longitud de taladro

**Figura 11**

*Esquema para diseño de Burden*



Fuente: Holmberg

### 2.1.3 Controles asociados a la Perforación Horizontal.

Existen nueve controles que deben ejecutarse para verificar que se está ejecutando o se ha realizado adecuadamente la perforación horizontal como radial en taladros largos y estos deben ejecutarse antes y durante la actividad.

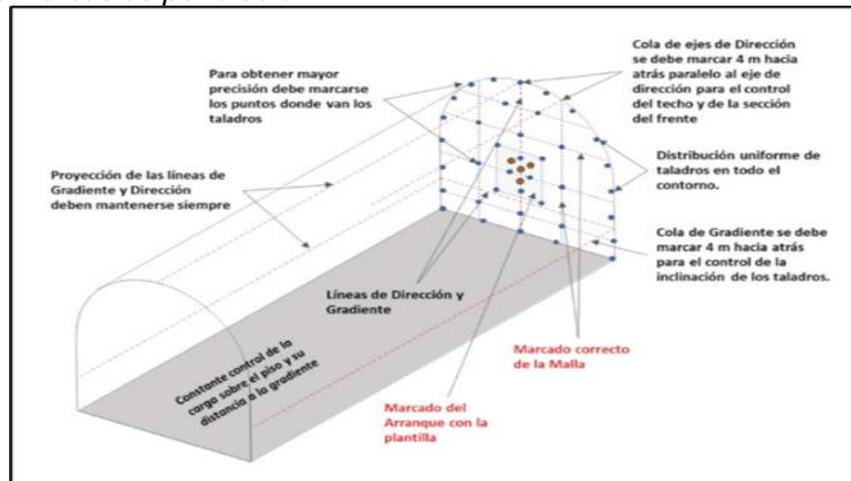
**2.1.3.1 Marcado de malla en frente, gradiente y dirección, proyección (colas).** Marcar la malla de perforación es plasmar el diseño geométrico al campo y en escala real, el marcado determina la ubicación de los taladros dentro del espacio de la voladura y sus límites, es aquí donde se definen los Burden, Espaciamientos y líneas de control. Por ello es tan importante realizar el marcado de malla lo más exacto posible en campo, y en especial cuidándolas dimensiones relativamente pequeñas.

En un frente, el marcado de la malla consiste en generar una cuadrícula dentro del contorno de la sección, donde la intersección de las líneas horizontales y verticales determina la ubicación de los taladros de producción.

Antes de iniciar el marcado de la cuadrícula se debe marcar la línea de gradiente en el frente que es la referencia para los taladros de arrastre, asimismo la línea de gradiente (horizontal) y la línea de dirección (vertical) que se proyecta sobre el frente determinan la ubicación de la zona del arranque.

### Figura 12

#### Estándar de marcas de perforación



Fuente: Cía. Minera Chungar

En el contorno es muy importante marcar la ubicación de los taladros de corte en la corona y en los siguientes la referencia de la gradiente y dirección, se debe marcar las denominadas “Colas” que ayudan a controlar el ángulo de perforación de los taladros por su fuerte referencia.

### Figura 13

#### Estándar de pintado de malla de perforación

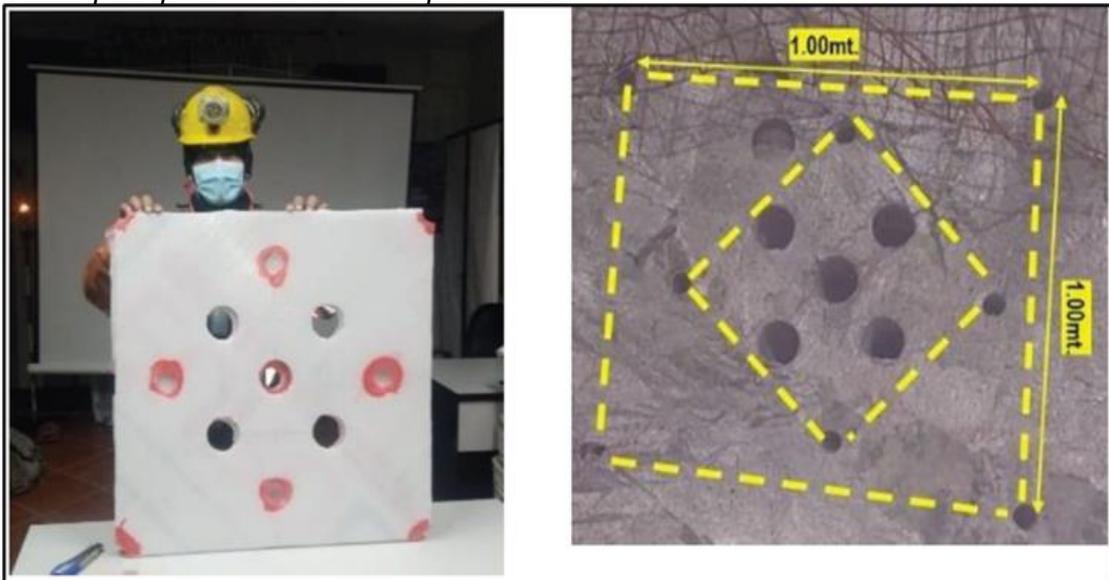


Fuente: Elaboración propia

**2.1.3.2 Uso de plantillas para el marcado de los arranques.** El marcado exacto del arranque en un frente puede resultar en una tarea tediosa y que toma bastante tiempo debido a que se debe trasladar muchas dimensiones al terreno, por ello lo óptimo es que una vez que se haya definido el centro del arranque; éste, se marque con la ayuda de una plantilla que permita realizar la actividad con mucha mayor eficiencia.

**Figura 14**

*Plantillas para pintado de malla de perforación*



Fuente: Cía. Minera Chungar

**2.1.3.3 Marcado de secciones y puntos en taladros largos.** Para la perforación de taladros largos existen marcas imprescindibles que deben realizarse en los niveles por donde se ejecutará la perforación, indistintamente si se perforará sobre Cuerpos o Vetas angostas, siempre deben realizarse las siguientes marcas:

- Marcado de las secciones, filas, paradas o mallas.
- Marcado de los puntos de inicio de los taladros en el techo, Figura 15.
- Marcado de las líneas de posicionamiento del equipo.
- Contorneo de la estructura (Vetas Angostas)
- Marcado de la altura del baricentro en los hastiales y ubicación en el techo. (Solo cuando si se trata de la perforación de taladros en abanico)

## Figura 15

*Marcado de puntos en el techo*



Fuente: Elaboración propia

**2.1.3.4 Paralelismo.** Se suele hablar más de paralelismo en la perforación de frentes y otras labores horizontales donde se debe mantener un solo ángulo de los taladros, y aunque esto no llega a ser tan cierto en las zonas límites de las labores, en el resto se debe mantener el paralelismo entre todos los taladros, toda vez que ello asegura el Burden y espaciamiento entre ellos, bajo los cuales se han calculado las cantidades de cargas de explosivos, de lo contrario, su variación generará resultados no deseados.

Se recomienda:

- Usar dos tubos guidores de Aluminio de 4 m cada uno
- Aplicar auditoria de paralelismo
- Usar winchas métricas para medir la desviación de los taladros y corregirlos inmediatamente
- Uso de cuadernos para reportes de perforación
- Uso de check-list de perforación

**2.1.3.5 Angulo de perforación y desviación.** En la perforación de taladros largos, su mayoría tienen cierto ángulo que obedecen a la disposición de las estructuras mineralizadas y la capacidad de los taladros para abarcar zonas de mayor envergadura desde una labor, existen métodos donde los taladros largos son completamente verticales y por ende debe controlarse su paralelismo, otras donde todos los taladros mantienen el mismo ángulo de inclinación lo que vuelve hacer válido la concepción del paralelismo.

**2.1.3.6 Cumplimiento del diseño.** El cumplimiento de lo planificado juega un papel muy importante en el resultado de las voladuras, puesto que en el diseño se ha considerado la dilución externa, fragmentación, tonelaje y hasta vibraciones a generarse.

El no cumplir los diseños implica afectar toda esta planificación, por ende, el replanteo de los diseños no puede estar a cargo de los perforistas sino de los responsables del diseño. Se debe tener un estricto control del cumplimiento de ejecución de acuerdo con los diseños. Los replanteos, por alguna necesidad, deben estar normados en algún estándar.

**2.1.3.7 Longitud de taladros.** El control de la longitud de taladros debe ser una actividad continua y obligatoria de la supervisión, puesto que es una de las causas más reiterativas que generan problemas de avances horizontales, y de arranque, en métodos asociados a taladros largos.

**2.1.3.8 Entubado de taladros.** Todos los taladros que tengan problemas de obstrucción por detritus, debido al desmoronamiento generado por agentes externos al taladro, o por las características geomecánicas de este, deben ser entubados para conservarlos y puedan ser cargados adecuadamente, el control asociado a esta actividad debe determinar la cantidad exacta de taladros a ser entubados.

## Figura 16

### Entubado de taladros



Fuente: Elaboración propia

**2.1.3.9 Verificación del Burden y espaciamiento.** El noveno control que debe realizarse sobre la perforación es la verificación del Espaciamiento y Burden en cualquier parte de la zona perforada, esta actividad nos ayudará a encontrar si hubo problemas de marcado, posicionamiento y/o factores personales en caso de desvíos, para ello es imprescindible que todos los supervisores cuenten con los diseños a la mano.

### ***2.1.4 Ratios asociados a la perforación.***

Son los indicadores más utilizados en la gestión de la perforación ya sea horizontal o en cualquier otro ángulo, también si son perforaciones cortas o de taladros largos.

**2.1.4.1 Metros por hora, metros por día.** El primero es la tasa de metros acumulados en la perforación de un equipo en una hora de trabajo, se utiliza para comparar promedios de eficiencia entre equipos y operadores, también para construir curvas de eficiencia en los turnos de trabajo y para analizar su velocidad versus algún parámetro del macizo rocoso.

El segundo indicador es la cantidad de metros perforados por un equipo en todos los turnos que conforman un día de trabajo, generalmente se utilizan para revisar el

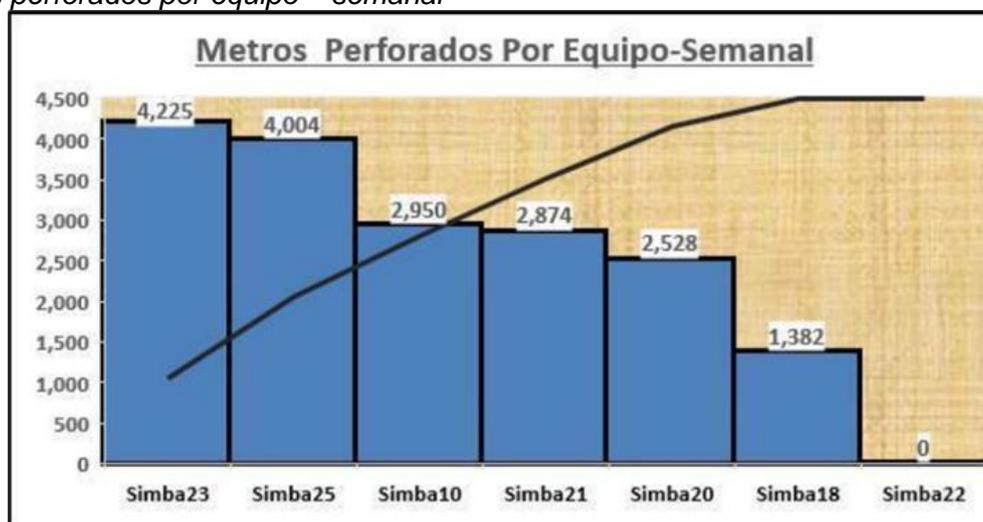
cumplimiento real del equipo versus el planificado, también para comparar los avances entre distintas labores, también para revisar como impactaron las paradas no planificadas en los turnos.

**2.1.4.2 Taladros por frente (o Breasting).** Este indicador ayuda a controlar la cantidad de taladros que se perforan en los frentes, clasificar los frentes por sus cantidades de taladros y su adherencia a las plantillas, podemos encontrar en este análisis el tiempo promedio que toma perforar un frente en determinados terrenos o clasificarlos por este parámetro adicional; Asimismo, nos ayudará a relacionar la cantidad de metros perforados por frente versus los metros proyectados en su diseño. Si construimos reportes adecuados, inclusive, podemos encontrar promedio de tiempo que se toman en perforar diversas zonas de un frente como el arranque, o taladros de corona.

**2.1.4.3 Metros perforados por equipo.** Este indicador es muy importante al relacionarlos con el tiempo y con los macizos rocosos, En su aplicación básica ayuda a revisar el cumplimiento de metros por cada equipo versus lo planificado ya sea por día, semana o mes. Pero, al relacionarlos con los operadores y la calidad de la perforación toma mucha relevancia, por otro lado, podemos verificar si se está utilizando los diversos tipos de Tasa de Penetración determinados para cada macizo rocoso; observando su proporcionalidad.

**Figura 17**

*Metros perforados por equipo – semanal*

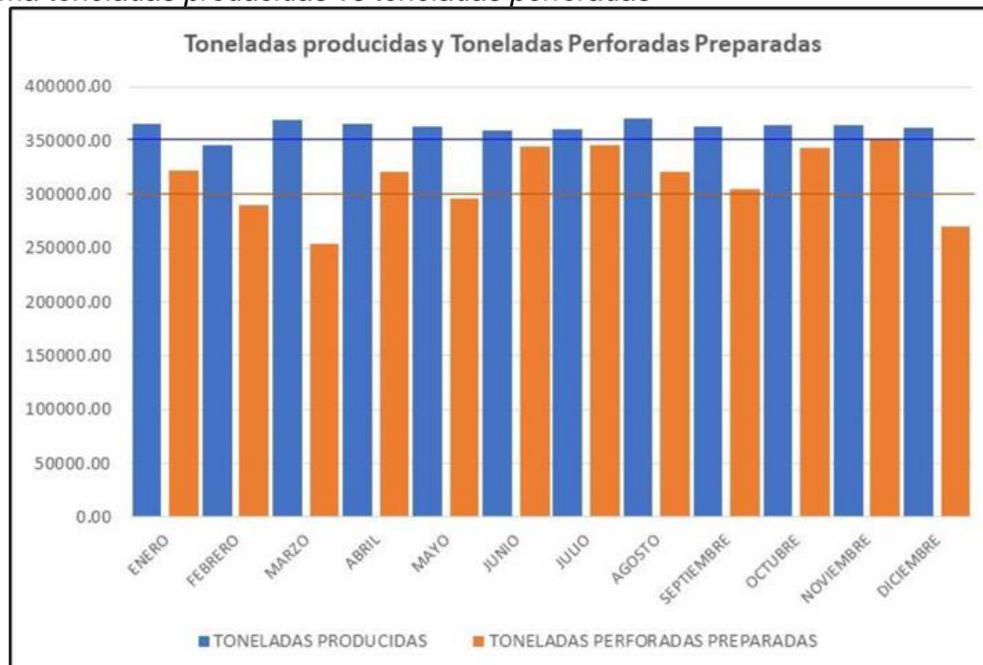


Fuente: Cía. Minera Chungar

**2.1.4.4 Toneladas por metro perforado.** Este indicador nos entrega la información de cuántas toneladas rompe en promedio un metro de perforación, se aplica a cualquier método de perforación que se emplee, entonces, podemos tener ratios de toneladas por metro en Frentes, Breasting, UCF y SLS para analizar su comportamiento en el tiempo. Este indicador es más usado para medir el performance en perforación con taladros largos donde las longitudes varían ya sean porque son radiales o porque se ajustan a los bancos de voladura, entrega un control de cuantas toneladas se están rompiendo por metro de perforación, cuál es su comportamiento en referencia al plan, cumplimiento semanal, mensual, por equipo, etc. y se pueden inclusive generar objetivos asociados a la producción.

**Figura 18**

*Diagrama toneladas producidas vs toneladas perforadas*



Fuente: Cía. Minera Chungar

**2.1.4.5 Rendimiento de aceros.** Son ratios que deben considerarse para el control de los aceros de perforación que influyen significativamente en el desenvolvimiento operativo y financiero de este proceso. Es necesario mantener estadísticas que ayuden a clasificar los rendimientos y vida útil de los aceros por tipos de macizo o zonas litológicas que se consideren más convenientes.

**2.1.4.6 Porcentaje de desviación de taladros.** En los últimos años muchas mineras se han involucrado más en la importancia y los efectos que se generan a partir de la Desviación de Taladros, y los enormes gastos en los que se puede incurrir a raíz de un resultado deficiente y no controlado de la desviación, como por ejemplo producción de bancos y su consecuente fragmentación secundaria, Dilución, Recuperación y otros. Ello conlleva a buscar control de la desviación y obviamente para eso es imprescindible medir las desviaciones, establecer la frecuencia de mediciones ya que no necesariamente debe ser una actividad de constante medición; sino de muestreo y finalmente obtener estadística de porcentajes de desviación por profundidad, por equipos, por operadores, por litologías, por diámetros de perforación y otros.

#### ***2.1.5 Evaluación de los resultados de voladura.***

Cuando se realice una evaluación de los resultados es muy importante elaborar reportes y bases de los defectos, y analizar su causalidad para poder corregirlos al incluirlos en los procesos de mejora continua, la documentación de los análisis de resultados de las voladuras es una actividad obligada dentro del círculo de análisis de mejora.

Ahora mencionaremos algunos aspectos que son muy importantes en la evaluación de las voladuras:

**2.1.5.1 Avance.** Es un concepto que se utiliza únicamente para evaluar voladuras en perforaciones horizontales, y es la comparación entre el avance obtenido en la voladura comparado con la longitud efectiva perforada.

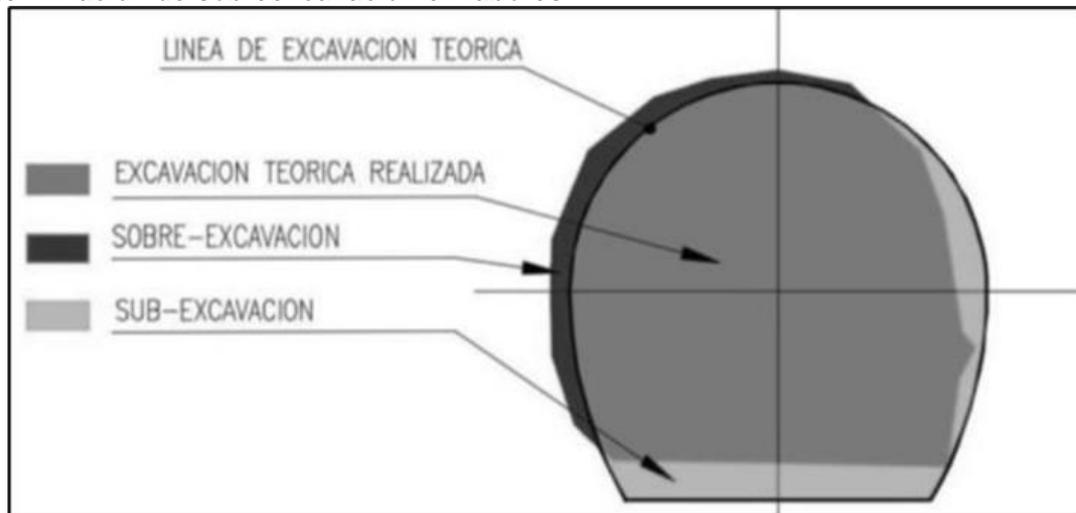
**2.1.5.2 Simetría.** Es la comparación de la forma final de la abertura en base a un eje de simetría que devenga del diseño, por ejemplo, un frente debe ser simétrico en base a la línea de eje de dirección.

**2.1.5.3 Geometría de la excavación final / sobreexcavación.** Es la comparación de toda la abertura final en base a la sección principal de diseño, por ejemplo, en un túnel; en todo el avance se debe mantener la sección de la cara inicial, si existen muchas diferencias, entonces lo más probable es que exista sobre excavación, en taladros

largos toda la abertura debe ser una réplica de la cara del banco de voladura; aun cuando su dirección varié.

**Figura 19**

*Determinación de sobreexcavación en labores*



Fuente: EXSA

**2.1.5.4 Geometría del límite del banco.** Es la revisión de la forma y estabilidad de la cara del banco final luego de una voladura y que debiera quedar lo más homogénea y plana posible. Esta evaluación obviamente comprende a las voladuras de taladros largos.

**2.1.5.5 Geometría de la cara final.** Es la revisión en frentes, Breasting y UCF de la cara final luego de la voladura y limpieza, y que debe ser lo más homogénea, simétrica y plana posible.

**2.1.6 Controles generales y objetivos estratégicos**

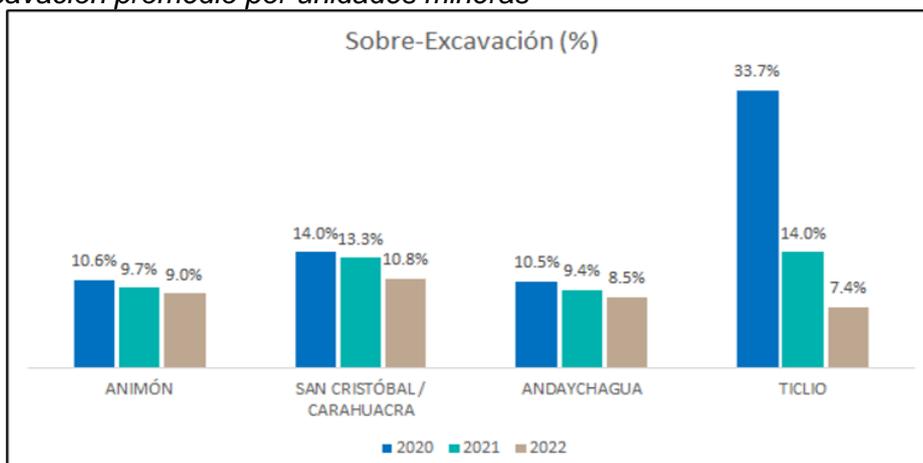
**2.1.6.1 Sobre excavación.** Este objetivo estratégico se aplica a las labores de avance en desmonte, y su concepto es la comparación en porcentaje de los metros cúbicos entre el volumen de diseño con el real obtenido luego de la excavación.

$$\% \text{ Sobre - excavacion} = \frac{\text{Vol real} - \text{Vol programado}}{\text{Vol programado}} * 100\% \quad (1)$$

La sobre excavación es otro objetivo estratégico para el que se trazan objetivos y se lleva un control semanal para un cumplimiento continuo, es muy importante que todos los involucrados en las operaciones conozcan el cálculo y mantengan un control estricto de este indicador.

**Figura 20**

*Sobreexcavación promedio por unidades mineras*



Fuente: Cía. Minera Chungar

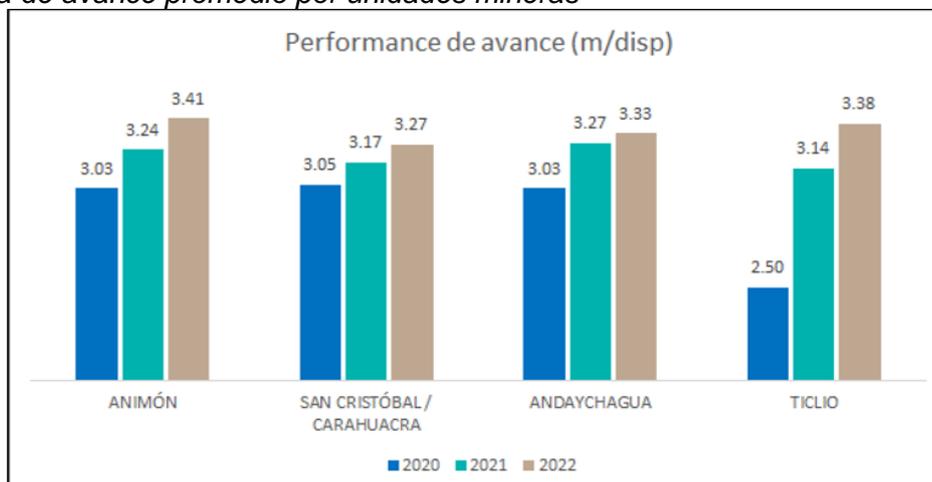
**2.1.6.2 Eficiencia de avance.** Es otro indicador usado solo para controlar en las voladuras horizontales que se perforan con Jumbo, la eficiencia de avance es como ya mencionamos anteriormente; la comparación de los resultados del avance obtenido en una o varias voladuras con cierto patrón que podría ser un objetivo, un resultado óptimo, un promedio, etc. Pero que generalmente representa un desafío para la operación.

$$\% \text{Eficiencia de avance} = \frac{\text{Avance real}}{\text{Avance programado}} * 100 \quad (2)$$

Como objetivo estratégico se controla a nivel corporativo y se generan metas en cada unidad que para este caso es transversal en Volcan, es relevante que los involucrados conozcan las metas y mantenga a todo nivel el control de este

**Figura 21**

*Eficiencia de avance promedio por unidades mineras*



Fuente: Cía. Minera Chungar

Finalmente, y de acuerdo con los controles que se tienen, se considera importante anotar las principales razones para que sucedan los desvíos de sobre excavación y eficiencia de avance en los desarrollos y preparaciones:

- Iniciar la perforación sin tener en cuenta la calidad de la roca ni el diseño de P&V inherente al macizo rocoso
- Dejar de pintar la malla de perforación
- Perforar sin marcar la plantilla del arranque
- Perforar sin control de paralelismo (auditoría)
- Perforar sin controlar las dimensiones del burden
- Dejar de perforar los taladros de alivio
- Perforar sin usar tubos guía
- Perforar la longitud incompleta
- Dejar de perforar los taladros de alivio en los hastiales y corona
- Iniciar la perforación sin control de supervisión
- Dejar de usar cargas desacopladas (“cañas”) en los taladros de alivio de la corona y hastiales
- Secuenciamiento inadecuado de los retardos
- Confinamiento inadecuado (no uso de tacos de arcilla)
- Falta de evaluación post voladura

## **2.2 Marco conceptual**

### ***2.2.1 Malla de perforación.***

Es la disposición geométrica de los taladros en una superficie, diseñada para optimizar la fragmentación del material rocoso durante la voladura.

Su configuración depende de las características del macizo rocoso y los objetivos del proyecto.

### ***2.2.2 Eficiencia de perforación***

Representación porcentual del taladro perforado respecto de lo planificado.

### **2.2.3 Perforación**

Es la primera operación unitaria que tiene como objetivo de realizar agujeros en el macizo rocoso donde se cargara los explosivos para la fracturación de la roca.

### **2.2.4 Voladura**

Operación unitaria con el propósito de fragmentar la roca para su posterior extracción.

### **2.2.5 Frente.**

Superficie libre en una voladura.

### **2.2.6 Burden.**

Distancia desde el barreno central al frente de la cara libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro-

### **2.2.7 Espaciamiento.**

Distancia entre taladros de una misma fila.

## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1. Unidad de estudio

Compañía Minera Chungar S.A.C. es una empresa minera dedicada a la extracción de minerales polimetálicos, asimismo se dedica al beneficio de los minerales de Zinc, Plomo y Cobre, cuenta con una Planta de Beneficio de una capacidad de 5,500 TM/día y un Depósito de Relaves con autorización de funcionamiento hasta la cota 4,618 msnm.

La explotación de minerales de zinc, plomo y plata es el propósito del yacimiento minero Animon, el que se realizará de acuerdo a lo especificado en este informe, aplicando el método de explotación de corte y relleno ascendente Breasting, (una cara libre) y Tajeo por Subniveles, en su variante "Bench and Fill Stopping" (Avoca). La fuente del desmonte para cobertura del relleno detrítico son las labores en estéril de Preparación y Desarrollos, que serán trasladados y dispuestos en los tajos o en cámaras de almacenamiento. En un porcentaje menor serán cubiertas por material de canteras, que será trasladado a la mina mediante Fill Pass de Superficie a los niveles de trabajo. Se estudia la utilización de relave seco como una alternativa adicional.

#### 3.1.1 Ubicación y vías de acceso

Unidad Minera	:	Acumulación Animon
Distrito	:	Huayllay
Provincia	:	Cerro de Pasco
Región	:	Pasco

Geográficamente se ubica en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, altitud: 4,600 m.s.n.m.

Limita por el Norte con Cía. Minera Huarón, por el Este con caserío La Cruzada, al oeste con la Comunidad de Quimacocha y la Laguna Shegue, y al Sur con la Laguna Huaroncocha

El principal acceso es por la carretera central Lima- La Oroya-cruce Villa de Pasco - Huayllay: 317km. carretera asfaltada, y Huayllay – Animón: 11 Km. en carretera afirmada, haciendo un total de 328 Km.

Otras rutas:

- Lima-Canta - Animón 219 Km.            5 horas
- Lima-Huaral - Animón 225 Km        5 horas

**Figura 22**

*Vías de acceso a Cía. Minera Chungar*



Fuente: Cía. Minera Chungar

### 3.1.2 Geología

**3.1.2.1 Geología regional.** Las Unidades lito-estratigráficas que afloran en la región, están constituidos por rocas sedimentarias conocidos como “Capas Rojas” y plutones intrusivos denominados hipabisales.

En la zona de Chungar está presente las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el Este, que está constituido por margas, areniscas y arcillitas de color rojizo o verde grisáceo, en estratos delgados con algunos estratos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas y areniscas

grises, se estima un grosor de 2,385 metros de estas rocas sedimentarias que datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

### **Figura 23**

*Afloramientos de las Capas Rojas de la Formación Casapalca*



Fuente: Cía. Minera Chungar

**3.1.2.2 Geología local.** El yacimiento de Chungar litológicamente está conformado por rocas sedimentarias que reflejan un periodo de emersión y una intensa denudación. Las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca presentan dos ciclos de sedimentación: El ciclo más antiguo es el más potente con 1,400 a 1,500 metros de grosor y el ciclo más joven tiene una potencia de 800 a 900 metros. Cada ciclo en su parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas en su parte superior contienen horizontes de conglomerados y volcano-clásticos. La gradación de los clastos y sus orientaciones indican que los materiales han venido del Este, probablemente de la zona actualmente ocupada por la Cordillera Oriental de los Andes.

