



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN MINA  
MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES  
UNITARIAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LOS TAJEOS  
MARIANA Y ALEXIA DE LA COMPAÑÍA MINERA ARCATA S.A.  
AREQUIPA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ROMMEL SMITH ARACA MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2018**



## DEDICATORIA

A Dios, por su infinito amor y bendición. A mis padres: Efraín, María Isabel de quienes me siento orgulloso de ellos por todo el cariño y aprecio que me brindaron y quienes han hecho posible la culminación de mi carrera profesional.

A mi hermana: Betsy por todo el apoyo moral y aliento en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil para culminar mis estudios.



## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Dios supremo y eterno, por concederme salud y vida para seguir trabajando por el bienestar de mi familia.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por brindar la oportunidad para realizar mis estudios superiores.

A la Facultad de Ingeniería de Minas al personal docente y administrativo por haberme transmitido los conocimientos y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

Mi especial agradecimiento a la Compañía Minera Arcata S.A. por haber brindado la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.2 Formulación del problema.....	13
1.2.2 Problemas específicos .....	14
1.2 Formulaciòn de hipótesis.....	14
1.3.2 Hipótesis específicas .....	14
1.4 Objetivos de la investigación.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
1.5 Justificación de la investigación.....	15

### CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación.....	17
2.2 Bases teóricas .....	18
2.2.2 Trazos de arranque. ....	20
2.2.3 Mecánica de rotura de rocas .....	24
2.2.4 Dimensionamiento de la voladura.....	26
2.2.5 Teoría de costos.....	31
2.3 Definiciones conceptuales .....	35



### CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Diseño metodológico.....	39
3.2	Población.....	40
3.3	Muestra.....	40
3.4.1	Variable independiente.....	40
3.4.2	Variable dependiente.....	40
3.5.1	Instrumentos de recolección de datos.....	41
3.6	Ubicación.....	42
3.7	Accesibilidad.....	42
3.8	Historia.....	43
3.9	Topografía y fisiografía.....	45
3.10	Drenaje.....	45
3.11	Clima.....	466
3.12	Vegetación y fauna.....	46
3.13	Disponibilidad de recursos.....	46
3.14	Geología general.....	48
3.15	Geología regional.....	48
3.16	Geología local.....	49
3.17	Geología estructural.....	51
3.18	Geología económica.....	52
3.19	Estratigrafía.....	53
3.20	Mineralización.....	55

### CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Análisis de resultados.....	57
4.2	Perforación en el tajeo mariana y alexia.....	58
4.3	Contrastación de hipótesis.....	58
4.4	Resultados de perforación.....	58
4.5	Resultados de costos de perforación.....	59
4.6	Resultados de voladura.....	63
4.7	Resultados de costos de voladura.....	68
4.8	Discusión de resultados de perforación y voladura.....	69



4.9	Discusión de resultados con otras fuentes .....	70
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>733</b>
<b>ANEXO</b>	<b>.....</b>	<b>735</b>

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Análisis de costos mineros

**Fecha de sustentación: 27 diciembre del 2018**



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Constante del tipo de roca "K" .....	20
Tabla 2: Operacionalización de variables .....	40
Tabla 3: Accesibilidad a Mina Arcata .....	43
Tabla 4: Mano de obra .....	59
Tabla 5: Máquina perforadora .....	59
Tabla 6: Materiales de perforación .....	59
Tabla 7: Herramientas y otros materiales .....	60
Tabla 8: Implementos de seguridad .....	61
Tabla 9: Mano de obra optimizad .....	61
Tabla 10: Máquina perforadora en la optimización .....	62
Tabla 11: Materiales de perforación optimizado .....	62
Tabla 12: Herramientas y otros materiales optimizado .....	62
Tabla 13: Implementos de seguridad optimizado .....	63
Tabla 14: Consumo de explosivos en la voladura anterior .....	64
Tabla 15: Resumen de resultados de la voladura anterior .....	65
Tabla 16: Consumo de explosivos en la voladura optimizada.....	66
Tabla 17: Resultados de la voladura optimizada .....	68
Tabla 18: Materiales de voladura anterior.....	68
Tabla 19: Materiales de voladura optimizada.....	68
Tabla 20: Resumen de resultados anterior y actual .....	69
Tabla 21: Resumen de costos de perforación y voladura .....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del arranque.....	21
Figura 2: Corte en pirámide o diamante. ....	21
Figura 3: Corte en cuña o en V. ....	22
Figura 4: Corte Quemado .....	24