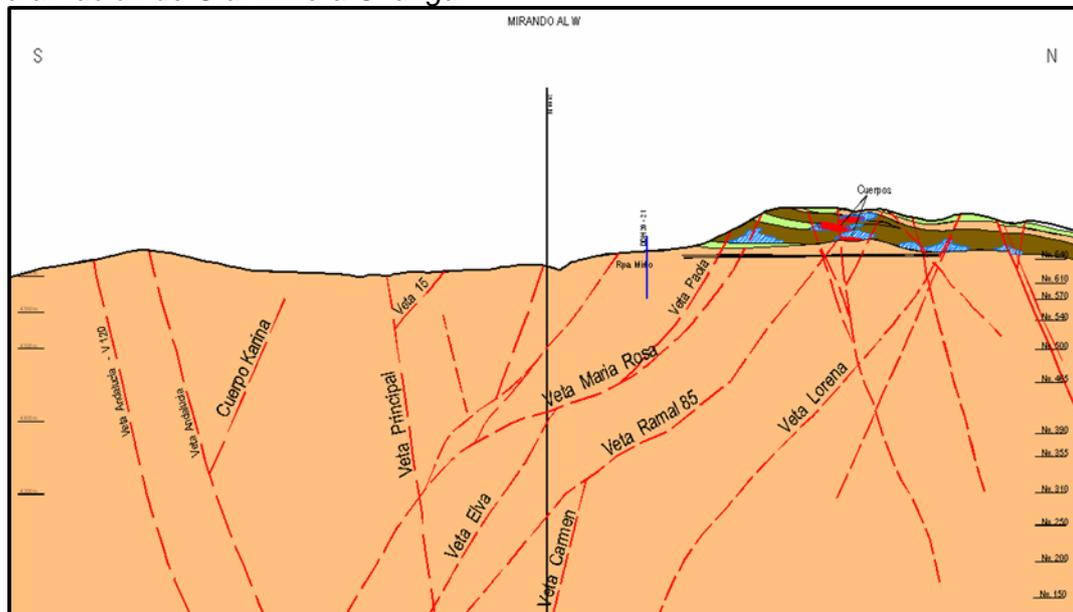
### **3.1.3 Mineralización**

Inmediatamente después de la formación de las fallas geológicas pre-minerales los cuales se iniciaron en la parte central del distrito, las soluciones hidrotermales iniciales invadieron y circularon a lo largo de estas discontinuidades abiertas a

temperaturas relativamente altas. Los compuestos llevados en solución fueron precipitados en el siguiente orden paragenético: cuarzo lechoso, pirita, enargita y tetraedrita.

**Figura 24**

*Mineralización de Cía. Minera Chungar*



Fuente: Cía. Minera Chungar

La enargita es abundante en las partes centrales del distrito y la tetraedrita (con poco contenido de plata) lo es en las partes exteriores del área de enargita. La precipitación se realizó en un tiempo relativamente prolongado, lo que permitió la formación de cristales de diámetros medianos.

**3.1.3.1 Estructuras en vetas de Chungar.** Las vetas son discontinuidades preliminares que han sido rellenas con minerales de Zn, Pb, Ag y Cu. Las vetas que se presentan en Chungar son más de 20; pero los más importantes que han sido proyectados y desarrollados en Chungar son alrededor de 8. La longitud de los desarrollos horizontales en cada una de las estructuras va desde unas pocas centenas de metros en las vetas de menor importancia como la Veta Nor-Este y con 300 metros hasta 1,800 en las Vetas de mayor importancia como: La Veta Principal y Precaución, en general estos depósitos son parcialmente conocidos desde superficie hasta profundidad de 500 metros en Chungar (Nivel 150). La potencia de las Vetas varía desde 0.80m hasta 20m. La Veta Principal en el nivel 200 tiene una potencia hasta de 8.0m, la veta 085 tiene una potencia hasta de 15m,

la veta Lorena potencia hasta 12m. Las Vetas Este-Oeste tienen buzamientos entre 75° a 90°.

**3.1.3.2 Alteración hidrotermal.** El primer ciclo de mineralización está asociada a una alteración zoneada de las rocas: Alteración sílico-potásico muy cerca de las Vetas y una alteración propolítica en la periferia. El segundo ciclo de mineralización está asociado a una alteración argílica y silicificación con epidotización. El tercer ciclo de mineralización está asociada a una alteración argílica avanzada a persuasiva.

### **3.1.3.3 Controles de mineralización.**

#### **Control estructural.**

El principal control de mineralización es el Estructural, de mayor importancia dentro del yacimiento minero, cuyas fallas geológicas tensionales Este-Oeste sirvieron de ductos favorables para la precipitación de minerales y sus posteriores reaperturas dieron origen a nuevas estructuras tanto al piso y techo de la Veta Principal.

#### **Control litológico.**

El otro control de mineralización es la litología, especialmente las siguientes unidades: En el conglomerado Bernabé y San Pedro se forman cuerpos de reemplazamientos al interceptarse con las Vetas de orientación Este-Oeste y relleno de fracturas Norte-Sur.

#### **Control de alteración**

Existe una alteración gradacional en el contacto con las vetas o estructuras mineralizadas de Chungar, mayormente argílica tanto al piso y techo de las Vetas, con mayor amplitud hacia el piso, razón por la cual las exploraciones futuras deben encaminarse hacia esa dirección. Las Vetas que tienen buzamiento contrario a la Veta Principal presentan la misma alteración argílica a propolítica.

### **3.1.4 Descripción geomecánica**

El macizo rocoso está compuesto por rocas sedimentarias muy incompetentes que aunado al agua subterránea que circulan por los poros y fisuras, estas son muy difíciles de controlar ante el desprendimiento o caída de rocas. Con labores de explotación (tajos) de

hasta 20m de ancho, 5.5m de alto y 150m de largo, asegurar la estabilidad de las labores tiene alta prioridad.

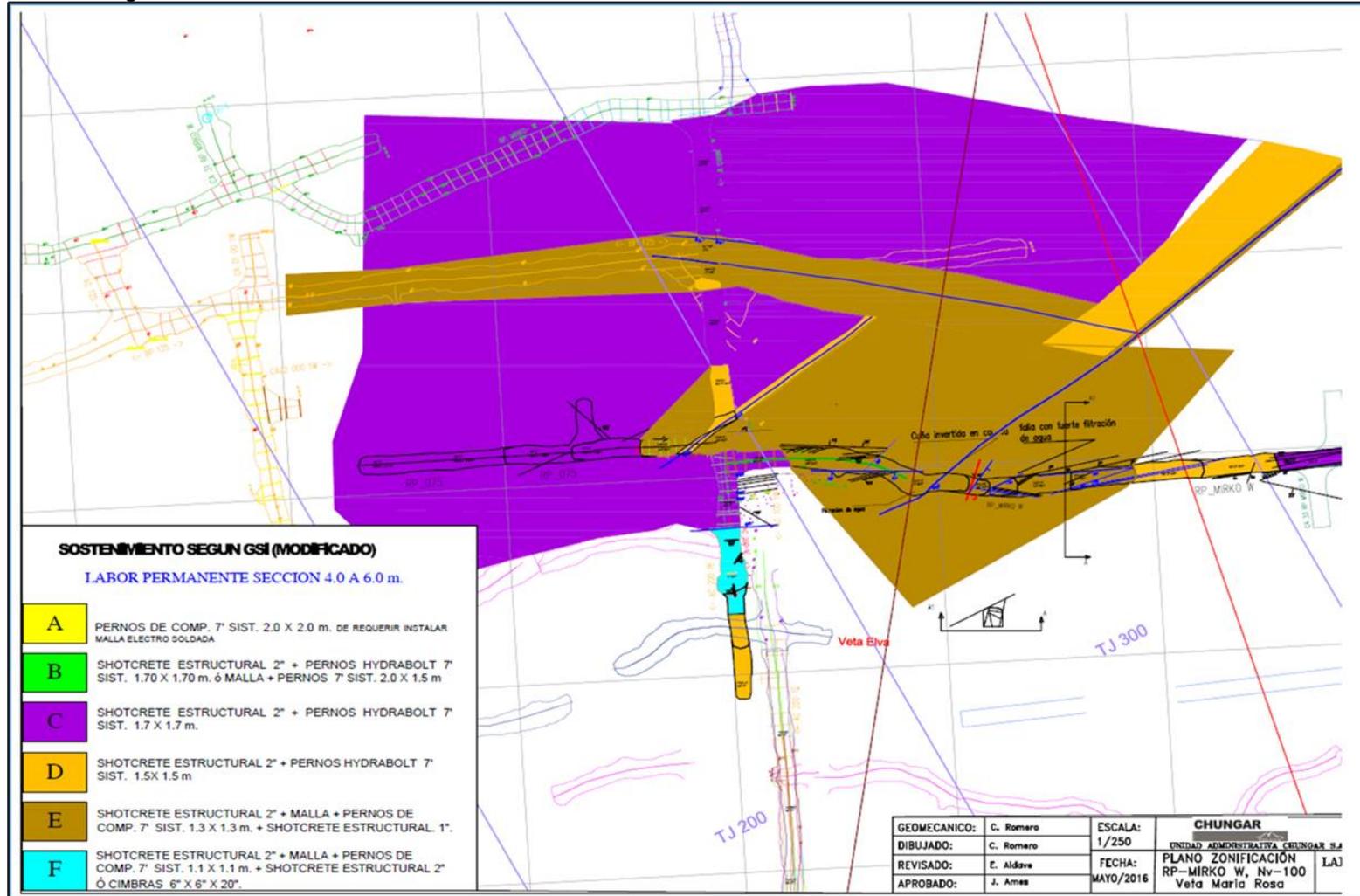
**3.1.4.1 Aspectos geomecánicos de Chungar.** “En Chungar la roca es muy incompetente”, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de muy mala calidad, donde hacen que nuestra principal preocupación sea el riesgo de caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud.

El espaciado de las juntas es entre 0.05 a 0.30m, las familias de discontinuidades son de 5, la resistencia es menor a 15MPa en las cajas y menor de 60 MPa en el mineral, la alteración es intensa en las cajas y moderado en el mineral, el relleno de fisuras es por arcillas y limpia, las aguas subterráneas son por goteo en las cajas y flujos en la estructura mineralizada.

**3.1.4.2 Aplicaciones de la geomecánica.** La principal aplicación es en la minería y obras de Ingeniería subterránea; para el cual, se requiere de la utilización de los principios, metodologías de la mecánica de rocas, para un adecuado diseño y ejecución de obras o proyectos desde: la investigación preliminar, análisis, diseño, planeamiento, control y ejecución en los trabajos de exploración, desarrollos y métodos de explotación minera; Además, de la selección de equipos, maquinarias, explosivos y otros.

**Figura 25**

*Plano de zonificación geomecánica*



Fuente: Cía. Minera Chungar

**3.1.4.3 Criterios de evaluación geomecánica de Chungar.** Para la evaluación del yacimiento consideramos los siguientes principios y metodologías:

- Evaluación considerando las propiedades Físico Mecánicas de las Rocas.
- Evaluación considerando las propiedades Geológico Ingenieriles.
- Calificación de los macizos rocosos mediante la aplicación de los sistemas de Clasificación Geomecánica.
- Determinación del diseño y tipo de Sostenimiento

### **3.1.5 Métodos de minado**

Se eligió el método de minado usando el análisis numérico de Nicholas, que considera la geometría y distribución de leyes del yacimiento, así como las características geomecánicas de las cajas y del mineral.

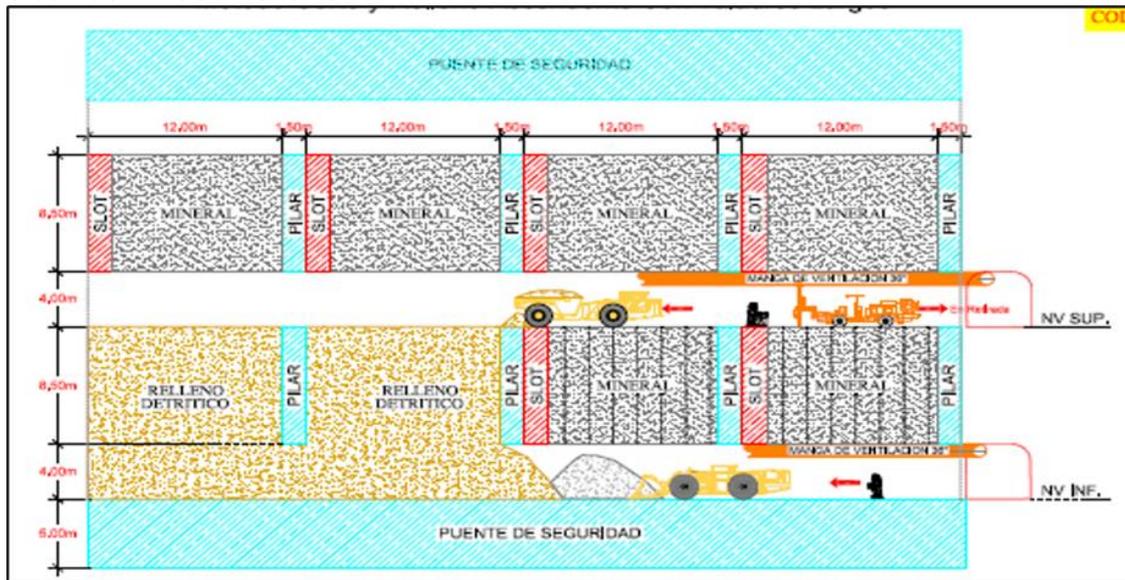
El Corte y Relleno Ascendente, con la adición de la perforación con taladros largos mediante subniveles, dan origen a la variante “Bench and Fill” (AVOCA), el cual tiene mantiene la esencia del método porque se usa un relleno detrítico continuo con la finalidad de estabilizar el área abierta.

**3.1.5.1 Bench and Fill (AVOCA).** “Bench and Fill” es la combinación de los métodos corte y relleno ascendente con tajeos por subniveles, el cual tiene gran aplicabilidad a vetas o cuerpos que se encuentran entre cajas inestables, que no se pueden trabajar por el método de tajeos por subniveles. La característica de este híbrido es el control de la estabilidad de la baja calidad de roca en las cajas mediante el uso oportuno del relleno detrítico

Este método consiste en arrancar el mineral a partir de subniveles de perforación mediante disparos efectuados en planos verticales usando taladros largos, realizando un relleno continuo en función al avance de la explotación, manteniendo un spam constante del pie del talud hacia la cara libre, con la finalidad de controlar la estabilidad del tajo en toda su longitud.

**Figura 26**

*Método de minado Bench and Fill*



Fuente: Cía. Minera Chungar

### **3.1.5.2 Diseño de la mina.**

#### **Labores de desarrollo.**

Se desarrolla la mina mediante una rampa negativa de 4.5 m x 4.5 m de sección, a lo largo de la mineralización en forma paralela distanciados a 40 m en promedio con respecto a la veta, con el objetivo de acceder a los niveles inferiores según sea el caso con una gradiente de -13%. A partir de la rampa y con la finalidad de interceptar la veta según se alcance las cotas de los niveles principales o intermedios, se realiza una labor tipo crucero de 4.0 m x 4.0 m con una gradiente de 1% y una longitud promedio de 40 m, del cual en el nivel base se desprenden los By Pass de 4.0 m x 4.0 m de sección y con una gradiente de 1% paralelos al rumbo de la veta, distanciados a 20 m en promedio.

#### **Labores de preparación.**

Desde los cruceros en cada nivel se ejecutan los subniveles sobre veta a todo el ancho de la estructura con 1% de gradiente. En el caso de los By Pass se ejecutan a 4.0 m x 4.0 m de sección y 1% de gradiente, conformando los bloques de explotación independientes. En las labores de acceso se realizan desquinches de puntos de carguío para la combinación volquetes – scoop, con una cámara de acumulación de 15 m de longitud y de sección 3.5 x 4.0 m. Asimismo, entre accesos se realizan los refugios de

personal de sección 2.0 x 2.0 m y 2 m de longitud, los refugios de tableros de sección 2.0 x 2.0 m y 2 m de longitud.

**3.1.5.3 Otros métodos de explotación ejecutados.** En función a los parámetros geomecánicos obtenidos, se han evaluado otros métodos de explotación adicionales a la que se recomienda, que pueden ser utilizados en algunos tramos de la estructura mineralizada o en las estructuras pequeñas; porque, presentan ciertos inconvenientes:

**Corte y relleno ascendente con perforación horizontal (Breasting).**

El Corte y Relleno ascendente (C&RA), se caracteriza en hacer rebanadas horizontales en toda la longitud del tajo, con alturas de corte de 4 m en un ambiente de trabajo mecanizado integralmente. Lo relevante de la aplicación de este método es la perforación horizontal (Breasting) en función a la calidad de roca de las cajas y vetas, es decir, que después de realizar la perforación previa a la etapa de disparo se realiza un relleno hidráulico y detrítico para bajar la altura, dejando una luz de 0.5 m que servirá como cara libre para el disparo de los siguientes cortes horizontales en avanzada. Es lento en función al ciclo de los tajos, ya que debe completarse el minado de toda un ala, mientras la otra espera.

**3.1.6 Operaciones mina**

**3.1.6.1 Selección de equipos.**

**Mecanización de las operaciones unitarias.**

El esquema de minado AVOCA, es propio de un sistema trackless con operaciones unitarias totalmente mecanizadas, que resulta en una mayor productividad al optimizar la cantidad de tareas usadas por tonelada explotada o preparada.

En la perforación se utilizan equipos Atlas Copco; Jumbos de un brazo Boomer 282 para frentes de avance lineal, y el Jumbo Simba H 1257 para la perforación de Taladros Largos en los tajos de producción, con un alcance de 30 metros de longitud de perforación en direcciones de 360°.

En la limpieza y carguío, se utilizan Scooptram de 6 yd<sup>3</sup> de la marca Caterpillar, instalados con el Kit del sistema telemando (control remoto).

En toda aplicación del sostenimiento de las labores de la mina con pernos helicoidales, Split set e hydrabolt de 7 pies o la combinación con malla electrosoldada, se utiliza el Jumbo Empernador, que tiene incorporado el sistema de bombeo para inflar los pernos presentados.

Para el mantenimiento de las vías principales de acceso a la mina hasta los niveles de profundización, se utilizan por campañas una motoniveladora o tractor D6, según el tipo de trabajo a realizar.

El transporte de mineral se realiza directamente del tajo a la plataforma de superficie o a las canchas de la planta concentradora Animón, para lo cual se trabajan con una flota de volquetes Volvo de 4 ejes, que tienen una capacidad de tolva de 20 m<sup>3</sup> y esta es trasladado hasta los piques de extracción.

#### **Equipos y maquinaria.**

El cálculo de la flota requerida para los trabajos mineros que dan sostenibilidad a la producción de 4,100 TPD.

#### **3.1.6.2 Diseño de labores mineras.**

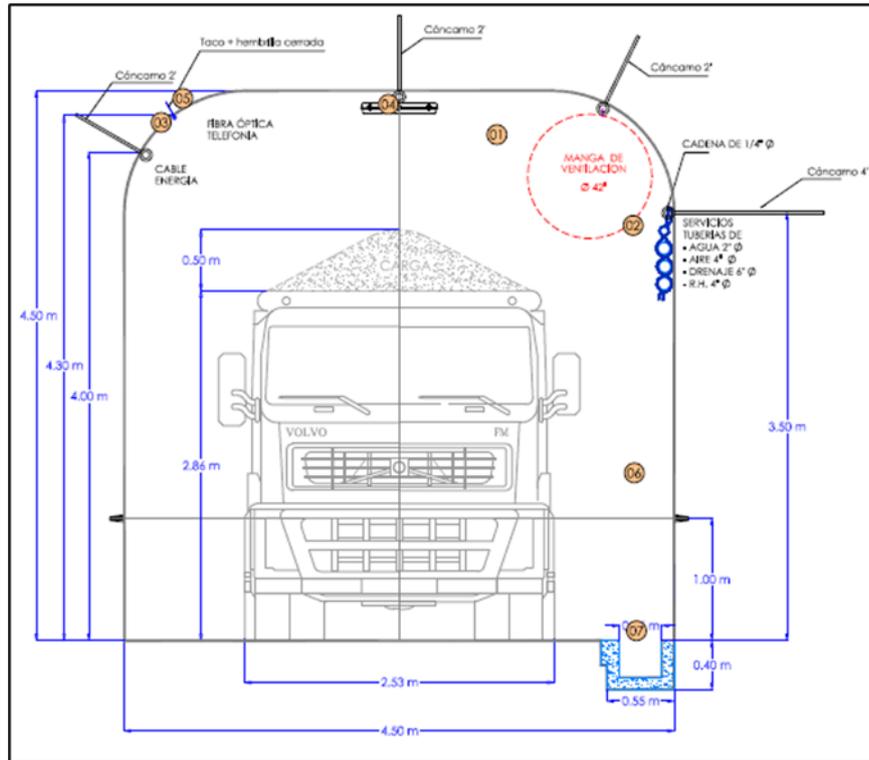
##### **Estándar de labores.**

Con la finalidad de uniformizar los procedimientos en la operación y eliminar criterios personales en la ejecución de las labores, se ha establecido manejar los diseños con estándares gráficos como línea base de medición y control, para los tajos de producción y los frentes de avance lineal.

La sección típica más importante en desmonte es de 4.5 x 4.5 metros por representar el mayor porcentaje de metros programados es de rampas; y en mineral según el ancho de la veta el avance de los subniveles mayormente a una sección de 3.5 x 4.0 metros.

**Figura 27**

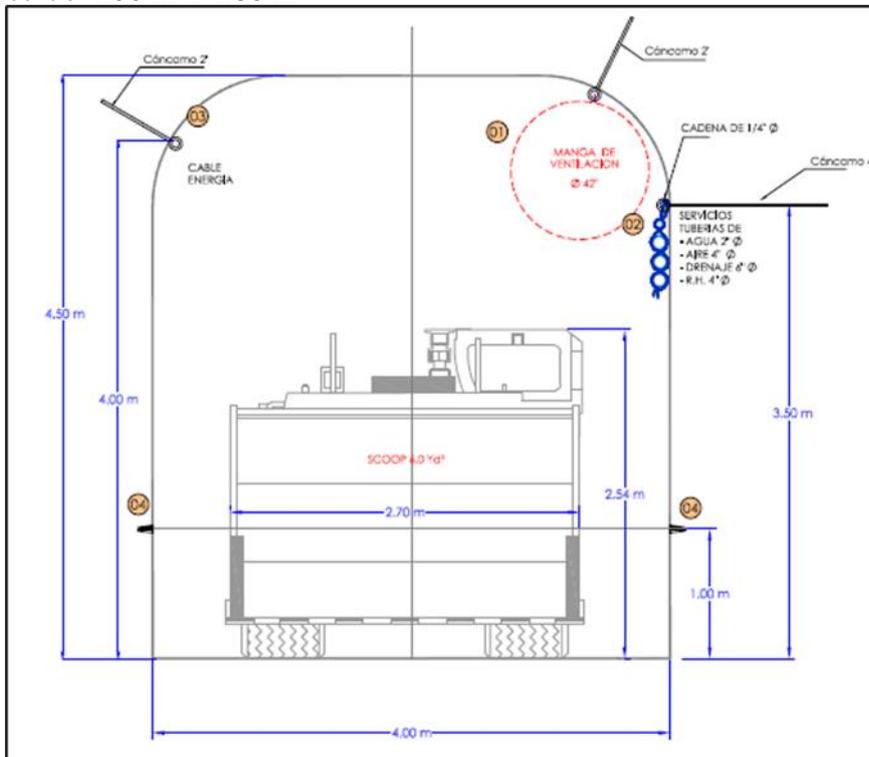
Sección típica de 4.50 m x 4.50 m



Fuente: Cía. Minera Chungar

**Figura 28**

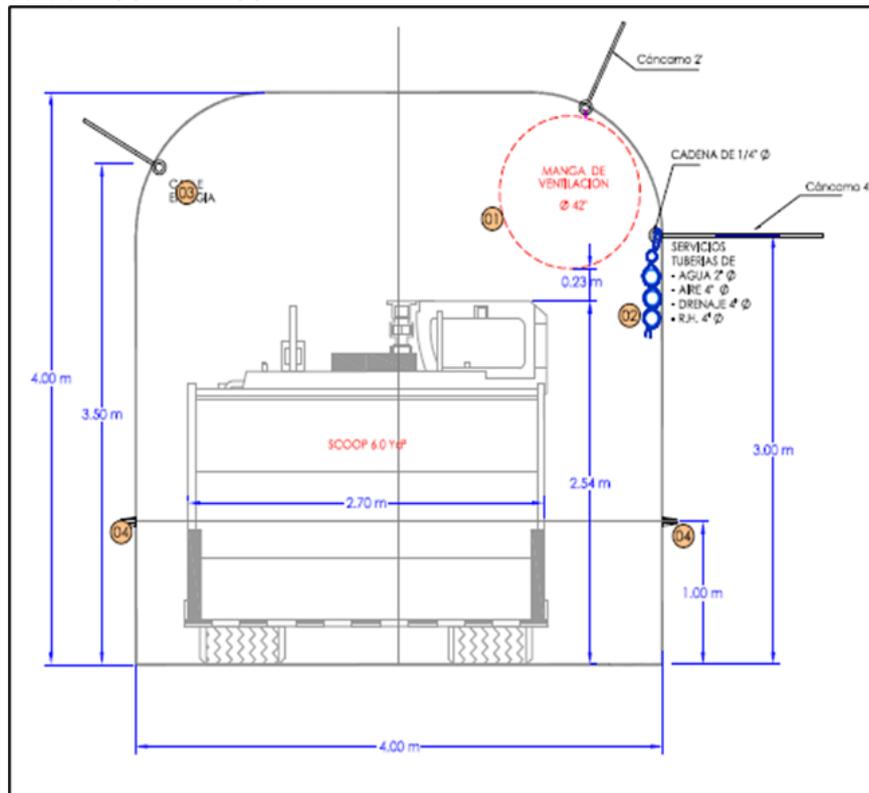
Sección típica de 4.00 m x 4.50 m



Fuente: Cía. Minera Chungar

**Figura 29**

Sección típica de 4.00 m x 4.00 m



Fuente: Cía. Minera Chungar

### **Estándar de servicios mina.**

Las secciones típicas de los caminos de escape, desquinches para instalación de ventiladores con silenciadores, complejo del sistema estacionario de bombeo, distribución de subestaciones eléctricas, detalles de los refugios para personal y tableros eléctricos.

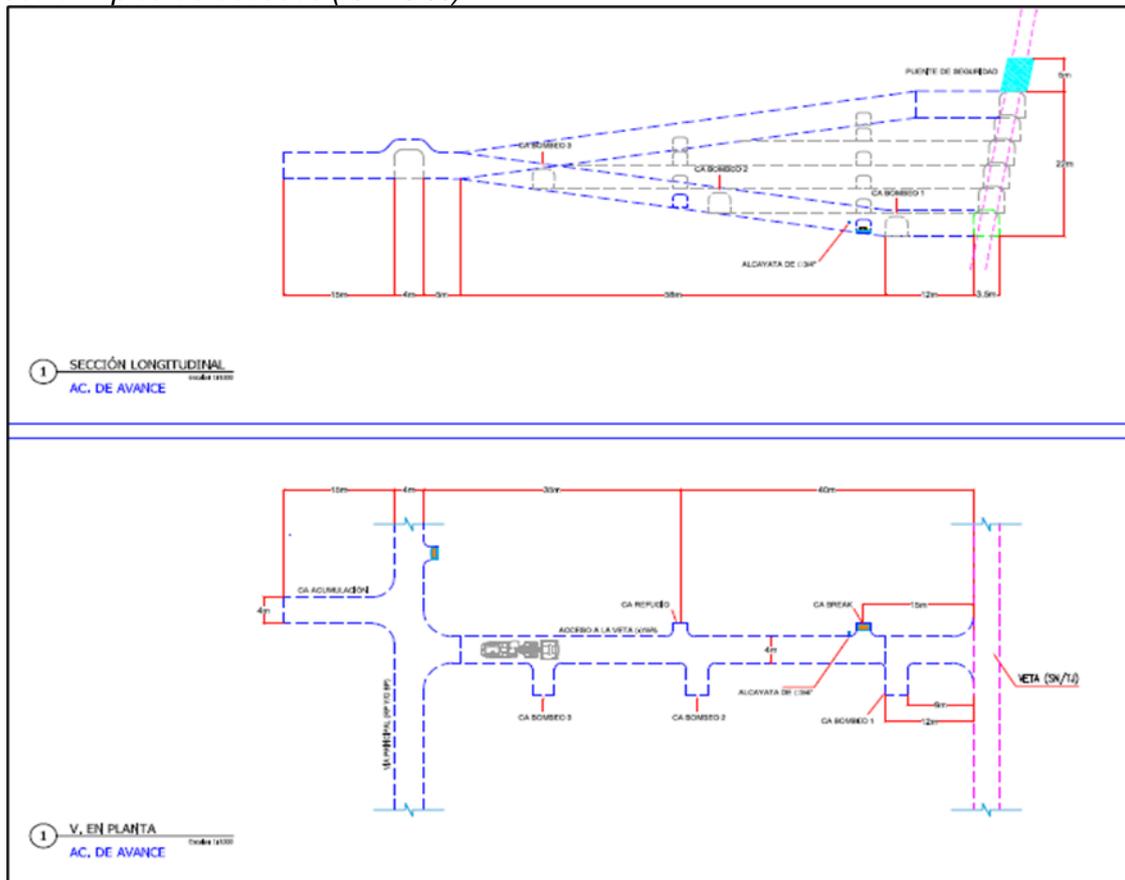
**3.1.6.3 Ciclo de minado en tajos.** La optimización de los recursos humanos y el mejor aprovechamiento del uso de los equipos se obtienen si no hay interrupciones significativas en cada una de las etapas del minado desde la Perforación, Voladura, Limpieza-Extracción y Relleno.