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 02. Diseño de la malla de perforación anterior .....	76
Anexo 03. Diseño de la malla de perforación optimizado .....	77



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.A	: Sociedad Anónima
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
NE	: Nor Este
NW	: Nor Oeste
SW	: Sur Oeste
m	: Metros
mm.	: Milímetro
m <sup>3</sup>	: Metro cúbico
cc	: Centímetro cúbico
Tm	: Tonelada métrica
gr	: Gramos
kg	: Kilogramo
km	: Kilómetro



## RESUMEN

La Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes, dentro de la jurisdicción del distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos y departamento de Arequipa. En la actualidad para el desarrollo de las operaciones unitarias de perforación y voladura, afronta elevados costos de producción debido a una serie de factores y para resolver este problema se ha planteado evaluar las operaciones unitarias de perforación y voladura. El objetivo principal del presente estudio de investigación es optimizar los costos de producción mina, mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa. La metodología para desarrollar el presente estudio de investigación ha consistido primeramente en realizar el control de las operaciones unitarias de perforación y voladura de la explotación anterior, en donde se ha analizado el burden, espaciamiento, número de taladros, tipo de roca, equipos, diseños de labores mineras, maquinaria, y la carga explosiva utilizada, los datos se han registrado en sus respectivas fichas de control. De forma similar en la explotación actual del yacimiento mineral, las pruebas se han realizado en un periodo de 15 días, considerando en el nuevo diseño de la malla de perforación el análisis de: burden, espaciamiento, número de taladros, tipo de roca, equipos, maquinaria y la carga explosiva utilizada según las características del macizo rocoso, todos los datos se han recopilado en las fichas de control. Para alcanzar los resultados requeridos se ha realizado el análisis comparativo de perforación y voladura anterior y actual llegando a las siguientes conclusiones, antes de la optimización se ha utilizado 347 taladros de producción y 312 taladros con optimización, el consumo de explosivos utilizados en la voladura anterior ha sido 166.56 kg y con la optimización 149.76 kg. con una diferencia de 16.80 kg y los costos de perforación y voladura anterior ha sido 7.84 US \$/Tm y 7.54 US \$/Tm con la optimización en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**Las palabras claves:** Optimización, costos, evaluación, perforación y voladura.



## ABSTRACT

Compañía Minera Arcata S.A. - Arequipa, is located in the Western Cordillera of the Andes, within the jurisdiction of the Cayarani district, Condesuyos province and Arequipa department. Currently, for the development of drilling and blasting unit operations, it faces high production costs due to a series of factors and to solve this problem it has been proposed to evaluate the drilling and blasting unit operations. The main objective of this research study is to optimize mine production costs, by evaluating the drilling and blasting unit operations in the Mariana and Alexia pits of Compañía Minera Arcata S.A. - Arequipa. The methodology to develop this research study has consisted firstly in controlling the drilling and blasting unit operations of the previous exploitation, where the burden, spacing, number of holes, type of rock, equipment, designs have been analyzed. of mining work, machinery, and the explosive charge used, the data have been recorded in their respective control sheets. Similarly in the current exploitation of the mineral deposit, the tests have been carried out in a period of 15 days, considering in the new design of the drilling mesh the analysis of: burden, spacing, number of holes, type of rock, equipment , machinery and the explosive charge used according to the characteristics of the rocky massif, all the data have been compiled in the control sheets. To achieve the required results, the comparative analysis of previous and current drilling and blasting has been carried out, reaching the following conclusions, before optimization, 347 production drills and 312 optimization drills have been used, the consumption of explosives used in the previous blast. It has been 166.56 kg and with the optimization 149.76 kg. with a difference of 16.80 kg and the previous drilling and blasting costs have been 7.84 US \$ / Tm and 7.54 US \$ / Tm with the optimization in the Mariana pit of Compañía Minera Arcata S.A. - Arequipa.

The keywords: optimization, costs, evaluation, drill and blast.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa actualmente viene explotando el yacimiento aurífero, mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado, utilizando las labores subterráneas de galerías, chimeneas, cruceros y otros. Durante la explotación actual del yacimiento, se ha realizado la evaluación de las operaciones unitarias de perforación, voladura, encontrando en su ejecución, deficiencias en la malla de perforación, excesivo consumo de explosivos y accesorios de voladura, mala distribución de taladros y como resultado de la evaluación se encontró altos costos de producción debido a una serie de factores en la malla de perforación y para resolver este problema se ha planteado evaluar las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

En la ejecución de las operaciones unitarias de minado subterráneo es de mucha importancia el diseño de la malla de perforación, selección de carga explosiva a utilizar y el equipo a utilizar, los mismos que son determinantes para optimizar los costos de producción del yacimiento mineral.

### 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1 Problema general

¿Cómo optimizamos los costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa?



### 1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo minimizamos los costos de perforación mediante un nuevo diseño de malla de perforación en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa?
- b) ¿Cómo reducimos los costos de voladura mediante la carga explosiva necesaria en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa?

## 1.2 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

### 1.3.1 Hipótesis general

Mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura se optimizará los costos de producción en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

### 1.3.2 Hipótesis específicas

- a) Mediante un nuevo diseño de malla de perforación se minimizará los costos de producción en los Tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.
- b) Mediante la carga explosiva adecuada se reducirá los costos de producción en los Tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.



## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Optimizar los costos de producción mina en los tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Minimizar los costos de perforación, mediante un nuevo diseño de malla en los tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.
- b) Reducir los costos de voladura mediante la carga explosiva necesaria en los tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La Compañía Minera Arcata S.A. tiene buen potencial de reservas de mineral probado de 864 759 Tm y 437 734 Tm de mineral probable para su explotación y para desarrollar las labores subterráneas de explotación tiene problemas de altos costos de producción mina específicamente en las operaciones unitarias de perforación y voladura y como tal es muy importante para la Empresa Minera, optimizar los costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura, planteando un nuevo diseño de la malla de perforación y determinando la carga explosiva necesaria, según las características geológicas del macizo rocoso, dicho análisis será de mucho beneficio, generando mayor rentabilidad para la Empresa Minera Arcata S.A., y por ende los trabajadores de la Empresa.



El presente proyecto de investigación se justifica plenamente su ejecución y es de mucha importancia para la explotación del yacimiento mineral de la Empresa Minera Arcata S.A. y servirá como modelo para la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura y la optimización de costos de producción en la explotación de yacimientos similares.





## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Jáuregui, A. O. (2010), en su tesis *Reducción de costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*, Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye que la reducción de costos operativos en una empresa minera, los estándares óptimos se logran con un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones y se sintetizan en la supervisión y capacitación continua.

La reducción de costos de perforación y voladura se obtiene reduciendo el número de taladros y el uso del explosivo adecuado

Mamani, P. N. (2015), en su tesis *Optimización de Costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea*, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, concluye que, con la aplicación de la nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se ha reducido de 311.98 US\$/m a 278.61 U\$/m.

Suasaca, G. Y. (2014), en su tesis *Análisis de costos operativos para optimizar la Perforación y Voladura en la Unidad Minera EL COFRE*, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, concluye que en la voladura se ha reducido el consumo de explosivos de 483.07 kg a 369.48 kg por corte, cuya diferencia es de 113.61 kg de explosivos por mes.