Para lograr este objetivo es importante implementar los controles operativos de la explotación por Taladros Largos, obteniendo de la data procesada y analizada, las oportunidades de mejora.

Los principales controles en Taladros Largos son: desviación, dilución, fragmentación, recuperación, factor de potencia y voladura secundaria.

**Figura 30**

Sección típica de accesos (+/- 15 %)



Fuente: Cía. Minera Chungar

### Perforación.

La perforación es la base del ciclo de minado ya que con una mala perforación el resto del ciclo de minado será también defectuoso.

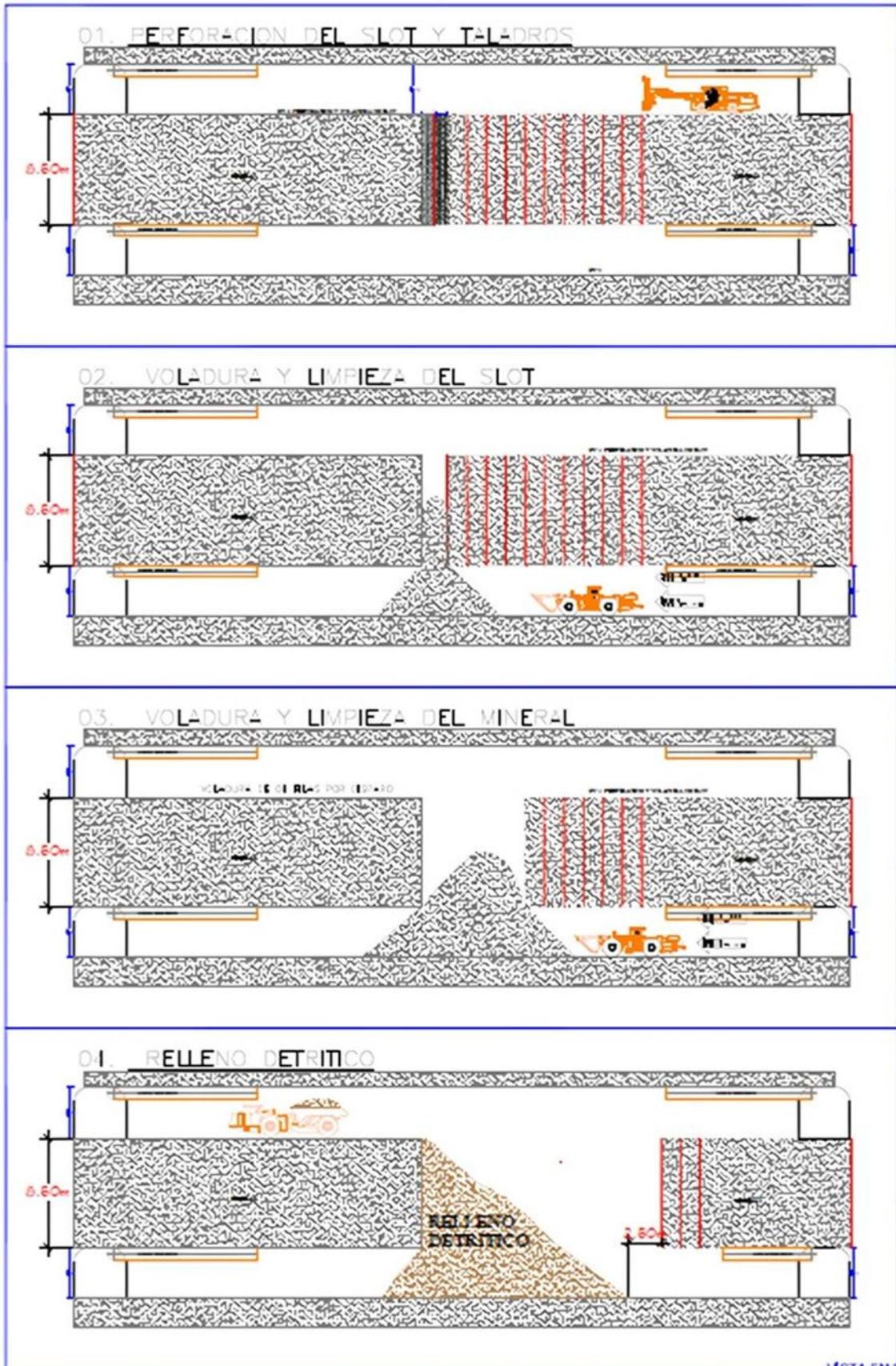
### Voladura.

Para un buen control de la voladura, se necesita cuantificar y controlar algunas variables, permitiendo esto obtener una buena fragmentación.

- Variables no controlables:
  - Características geomecánicas del macizo rocoso.
  - Geología Local, Regional y estructural.
  - Hidrología y condiciones climatológicos.
- Variables controlables:
  - Geométricas, (Burden, Espaciamiento, diámetro, longitud de taladros.)

**Figura 31**

Ciclo de minado Taladros Largos negativos



Fuente: Cía. Minera Chungar

- Físico-Químicas (Densidad, velocidad de detonación, volumen de la MEC)
- De tiempo (Retardo y Secuencia)
- Operativos (experiencia del personal, fragmentación requerida)

#### **Limpieza, acarreo y transporte de mineral.**

La limpieza del mineral roto se realiza mediante scooptram de 6.0 Yd3 provistos de control remoto hacia cámaras de acumulación o carguío directo, para desde aquí transportarlo mediante volquetes de 25 TM.

El operador no tiene inconvenientes para operar el scoop con el telemando hasta una distancia de 30 metros.

#### **Relleno detrítico e hidráulico.**

Cuando se alcance con la limpieza del mineral roto el máximo spam permitido en los tajos de taladros largos, se procede inmediatamente al proceso de relleno con desmonte con ayuda de equipos de bajo perfil (Scoop y Dumper), y donde la altura de la labor lo permita, se usará volquetes con descarga directa, para lo cual debe haber una berma de seguridad para evitar que ceda el volquete en la plataforma de descarga.

#### **3.1.6.4 Ciclo de minado en avance lineal.**

##### **Perforación.**

La perforación se realiza con jumbo electrohidráulico Boomer 281 de Atlas Copco, de un brazo, en los frentes de 4.5 x 4.5 metros y 4.0 x 4.0 metros, con un avance promedio de 2.9 metros por disparo.

##### **Voladura.**

La voladura que se realiza utilizando como explosivos, emulsiones encartuchadas EMULEX 80 1 1/2"x12" y 1 1/4"x12", EMULEX 65 1 1/4"x12", con accesorios de voladura no eléctricos. El carguío de los taladros se realiza en forma manual.

##### **Carguío.**

La limpieza y el carguío se realizan con equipo de bajo perfil Scooptram Diesel de 6.0 Yd3, hacia y desde las cámaras de acumulación a los volquetes de 25 toneladas.

### **Transporte.**

Se realizará con la flota de volquetes de 25 toneladas, disponibles para el tamaño de la producción. La actividad de extracción de los materiales resultantes de la voladura de frentes, se dispondrán como relleno de los tajos si son desmonte, movilizándose a los piques de extracción de mineral y desmonte.

### **Ventilación.**

La ventilación se realiza de forma mecanizada con ayuda de ventiladores secundarios, en circuito directo a la troncal de ventilación. Para cada labor se alimentará aire por mangas hasta el tope del frente que se disparó.

### **Sostenimiento.**

Por ser en su mayoría los avances lineales labores permanentes, se debe realizar en su ejecución el correcto sostenimiento que garantice la estabilidad de la labor en el tiempo que dure la vida de la mina.

Para completar el ciclo de minado con el sostenimiento de las labores de avance (permanente y temporal), se manejan los tiempos de autoaporte y el diseño de los sostenimientos basados en la “tabla geomecánica y diseño de sostenimiento”. El sostenimiento principal es Shotcrete con perno.

### **Relleno.**

Las labores de avance solo se rellenarán si se entregan como labores para cierre, siguiendo las normas vigentes establecidas para tal caso. Asimismo, se rellenarán completamente los subniveles que han sido explotados. El relleno a usarse es detrítico producto de los desarrollos en estéril, y en los Breasting se utiliza relleno hidráulico.

### **Drenaje.**

Se está implementando el sistema de bombeo dos etapas para cubrir la demanda de bombeo de agua que presenta la zona de profundización. En las labores horizontales, por gradiente mínima se coleccionarán hacia los accesos, para ser derivadas al sistema de drenaje de la rampa. En las labores negativas, se utilizará una bomba de achique para el agua de perforación hacia el circuito principal de drenaje de la Rampa Islay.

### 3.2 Plan de implementación de barras de perforación de 16 pies

#### 3.2.1 Labor piloto XC\_617

Como parte del plan de implementación del uso de barras de 16 pies en la operación se realizaron tres disparos en la labor XC\_617. Donde se consideraron los siguientes supuestos para la determinación de indicadores. Que corresponden al récord de años anteriores.

- Eficiencia de perforación: 97 %.
- Eficiencia de voladura: 95 %
- Sobre-rotura objetivo: 5 %
- Longitud de barra 16 pies.
  - Longitud de barra útil 15 pies.
- Longitud de perforación efectiva: 15 pies x 97 % = 14.55 pies = 4.43 metros
- Avance esperado: 4.43 metros x 95 % = 4.21 metros.

##### 3.2.1.1 Resultados de disparo N° 1:

**Tabla 5**

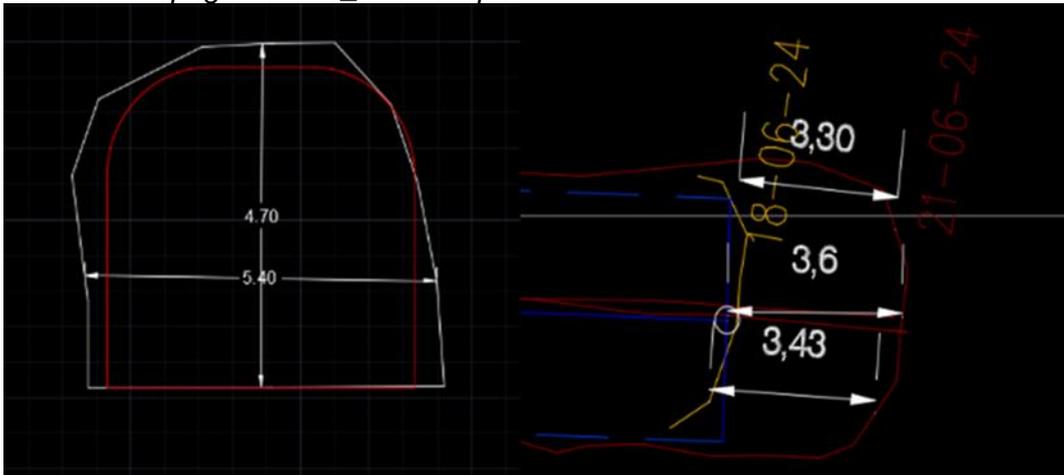
*Resultados XC\_617 – disparo 1*

Sección de diseño y avance proyectado			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
4.50	4.50	4.21	m
Levantamiento topográfico			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
5.40	4.70	3.60	m
Eficiencia de voladura obtenida	81 %	Variación	-14 %
Avance obtenido	85 %	Variación	-15 %
Sobre-rotura	25 %	Variación	-20 %

Fuente: Elaboración propia

**Figura 32**

*Levantamiento topográfico XC\_617 – disparo 1*



Fuente: Cía. Minera Chungar

**3.2.1.2 Resultados de disparo N° 2:**

**Tabla 6**

*Resultados XC\_617 – disparo 2*

Sección de diseño y avance proyectado			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
4.50	4.50	4.21	M
Levantamiento topográfico			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
4.40	4.60	3.30	M
Eficiencia de voladura obtenida	74 %	Variación	-21 %
Avance obtenido	78 %	Variación	-22 %
Sobre-rotura	0 %	Variación	0 %

Fuente: Elaboración propia

**Figura 33**

*Levantamiento topográfico XC\_617 – disparo 2*



Fuente: Cía. Minera Chungar

### 3.2.1.3 Resultados de disparo N° 3:

**Tabla 7**

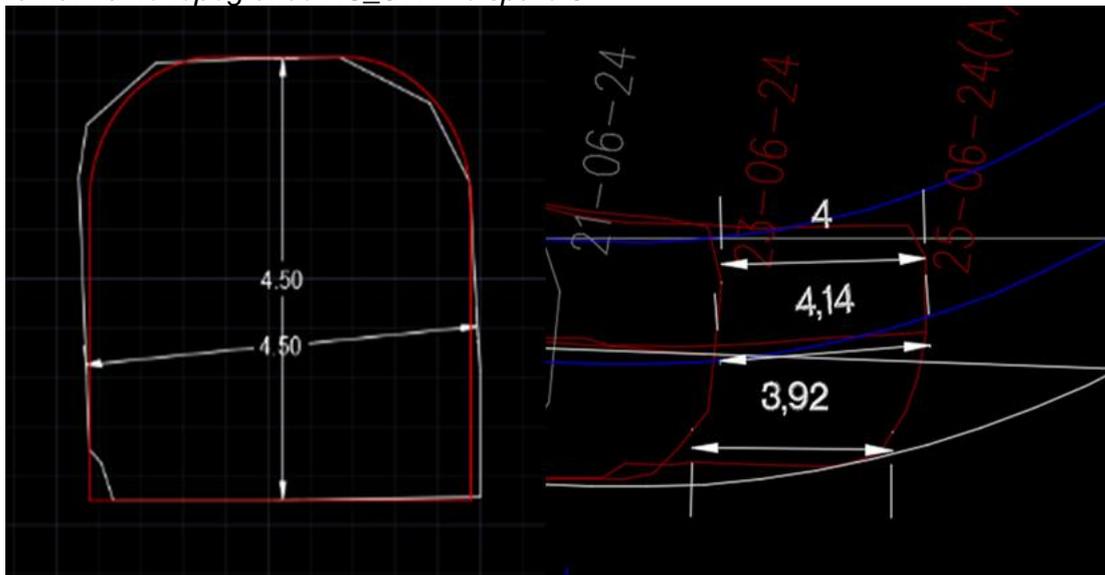
*Resultados XC\_617 – disparo 3*

Sección de diseño y avance proyectado			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
4.50	4.50	4.21	M
Levantamiento topográfico			
Ancho	Alto	Avance	Unidad
4.50	4.50	4.00	m
Eficiencia de voladura obtenida	90 %	Variación	-5 %
Avance obtenido	95 %	Variación	-5 %
Sobre-rotura	0 %	Variación	0 %

Fuente: Elaboración propia

**Figura 34**

*Levantamiento topográfico XC\_617 – disparo 3*



Fuente: Cía. Minera Chungar

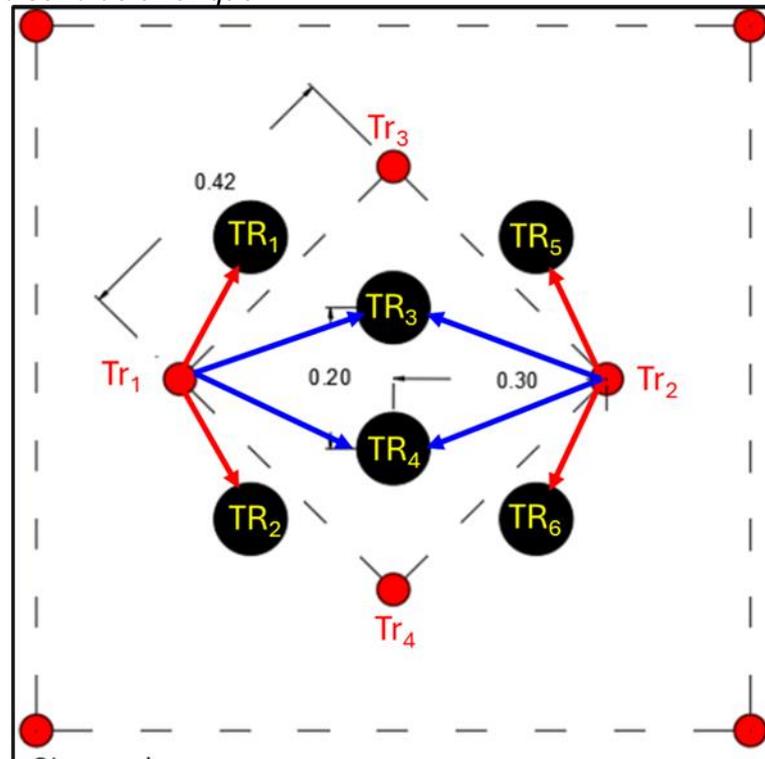
Conclusiones:

- Se realizó 3 disparos de 16 pies con promedio, 3.60 m/disparo
- Se tiene sobre rotura solo en el primer diaspro de 25 %, y los dos disparos restantes no tiene sobre rotura.
- Se continuará el seguimiento de la labor en la distribución de retardos en el arranque y las mejoras en el taladro de rimado.

Debido a que los resultados no fueron los esperados, se realizó un análisis en campo donde se determinó que uno de los factores que afectó el bajo avance obtenido fueron las deficiencias en la perforación del arranque.

**Figura 35**

*Geometría del diseño de arranque*



Fuente: Cía. Minera Chungar

El diseño de arranque propiamente contempla la simetría entre los 6 taladros rimados y los 4 taladros de rotura presentan burden de 0.20m y 0.30m ello conlleva a lograr la efectividad en la rotura.

En la Figura mostrada a continuación se observa variación en los burden: 0.20 m, 0.25 m, 0.26 m, 0.35 m, 0.38 m, 0.40 m seis medidas diferentes, aparentemente la perforación es muy buena, sin embargo, faltó mejorar precisión y simetría.

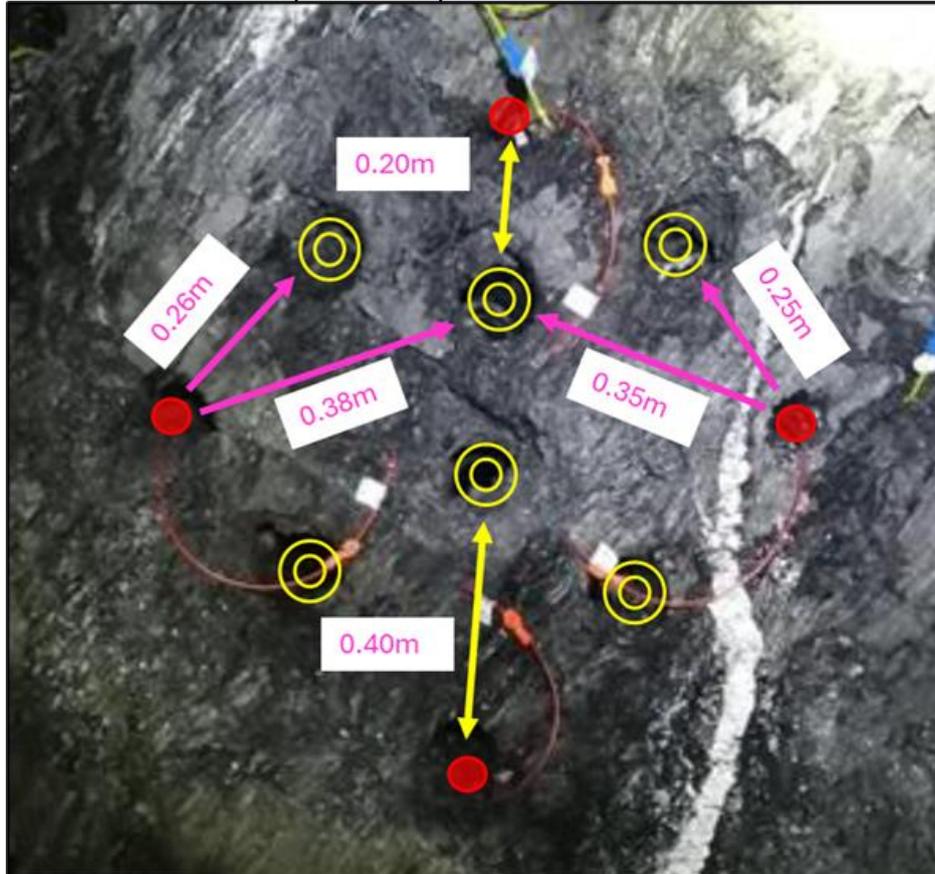
Recomendaciones.

- Mantener el diseño de arranque con 6 rimados lo cual es una ventaja muy significativa para generar mayor cara libre.
- Asegurar la simetría dimensiones del burden 0.20 m entre los 2 taladros de rotura y los 6 taladros rimados.

- Utilizar doble cebo en el arranque y/o cordón detonante en la columna de carga para asegurar continuidad de la detonación
- Utilizar explosivo acorde al diseño estándar.

**Figura 36**

*Geometría del diseño de arranque en campo*



Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2 Oportunidades de mejora.**

Durante esta parte de la investigación se realizó el seguimiento de labores disparadas durante dos semanas, siguiendo las recomendaciones mostradas anteriormente.

Donde se analizó la data de avance obtenido por disparo, para así encontrar oportunidades de mejora.

**Tabla 8**

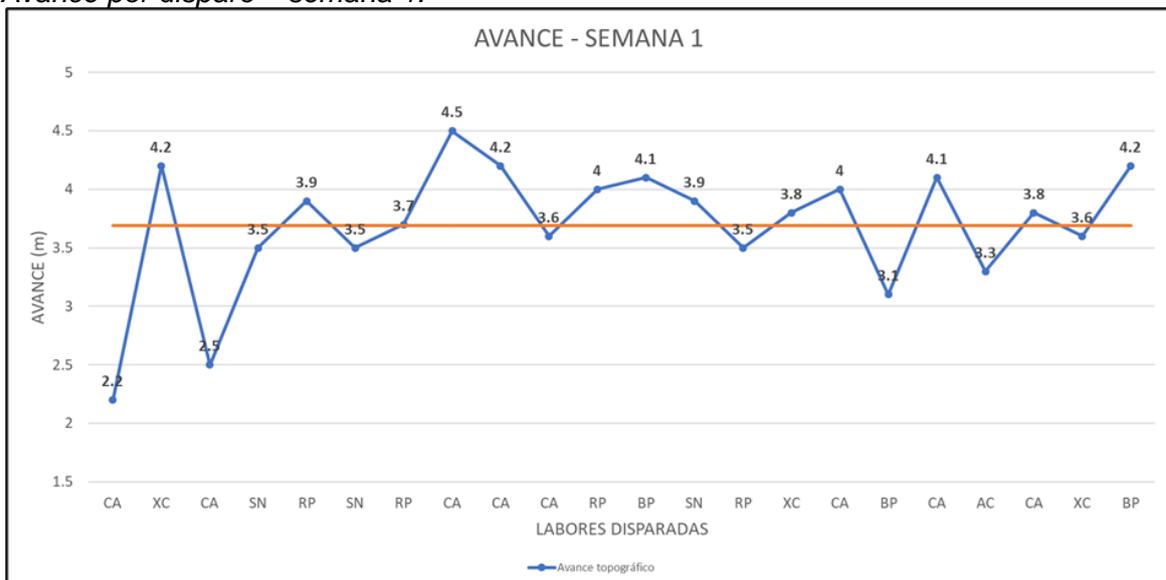
*Labores disparadas durante semana 1*

Tipo de labor	Avance topográfico	Eficiencia de voladura	Eficiencia avance
CA	2.20	49.7	52.3
XC	4.20	94.8	99.8
CA	2.50	56.4	59.4
SN	3.50	79.0	83.1
RP	3.90	88.0	92.6
SN	3.50	79.0	83.1
RP	3.70	83.5	87.9
CA	4.50	101.6	106.9
CA	4.20	94.8	99.8
CA	3.60	81.3	85.5
RP	4.00	90.3	95.0
BP	4.10	92.6	97.4
SN	3.90	88.0	92.6
RP	3.50	79.0	83.1
XC	3.80	85.8	90.3
CA	4.00	90.3	95.0
BP	3.10	70.0	73.6
CA	4.10	92.6	97.4
AC	3.30	74.5	78.4
CA	3.80	85.8	90.3
XC	3.60	81.3	85.5
BP	4.20	94.8	99.8
<b>Promedio</b>	<b>3.69</b>	<b>83.3</b>	<b>87.7</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.55</b>	<b>12.4</b>	<b>13.0</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 37**

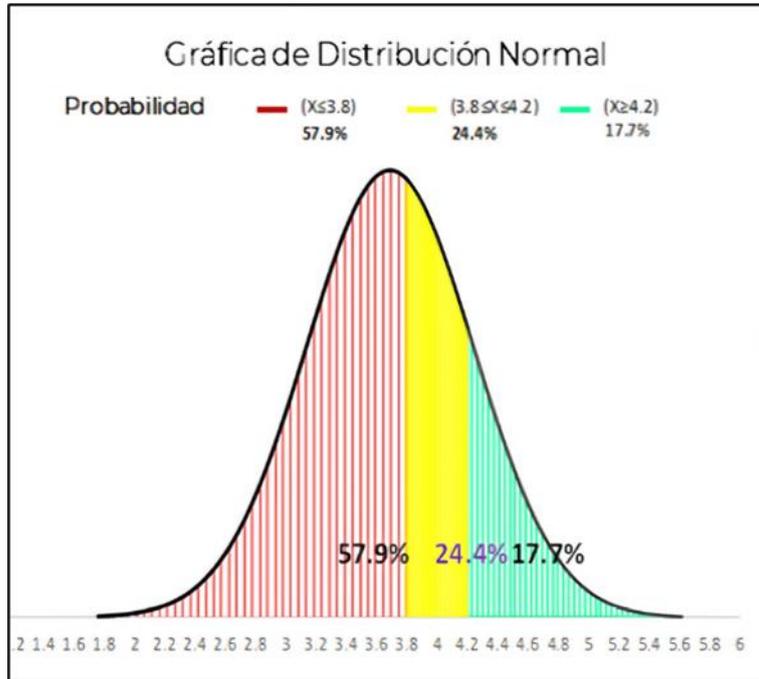
*Avance por disparo – semana 1.*



Fuente: Elaboración propia,

**Figura 38**

*Grafica de distribución normal – semana 1*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9**

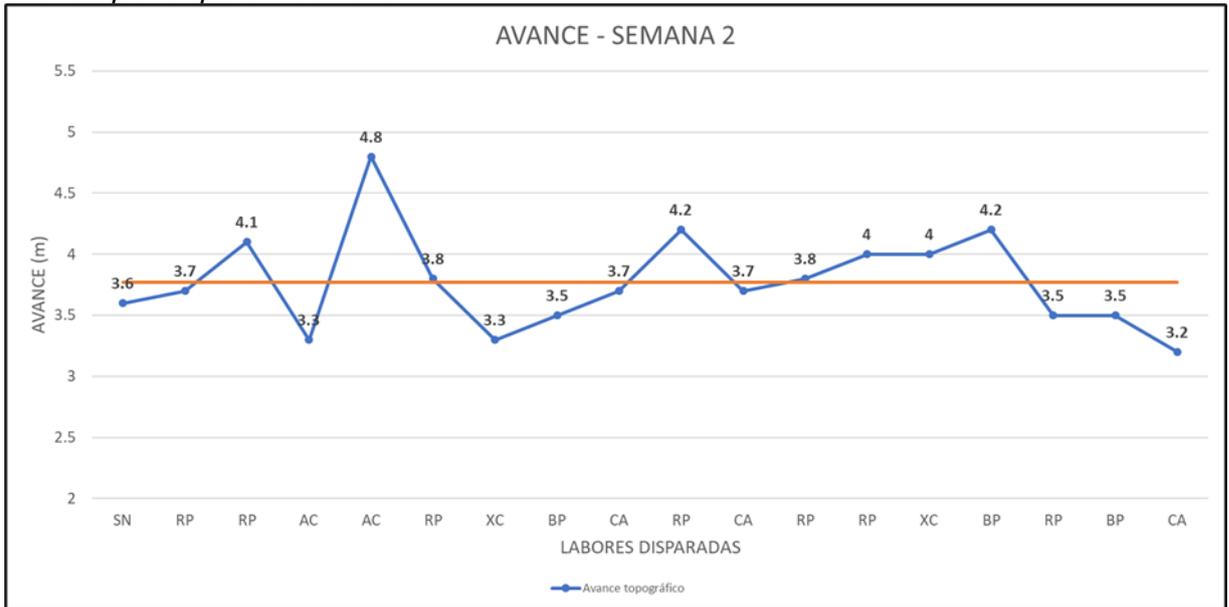
*Labores disparadas durante semana 2*

Tipo de labor	Avance topográfico	Eficiencia de voladura	Eficiencia avance
SN	3.60	81.3	85.5
RP	3.70	83.5	87.9
RP	4.10	92.6	97.4
AC	3.30	74.5	78.4
AC	4.80	108.4	114.0
RP	3.80	85.8	90.3
XC	3.30	74.5	78.4
BP	3.50	79.0	83.1
CA	3.70	83.5	87.9
RP	4.20	94.8	99.8
CA	3.70	83.5	87.9
RP	3.80	85.8	90.3
RP	4.00	90.3	95.0
XC	4.00	90.3	95.0
BP	4.20	94.8	99.8
RP	3.50	79.0	83.1
BP	3.50	79.0	83.1
CA	3.20	72.2	76.0
<b>Promedio</b>	<b>3.77</b>	<b>85.2</b>	<b>89.6</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>0.40</b>	<b>9.0</b>	<b>9.4</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 39**

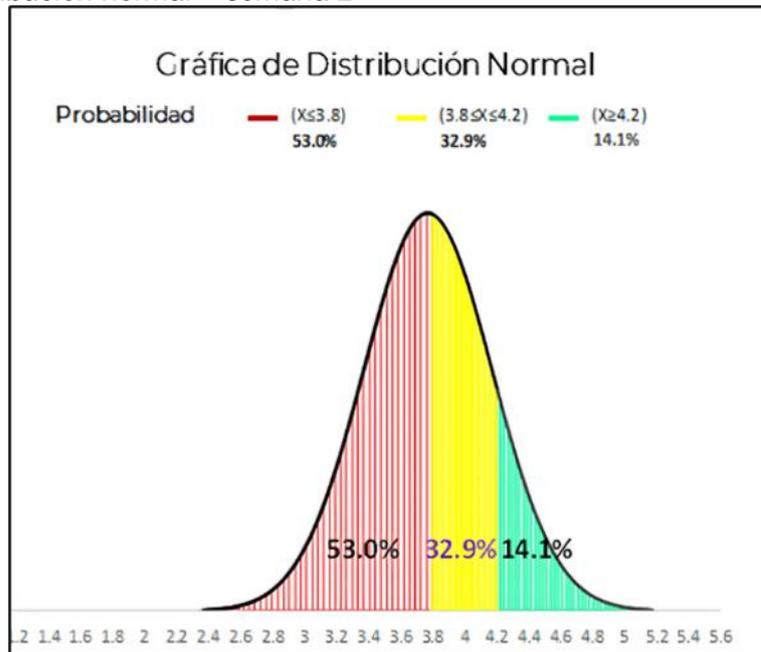
*Avance por disparo – semana 2*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 40**

*Gráfica de distribución normal – semana 2*



Fuente: Elaboración propia

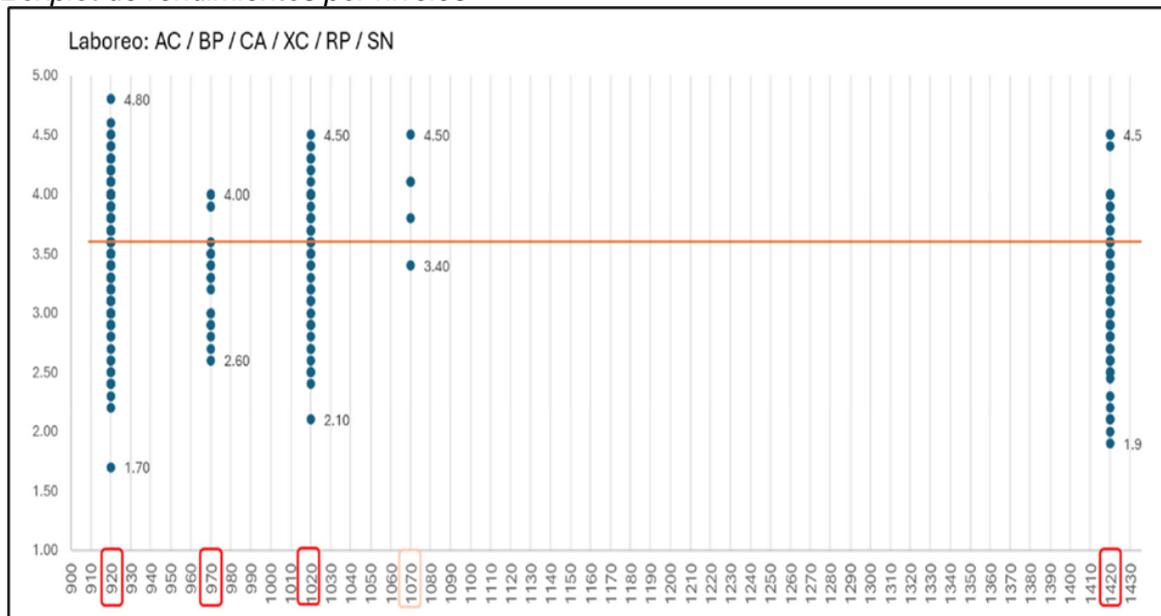
Se observa una mejora en el promedio semana 1 = 3.69 m/disparo, con desviación de 0.55 y semana 2 = 3.77 m/disparo, con desviación de 0.40. También se observa una mejora en la eficiencia de voladura y avance, aumentando en 2.20 % en ambos casos.