Chahuares, S. F. (2012), en su tesis: “Nuevo diseño de la malla para mejorar



la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo, Mina EL COFRE., Universidad Nacional del Altiplano-Puno., concluye que con el nuevo diseño de malla de perforación se ha reducido el número de taladros, de 41 taladros a 36 taladros, siendo la profundidad del taladro de 1.45 metros y en la voladura se ha reducido el consumo de explosivo de 18 kg/disparo a 1.51 kg/disparo. Con respecto al costo de explosivos se reduce de 42.56 US\$/m a 34.55 US\$/m.

Frisancho Triveño, Giovani (2006), en su tesis, "Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea", Universidad Nacional del Altiplano-Puno, concluye que la perforación y voladura es la primera y tal vez la más importante etapa de la operación minera unitaria en el ciclo total de minado. Los diseños de voladura inadecuados y defectuosos podrían tener graves consecuencias a lo largo de todo el ciclo de minado, empezando por la misma voladura y prosiguiendo a través de las operaciones de acarreo y transporte.

Tapia, C. W. (2015), en su tesis "Optimización de la producción y avance mediante diseño de perforación y voladura en rampa 650 en la Empresa Especializada IESA

S.A. CIA Minera ARES S.A.C., Universidad Nacional del Altiplano-Puno, concluye que, con la nueva malla de perforación y voladura, el número total de taladros se reduce a 41 taladros cargados y 03 de recorte, lo que reduce la carga explosiva, las mejoras en el avance lineal aumentaron de 2,80 m a 3, 20 m, de esta forma se optimiza la producción y se mejora el avance lineal.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Diseño de la malla de perforación y cálculo de carga

- **Avance del disparo.** Está limitado por el diámetro del taladro vacío y la



desviación de los taladros de carga que debe mantenerse por debajo del 2% los avances promedios y deben llegar al 95% de la profundidad del taladro L. También para el diseño de la malla de perforación se ha considerado el tipo de roca y su respectiva constante. (EXSA, 2001), (Ver tabla 1))

$$L = 0.15 + 34.1 * D_2 - 39.4 * D_2^2$$

$$D_2 = 0.95 * L$$

Donde:

L = Profundidad del taladro (metros)

D<sub>2</sub> = Diámetro del taladro de alivio (metros)

Cuando se utilizan arranques con varios taladros vacíos en lugar de uno solo entonces la ecuación anterior sigue siendo válida si:

$$D_2 = \sqrt{n} * D_1$$

D<sub>2</sub> = Diámetro de taladro de alivio equivalente

n = Número de taladros vacíos en el arranque

D<sub>1</sub> = Diámetro del taladro a cargar

- **Avance de la voladura al 95 %**
- **ALGORITMO DE HOLMBERG**

$$I = 0.95 * H$$

Donde:

I = Avance de la voladura (metros)



H = Profundidad de los taladros a perforarse (metros)

**Tabla 1: Constante del tipo de roca "K"**

TIPO DE ROCA	CONSTANTE K
Roca muy dura	1
Roca dura	1.5
Roca intermedia	2
Roca suave	2.5
Roca muy suave	3

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA- 2001

### 2.2.2 Trazos de arranque.

El principio de la palabra voladura de una labor subterránea reside en la apertura de una cavidad inicial, denominada corte, cuele o arranque, destinada a crear una segunda cara libre de gran superficie para facilitar la subsiguiente rotura del resto. De la sección, de modo que los taladros del núcleo y de la periferia pueden trabajar destrozando la roca en dirección hacia dicha cavidad.

La profundidad del corte deberá ser igual a la estimada para el avance del disparo, cuando menos.

Los métodos de corte corresponden a las formas de efectuar el disparo en primera fase para crear la cavidad de corte, que comprenden cortes con taladros en ángulo o cortes en diagonal y cortes con taladros en paralelo.