A priori hay una mejora con las recomendaciones realizadas de secuencias, doble cebo, mencionadas anteriormente.

Insistentemente el problema se encuentra en el diseño de arranque, lo cual se tiene que mejorar básicamente en la posición de taladros 1 y 2 para asegurar un burden simétrico de 0.20 m entre los 6 taladros rimados; asimismo, en la posición de taladros 3 y 4 incrementar el Burden de 0.20 m a 0.25 m.

**Figura 41**

*Boxplot de rendimientos por niveles*



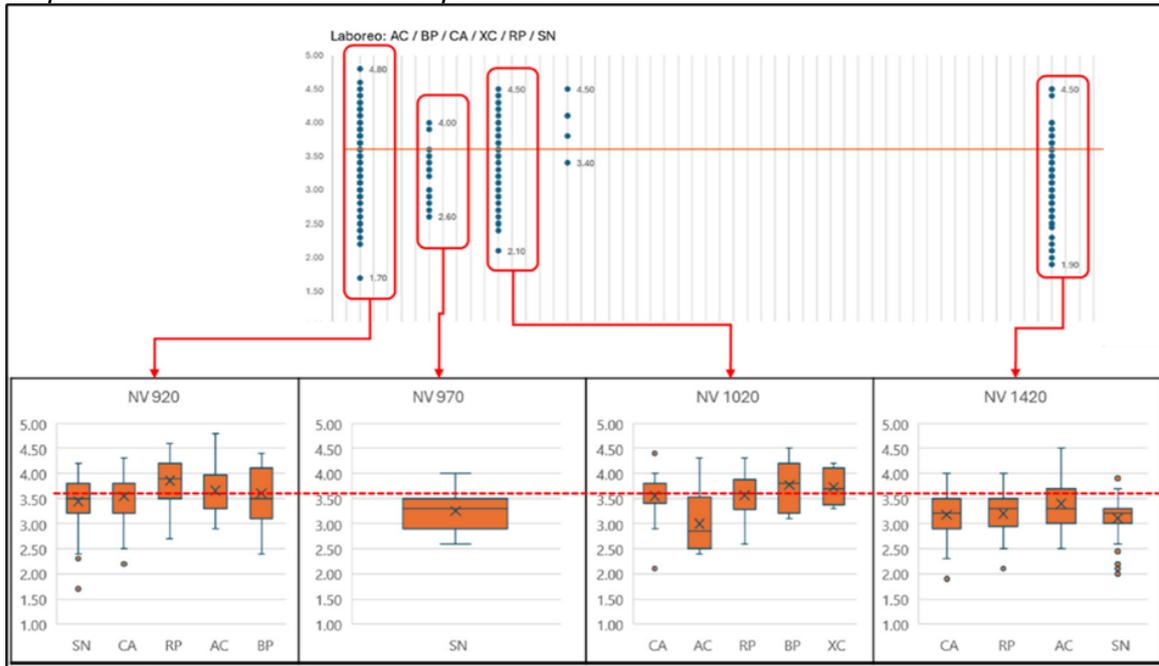
Fuente: Elaboración propia

En esta grafica de Boxplot

- NV 1420 – 1470 prácticamente más del 90% de disparos no supera los 3.60 m/disparo
- NV 1020 se tienen bajos performance en AC y CA
- NV 970 se tienen bajos performance en SN
- NV 920 se tienen bajos performance en SN y CA.

**Figura 42**

*Boxplot a detalle de rendimientos por zonas*



Fuente: Elaboración propia

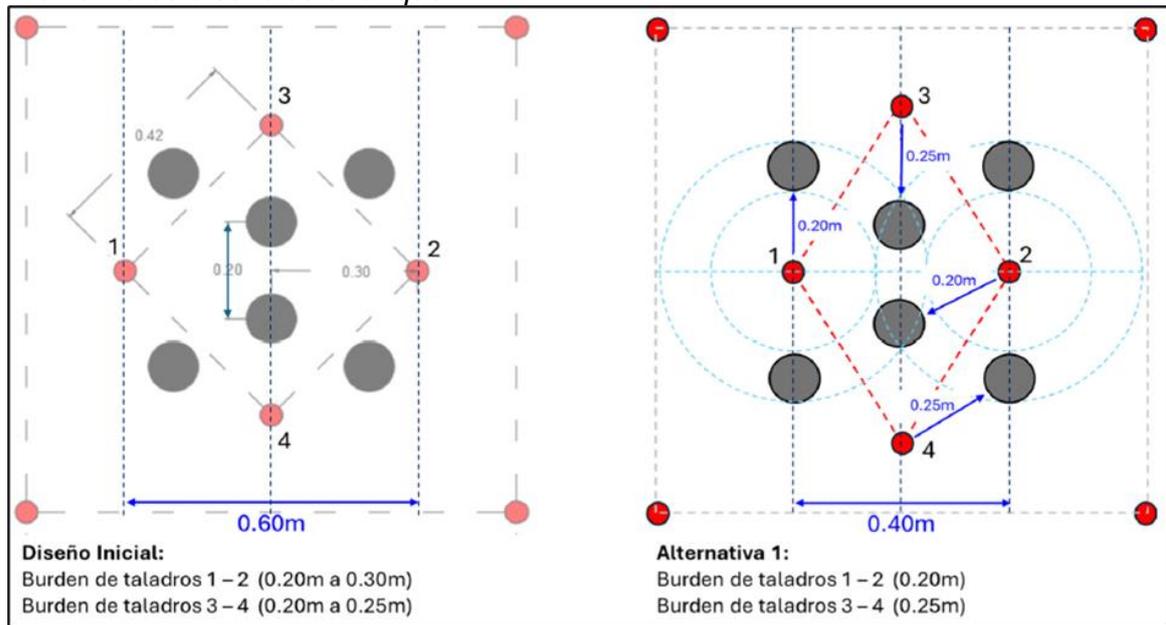
- Se observa alta incidencia de disparos con bajo performance en los niveles 1420 y 1470
- En los niveles 1020, 970 y 920 se tiene alta incidencia de disparos en SN principalmente, AC y CA.
- Debido a la incidencia de laboreo en SN finalmente impacta en el resultado global.

Como conclusión global del seguimiento de disparos de estas dos semanas se obtuvo una reducción del 5 % en la incidencia de resultados de menos de 3.80 m/disparo.

Para poder lograr el objetivo de mejorar la performance del avance por disparo se propone una modificación del diseño de arranque. Se mostrará en la siguiente figura la geometría.

**Figura 43**

*Alternativa de diseño de arranque*



Fuente: Elaboración propia

A partir de este momento se utilizará el diseño de arranque propuesto, y se realizará el seguimiento durante siete meses.

**3.2.3 Fase de seguimiento**

En esta parte se recopilará la data de avance por disparo, para poder calcular la eficiencia de voladura y avance, también la sección levantada por topografía para calcular la sobre-rotura. Y mostrar las mejoras en rendimientos por implementación de barras de perforación de 16 pies en la operación.

### 3.2.3.1 Labores disparas en mayo.

**Tabla 10**

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – mayo*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ-500-V3-4175-I	4.70	3.80	4.00	3.90	4.30
2	TJ-500-V3-4175-D	4.30	3.80	4.00	4.10	4.00
3	TJ-500-V3-4175-D	4.50	3.80	4.00	4.10	4.00
4	TJ-500-V3-4175-I	4.40	3.80	4.00	3.80	4.00
5	TJ-500-V3-4175-D	4.30	3.80	4.00	3.80	4.10
6	TJ-500-V3-4175-I	4.60	3.80	4.00	3.80	4.10
7	TJ-500-V3-4175-D	4.70	3.80	4.00	4.10	4.30
8	TJ-500-V3-4175-D	4.60	3.80	4.00	4.20	4.20
9	TJ-500-V3-4175-I	4.40	3.80	4.00	4.00	4.00
10	TJ-500-V3-4175-D	3.80	3.80	4.00	3.90	4.20
11	TJ-000-4225-CCLA	4.30	7.50	4.50	7.90	4.70
12	TJ-600	4.50	3.50	4.00	3.40	3.90
13	TJ-600	4.30	3.50	4.00	3.60	4.20
14	TJ-600	4.40	3.80	4.00	3.40	4.70
15	TJ-500 L/I	4.40	3.50	4.00	4.40	4.50
16	PV-AC-500-V3-4000	4.40	3.80	4.00	3.90	4.10
17	AC-300-RPG-4100	3.60	3.80	4.00	4.00	4.20
18	PV-AC-500-V3-4000	4.60	3.80	4.00	4.00	4.20
19	PV_AC-500-4125-V3-1	4.90	3.80	4.00	4.10	4.00
20	PV-AC-500-V3-4000	4.50	3.80	4.00	4.00	4.30
21	PV_AC-500-4125-V3-1	4.70	3.80	4.00	4.00	4.10
22	PV_AC-500-4125-V3-1	4.90	3.80	4.00	4.10	4.10
23	CA 3900-3	4.50	5.50	5.20	5.00	5.50
24	ACC 400 PIVOT	4.70	3.80	4.00	4.00	4.50
25	CA 3900-3	4.10	5.50	5.20	5.23	4.97
26	ACC - 500 PIVOT	5.07	3.80	4.00	4.27	4.34
27	ACC - 500 PIVOT	5.44	3.80	4.00	4.77	4.33
28	CA 4175	4.50	5.50	5.20	5.95	5.55
29	RP 3925	3.10	4.00	4.50	4.30	4.50
30	CA 175	4.50	5.50	5.20	5.20	5.30
31	ACC 500 PIVOT	4.30	3.80	4.00	3.50	4.40
	<b>PROMEDIO</b>	4.45				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.2 Labores disparas en junio

Tabla 11

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – junio*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ-600-D-4325-RPO	4.50	3.80	4.00	4.20	4.60
2	TJ-600-D-4325-RPO	5.00	3.80	4.00	4.00	4.60
3	TJ-600-D-4325-RPO	4.40	3.80	4.00	3.70	4.50
4	TJ-600-D-4325-RPO	4.60	3.80	4.00	4.10	4.10
5	TJ-500-4275-ANDL-120	4.10	3.80	4.00	3.70	4.00
6	TJ-500-4375-MIL	3.90	3.80	4.00	4.40	4.10
7	TJ-500-4375-MIL	4.00	3.80	4.00	4.30	4.15
8	TJ-500 L/D	4.20	3.50	4.00	3.80	4.00
9	TJ-000-4225-CCLA I	4.30	6.00	4.50	5.80	4.80
10	TJ-000-4225-CCLA D	4.30	5.00	4.50	4.80	4.70
11	TJ-000-4225-CCLA D	3.90	5.00	4.50	4.70	4.10
12	TJ-000-4225-CCLA D	4.30	4.00	4.00	4.20	4.20
13	TJ-000-4225-CCLA D	4.20	4.00	4.00	4.20	4.20
14	TJ-000-4225-CCLA D	4.30	4.00	4.00	4.10	4.20
15	TJ-000-4225-CCLA D	4.10	4.00	4.00	4.10	4.00
16	TJ-000-4225-CCLA D	4.20	3.80	4.00	3.70	4.00
17	TJ-400-4175-V3-1	4.60	3.80	4.00	4.00	3.80
18	TJ-000-4225-CCLA D	4.60	3.80	4.00	4.10	3.90
19	TJ-000-4225-CCLA D	3.90	3.80	4.00	4.20	4.10
20	TJ-800-4225-SWCA I	4.50	4.00	4.00	4.20	4.20
21	TJ-000-4225-CCLA D	4.00	3.80	4.00	4.00	4.10
22	TJ-000-4225-CCLA D	4.30	3.80	4.00	4.00	4.00
23	TJ-100-4225-NANC I	4.50	3.80	4.00	4.30	4.30
24	TJ-100-4225-NANC I	4.00	3.80	4.00	4.20	4.00
25	RP-4250-4250-ANDL	4.20	4.00	4.50	4.20	4.50
26	AC-600-4325-RPO	4.20	3.80	4.00	4.00	4.20
27	AC-600-4325-RPO	4.30	3.80	4.00	4.00	4.10
28	AC-600-4325-RPO	4.00	3.80	4.00	3.90	4.20
29	AC-600-4325-RPO	4.20	3.80	4.00	4.00	4.20
30	AC-600-4325-RPO	4.10	3.80	4.00	4.10	4.00
31	AC-500 PIVOT	4.20	3.80	4.00	3.60	4.00
32	ACC - 500 PIVOT	4.00	3.80	4.00	4.00	4.30
33	ACC - 500 PIVOT	4.40	3.80	4.00	4.00	4.60
34	ACC - 300 PIVOT	4.20	3.80	4.00	4.10	4.30
35	ACC-400 PIVOT	4.50	3.80	4.00	4.30	4.50
36	AC-800-4250-SNWC-1	4.80	3.80	4.00	4.00	4.10
<b>PROMEDIO</b>		4.27				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.3 Labores disparas en julio

Tabla 12

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – julio*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ-400-4275-AND	4.20	3.80	4.00	3.85	3.95
2	TJ-600-D-4325-RPO	4.00	3.80	4.00	4.10	4.10
3	TJ-600-D-4325-RPO	3.90	3.80	4.00	4.20	4.00
4	TJ-400-4275-AND	4.00	4.00	4.50	4.20	4.50
5	TJ-600-D-4325-RPO	4.30	3.80	4.00	3.70	4.00
6	TJ-400-4275-AND	4.00	3.80	4.00	3.80	4.10
7	TJ-600-D-4325-RPO	4.20	3.80	4.00	4.20	4.00
8	TJ-500-D-4275-AND	4.80	3.80	4.00	4.10	4.00
9	TJ-500-D-4275-AND	4.00	3.80	4.00	3.90	4.00
10	TJ-500-D-4275-AND	4.20	3.50	4.00	3.60	4.10
11	TJ-300 L/I	4.90	3.50	4.00	4.20	4.40
12	TJ-300 L/I	4.70	3.50	4.00	3.70	4.40
13	TJ-300 L/I	4.50	3.50	4.00	4.00	4.80
14	TJ-300 L/I	4.60	3.50	4.00	3.70	4.40
15	TJ-100-4225-JNTH	4.20	4.00	4.00	4.10	4.10
16	TJ-800-4225-SWCARMEN	4.50	4.50	4.00	4.60	4.10
17	TJ-800-4225-SWCARMEN	4.40	4.50	4.00	4.70	4.20
18	TJ-500-4175-V3-1	4.50	3.80	4.00	3.80	4.00
19	TJ-500-4125-V3-1	4.50	3.80	4.00	4.00	4.00
20	TJ-500-4175-V3-1	4.40	3.80	4.00	3.60	4.20
21	TJ-500-4125-V3-1	4.30	3.80	4.00	3.80	4.00
22	TJ-500-4175-V3-1	4.10	3.80	4.00	3.80	4.20
23	TJ-500-V3-4175-D	4.30	3.80	4.00	3.80	4.00
24	TJ-500-4175-V3-1	4.30	3.80	4.00	4.00	4.20
25	TJ-00-4225-CLAUDIA-I	4.10	7.00	5.00	6.70	4.80
26	TJ-00-4225-CLAUDIA-D	4.10	5.00	5.00	4.50	4.80
27	TJ-00-4225-CLAUDIA-I	4.50	4.00	4.00	4.20	4.80
28	TJ-00-4225-CLAUDIA-D	4.00	4.00	4.00	4.10	4.10
29	TJ-00-4225-CLAUDIA-I	4.20	3.80	4.00	3.90	4.20
30	RP-4225-4225-AND	3.50	4.00	4.50	4.10	4.70
31	ACC - 300 PIVOT	4.30	3.80	4.00	4.00	4.10
32	ACC - 300 PIVOT	4.70	3.80	4.00	3.70	4.10
33	ACC - 500 PIVOT	4.60	3.80	4.00	3.90	4.30
34	ACC - 500 PIVOT	4.60	3.80	4.00	4.10	3.90
35	ACC - 500 PIVOT	4.20	3.80	4.00	3.60	3.80
36	RP-3900	4.10	4.50	4.50	4.40	4.60
37	AC-700	4.00	3.50	4.00	3.60	3.90
38	RP-4225-NANC	4.20	4.00	4.50	4.30	4.70
39	RP-4225-NANC	4.60	4.00	4.50	4.00	4.60
40	AC-800-4225-SWCARMEN	4.10	3.80	4.00	3.70	4.10
	<b>PROMEDIO</b>	4.29				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.4 Labores disparas en agosto

Tabla 13

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – agosto*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	SN-000-I-4300-GAB	3.90	3.50	4.00	3.60	3.90
2	TJ-500-D-4275-AND	4.20	3.50	4.00	3.80	4.10
3	TJ-500-D-4275-AND	4.50	3.50	4.00	4.10	4.00
4	TJ_300-4125-RPGI-0	4.60	3.80	4.00	3.70	4.30
5	TJ-800-4225-SWCARMEN	4.50	3.80	4.00	4.30	4.10
6	TJ-100-4225-NANCY	3.80	3.80	4.00	4.20	4.30
7	TJ -100-4225-JANETH	3.90	3.80	4.00	4.30	4.10
8	TJ-800-4225-SWCARMEN	4.70	3.80	4.00	4.50	4.00
9	TJ -100-4225-JANETH	4.60	3.80	4.00	3.70	3.90
10	TJ -100-4225-JANETH	4.50	3.80	4.00	4.00	4.00
11	TJ -100-4225-NANCY	4.50	3.80	4.00	4.30	4.20
12	TJ -100-4225-NANCY	4.00	3.80	4.00	3.90	4.30
13	TJ-500 L/D	4.60	3.50	4.00	3.70	3.90
14	AC-500-4250-AND	4.10	3.80	4.00	3.90	4.00
15	AC-500-4175-V3-1	4.50	3.80	4.00	3.70	4.30
16	AC-400-4125-V3	4.00	3.80	4.00	4.00	4.20
17	ACC-400 PIVOT	4.20	3.50	4.00	3.70	4.00
18	ACC-400 PIVOT	4.30	3.50	4.00	3.50	4.00
19	ACC-400 PIVOT	4.20	3.50	4.00	3.50	3.90
20	ACC-400 PIVOT	4.00	3.50	4.00	4.20	4.30
21	ACC-400 PIVOT	4.30	3.50	4.00	3.50	4.00
22	ACC-400 PIVOT	4.50	3.50	4.00	4.20	3.90
23	ACC-500 PIVOT	4.50	3.50	4.00	4.10	4.50
24	ACC-500 PIVOT	4.40	3.50	4.00	3.40	4.30
25	ACC-500 PIVOT	4.20	3.50	4.00	3.70	4.00
<b>PROMEDIO</b>		4.30				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.5 Labores disparas en setiembre

**Tabla 14**

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – setiembre*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ 400-4200-V3-I	4.20	3.80	4.00	4.00	4.10
2	TJ-400-D-V3-4125	4.90	3.80	4.00	3.90	4.30
3	TJ-000-4225-CCLA-D	4.30	6.00	4.00	5.80	4.60
4	TJ-400-D-V3-4125	4.40	3.80	4.00	4.40	4.30
5	TJ-400-I-V3-4125	4.60	3.80	4.00	3.60	3.80
6	TJ-400-D-V3-4125	4.60	3.80	4.00	4.20	4.30
7	TJ-400-I-V3-4125	4.60	3.80	4.00	3.80	4.00
8	TJ-400-D-V3-4125	5.00	3.80	4.00	3.80	4.20
9	TJ-400-D-V3-4125	4.50	3.80	4.00	3.90	4.10
10	TJ-400-D-V3-4125	4.40	3.80	4.00	3.90	4.10
11	TJ-500	4.40	3.50	4.00	3.70	4.30
12	SN-800	4.30	3.50	4.00	3.90	4.20
13	TJ-400	4.50	3.50	4.00	3.90	4.20
14	TJ-500	4.30	3.50	4.00	4.00	4.30
15	AC-400-4125-V3-1	4.20	3.80	4.00	4.30	4.20
16	AC-300-4275-CRM-1	4.40	3.80	4.00	3.90	4.10
17	AC-400-4125-V3-1	4.30	3.80	4.00	4.10	4.40
18	AC-400-4125-V3-1	4.30	3.80	4.00	4.40	4.10
19	AC-400-4125-V3-1	4.30	3.80	4.00	4.00	4.20
20	AC-400-4125-V3-1	4.30	3.80	4.00	4.10	4.30
21	AC-000-4225-NANC-1	4.30	3.80	4.00	3.80	4.70
22	AC-000-4225-NANC-1	4.50	3.80	4.00	3.70	4.20
23	PV-AC-400-4200-V3-1	4.50	3.80	4.00	3.90	5.00
24	ACC-500 PIVOT	4.30	3.50	4.00	3.40	4.00
25	ACC-500 PIVOT	4.20	3.50	4.00	3.30	4.30
26	ACC-500 PIVOT	4.30	3.50	4.00	3.30	4.30
27	ACC-500 PIVOT	4.40	3.50	4.00	3.70	4.20
28	AC-400-2	4.20	3.80	4.00	3.90	4.10
29	AC-400-2	4.40	3.80	4.00	3.90	4.10
	<b>PROMEDIO</b>	4.41				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.6 Labores disparas en octubre

**Tabla 15**

*Levantamiento topográfico de labores disparadas – octubre*

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ-400-I-V3-4125	5.10	3.80	4.00	4.20	4.20
2	TJ-400-D-V3-4125	4.80	3.80	4.00	4.00	3.70
3	TJ-400-D-V3-4125	4.30	3.80	4.00	3.70	4.20
4	TJ-400-D-V3-4125	4.40	3.80	4.00	3.60	4.20
5	TJ-400-I-V3-4125	5.30	3.80	4.00	3.90	4.30
6	SN-400-4025-V3-I	4.30	3.50	4.00	3.40	4.50
7	SN-400-4025-V3-I	4.50	3.50	4.00	3.30	4.50
8	TJ-400-I-V3-4125	4.50	3.80	4.00	3.60	4.20
9	TJ-400-I-V3-4125	4.40	3.80	4.00	3.30	6.00
10	SN-400-4025-V3-I	4.20	3.50	4.00	3.80	4.10
11	AC-500-PV	4.20	3.50	4.00	3.30	4.30
12	AC-500-PV	4.20	3.50	4.00	3.30	4.30
13	AC-500-PV	4.20	3.50	4.00	3.30	4.30
14	AC-500-PV	4.20	3.50	4.00	3.30	4.30
15	AC-500-PV	4.20	3.50	4.00	3.00	3.80
16	AC-500-PV	4.10	3.50	4.00	3.40	4.10
17	AC-300-PV	4.30	3.50	4.00	3.70	4.20
18	XC-4275	4.50	4.00	4.50	3.80	4.30
19	XC-4275	4.70	4.00	4.50	3.80	4.40
20	AC-400-4200-V3-5	4.50	3.80	4.00	4.10	4.40
21	AC-400-4200-V3-5	4.30	3.80	4.00	3.90	4.40
22	AC-400-4200-V3-5	4.70	3.80	4.00	3.90	4.50
23	RP-4200	4.10	4.00	4.50	4.30	4.70
24	RP-4200	4.50	4.00	4.50	4.90	5.10
25	RO-600-4050-NWC1-2	4.20	4.00	4.50	3.90	4.60
<b>PROMEDIO</b>		4.43				

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.7 Labores disparas en noviembre

Tabla 16

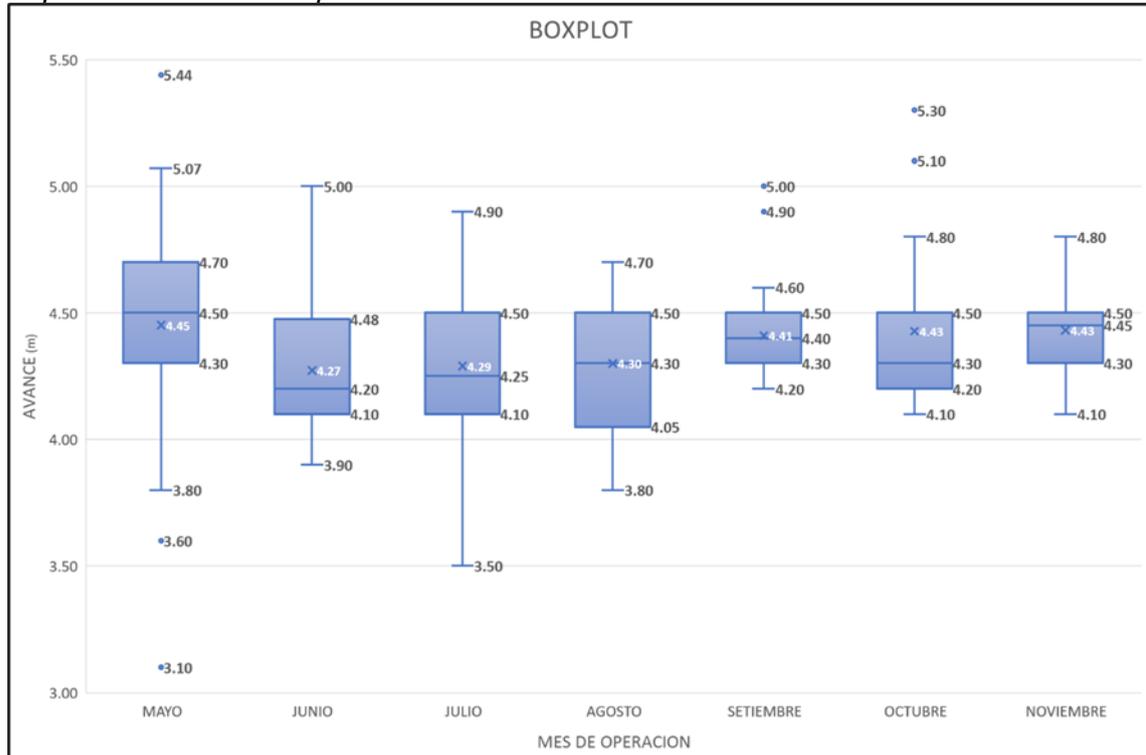
Levantamiento topográfico de labores disparadas – noviembre

ITEM	LABOR DISPARADA	AVANCE	SECCION PROGRAMADA		SECCION CAMPO	
			A	H	A	H
1	TJ-500-3975-GISE-D	4.80	3.50	4.00	4.10	4.50
2	TJ-500-3975-GISE-D	4.50	3.50	4.00	4.00	4.00
3	TJ-500-3975-GISE-D	4.50	3.50	4.00	4.00	4.30
4	TJ-500-3975-GISE-I	4.40	3.50	4.00	3.80	4.10
5	TJ-400-I-V3-4125	4.80	3.50	4.00	3.90	4.10
6	TJ-400-I-V3-4125	4.60	3.50	4.00	4.60	4.10
7	TJ-400-D-V3-4125	4.50	3.50	4.00	4.00	4.10
8	TJ-400-D-V3-4125	4.30	3.50	4.00	4.60	4.00
9	TJ-400-I-V3-4125	4.10	3.50	4.00	3.80	4.30
10	ACC-500 PIVOT	4.20	3.80	4.00	3.30	4.30
11	ACC-300-II	4.50	3.80	4.00	3.80	4.20
12	AC-300-II	4.30	3.80	4.00	4.00	4.20
13	ACC-500 PIVOT	4.20	3.80	4.00	3.50	4.20
14	ACC-500 PIVOT	4.50	3.80	4.00	3.90	4.10
15	ACC-500 PIVOT	4.40	3.80	4.00	4.10	4.00
16	ACC-500 PIVOT	4.30	3.80	4.00	3.80	4.30
<b>PROMEDIO</b>		4.43				

Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Boxplot de rendimientos por mes



Fuente: Elaboración propia

Realizando en grafico Boxplot de los avances por disparo por mes, se puede concluir que, el 90 % de disparos supera los 4.00 m/disparo. Teniendo un promedio global de 4.36 m/disparo con desviación de 0.29

**Tabla 17**

*Resumen de avances por disparo por mes*

DISPARO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
1	4.70	4.50	4.20	3.90	4.20	5.10	4.80
2	4.30	5.00	4.00	4.20	4.90	4.80	4.50
3	4.50	4.40	3.90	4.50	4.30	4.30	4.50
4	4.40	4.60	4.00	4.60	4.40	4.40	4.40
5	4.30	4.10	4.30	4.50	4.60	5.30	4.80
6	4.60	3.90	4.00	3.80	4.60	4.30	4.60
7	4.70	4.00	4.20	3.90	4.60	4.50	4.50
8	4.60	4.20	4.80	4.70	5.00	4.50	4.30
9	4.40	4.30	4.00	4.60	4.50	4.40	4.10
10	3.80	4.30	4.20	4.50	4.40	4.20	4.20
11	4.30	3.90	4.90	4.50	4.40	4.20	4.50
12	4.50	4.30	4.70	4.00	4.30	4.20	4.30
13	4.30	4.20	4.50	4.60	4.50	4.20	4.20
14	4.40	4.30	4.60	4.10	4.30	4.20	4.50
15	4.40	4.10	4.20	4.50	4.20	4.20	4.40
16	4.40	4.20	4.50	4.00	4.40	4.10	4.30
17	3.60	4.60	4.40	4.20	4.30	4.30	
18	4.60	4.60	4.50	4.30	4.30	4.50	
19	4.90	3.90	4.50	4.20	4.30	4.70	
20	4.50	4.50	4.40	4.00	4.30	4.50	
21	4.70	4.00	4.30	4.30	4.30	4.30	
22	4.90	4.30	4.10	4.50	4.50	4.70	
23	4.50	4.50	4.30	4.50	4.50	4.10	
24	4.70	4.00	4.30	4.40	4.30	4.50	
25	4.10	4.20	4.10	4.20	4.20	4.20	
26	5.07	4.20	4.10		4.30		
27	5.44	4.30	4.50		4.40		
28	4.50	4.00	4.00		4.20		
29	3.10	4.20	4.20		4.40		
30	4.50	4.10	3.50				
31	4.30	4.20	4.30				
32		4.00	4.70				
33		4.40	4.60				
34		4.20	4.60				
35		4.50	4.20				
36		4.80	4.10				
37			4.00				
38			4.20				
39			4.60				
40			4.10				
<b>PROMEDIO</b>	4.45	4.27	4.29	4.30	4.41	4.43	4.43
<b>DESV. EST.</b>	0.42	0.26	0.28	0.26	0.19	0.30	0.20

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Análisis de indicadores de productividad

Para determinar los indicadores de productividad nos basaremos en los supuestos mostrados en el subcapítulo 3.2.1 para calcular la eficiencia de voladura, avance y sobre-rotura.

Para el cálculo de sobre-rotura usaremos las áreas de sección obtenidas en campo y lo compararemos con el área de sección proyectada más un adicional de 5 % de umbral.

$$\%Sobre - rotura = \frac{A_c H_c - 1.05 A_p H_p}{1.05 A_p H_p} * 100\% \quad (3)$$

$$\Delta Sobre - rotura = 5\% - \%Sobre - rotura \quad (4)$$

Para el cálculo de la eficiencia de voladura, se comparará el avance real respecto a la longitud de taladro cargado proyectado (4.43 metros).

$$Efic. voladura = \frac{Avance real}{4.43} * 100\% \quad (5)$$

$$\Delta Efic. voladura = Efic. voladura - 95\% \quad (6)$$

Para el cálculo de la eficiencia de avance, se comparará el avance real respecto al avance proyectado (4.21 metros)

$$Efic. avance = \frac{Avance real}{4.21} * 100\% \quad (7)$$

$$\Delta Efic. avance = Efic. avance - 100\% \quad (8)$$

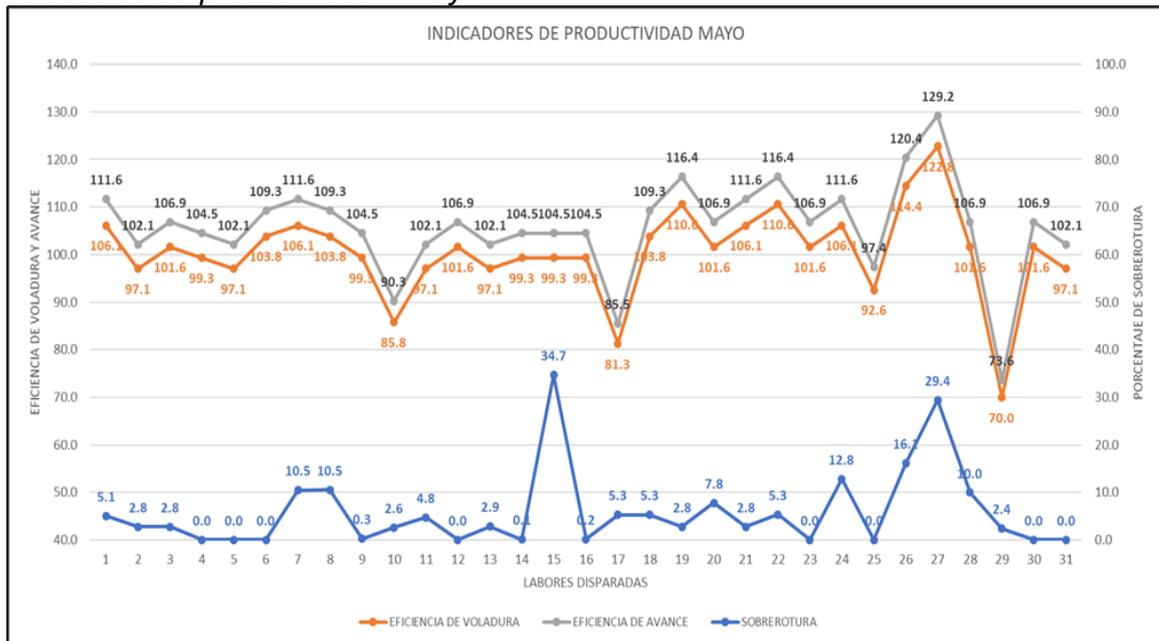
En el Anexo 7, se muestran los valores calculados de indicadores de productividad durante los meses de mayo a noviembre.

En los gráficos siguientes, se mostrará la tendencia que sigue la sobre-rotura generada por el cambio de diseño de arranque respecto a la eficiencia de voladura y avance.

Durante los meses de seguimiento no se superó en su mayoría los límites máximos objetivo establecidos por planeamiento.

**Figura 45**

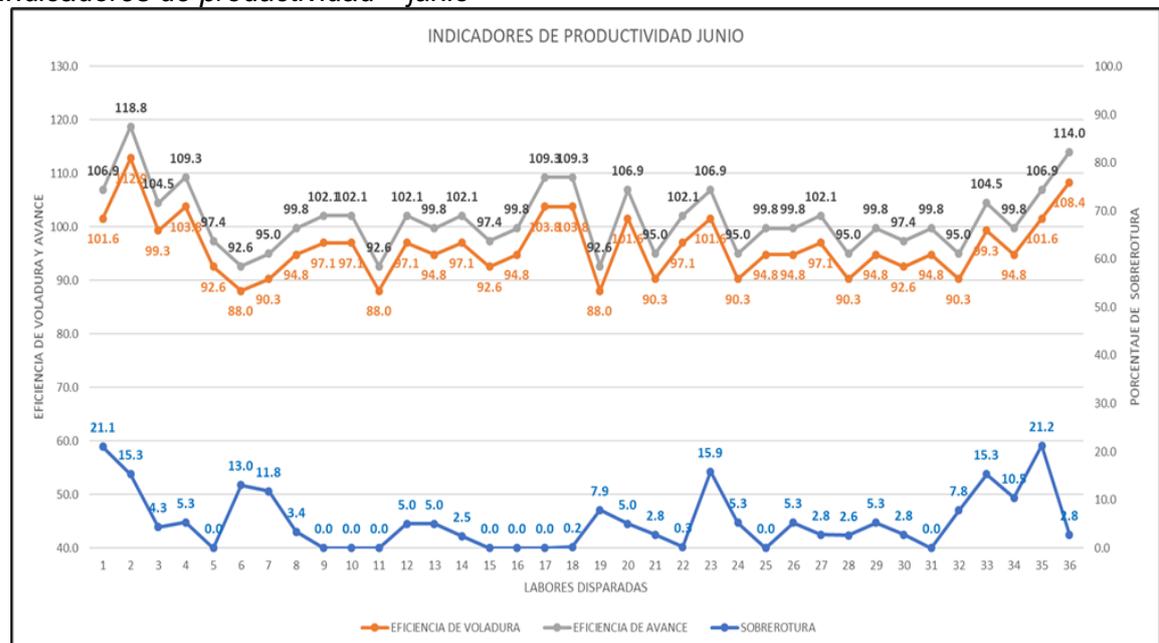
*Indicadores de productividad – mayo*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 46**

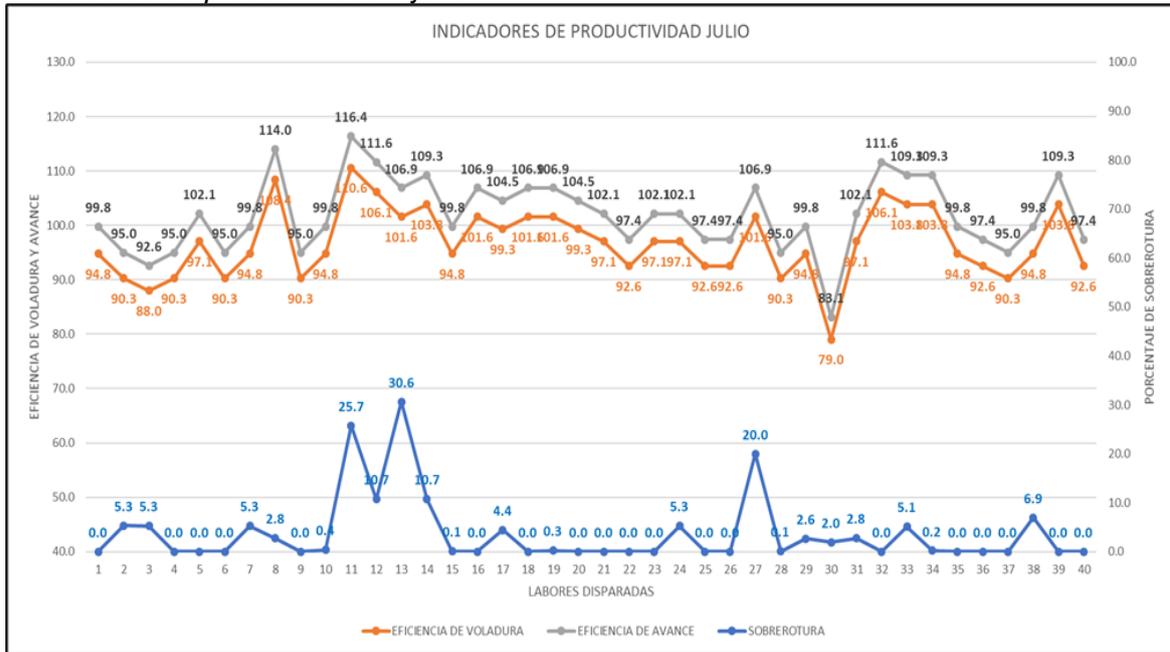
*Indicadores de productividad – junio*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 47**

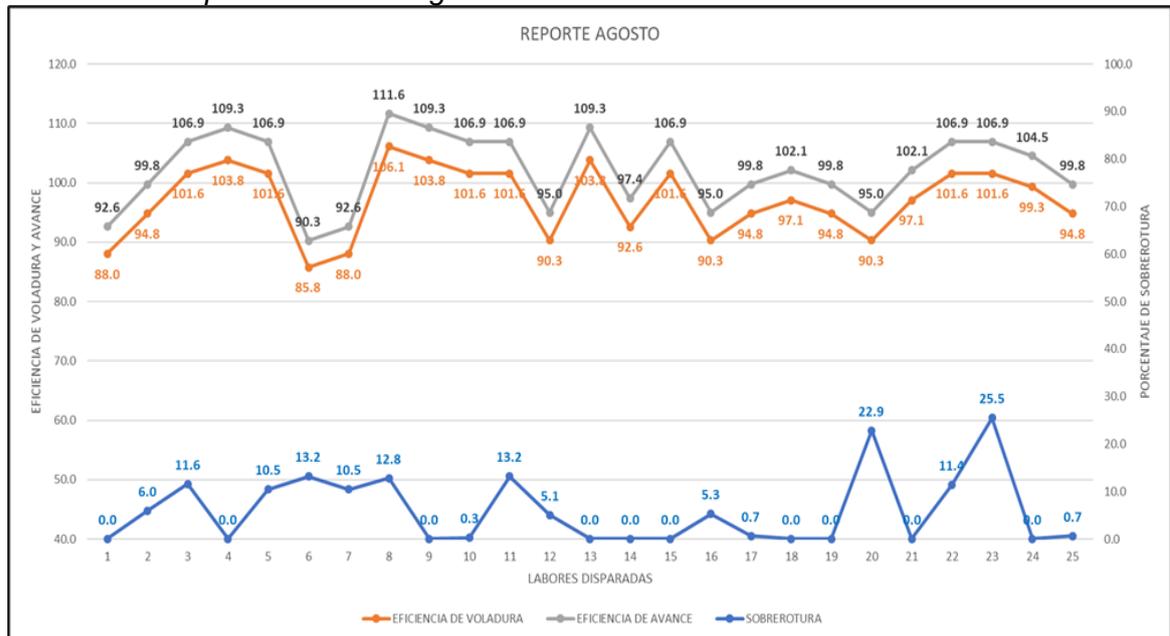
*Indicadores de productividad – julio*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 48**

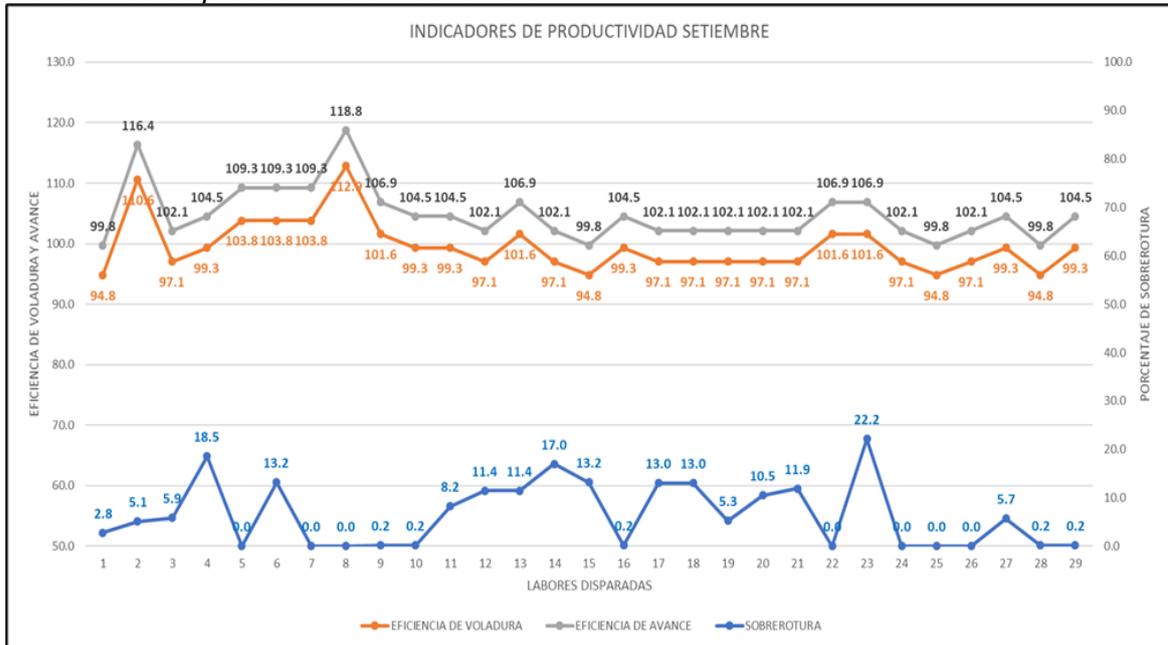
*Indicadores de productividad – agosto*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 49**

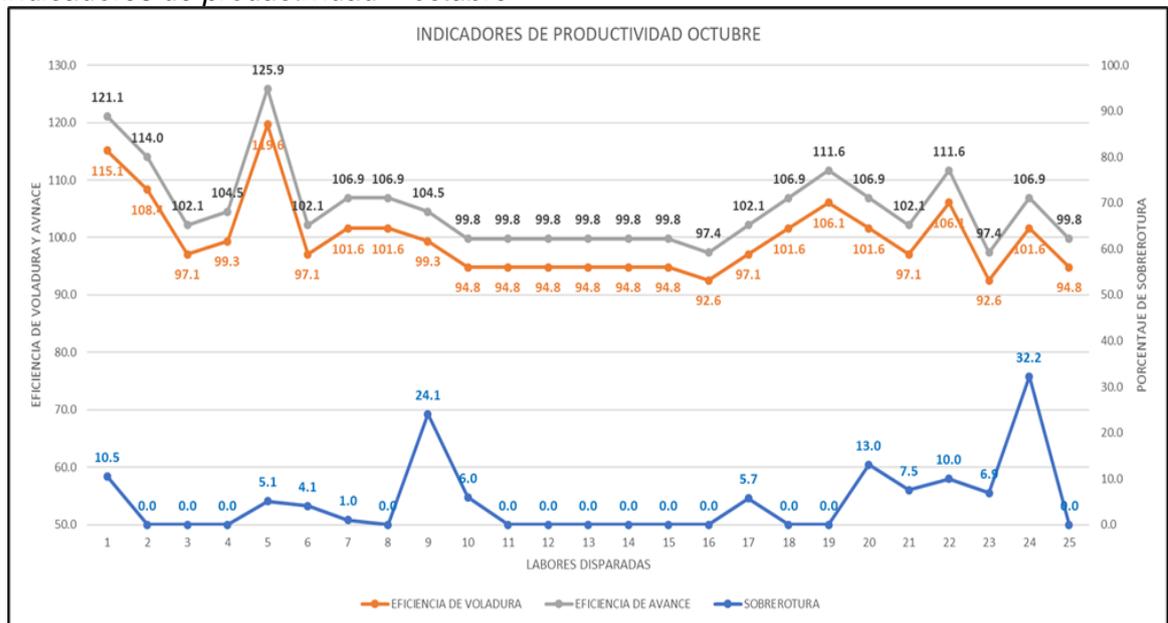
*Indicadores de productividad – setiembre*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 50**

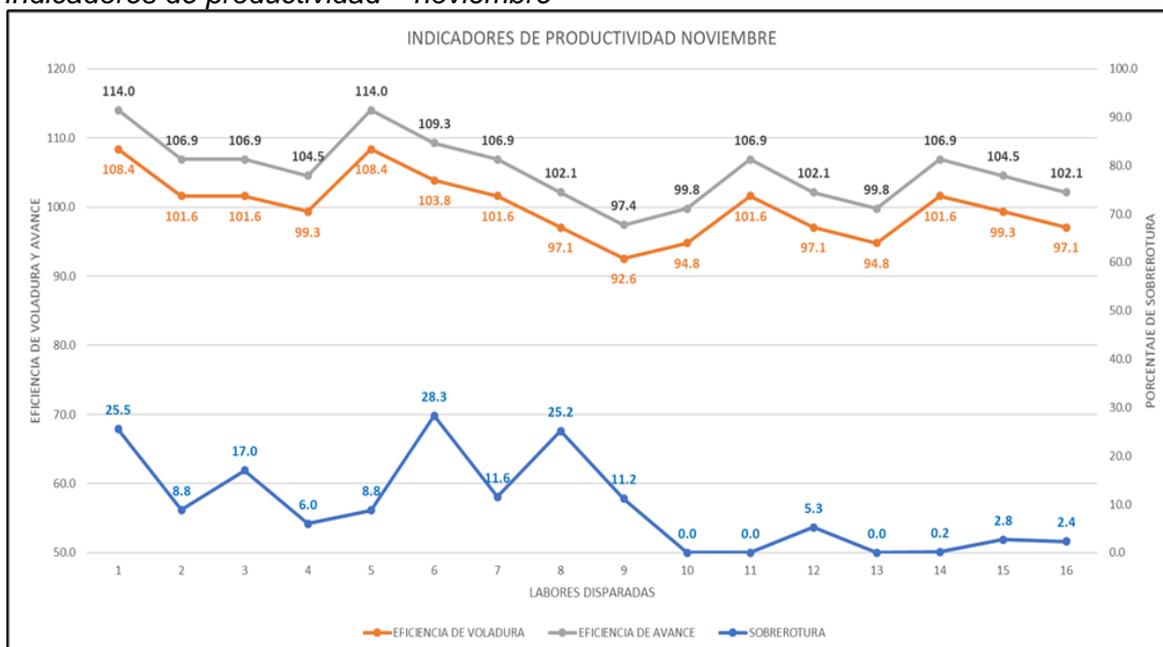
*Indicadores de productividad – octubre*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 51**

*Indicadores de productividad – noviembre*



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se muestra el promedio mensual de los indicadores de productividad, se observa que las eficiencias de avance y voladura se obtuvieron valores mejores a los esperados. Mientras que la sobre-rotura tuvo un incremento de 1 punto respecto del objetivo (5%).

**Tabla 18**

*Resumen de indicadores de productividad*

MES	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
MAY.	4.45	5.7	100.5	105.7	-0.7	5.5	5.7
JUN.	4.27	5.6	96.4	101.5	-0.6	1.4	1.5
JUL.	4.29	3.8	97.5	102.6	1.2	2.5	2.6
AGO.	4.30	6.0	97.1	102.1	-1.0	2.1	2.1
SET.	4.41	6.5	99.6	104.8	-1.5	4.6	4.8
OCT.	4.43	5.0	100.0	105.2	0.0	5.0	5.2
NOV.	4.43	9.6	100.0	105.3	-4.6	5.0	5.3
<b>PROM.</b>	<b>4.37</b>	<b>6.0</b>	<b>98.7</b>	<b>103.9</b>	<b>-1.0</b>	<b>3.7</b>	<b>3.9</b>

Fuente: Elaboración propia

Si comparamos los indicadores anteriores, con los que se obtuvieron en la primera fase de implementación, tenemos mejoras sustanciales en cada uno de los indicadores estudiados.

**Tabla 19**

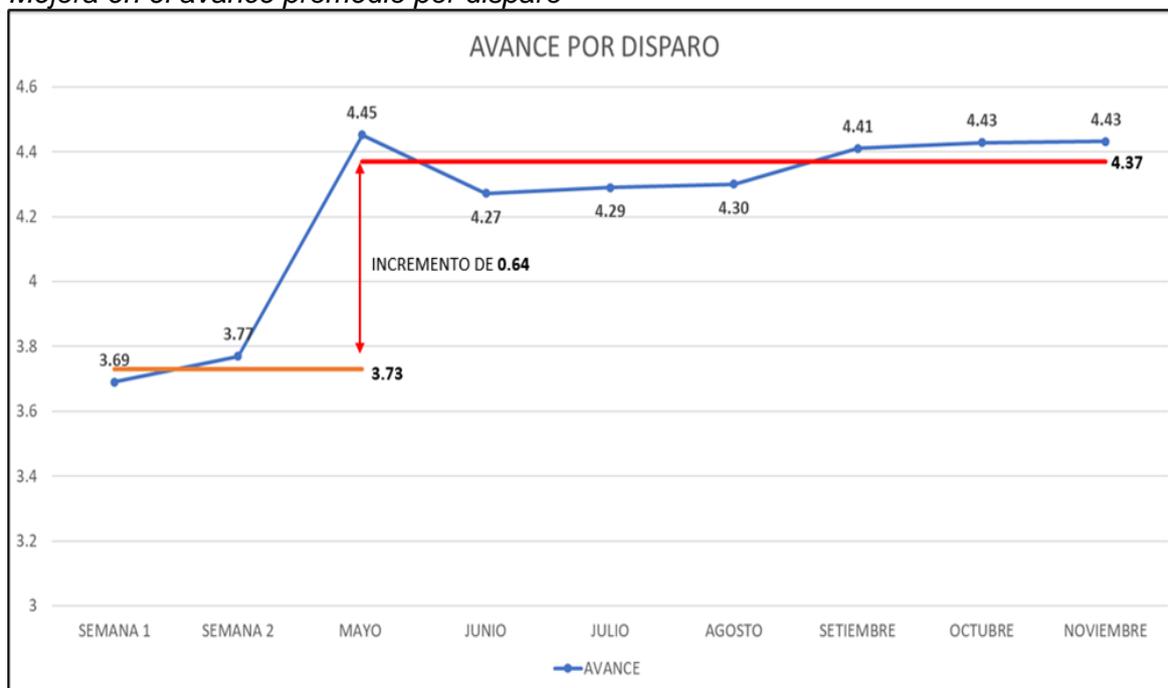
*Resumen de mejora de indicadores*

ITEM	AVANCE	PROMEDIO	EFIC. VOLADURA	PROMEDIO	EFIC. AVANCE	PROMEDIO
SEMANA 1	3.69	3.73	83.3	84.2	87.7	88.6
SEMANA 2	3.77		85.2		89.6	
MAY.	4.45	4.37	100.5	98.7	105.7	103.9
JUN.	4.27		96.4		101.5	
JUL.	4.29		97.5		102.6	
AGO.	4.30		97.1		102.1	
SET.	4.41		99.6		104.8	
OCT.	4.43		100.0		105.2	
NOV.	4.43		100.0		105.3	
<b>VARIACION</b>		<b>0.64</b>		<b>14.5</b>		<b>15.3</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 52**

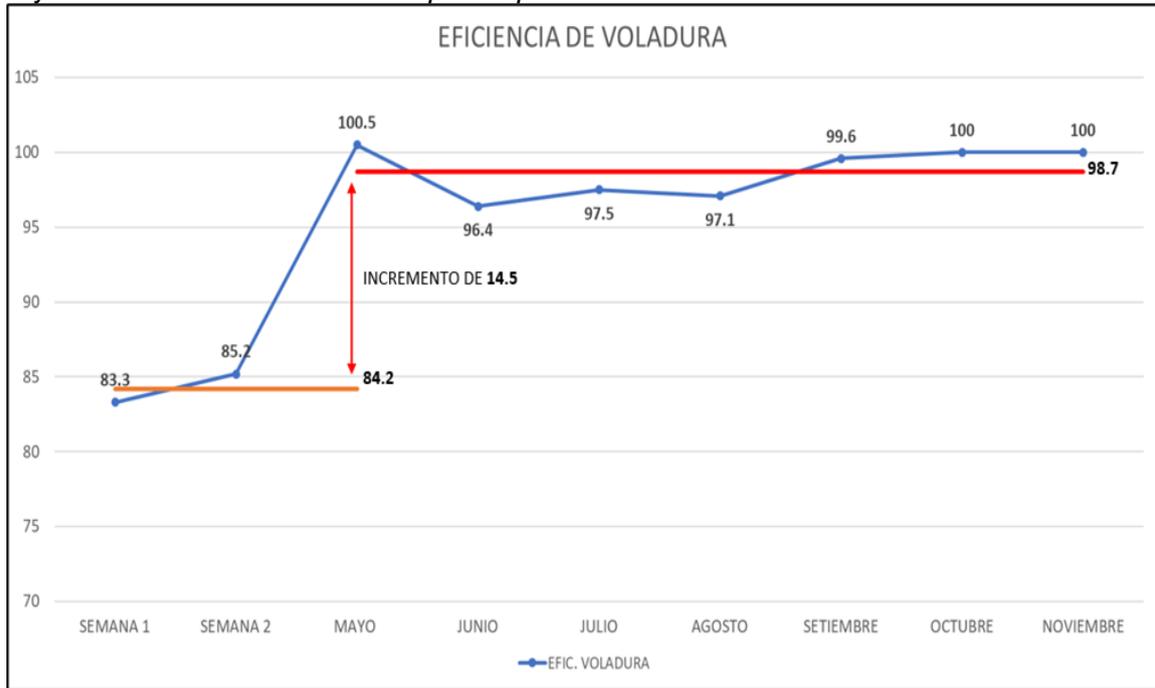
*Mejora en el avance promedio por disparo*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 53**

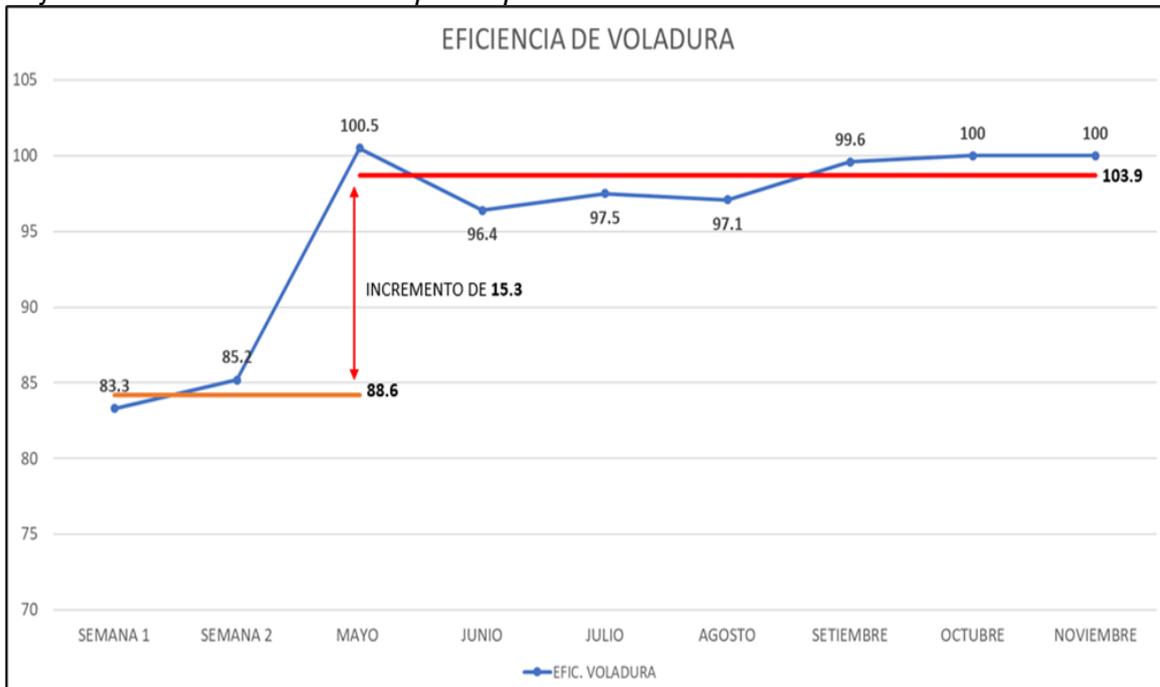
*Mejora en eficiencia de voladura por disparo*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 54**

*Mejora en eficiencia de avance por disparo*



Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Análisis de costos por implementación

Para el siguiente análisis se determinará la variación de costos por implementación de barras de 16 pies en frentes de minado para secciones de 4.0 x 4.0 y 4.0 x 4.5 en zonas de calidad de roca regular a buena, respectivamente.