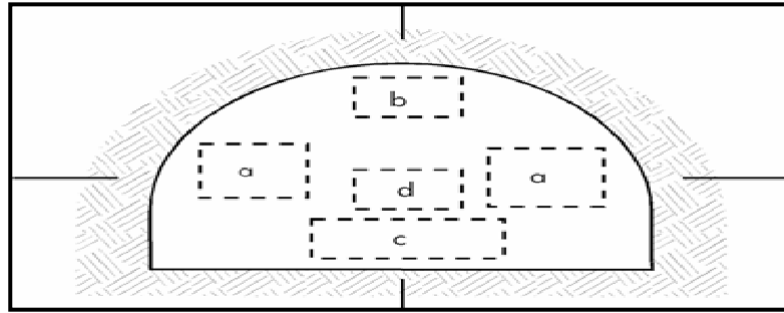


Figura 1: Ubicación del arranque

Fuente: Manual práctico de voladura Exsa, 2001.

### a) Corte en pirámide

Comprende a cuatro o más taladros dirigidos en forma de un haz convergente hacia un punto común imaginariamente ubicado en el centro y fondo de la labor a excavar de modo que su disparo instantáneo creara una cavidad piramidal.

Este método requiere de una alta concentración de carga en el fondo de los taladros se le prefiere para piques y chimeneas. Según la dimensión del frente puede tener una o dos pirámides superpuestas. Con este corte se pueden lograr avances de 80% del ancho de la galería; su inconveniente es la gran proyección de escombros a considerable distancia del frente.

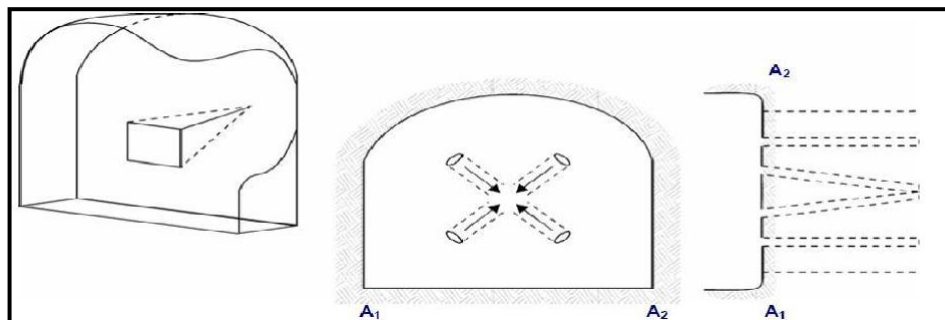


Figura 2: Corte en pirámide o diamante.

Fuente: Manual práctico de voladura Exsa, 2001.

### b) Corte en cuña o en “V”

Comprende a cuatro, seis o más taladros convergentes por pares en varios planos o niveles (no hacia un solo punto), de modo que la cavidad abierta tenga la

forma de una cuña o “trozo de pastel”. Es de ejecución más fácil, aunque de corto avance especialmente en túneles estrechos, por la dificultad de perforación. La disposición de la cuña puede ser en sentido vertical horizontal. El ángulo adecuado para la orientación de los taladros es de  $60^\circ$  a  $70^\circ$ . Es más efectivo en rocas suaves a Intermedia

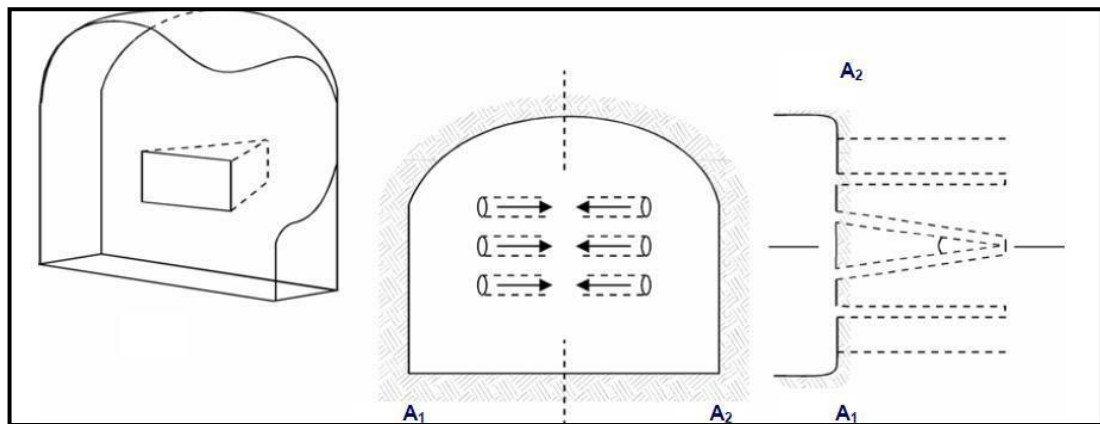


Figura 3: Corte en cuña o en V.