Se realizó una Análisis de Costos Comparativo en base a los resultados obtenidos con la implementación de esta mejora por la implementación de la Barra de 16 ft, y se identificó una disminución de costos producto de la mejora de los KPIs de Perforación y Voladura.

- Costo de perforación
- Costo de explosivos y accesorios
- Costo de sostenimiento
- Costo de extracción y transporte de material
- Costo de recursos humanos

Se usarán como referentes de eficiencia los valores obtenidos en el subcapítulo anterior:

- Eficiencia de voladura – 98 %
- Sobre-rotura – 6 %

Los cálculos efectuados para la estimación de ahorros potenciales de las distintas áreas de frente de minado se mostrarán en los Anexos 8, 9 ,10 y 11 respectivamente.

Durante el minado la incidencia promedio de secciones con dimensiones y tipo de roca, que se evaluara se muestra a continuación:

- Sección 4 x 4 – tipo de roca regular: 15%
- Sección 4 x 4 – tipo de roca buena: 20%
- Sección 4 x 4.5 – tipo de roca regular: 5%
- Sección 4 x 4.5 – tipo de roca buena: 60%

#### 4.2.1 Secciones de 4.0 x 4.0 regular

**Tabla 20**

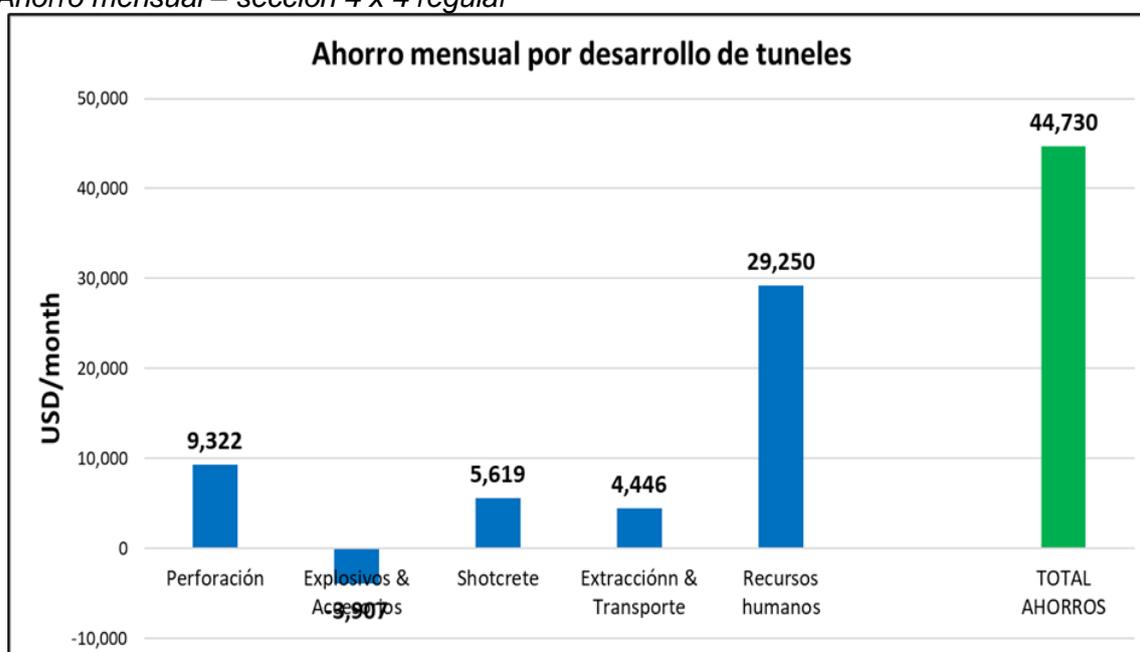
Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4 regular

COSTOS	AHORRO
Perforación	9,322
Explosivos & Accesorios	-3,907
Shotcrete	5,619
Extracción & Transporte	4,446
Recursos humanos	29,250
<b>TOTAL AHORROS</b>	<b>44,730</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 55**

Ahorro mensual – sección 4 x 4 regular



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 Secciones de 4.0 x 4.0 buena

**Tabla 21**

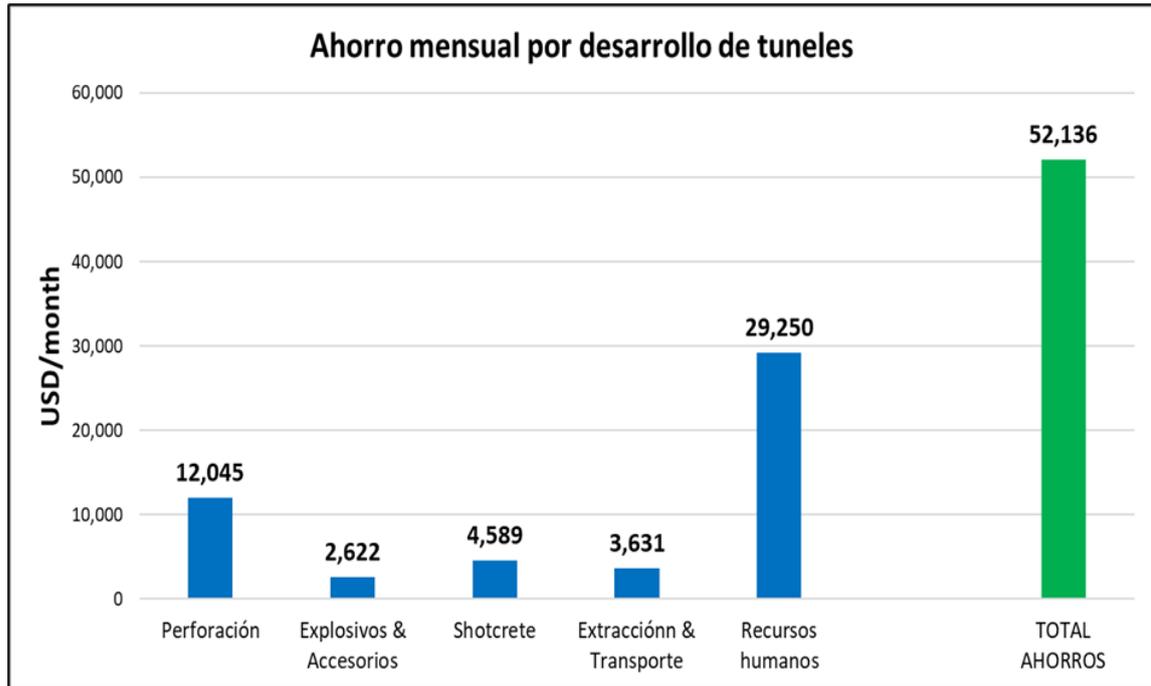
Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4 buena

COSTOS	AHORRO
Perforación	12,045
Explosivos & Accesorios	2,622
Shotcrete	4,589
Extracción & Transporte	3,631
Recursos humanos	29,250
<b>TOTAL AHORROS</b>	<b>52,136</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 56**

*Ahorro mensual – sección 4 x 4 buena*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.3 Secciones de 4.0 x 4.5 regular**

**Tabla 22**

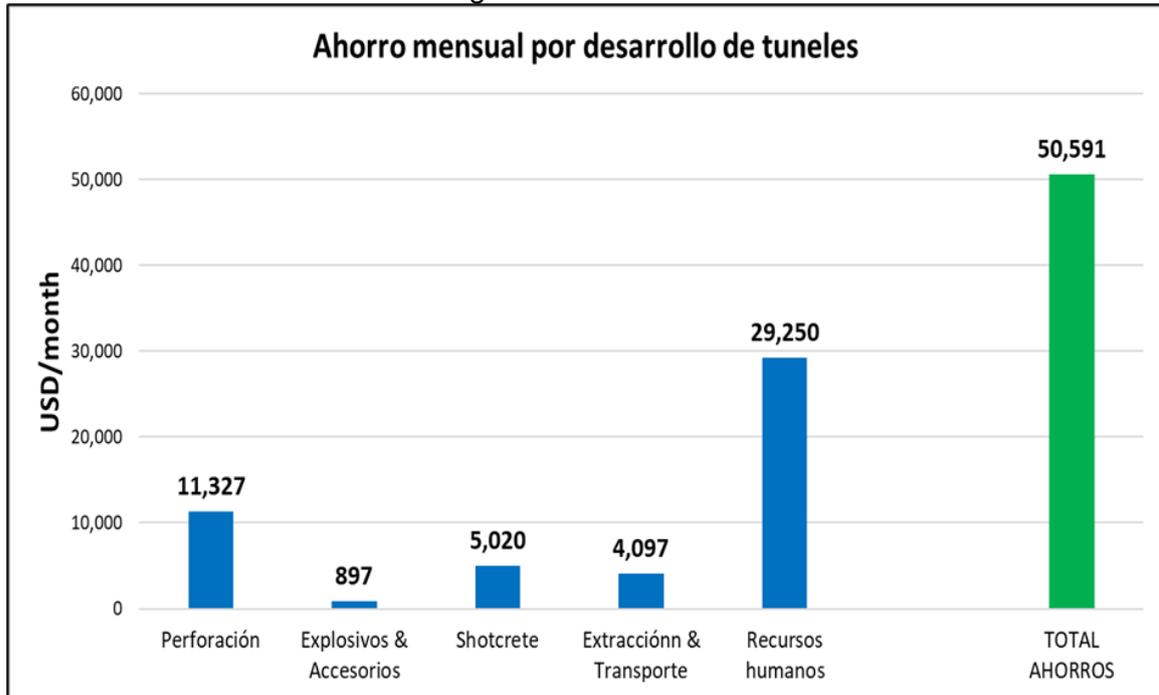
*Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4.5 regular*

<b>COSTOS</b>	<b>AHORRO</b>
Perforación	11,327
Explosivos & Accesorios	897
Shotcrete	5,020
Extracción & Transporte	4,097
Recursos humanos	29,250
<b>TOTAL AHORROS</b>	<b>50,591</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 57**

*Ahorro mensual – sección 4 x 4.5 regular*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.4 Secciones de 4.0 x 4.5 buena**

**Tabla 23**

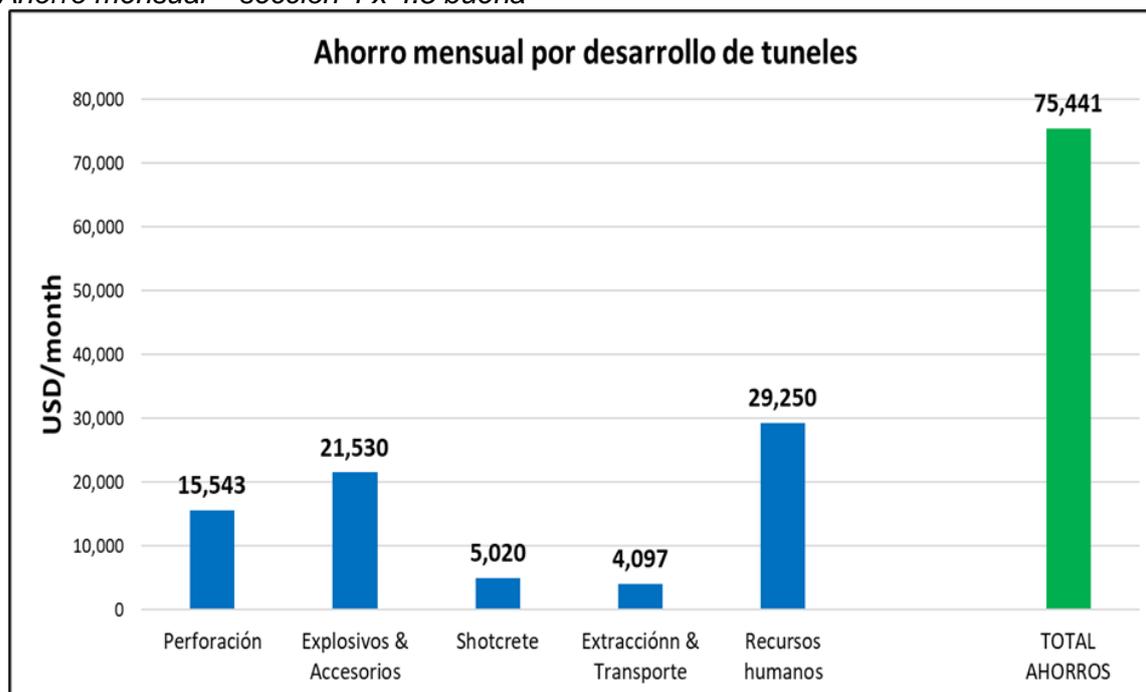
*Resumen de ahorro por mes – sección 4 x 4.5 buena*

<b>COSTOS</b>	<b>AHORRO</b>
Perforación	15,543
Explosivos & Accesorios	21,530
Shotcrete	5,020
Extracción & Transporte	4,097
Recursos humanos	29,250
<b>TOTAL AHORROS</b>	<b>75,441</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 58**

*Ahorro mensual – sección 4 x 4.5 buena*



Fuente: Elaboración propia

De las Tablas y Figuras mostradas anteriormente, se calculó el ahorro promedio por mes, se usó como ponderación la incidencia de secciones por tipo de roca.

**Tabla 24**

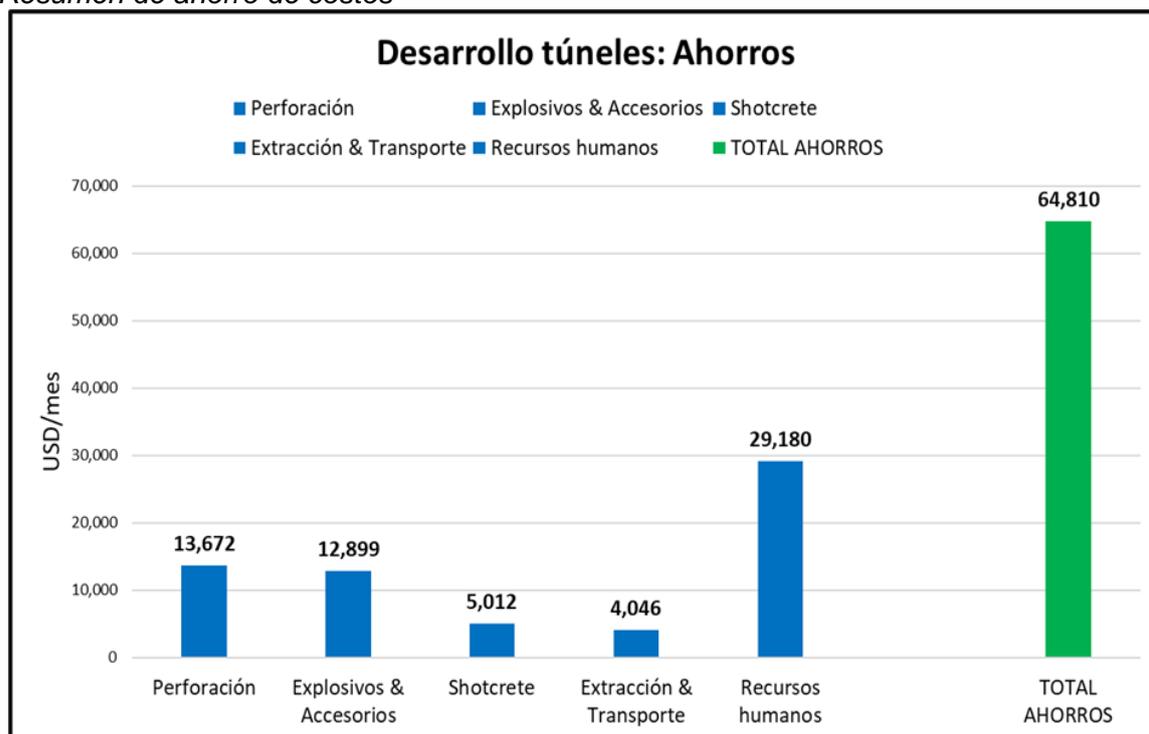
*Resumen de ahorro de costos*

Descripción	4x4 Regular	4x4 Buena	4x4.5 Regular	4x4.5 Buena	Ponderado
<b>% Ponderación</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>5%</b>	<b>60%</b>	
Metros por mes	1,719	1,719	1,719	1,719	1719
Perforación	9,322	12,045	11,327	15,543	13,672
Explosivos & Accesorios	-3,907	2,622	897	21,530	12,899
Shotcrete	5,619	4,589	5,020	5,020	5,012
Extracción & Transporte	4,446	3,631	4,097	4,097	4,046
Recursos humanos	29,250	29,250	29,250	29,250	29,180
<b>TOTAL AHORROS</b>	<b>44,730</b>	<b>52,136</b>	<b>50,591</b>	<b>75,441</b>	<b>64,810</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 59**

*Resumen de ahorro de costos*



Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Validación de hipótesis

Para la validación de hipótesis primero establecemos nuestra hipótesis nula y alternativa.

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ) La implementación de la selección de barra de 16 pies en perforación, no influirá positivamente en la mejora del avance por disparo.
- Hipótesis Alternativa ( $H_A$ ): La implementación de la selección de barra de 16 pies en perforación, influirá positivamente en la mejora del avance por disparo.

Seleccionamos un nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, el Z crítico es 1.96, si el Z calculado es menor al Z crítico se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Usaremos los siguientes datos:

- $\mu$  = 3.73 metros (avance promedio antes de las oportunidades de mejora)
- $\sigma$  = 0.48 metros (desviación estándar)
- $\alpha$  = 0.05 (grado de significancia)

- $x$  = 4.36 metros (avance promedio antes de las oportunidades de mejora)
- $n$  = 202 (número de datos)

Calculamos el Z:

$$Z = \frac{x - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{4.36 - 3.73}{\frac{0.48}{\sqrt{202}}}$$

$$Z = 18.65 \gg 1.96$$

Podemos concluir que Z calculado es mucho mayor que el Z crítico, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. La implementación de la selección de barra de 16 pies en perforación, influirá positivamente en la mejora del avance por disparo.

## Conclusiones

Después de realizar la implementación de las barras de perforación de 16 pies, y de analizar en campo las oportunidades de mejora se pueden obtener algunas conclusiones.

De la primera fase de implementación, se aprecia los resultados post-voladura en las primeras semanas de uso de las barras de 16 pies, donde se tiene como resultado un avance promedio de 3.73 metros/disparo, lo que se traduce en 84.2 % de eficiencia de voladura y 88.6 % de eficiencia de avance.

De la fase de seguimiento, se aprecia los resultados post-voladura de los meses posteriores a las mejoras operacionales. Obteniéndose en promedio en ese intervalo, 4.43 metros/disparo lo que significa 98.7 % de eficiencia de voladura y 103.9 % de eficiencia de avance. Adicional, se obtiene una sobre-rotura promedio de 6 %

En la labor piloto se logra identificar como primer inconveniente que el inadecuado trazado del arranque afecta sustancialmente a los resultados finales.

En la fase de mejora se concluye que el diseño de arranque que se estaba usando, no era el adecuado para la barra de perforación de 16 pies, por lo que se rediseño. En la fase de seguimiento, después de realizar las gestiones de cambio correspondientes, se obtienen los resultados esperados además de mejoras en indicadores de productividad.

Se obtiene reducción de costos de perforación y voladura, debido al menor requerimiento de taladros por malla. Asimismo, el costo por sostenimiento y transporte se redujo al tener menor sobre-rotura por disparo.

El mayor ahorro potencial se refleja en los recursos humanos requeridos por operaciones unitarias.

Realizando el análisis de costos para las distintas mallas de perforación; considerando un avance mensual de 1,719 metros y la ponderación por incidencia de secciones y tipo de roca, obtenemos un ahorro mensual de 64,810 dólares.

La aplicación de barras de perforación de 16 pies en la operación permite mejorar el plan de minado, al tener un mayor avance por disparo se cumplen los objetivos de producción en menor tiempo.

## Recomendaciones

Se debe dar continuidad al nuevo sistema de perforación y voladura (perforación con barra de 16 pies), para ello es ideal que se cuente con los recursos necesarios, como la adquisición de una viga adecuada para esta longitud de barra. De no realizarle un mayor enfoque a este componente del equipo de perforación conllevará a una reducción de la vida útil del equipo y así mismo de los aceros de perforación; lo cual repercute directamente en los KPIs de mantenimiento.

Se debe continuar con el Análisis de las Mallas de Perforación y Voladura en base a los desvíos que se puedan ir identificando más adelante, como por ejemplo la mejora del P80 (mejor fragmentación) o el control de la sobreexcavación mediante técnicas de voladura controlada en el carguío con explosivos de menor poder rompedor en el frente.

Se debe identificar las oportunidades de ahorro generado producto de la implementación de la barra de 16ft en los equipos de perforación, lo cual conllevaría a la revisión de los P.U. en los contratos con las empresas contratistas q nos brinden asistencia en el desarrolla de este proceso de perforación y voladura.

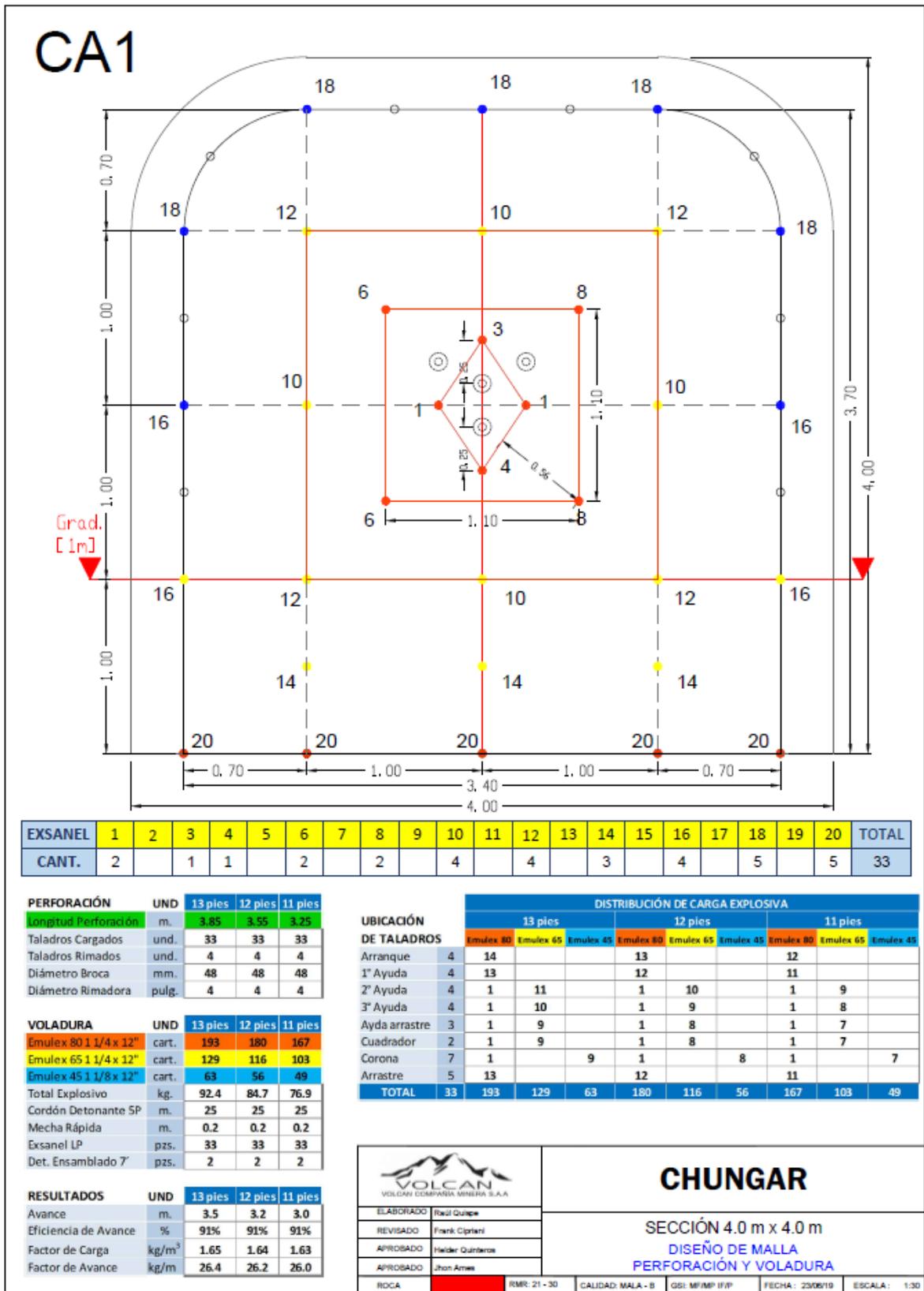
## Referencias bibliográficas

- Atlas Copco, (2002), *Manual Atlas Copco*. 7ma Edición.
- Atlas Copco, (2015), *Underground Mining*, First Edition
- Calderón M., (2015), *Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala*.
- Concha R., (2020), *Reducción y optimización de costos en perforación y voladura implementando barrenos de 16 pies para labores de desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C.*
- Cuaquira M., (2021), *Influencia de la perforación con barras de 16 pies en el metraje y producción en el NV - 10 SN - 099 E de la mina Ticlio – Volcan*. Compañía Minera S.A.A.
- Esparta J., (2022), *Estudio técnico económico para el uso de barras de perforación en Cía. Minera Aruntani – Unidad Santa Rosa*.
- EXSA, (2018), *Manual de perforación y voladura de rocas*.
- FAMESA, (2019), *Manual de perforación y voladura de rocas*.
- Holmberg R., (1982), *Charge calculations for tunneling underground, underground mining method handbook*.
- Ingemmet, (2021), *10 Mejores trabajos de investigación y tecnología minera*.
- National Highway Institute. (1991), *Rock blasting and overbreak control*.
- Rupay B., (2019), *Uso del brazo retráctil en equipos de perforación para incremento de producción en la Compañía Minera Atacocha*. SAC
- Toribio H., (2019), *Optimización de avances con barra de 16 pies en zona cuerpos de la Unidad Americana de la Compañía Minera Casapalca S.A.*
- Volcan Cía. Minera, (2022), *Reportes de KPI's 2022*.