Fuente: Manual práctico de voladura Exsa, 2001.

### c) Corte en abanicos

Es similar al de arrastre, pero con el corte a partir de uno de los lados del túnel disponiéndose los taladros en forma de un abanico (divergente en el fondo).

También se le denomina “corte de destroce” porque se basa en la rotura de toda la cara libre o frente de ataque del túnel. Poco utilizado, requiere cierta anchura para conseguir el avance aceptable.

### d) Corte combinado de cuña y abanico.

Usualmente recomendado para roca tenaz y dura hasta elástica. Útil y muy confiable, aunque es difícil de perforar.



### e) Corte quemado

Comprende a un grupo de taladros de igual diámetro perforados cercanamente entre sí con distintos trazos o figuras de distribución, algunos de los cuales no contienen carga explosiva de modo que sus espacios vacíos actúan como caras libres para la acción de los taladros con carga explosiva cuando detonen.

El diseño más simple es de un rombo con cinco taladros, cuatro vacíos en los vértices y uno cargado al centro. Para ciertas condiciones de roca el esquema se invierte con el taladro central vacío y los cuatro restantes cargados.

También son usuales esquemas con seis, nueve y más taladros con distribución cuadrática, donde la mitad van con carga y el resto vacío, alternándose en formas diferentes usualmente triángulo y rombos, esquemas más complicados, como los denominados cortes suecos, presentan secuencias de salida en espiral o caracol.

Como los taladros son paralelos y cercanos, las concentraciones de carga son elevadas, por lo que usualmente la roca fragmentada se sinteriza en la parte profunda de la excavación (corte), no dándose así las condiciones óptimas para la salida del arranque, como por lo contrario ocurre con los cortes cilíndricos.

Los avances son reducidos y no van más allá de 2,5 m por disparo, por lo que los cortes cilíndricos son preferentemente aplicados.

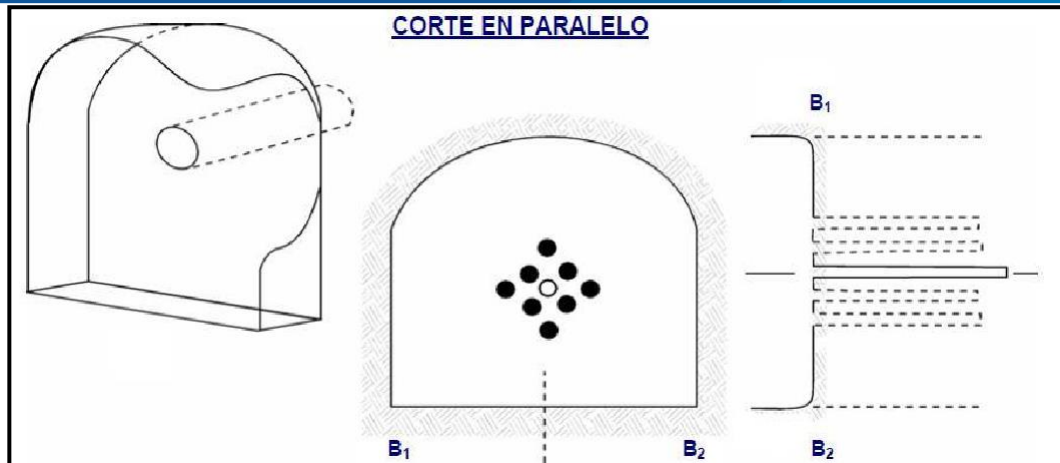


Figura 4: Corte Quemado

Fuente: Manual práctico de voladura Exsa, 2001.