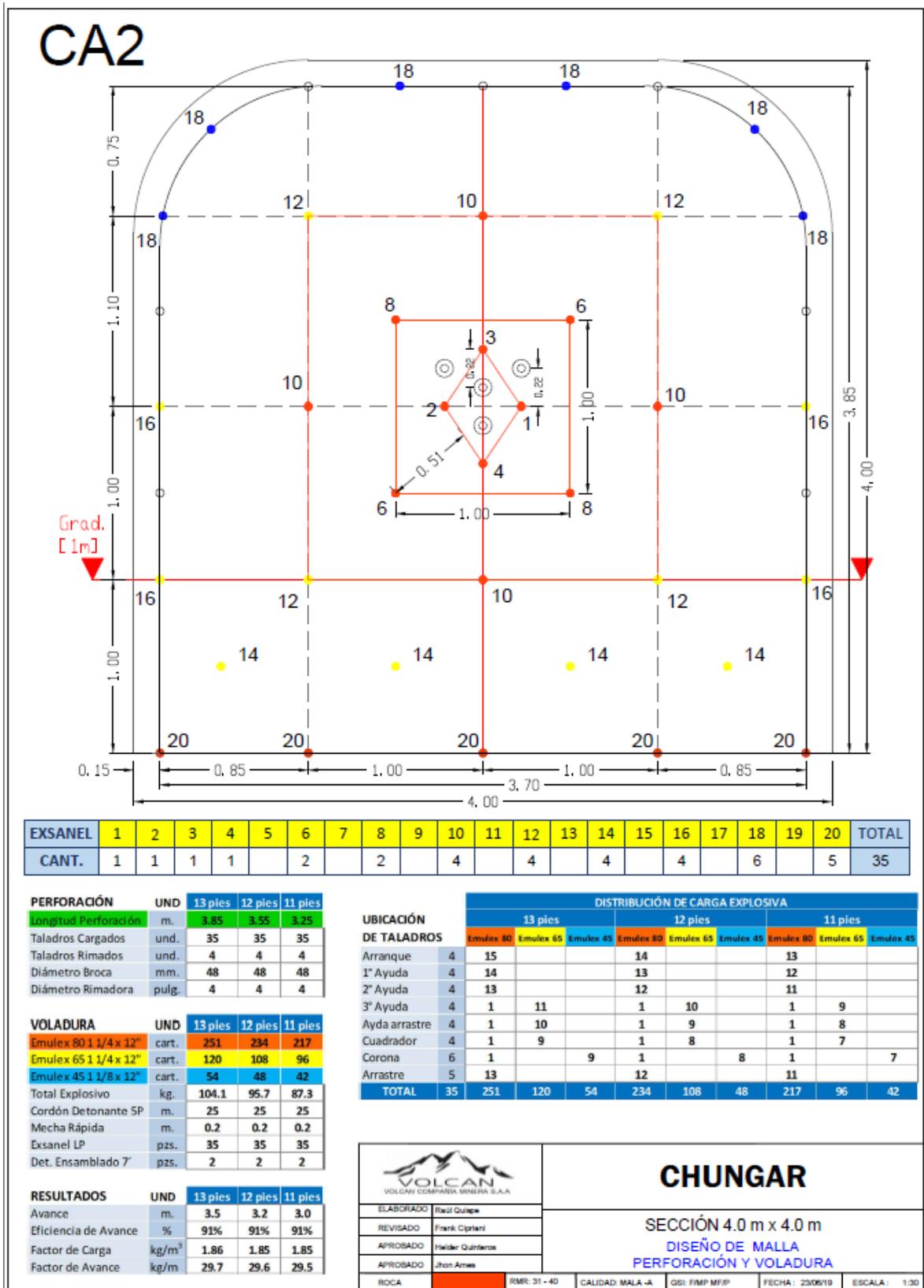
## Anexos

	Pág.
Anexo 1 : Malla de perforacion 4.0 x 4.0 – CA 1 .....	1
Anexo 2 : Malla de perforacion 4.0 x 4.0 – CA 2 .....	2
Anexo 3 : Malla de perforacion 4.0 x 4.0 – CA 3 .....	3
Anexo 4 : Malla de perforacion 4.0 x 4.5 – RP 1 .....	4
Anexo 5 : Malla de perforacion 4.0 x 4.5 – RP 2 .....	5
Anexo 6 : Malla de perforacion 4.0 x 4.5 – RP 3 .....	6
Anexo 7 : Calculo de indicadores de productividad .....	7
Anexo 8 : Calculo de ahorros potenciales – seccion 4 x 4 regular.....	14
Anexo 9 : Calculo de ahorros potenciales – seccion 4 x 4 buena.....	21
Anexo 10: Calculo de ahorros potenciales – seccion 4 x 4.5 regular.....	28
Anexo 11: Calculo de ahorros potenciales – seccion 4 x 4.5 buena.....	35

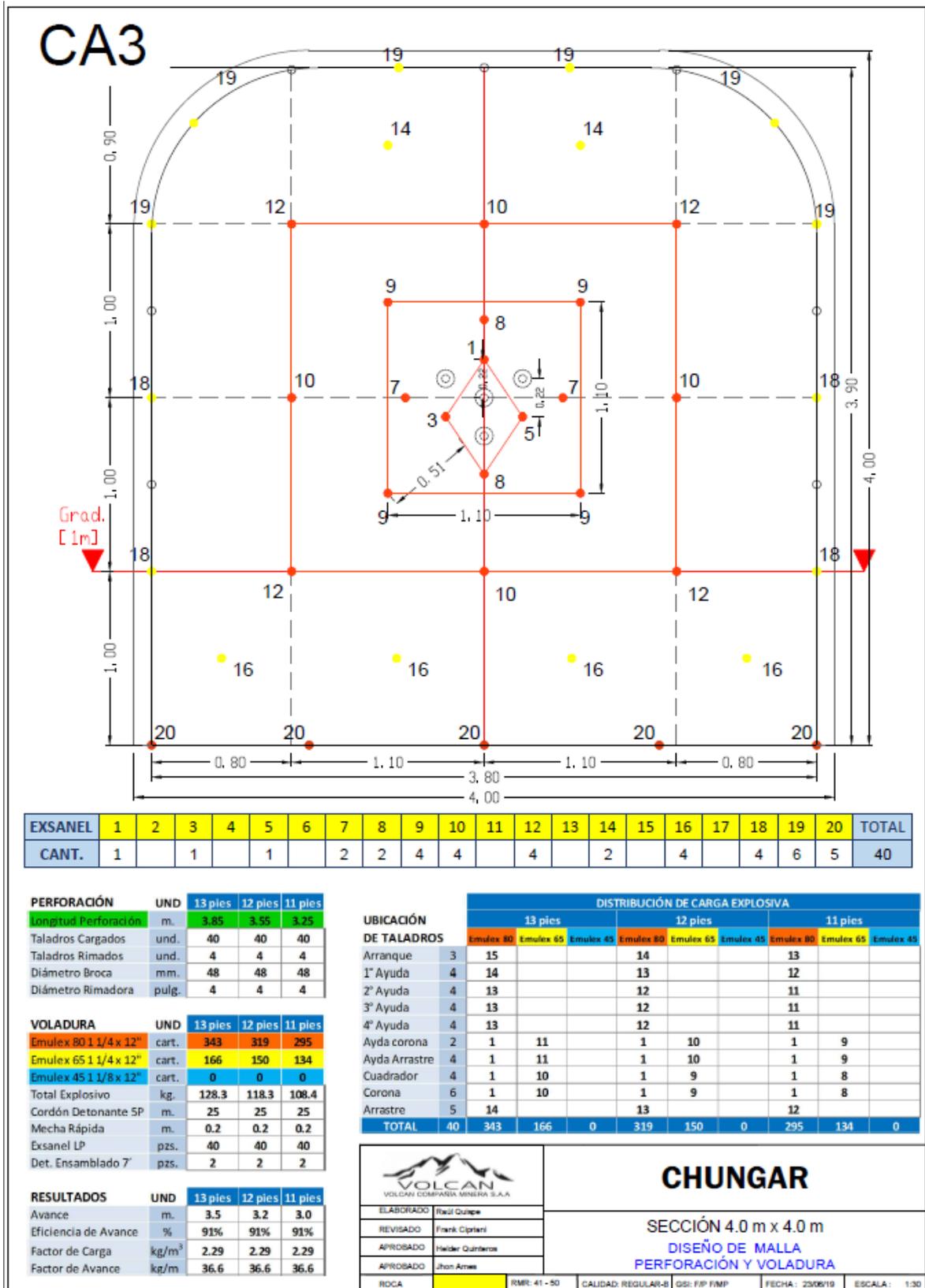
Anexo 1: Malla de perforación 4.0 x 4.0 – CA 1



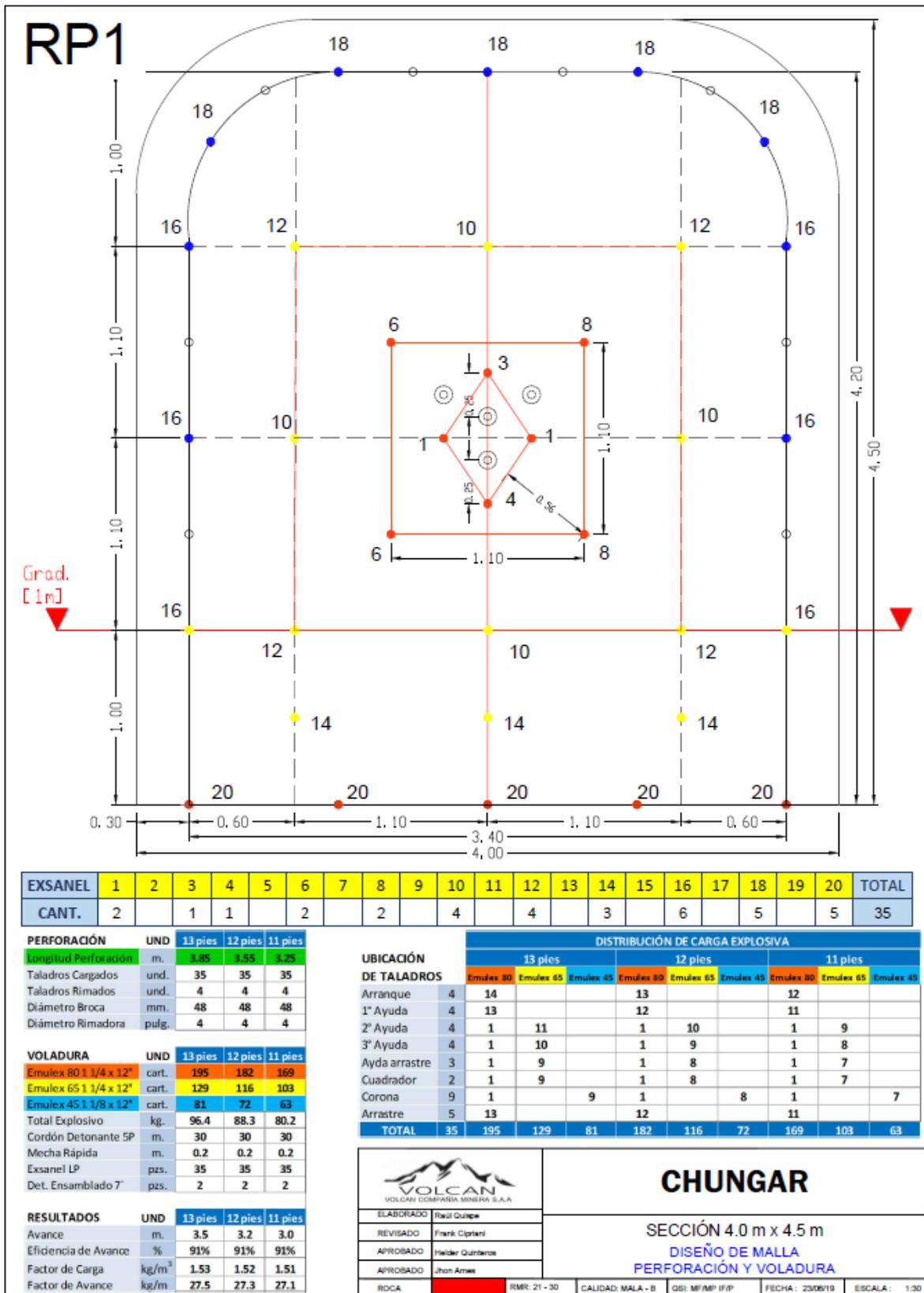
Anexo 2: Malla de perforación 4.0 x 4.0 – CA 2



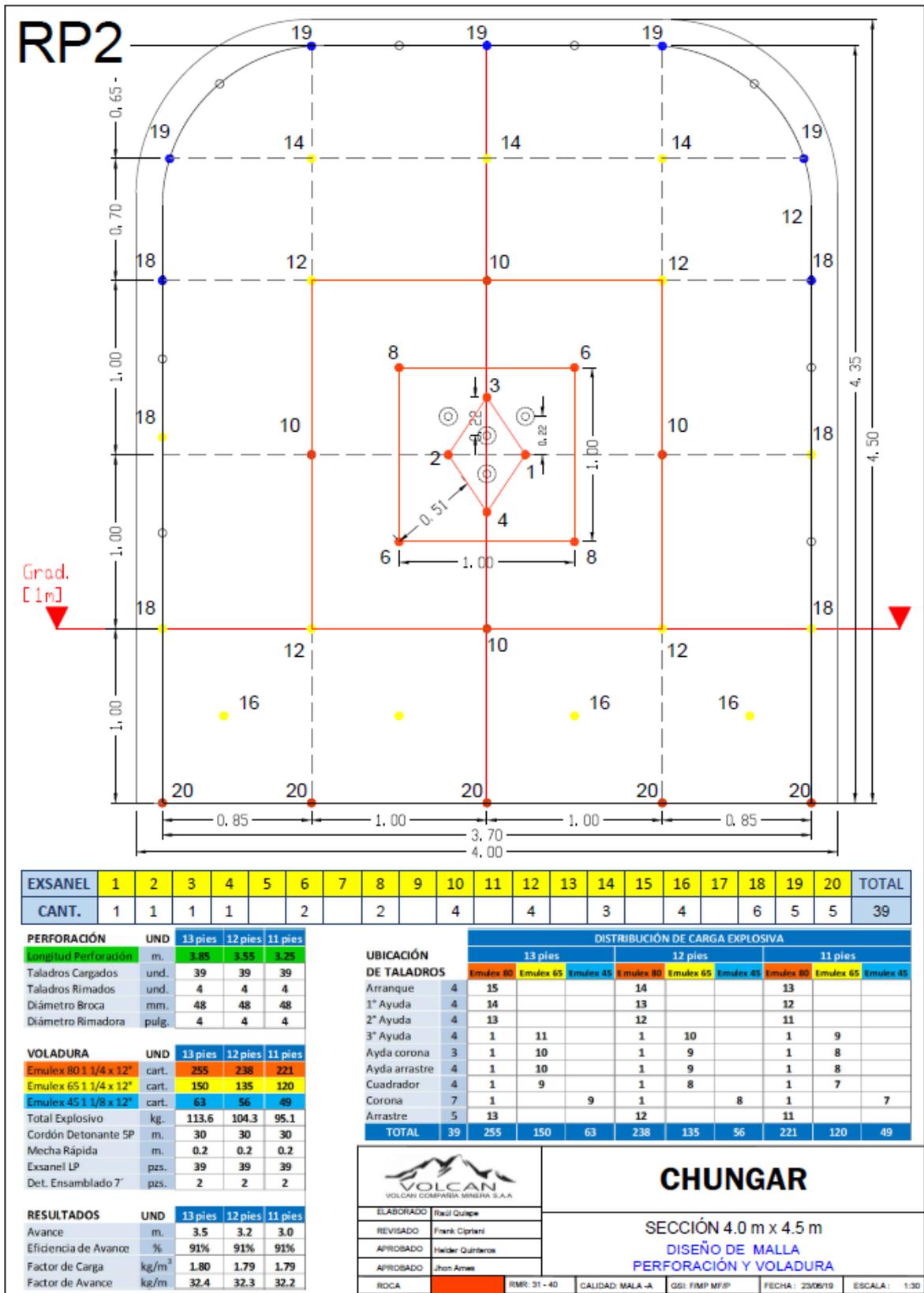
Anexo 3: Malla de perforación 4.0 x 4.0 – CA 3



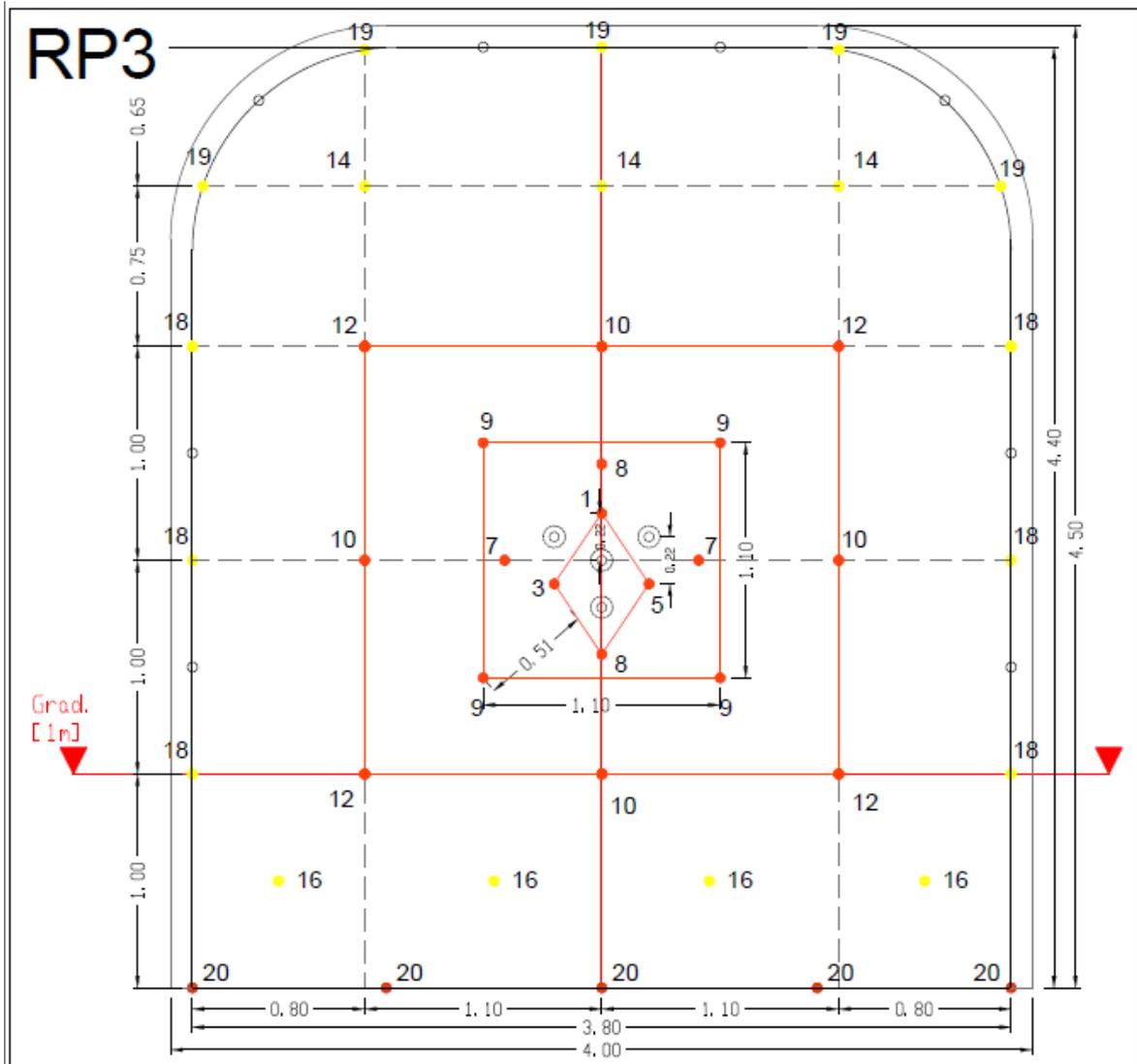
Anexo 4: Malla de perforación 4.0 x 4.5 – RP 1



Anexo 5: Malla de perforación 4.0 x 4.5 – RP 2



Anexo 6: Malla de perforación 4.0 x 4.5 – RP 3



EXSANEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL
CANT.	1		1		1		2	2	4	4		4		3		4		6	5	5	42

PERFORACIÓN	UND	13 pies	12 pies	11 pies
Longitud Perforación	m.	3.85	3.55	3.25
Taladros Cargados	und.	42	42	42
Taladros Rimados	und.	4	4	4
Diámetro Broca	mm.	48	48	48
Diámetro Rimadora	pulg.	4	4	4

VOLADURA	UND	13 pies	12 pies	11 pies
Emulex 80 1/4 x 12"	cart.	345	321	297
Emulex 65 1/4 x 12"	cart.	187	169	151
Emulex 45 1/8 x 12"	cart.	0	0	0
Total Explosivo	kg.	133.5	123.1	112.7
Cordón Detonante 5P	m.	30	30	30
Mecha Rápida	m.	0.2	0.2	0.2
Exsanel LP	pzs.	42	42	42
Det. Ensamblado 7"	pzs.	2	2	2

RESULTADOS	UND	13 pies	12 pies	11 pies
Avance	m.	3.5	3.2	3.0
Eficiencia de Avance	%	91%	91%	91%
Factor de Carga	kg/m <sup>3</sup>	2.12	2.12	2.12
Factor de Avance	kg/m	38.1	38.1	38.1

UBICACIÓN DE TALADROS	DISTRIBUCIÓN DE CARGA EXPLOSIVA									
	13 pies			12 pies			11 pies			
	Emulex 80	Emulex 65	Emulex 45	Emulex 80	Emulex 65	Emulex 45	Emulex 80	Emulex 65	Emulex 45	
Arranque	3	15		14			13			
1° Ayuda	4	14		13			12			
2° Ayuda	4	13		12			11			
3° Ayuda	4	13		12			11			
4° Ayuda	4	13		12			11			
Ayda corona	3	1	11	1	10		1	9		
Ayda Arrastre	4	1	11	1	10		1	9		
Cuadrador	6	1	10	1	9		1	8		
Corona	5	1	10	1	9		1	8		
Arrastre	5	14		13			12			
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>345</b>	<b>187</b>	<b>0</b>	<b>321</b>	<b>169</b>	<b>0</b>	<b>297</b>	<b>151</b>	<b>0</b>

<b>VOLCAN</b> VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	
ELABORADO	Ricard Quirope
REVISADO	Frank Cipriani
APROBADO	Heider Quinteros
APROBADO	Jhon Araya

## CHUNGAR

SECCIÓN 4.0 m x 4.5 m

DISEÑO DE MALLA  
PERFORACIÓN Y VOLADURA

ROCA		RMRC: 41 - 50	CALIDAD: REGULAR-B	GSI: FIP FMP	FECHA: 23/08/19	ESCALA: 1:30
------	--	---------------	--------------------	--------------	-----------------	--------------

Anexo 7: Calculo de indicadores de productividad

*Cálculo de indicadores de productividad – mayo*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	4.70	5.1	106.1	111.6	-0.1	11.1	11.6
2	4.30	2.8	97.1	102.1	2.2	2.1	2.1
3	4.50	2.8	101.6	106.9	2.2	6.6	6.9
4	4.40	0.0	99.3	104.5	5.0	4.3	4.5
5	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
6	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
7	4.70	10.5	106.1	111.6	-5.5	11.1	11.6
8	4.60	10.5	103.8	109.3	-5.5	8.8	9.3
9	4.40	0.3	99.3	104.5	4.7	4.3	4.5
10	3.80	2.6	85.8	90.3	2.4	-9.2	-9.7
11	4.30	4.8	97.1	102.1	0.2	2.1	2.1
12	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
13	4.30	2.9	97.1	102.1	2.1	2.1	2.1
14	4.40	0.1	99.3	104.5	4.9	4.3	4.5
15	4.40	34.7	99.3	104.5	-29.7	4.3	4.5
16	4.40	0.2	99.3	104.5	4.8	4.3	4.5
17	3.60	5.3	81.3	85.5	-0.3	-13.7	-14.5
18	4.60	5.3	103.8	109.3	-0.3	8.8	9.3
19	4.90	2.8	110.6	116.4	2.2	15.6	16.4
20	4.50	7.8	101.6	106.9	-2.8	6.6	6.9
21	4.70	2.8	106.1	111.6	2.2	11.1	11.6
22	4.90	5.3	110.6	116.4	-0.3	15.6	16.4
23	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
24	4.70	12.8	106.1	111.6	-7.8	11.1	11.6
25	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
26	5.07	16.1	114.4	120.4	-11.1	19.4	20.4
27	5.44	29.4	122.8	129.2	-24.4	27.8	29.2
28	4.50	10.0	101.6	106.9	-5.0	6.6	6.9
29	3.10	2.4	70.0	73.6	2.6	-25.0	-26.4
30	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
31	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
<b>PROM.</b>	4.45	5.7	100.5	105.7	-0.7	5.5	5.7

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de indicadores de productividad – junio*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	4.50	21.1	101.6	106.9	-16.1	6.6	6.9
2	5.00	15.3	112.9	118.8	-10.3	17.9	18.8
3	4.40	4.3	99.3	104.5	0.7	4.3	4.5
4	4.60	5.3	103.8	109.3	-0.3	8.8	9.3
5	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
6	3.90	13.0	88.0	92.6	-8.0	-7.0	-7.4
7	4.00	11.8	90.3	95.0	-6.8	-4.7	-5.0
8	4.20	3.4	94.8	99.8	1.6	-0.2	-0.2
9	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
10	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
11	3.90	0.0	88.0	92.6	5.0	-7.0	-7.4
12	4.30	5.0	97.1	102.1	0.0	2.1	2.1
13	4.20	5.0	94.8	99.8	0.0	-0.2	-0.2
14	4.30	2.5	97.1	102.1	2.5	2.1	2.1
15	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
16	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
17	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
18	4.60	0.2	103.8	109.3	4.8	8.8	9.3
19	3.90	7.9	88.0	92.6	-2.9	-7.0	-7.4
20	4.50	5.0	101.6	106.9	0.0	6.6	6.9
21	4.00	2.8	90.3	95.0	2.2	-4.7	-5.0
22	4.30	0.3	97.1	102.1	4.7	2.1	2.1
23	4.50	15.9	101.6	106.9	-10.9	6.6	6.9
24	4.00	5.3	90.3	95.0	-0.3	-4.7	-5.0
25	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
26	4.20	5.3	94.8	99.8	-0.3	-0.2	-0.2
27	4.30	2.8	97.1	102.1	2.2	2.1	2.1
28	4.00	2.6	90.3	95.0	2.4	-4.7	-5.0
29	4.20	5.3	94.8	99.8	-0.3	-0.2	-0.2
30	4.10	2.8	92.6	97.4	2.2	-2.4	-2.6
31	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
32	4.00	7.8	90.3	95.0	-2.8	-4.7	-5.0
33	4.40	15.3	99.3	104.5	-10.3	4.3	4.5
34	4.20	10.5	94.8	99.8	-5.5	-0.2	-0.2
35	4.50	21.2	101.6	106.9	-16.2	6.6	6.9
36	4.80	2.8	108.4	114.0	2.2	13.4	14.0
<b>PROM.</b>	<b>4.27</b>	<b>5.6</b>	<b>96.4</b>	<b>101.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de indicadores de productividad – julio*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
2	4.00	5.3	90.3	95.0	-0.3	-4.7	-5.0
3	3.90	5.3	88.0	92.6	-0.3	-7.0	-7.4
4	4.00	0.0	90.3	95.0	5.0	-4.7	-5.0
5	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
6	4.00	0.0	90.3	95.0	5.0	-4.7	-5.0
7	4.20	5.3	94.8	99.8	-0.3	-0.2	-0.2
8	4.80	2.8	108.4	114.0	2.2	13.4	14.0
9	4.00	0.0	90.3	95.0	5.0	-4.7	-5.0
10	4.20	0.4	94.8	99.8	4.6	-0.2	-0.2
11	4.90	25.7	110.6	116.4	-20.7	15.6	16.4
12	4.70	10.7	106.1	111.6	-5.7	11.1	11.6
13	4.50	30.6	101.6	106.9	-25.6	6.6	6.9
14	4.60	10.7	103.8	109.3	-5.7	8.8	9.3
15	4.20	0.1	94.8	99.8	4.9	-0.2	-0.2
16	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
17	4.40	4.4	99.3	104.5	0.6	4.3	4.5
18	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
19	4.50	0.3	101.6	106.9	4.7	6.6	6.9
20	4.40	0.0	99.3	104.5	5.0	4.3	4.5
21	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
22	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
23	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
24	4.30	5.3	97.1	102.1	-0.3	2.1	2.1
25	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
26	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
27	4.50	20.0	101.6	106.9	-15.0	6.6	6.9
28	4.00	0.1	90.3	95.0	4.9	-4.7	-5.0
29	4.20	2.6	94.8	99.8	2.4	-0.2	-0.2
30	3.50	2.0	79.0	83.1	3.0	-16.0	-16.9
31	4.30	2.8	97.1	102.1	2.2	2.1	2.1
32	4.70	0.0	106.1	111.6	5.0	11.1	11.6
33	4.60	5.1	103.8	109.3	-0.1	8.8	9.3
34	4.60	0.2	103.8	109.3	4.8	8.8	9.3
35	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
36	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
37	4.00	0.0	90.3	95.0	5.0	-4.7	-5.0
38	4.20	6.9	94.8	99.8	-1.9	-0.2	-0.2
39	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
40	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
<b>PROM.</b>	<b>4.29</b>	<b>3.8</b>	<b>97.5</b>	<b>102.6</b>	<b>1.2</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de indicadores de productividad – agosto*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	3.90	0.0	88.0	92.6	5.0	-7.0	-7.4
2	4.20	6.0	94.8	99.8	-1.0	-0.2	-0.2
3	4.50	11.6	101.6	106.9	-6.6	6.6	6.9
4	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
5	4.50	10.5	101.6	106.9	-5.5	6.6	6.9
6	3.80	13.2	85.8	90.3	-8.2	-9.2	-9.7
7	3.90	10.5	88.0	92.6	-5.5	-7.0	-7.4
8	4.70	12.8	106.1	111.6	-7.8	11.1	11.6
9	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
10	4.50	0.3	101.6	106.9	4.7	6.6	6.9
11	4.50	13.2	101.6	106.9	-8.2	6.6	6.9
12	4.00	5.1	90.3	95.0	-0.1	-4.7	-5.0
13	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
14	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
15	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
16	4.00	5.3	90.3	95.0	-0.3	-4.7	-5.0
17	4.20	0.7	94.8	99.8	4.3	-0.2	-0.2
18	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
19	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
20	4.00	22.9	90.3	95.0	-17.9	-4.7	-5.0
21	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
22	4.50	11.4	101.6	106.9	-6.4	6.6	6.9
23	4.50	25.5	101.6	106.9	-20.5	6.6	6.9
24	4.40	0.0	99.3	104.5	5.0	4.3	4.5
25	4.20	0.7	94.8	99.8	4.3	-0.2	-0.2
<b>PROM.</b>	<b>4.30</b>	<b>6.0</b>	<b>97.1</b>	<b>102.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de indicadores de productividad – setiembre*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	4.20	2.8	94.8	99.8	2.2	-0.2	-0.2
2	4.90	5.1	110.6	116.4	-0.1	15.6	16.4
3	4.30	5.9	97.1	102.1	-0.9	2.1	2.1
4	4.40	18.5	99.3	104.5	-13.5	4.3	4.5
5	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
6	4.60	13.2	103.8	109.3	-8.2	8.8	9.3
7	4.60	0.0	103.8	109.3	5.0	8.8	9.3
8	5.00	0.0	112.9	118.8	5.0	17.9	18.8
9	4.50	0.2	101.6	106.9	4.8	6.6	6.9
10	4.40	0.2	99.3	104.5	4.8	4.3	4.5
11	4.40	8.2	99.3	104.5	-3.2	4.3	4.5
12	4.30	11.4	97.1	102.1	-6.4	2.1	2.1
13	4.50	11.4	101.6	106.9	-6.4	6.6	6.9
14	4.30	17.0	97.1	102.1	-12.0	2.1	2.1
15	4.20	13.2	94.8	99.8	-8.2	-0.2	-0.2
16	4.40	0.2	99.3	104.5	4.8	4.3	4.5
17	4.30	13.0	97.1	102.1	-8.0	2.1	2.1
18	4.30	13.0	97.1	102.1	-8.0	2.1	2.1
19	4.30	5.3	97.1	102.1	-0.3	2.1	2.1
20	4.30	10.5	97.1	102.1	-5.5	2.1	2.1
21	4.30	11.9	97.1	102.1	-6.9	2.1	2.1
22	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
23	4.50	22.2	101.6	106.9	-17.2	6.6	6.9
24	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
25	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
26	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
27	4.40	5.7	99.3	104.5	-0.7	4.3	4.5
28	4.20	0.2	94.8	99.8	4.8	-0.2	-0.2
29	4.40	0.2	99.3	104.5	4.8	4.3	4.5
<b>PROM.</b>	<b>4.41</b>	<b>6.5</b>	<b>99.6</b>	<b>104.8</b>	<b>-1.5</b>	<b>4.6</b>	<b>4.8</b>

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de indicadores de productividad – octubre

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	5.10	10.5	115.1	121.1	-5.5	20.1	21.1
2	4.80	0.0	108.4	114.0	5.0	13.4	14.0
3	4.30	0.0	97.1	102.1	5.0	2.1	2.1
4	4.40	0.0	99.3	104.5	5.0	4.3	4.5
5	5.30	5.1	119.6	125.9	-0.1	24.6	25.9
6	4.30	4.1	97.1	102.1	0.9	2.1	2.1
7	4.50	1.0	101.6	106.9	4.0	6.6	6.9
8	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
9	4.40	24.1	99.3	104.5	-19.1	4.3	4.5
10	4.20	6.0	94.8	99.8	-1.0	-0.2	-0.2
11	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
12	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
13	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
14	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
15	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
16	4.10	0.0	92.6	97.4	5.0	-2.4	-2.6
17	4.30	5.7	97.1	102.1	-0.7	2.1	2.1
18	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
19	4.70	0.0	106.1	111.6	5.0	11.1	11.6
20	4.50	13.0	101.6	106.9	-8.0	6.6	6.9
21	4.30	7.5	97.1	102.1	-2.5	2.1	2.1
22	4.70	10.0	106.1	111.6	-5.0	11.1	11.6
23	4.10	6.9	92.6	97.4	-1.9	-2.4	-2.6
24	4.50	32.2	101.6	106.9	-27.2	6.6	6.9
25	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
<b>PROM.</b>	4.43	5.0	100.0	105.2	0.0	5.0	5.2

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de indicadores de productividad – noviembre*

DISPARO	AVANCE	SOBRE ROTURA	EFIC. VOLADURA	EFIC. AVANCE	VARIACION SOBRE ROTURA	VARIACION EFIC. VOLADURA	VARIACION EFIC. AVANCE
1	4.80	25.5	108.4	114.0	-20.5	13.4	14.0
2	4.50	8.8	101.6	106.9	-3.8	6.6	6.9
3	4.50	17.0	101.6	106.9	-12.0	6.6	6.9
4	4.40	6.0	99.3	104.5	-1.0	4.3	4.5
5	4.80	8.8	108.4	114.0	-3.8	13.4	14.0
6	4.60	28.3	103.8	109.3	-23.3	8.8	9.3
7	4.50	11.6	101.6	106.9	-6.6	6.6	6.9
8	4.30	25.2	97.1	102.1	-20.2	2.1	2.1
9	4.10	11.2	92.6	97.4	-6.2	-2.4	-2.6
10	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
11	4.50	0.0	101.6	106.9	5.0	6.6	6.9
12	4.30	5.3	97.1	102.1	-0.3	2.1	2.1
13	4.20	0.0	94.8	99.8	5.0	-0.2	-0.2
14	4.50	0.2	101.6	106.9	4.8	6.6	6.9
15	4.40	2.8	99.3	104.5	2.2	4.3	4.5
16	4.30	2.4	97.1	102.1	2.6	2.1	2.1
<b>PROM.</b>	4.43	9.6	100.0	105.3	-4.6	5.0	5.3

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Calculo de ahorros potenciales – sección 4 x 4 regular

*Costos de perforación – sección 4 x 4 regular*

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Diámetro perforación - tiros cargados	mm	51	48
Diámetro perforación - alivio	mm	102	102
Largo perforación	m	3.6	3.6
Avance efectivo	m	2.4	3.46
N° Rimado (alivio)	Unidad	4	4
N° Arranques (rainura)	Unidad	3	5
N° Producción	Unidad	12	8
N° Ayudantes	Unidad	4	4
N° Arrastre (zapateras)	Unidad	5	5
N° Hastiales (cajas)	Unidad	4	4
N° Corona	Unidad	5	5
Total tiros por voladura	Unidad	33	31
Rendimiento de perforación	mb/hr	0.08	0.08
Tiempo perforación	hr/sección	1,122,077	736,344
<b>COSTO PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario perforación	USD/m	0.29	0.29
COSTO PERFORACIÓN	USD/month	27,117	17,795
AHORROS PERFORACIÓN	USD/month		9,322
COSTO PERFORACIÓN	USD/ton	0.41	0.27
AHORROS PERFORACIÓN	USD/ton		0.14

Fuente: Elaboración propia

*Explosivos y accesorios– sección 4 x 4 regular*

<b>EXPLOSIVO Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Tipo de cebo	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Emulex 80 - 1 1/4"x12"
Explosivo de Arranques (rainura)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Producción	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Arrastre (zapateras)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Hastiales (cajas)	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Explosivo de corona	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Tipo de detonador	Nombre	Exsanel LP	Exsanel LP
Densidad Arranques (rainura)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Producción	g/cc	0.0	0.90
Densidad Ayuda	g/cc	0.0	0.90
Densidad Arrastre (zapateras)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Hastiales (cajas)	g/cc	0.0	0.63
Densidad Corona	g/cc	0.0	0.63
Taco Arranques (rainura)	m	0.20	0.80
Taco Producción	m	0.60	0.80
Taco Ayuda	m	0.60	0.80
Taco Arrastre (zapateras)	m	0.20	0.80
Taco Hastiales (cajas)	m	1.40	0.80
Taco Corona	m	1.40	0.80

Fuente: Elaboración propia

*Consumo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4 regular*

<b>CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
<b>Cordón por voladura</b>	m	50	50
<b>Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"</b>	Unidad/voladura	33	31
<b>Emulex 80 - 1 1/4"x12"</b>	Unidad/voladura	88	0
<b>Emulex 65 - 1 1/8" x 12"</b>	Unidad/voladura	160	0
<b>Emulex 45 - 1 1/8"x12"</b>	Unidad/voladura	63	0
<b>Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"</b>	kg/voladura	8.9	8.4
<b>Emulex 80 - 1 1/4"x12"</b>	kg/voladura	23.8	0
<b>Emulex 65 - 1 1/8" x 12"</b>	kg/voladura	35.0	0
<b>Emulex 45 - 1 1/8"x12"</b>	kg/voladura	12.3	0
<b>Subtek Charge</b>	kg/voladura	0.0	109.19
<b>Subtek Control</b>	kg/voladura	0.0	28.50
<b>Subtek Charge</b>	ton/mes	0.0	53.2
<b>Subtek Control</b>	ton/mes	0.0	13.9
<b>Emulex 80 - 1 1/4"x12"</b>	ton/mes	23.0	4.1
<b>Emulex 65 - 1 1/8" x 12"</b>	ton/mes	24.6	0.0
<b>Emulex 45 - 1 1/8"x12"</b>	ton/mes	9	0
<b>Non electrical detonators</b>	Unidad/mes	23,166	15,097

Fuente: Elaboración propia

*Costo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4 regular*

<b>COSTO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Precio de cordón	USD/m	0.215	0.215
Precio de Subtek Charge	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Subtek Control	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Emulex 80 - 1 1/4"x12"	USD/ton	1,660	1,660
Precio de Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	USD/ton	1,650	1,650
Precio de Emulex 45 - 1 1/8"x12"	USD/ton	1,630	1,630
Precio de non electrical detonator	USD/u	0.90	0.90
Costo Voladura	USD/voladura	173	257
Delta costo voladura	USD/voladura		84
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	121,204	125,111
Delta de costo voladuras	USD/mes		-3,907
Costo Explosivos & Accesorios	USD/ton	1.85	1.91
Delta de costo voladuras	USD/ton		-0.06

Fuente: Elaboración propia

*Costo de sostenimiento– sección 4 x 4 regular*

<b>SOSTENIMIENTO (SHOTCRETE)</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Perímetro nominal de fortificación (caja & cielo)	m	10.6	10.6
Perímetro real de fortificación (caja & cielo)	m	11.7	11.2
Espesor Shotcrete	pulgadas	2.00	2.00
Volumen Shotcrete por voladura	m3/voladura	1.43	1.96
% rebote Shotcrete	%	10%	10%
% Aplicación en mina	%	100%	100%
Volumen total Shotcrete	m3	1,102	1,052
<b>COSTO FORTIFICACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario de Shotcrete con instalación	USD/m3	112	112
Costo sostenimiento	USD/mes	123,619	118,000
Costo sostenimiento	USD/mes	123,619	118,000
Delta de sostenimiento	USD/mes		5,619

Fuente: Elaboración propia

*Costo por extracción y transporte– sección 4 x 4 regular*

<b>COSTO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	26,226	26,226
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	2,623	1,311
Costo Extracción (equipo+operador)	USD/m3	3.39	3.39
Costo Adicional de Extracción Material	USD	97,810	93,364
Delta Extracción	USD		4,446
Costo Adicional de Extracción Material	USD/ton	1.49	1.42
Delta Extracción	USD/ton		0

<b>COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	26,226	26,226
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	2,623	1,311
Distancia camiones	km	1.50	1.50
Costo Transporte (camión con operador)	t/km	1.51	1.51
Costo Transporte de Material	USD	108,722	103,780
Delta Transporte	USD		4,942
Costo Transporte de Material	USD/ton	1.66	1.58
Delta Transporte	USD/ton		0

Fuente: Elaboración propia

*Costo de recursos humanos– sección 4 x 4 regular*

<b>COSTO RECURSOS HUMANOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Equipos de voladura por turno	unidad/turno	4	3
Total equipos voladura (14x7)	unidad	6	5
Total personas	unidad	30	15
Costo por persona	USD/mes	1,950	1,950
Costo Recursos Humanos	USD	58,500	29,250
Delta Recursos Humanos	USD		29,250

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Calculo de ahorros potenciales – sección 4 x 4 buena

*Costos de perforación – sección 4 x 4 buena*

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Diámetro perforación - tiros cargados	mm	48	48
Diámetro perforación - alivio	mm	102	102
Largo perforación	m	3.6	3.6
Avance efectivo	m	2.4	3.53
N° Rimado (alivio)	Unidad	4	4
N° Arranques (rainura)	Unidad	4	5
N° Producción	Unidad	10	14
N° Ayudantes	Unidad	12	4
N° Arrastre (zapateras)	Unidad	5	5
N° Hastiales (cajas)	Unidad	4	4
N° Corona	Unidad	5	5
Total tiros por voladura	Unidad	40	37
Rendimiento de perforación	mb/hr	0.08	0.08
Tiempo perforación	hr/sección	1,360,973	862,574
<b>COSTO PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario perforación	USD/m	0.29	0.29
COSTO PERFORACIÓN	USD/month	32,890	20,846
AHORROS PERFORACIÓN	USD/month		12,045
COSTO PERFORACIÓN	USD/ton	0.49	0.31
AHORROS PERFORACIÓN	USD/ton		0.18

Fuente: Elaboración propia

*Explosivos y accesorios– sección 4 x 4 buena*

<b>EXPLOSIVO Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Tipo de cebo	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Emulex 80 - 1 1/4"x12"
Explosivo de Arranques (rainura)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Producción	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Arrastre (zapateras)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Hastiales (cajas)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de corona	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Tipo de detonador	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Densidad Arranques (rainura)	g/cc	Exsanel LP	Exsanel LP
Densidad Producción	g/cc	0.0	1.08
Densidad Ayuda	g/cc	0.0	0.90
Densidad Arrastre (zapateras)	g/cc	0.0	0.90
Densidad Hastiales (cajas)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Corona	g/cc	0.0	0.63
Taco Arranques (rainura)	m	0.0	0.63
Taco Producción	m	0.20	0.65
Taco Ayuda	m	0.60	0.65
Taco Arrastre (zapateras)	m	0.60	0.65
Taco Hastiales (cajas)	m	0.20	0.65
Taco Corona	m	1.40	0.65

Fuente: Elaboración propia

*Consumo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4 buena*

<b>CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Cordón por voladura	m	50	50
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	40	37
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	219	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	Unidad/voladura	128	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Unidad/voladura	35	0
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	10.8	10.0
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	59.2	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	kg/voladura	28.0	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	kg/voladura	6.8	0
Subtek Charge	kg/voladura	0.0	143.86
Subtek Control	kg/voladura	0.0	30.03
Subtek Charge	ton/mes	0.0	70.1
Subtek Control	ton/mes	0.0	14.6
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	ton/mes	50.2	4.9
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	ton/mes	20.1	0.0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	ton/mes	5	0
Non electrical detonators	Unidad/mes	28,640	18,019

Fuente: Elaboración propia

*Costo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4 buena*

<b>COSTO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Precio de cordón	USD/m	0.215	0.215
Precio de Subtek Charge	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Subtek Control	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Emulex 80 - 1 1/4"x12"	USD/ton	1,660	1,660
Precio de Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	USD/ton	1,650	1,650
Precio de Emulex 45 - 1 1/8"x12"	USD/ton	1,630	1,630
Precio de non electrical detonator	USD/u	0.90	0.90
Costo Voladura	USD/voladura	220	319
Delta costo voladura	USD/voladura		98
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	157,839	155,217
Delta de costo voladuras	USD/mes		2,622
Costo Explosivos & Accesorios	USD/ton	2.36	2.32
Delta de costo voladuras	USD/ton		0.04

Fuente: Elaboración propia

*Costo de sostenimiento– sección 4 x 4 buena*

<b>SOSTENIMIENTO (SHOTCRETE)</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Perímetro nominal de fortificación (caja & cielo)	m	10.6	10.6
Perímetro real de fortificación (caja & cielo)	m	11.7	11.3
Espesor Shotcrete	pulgadas	2.00	2.00
Volumen Shotcrete por voladura	m3/voladura	1.43	2.02
% rebote Shotcrete	%	10%	10%
% Aplicación en mina	%	100%	100%
Volumen total Shotcrete	m3	1,125	1,084
<b>COSTO FORTIFICACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario de Shotcrete con instalación	USD/m3	112	112
Costo sostenimiento	USD/mes	126,195	121,606
Costo sostenimiento	USD/mes	126,195	121,606
Delta de sostenimiento	USD/mes		4,589

Fuente: Elaboración propia

*Costo por extracción y transporte– sección 4 x 4 buena*

<b>COSTO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	26,772	26,772
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	2,677	1,606
Costo Extracción (equipo+operador)	USD/m3	3.39	3.39
Costo Adicional de Extracción Material	USD	99,847	96,217
Delta Extracción	USD		3,631
Costo Adicional de Extracción Material	USD/ton	1.49	1.44
Delta Extracción	USD/ton		0

<b>COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	26,772	26,772
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	2,677	1,606
Distancia camiones	km	1.50	1.50
Costo Transporte (camión con operador)	t/km	1.51	1.51
Costo Transporte de Material	USD	110,987	106,951
Delta Transporte	USD		4,036
Costo Transporte de Material	USD/ton	1.66	1.60
Delta Transporte	USD/ton		0

Fuente: Elaboración propia

*Costo de recursos humanos– sección 4 x 4 buena*

<b>COSTO RECURSOS HUMANOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Equipos de voladura por turno	unidad/turno	4	3
Total equipos voladura (14x7)	unidad	6	5
Total personas	unidad	30	15
Costo por persona	USD/mes	1,950	1,950
Costo Recursos Humanos	USD	58,500	29,250
Delta Recursos Humanos	USD		29,250

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Calculo de ahorros potenciales – sección 4 x 4.5 regular

*Costos de perforación – sección 4 x 4.5 regular*

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Diámetro perforación - tiros cargados	mm	51	48
Diámetro perforación - alivio	mm	102	102
Largo perforación	m	3.6	3.6
Avance efectivo	m	2.4	3.53
N° Rimado (alivio)	Unidad	4	4
N° Arranques (rainura)	Unidad	3	5
N° Producción	Unidad	14	9
N° Ayudantes	Unidad	4	4
N° Arrastre (zapateras)	Unidad	5	5
N° Hastiales (cajas)	Unidad	6	6
N° Corona	Unidad	5	5
Total tiros por voladura	Unidad	37	34
Rendimiento de perforación	mb/hr	0.08	0.08
Tiempo perforación	hr/sección	1,268,179	799,459
<b>COSTO PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario perforación	USD/m	0.29	0.29
COSTO PERFORACIÓN	USD/month	30,648	19,320
AHORROS PERFORACIÓN	USD/month		11,327
COSTO PERFORACIÓN	USD/ton	0.41	0.26
AHORROS PERFORACIÓN	USD/ton		0.15

Fuente: Elaboración propia

*Explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 regular*

<b>EXPLOSIVO Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Tipo de cebo	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Emulex 80 - 1 1/4"x12"
Explosivo de Arranques (rainura)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Producción	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Arrastre (zapateras)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Hastiales (cajas)	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Explosivo de corona	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Tipo de detonador	Nombre	Exsanel LP	Exsanel LP
Densidad Arranques (rainura)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Producción	g/cc	0.0	0.90
Densidad Ayuda	g/cc	0.0	0.90
Densidad Arrastre (zapateras)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Hastiales (cajas)	g/cc	0.0	0.63
Densidad Corona	g/cc	0.0	0.63
Taco Arranques (rainura)	m	0.30	0.80
Taco Producción	m	0.60	0.80
Taco Ayuda	m	0.60	0.80
Taco Arrastre (zapateras)	m	0.30	0.80
Taco Hastiales (cajas)	m	1.40	0.80
Taco Corona	m	1.40	0.80

Fuente: Elaboración propia

*Consumo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 regular*

<b>CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Cordón por voladura	m	50	50
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	37	34
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	88	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	Unidad/voladura	180	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Unidad/voladura	77	0
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	10.0	9.2
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	23.8	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	kg/voladura	39.4	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	kg/voladura	15.1	0
Subtek Charge	kg/voladura	0.0	113.75
Subtek Control	kg/voladura	0.0	34.83
Subtek Charge	ton/mes	0.0	55.4
Subtek Control	ton/mes	0.0	17.0
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	ton/mes	24.2	4.5
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	ton/mes	28.2	0.0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	ton/mes	11	0
Non electrical detonators	Unidad/mes	26,492	16,558

Fuente: Elaboración propia

*Costo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 regular*

<b>COSTO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Precio de cordón	USD/m	0.215	0.215
Precio de Subtek Charge	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Subtek Control	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Emulex 80 - 1 1/4"x12"	USD/ton	1,660	1,660
Precio de Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	USD/ton	1,650	1,650
Precio de Emulex 45 - 1 1/8"x12"	USD/ton	1,630	1,630
Precio de non electrical detonator	USD/u	0.90	0.90
Costo Voladura	USD/voladura	190	277
Delta costo voladura	USD/voladura		87
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	135,851	134,955
Delta de costo voladuras	USD/mes		897
Costo Explosivos & Accesorios	USD/ton	1.80	1.79
Delta de costo voladuras	USD/ton		0.01

Fuente: Elaboración propia

*Costo de sostenimiento– sección 4 x 4.5 regular*

<b>SOSTENIMIENTO (SHOTCRETE)</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Perímetro nominal de fortificación (caja & cielo)	m	11.6	11.6
Perímetro real de fortificación (caja & cielo)	m	12.8	12.3
Espesor Shotcrete	pulgadas	2.00	2.00
Volumen Shotcrete por voladura	m3/voladura	1.56	2.21
% rebote Shotcrete	%	10%	10%
% Aplicación en mina	%	100%	100%
Volumen total Shotcrete	m3	1,230	1,186
<b>COSTO FORTIFICACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario de Shotcrete con instalación	USD/m3	112	112
Costo sostenimiento	USD/mes	138,053	133,033
Costo sostenimiento	USD/mes	138,053	133,033
Delta de sostenimiento	USD/mes		5,020

Fuente: Elaboración propia

*Costo por extracción y transporte– sección 4 x 4.5 regular*

<b>COSTO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	30,211	30,211
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	3,021	1,813
Costo Extracción (equipo+operador)	USD/m3	3.39	3.39
Costo Adicional de Extracción Material	USD	112,672	108,575
Delta Extracción	USD		4,097
Costo Adicional de Extracción Material	USD/ton	1.49	1.44
Delta Extracción	USD/ton		0

<b>COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	30,211	30,211
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	3,021	1,813
Distancia camiones	km	1.50	1.50
Costo Transporte (camión con operador)	t/km	1.51	1.51
Costo Transporte de Material	USD	125,242	120,688
Delta Transporte	USD		4,554
Costo Transporte de Material	USD/ton	1.66	1.60
Delta Transporte	USD/ton		0

Fuente: Elaboración propia

*Costo de recursos humanos– sección 4 x 4.5 regular*

<b>COSTO RECURSOS HUMANOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Equipos de voladura por turno	unidad/turno	4	3
Total equipos voladura (14x7)	unidad	6	5
Total personas	unidad	30	15
Costo por persona	USD/mes	1,950	1,950
Costo Recursos Humanos	USD	58,500	29,250
Delta Recursos Humanos	USD		29,250

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Calculo de ahorros potenciales – sección 4 x 4.5 buena

*Costos de perforación – sección 4 x 4.5 buena*

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Diámetro perforación - tiros cargados	mm	48	48
Diámetro perforación - alivio	mm	102	102
Largo perforación	m	3.6	3.6
Avance efectivo	m	2.4	3.53
N° Rimado (alivio)	Unidad	4	4
N° Arranques (rainura)	Unidad	4	5
N° Producción	Unidad	12	11
N° Ayudantes	Unidad	12	4
N° Arrastre (zapateras)	Unidad	5	5
N° Hastiales (cajas)	Unidad	6	6
N° Corona	Unidad	5	5
Total tiros por voladura	Unidad	44	36
Rendimiento de perforación	mb/hr	0.08	0.08
Tiempo perforación	hr/sección	1,484,698	841,536
Costo perforación	Unidad	Línea base	Potencial
Costo unitario perforación	USD/m	0.29	0.29
<b>COSTO PERFORACIÓN</b>	USD/month	35,880	20,337
<b>AHORROS PERFORACIÓN</b>	USD/month		15,543
<b>COSTO PERFORACIÓN</b>	USD/ton	0.48	0.27
<b>AHORROS PERFORACIÓN</b>	USD/ton		0.21

Fuente: Elaboración propia

*Explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 buena*

<b>EXPLOSIVO Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Tipo de cebo	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Emulex 80 - 1 1/4"x12"
Explosivo de Arranques (rainura)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Producción	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Arrastre (zapateras)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de Hastiales (cajas)	Nombre	Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Subtek Charge
Explosivo de corona	Nombre	Emulex 65 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Tipo de detonador	Nombre	Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Subtek Control
Densidad Arranques (rainura)	g/cc	Exsanel LP	Exsanel LP
Densidad Producción	g/cc	0.0	1.08
Densidad Ayuda	g/cc	0.0	0.90
Densidad Arrastre (zapateras)	g/cc	0.0	0.90
Densidad Hastiales (cajas)	g/cc	0.0	1.08
Densidad Corona	g/cc	0.0	0.63
Taco Arranques (rainura)	m	0.0	0.63
Taco Producción	m	0.20	0.65
Taco Ayuda	m	0.60	0.65
Taco Arrastre (zapateras)	m	0.60	0.65
Taco Hastiales (cajas)	m	0.20	0.65
Taco Corona	m	1.40	0.65

Fuente: Elaboración propia

*Consumo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 buena*

<b>CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Cordón por voladura	m	50	50
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	44	36
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	Unidad/voladura	219	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	Unidad/voladura	162	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	Unidad/voladura	35	0
Primer-Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	11.9	9.7
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	kg/voladura	59.2	0
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	kg/voladura	35.5	0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	kg/voladura	6.8	0
Subtek Charge	kg/voladura	0.0	129.45
Subtek Control	kg/voladura	0.0	36.70
Subtek Charge	ton/mes	0.0	63.0
Subtek Control	ton/mes	0.0	17.9
Emulex 80 - 1 1/4"x12"	ton/mes	50.9	4.7
Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	ton/mes	25.4	0.0
Emulex 45 - 1 1/8"x12"	ton/mes	5	0
Non electrical detonators	Unidad/mes	31,504	17,532

Fuente: Elaboración propia

*Costo de explosivos y accesorios– sección 4 x 4.5 buena*

<b>COSTO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Precio de cordón	USD/m	0.215	0.215
Precio de Subtek Charge	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Subtek Control	USD/ ton	1,484	1,484
Precio de Emulex 80 - 1 1/4"x12"	USD/ton	1,660	1,660
Precio de Emulex 65 - 1 1/8" x 12"	USD/ton	1,650	1,650
Precio de Emulex 45 - 1 1/8"x12"	USD/ton	1,630	1,630
Precio de non electrical detonator	USD/u	0.90	0.90
Costo Voladura	USD/voladura	238	306
Delta costo voladura	USD/voladura		68
Costo Explosivos & Accesorios	USD/mes	170,496	148,966
Delta de costo voladuras	USD/mes		21,530
Costo Explosivos & Accesorios	USD/ton	2.26	1.97
Delta de costo voladuras	USD/ton		0.29

Fuente: Elaboración propia

*Costo de sostenimiento– sección 4 x 4.5 buena*

<b>SOSTENIMIENTO (SHOTCRETE)</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Perímetro nominal de fortificación (caja & cielo)	m	11.6	11.6
Perímetro real de fortificación (caja & cielo)	m	12.8	12.3
Espesor Shotcrete	pulgadas	2.00	2.00
Volumen Shotcrete por voladura	m3/voladura	1.56	2.21
% rebote Shotcrete	%	10%	10%
% Aplicación en mina	%	100%	100%
Volumen total Shotcrete	m3	1,230	1,186
<b>COSTO FORTIFICACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Costo unitario de Shotcrete con instalación	USD/m3	112	112
Costo sostenimiento	USD/mes	138,053	133,033
Costo sostenimiento	USD/mes	138,053	133,033
Delta de sostenimiento	USD/mes		5,020

Fuente: Elaboración propia

*Costo por extracción y transporte– sección 4 x 4.5 buena*

<b>COSTO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	30,211	30,211
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	3,021	1,813
Costo Extracción (equipo+operador)	USD/m3	3.39	3.39
Costo Adicional de Extracción Material	USD	112,672	108,575
Delta Extracción	USD		4,097
Costo Adicional de Extracción Material	USD/ton	1.49	1.44
Delta Extracción	USD/ton		0

<b>COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Volumen teórico a remover por voladura	m3	30,211	30,211
Volumen Adicional por sobre-rotura	m3/mes	3,021	1,813
Distancia camiones	km	1.50	1.50
Costo Transporte (camión con operador)	t/km	1.51	1.51
Costo Transporte de Material	USD	125,242	120,688
Delta Transporte	USD		4,554
Costo Transporte de Material	USD/ton	1.66	1.60
Delta Transporte	USD/ton		0

Fuente: Elaboración propia

*Costo de recursos humanos– sección 4 x 4.5 buena*

<b>COSTO RECURSOS HUMANOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍNEA BASE</b>	<b>POTENCIAL</b>
Equipos de voladura por turno	unidad/turno	4	3
Total equipos voladura (14x7)	unidad	6	5
Total personas	unidad	30	15
Costo por persona	USD/mes	1,950	1,950
Costo Recursos Humanos	USD	58,500	29,250
Delta Recursos Humanos	USD		29,250

Fuente: Elaboración propia