### 2.2.3 Mecánica de rotura de rocas

#### A. Proceso de fracturamiento

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción.

Una explicación sencilla, comúnmente aceptada estima que el proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde el inicio de la fragmentación hasta el total desplazamiento del material volado, estas etapas son:

- Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan el





fracturamiento y movimiento de la roca.

- Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

## **B. Fragmentación de la roca**

Este mecanismo aún no está plenamente definido, existiendo varias teorías que tratan de explicarlo entre las que mencionamos a:

1. Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
2. Teoría de expansión de gases.
3. Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
4. Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
5. Teoría de craterización.
6. Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
7. Teoría de liberación súbita de cargas.
8. Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Una explicación sencilla, comúnmente aceptada, que resume varios de los conceptos considerados en estas teorías, estima que el proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde la fragmentación hasta el total desplazamiento del material fracturado.

Estas etapas son:



- Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan la fracturación y movimiento de la roca.
- Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

#### 2.2.4 Dimensionamiento de la voladura

##### a) Volumen total (V) = (L x A x H)

Donde:

V = Volumen m<sup>3</sup>

L = Largo, en m.

H = Altura, en m

A = Potencia, en m.

Si se desea expresarlo en toneladas de material in situ se multiplica por la densidad promedio de la roca o el material que se pretende volarse.

$$Tm = V \times \rho$$

Donde:

Tm = Tonelada métrica

$\rho$  = Densidad de roca.

V = Volumen.

##### b) Cantidad de carga

$$Qt = V \times \text{kg/m}^3$$

##### c) Espaciamiento (E)

Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila.



Se calcula en relación con la longitud del burden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros. Al igual que con el burden, espaciamentos muy pequeños producen exceso de trituración y craterización en la boca del taladro, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamentos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y una nueva cara libre frontal muy irregular. En la práctica, normalmente es igual al burden para malla de perforación cuadrada  $E = B$  y de  $E = 1,3$  a  $1,5 B$  para malla rectangular o alterna.

Para las cargas de pre corte (Smooth blasting) el espaciamiento en la última fila de la voladura generalmente es menor:  $E = 0,5$  a  $0,8 B$  cuando se pretende disminuir el efecto de impacto hacia atrás.

Si el criterio a emplear para determinarlo es la secuencia de salidas, para una voladura instantánea de una sola fila, el espaciado es normalmente de  $E = 1,8 B$ , ejemplo para un burden de  $1,5$  m ( $5'$ ) el espaciado será de  $2,9$  m ( $9'$ ). Para voladuras de filas múltiples simultáneas (igual retardo en las que el radio longitud de taladro a burden ( $L/B$ ) es menor que 4 el espaciado puede determinarse por la fórmula:

$$E = \sqrt{B \times L}$$

Donde:

B = Burden, en pies.

L = Longitud de taladros, en pies.

## **d) Cálculo y distribución de la carga explosiva**

### **1. Columna explosiva**

Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada “longitud de carga” donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra



las paredes del taladro.

Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada.

Así pueden emplearse cargas sólo al fondo, cargas hasta media columna, cargas a columna completa o cargas segmentadas (espaciadas o alternadas) según los requerimientos incluso de cada taladro de una voladura. La columna continua normalmente empleada para rocas frágiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras que para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: La carga de fondo (CF) y la carga de columna (CC).

## 2. Carga de fondo (CF)

Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la sobre perforación, mantener la rasante, evitando la formación de resaltos o lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones.

Su longitud es normalmente equivalente a la del burden más la sobre perforación:  $B + 0,3 B$ ; luego:

$$CF = (1,3 \times B)$$

No debe ser menor de  $0,6 B$  para que su tope superior esté al menos al nivel del piso del banco. Se expresa en kg/m o lb/pie de explosivo. Si se toma en consideración la resistencia de la roca y el diámetro de la carga, la longitud de la carga de fondo variará entre  $30 \varnothing$  para roca fácil a  $45 \varnothing$  para muy dura.

## 3. Carga de columna (CC)

Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menos densidad, potencia o



concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor.

Pesado en relaciones de 10/90 a 20/80. La altura de la carga de columna se calcula por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma la carga de fondo más el taco.

$$CC = L - (CF + T)$$

$$\text{Usualmente } CC = 2,3 \times B$$

#### a) Estimación de cargas

Volumen a romper por taladro = Malla por altura de taladro.

$$V = (B \times E \times H) = m^3 \text{ por taladro}$$

Tonelaje = Volumen por densidad de la roca o mineral.

#### b) Volumen de explosivo

Diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva (columna continua)

o por la suma de las cargas segmentadas.

$$Ve = (\emptyset \times Ce), \text{ en } m^3$$

#### c) Factor de carga (FC)

Es la relación entre el peso de explosivo utilizado y el volumen de material roto.

$$FC = (We/V)$$

#### d) Tonelaje roto

El tonelaje roto es igual al volumen del material roto multiplicado por la densidad de dicho material.



$$\text{Tonelaje} = (V \times \rho_r)$$

**e) Perforación específica**

Es el número de metros o pies que se tiene que perforar por cada m<sup>3</sup> de roca volada.

$$\frac{(L/H)}{B \times E}$$

Donde:

L = Profundidad del taladro (altura de banco (H) – 0,3 B).

H = Altura de banco.

B = Burden.

E = Espaciamiento.

**f) Cálculo general para carga de taladro**

$$(0,34 \times \emptyset^2 \times \rho_e), \text{ en lb/pie}$$

Donde:

0,34: Factor.

$\emptyset$  : Diámetro del taladro, en pulgadas.

$\rho_e$  : Densidad del explosivo a usar, en g/cm<sup>3</sup>

**g) Densidad de carga (Dc)**

$$Dc = 0,57 \times \rho_e \times \emptyset^2 \times (L - T)$$

Donde:

Dc = Densidad de carga, en kg/tal.

0,57 = Factor.

$\emptyset$  = Diámetro del taladro, en pulgadas.



$\rho_e$  = Densidad del explosivo a usar.

L = Longitud de perforación.

T = Taco.

### 2.2.5 Teoría de costos

#### Estimación de los costos de operación

El costo de operación depende del sistema de explotación, tamaño de yacimiento, su forma, grado de irregularidad, resistencia del mineral, resistencia de las cajas, carga de los terrenos, método de acceso y de preparación, tamaño de la producción y también el nivel de salarios. El sistema de explotación influye mucho sobre los trabajos de tajeo y de preparación y parcialmente sobre el transporte del mineral. Se debe buscar un compromiso entre los siguientes valores: precio de costo, factor de recuperación, factor de dilución.

Los índices de consumo de mano de obra, materiales y energía dependen de las propiedades de las rocas, de la mecanización de los trabajos y de la escala de producción. El consumo de explosivo en tajeo y preparación aumenta en roca dura. La carga de los terrenos es un factor de inseguridad de mantenimiento elevado y rendimiento mediocre.

El valor del costo depende también de la amortización de las inversiones, cuya norma se fija en relación con el tamaño y vida de la mina y de los gastos generales, cuyo valor absoluto se determina sobre todo por el tamaño de la producción, su estructura y las condiciones naturales.



Esas dificultades se centran en la búsqueda de correlaciones aceptables entre costos y métodos de explotación. Debido a la gran variedad de componentes de los costos totales de operación y las características tan particulares de cada una de las operaciones mineras, los estimadores de costos se encuentran con grandes problemas para la determinación de los mismos. No obstante, se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Método del proyecto similar
- Método de la relación costo – capacidad
- Método de los componentes del costo
- Método del costo detallado

**a. Método del proyecto similar**

Consiste en suponer que el proyecto, procesos o objeto de estudio es semejante a otro ya existente del cual se conocen los costos. Aunque se disponga de una información detallada existen circunstancias y condiciones como son la geología local, el equipo en operación y la estrategia de la empresa hacen que se aparten mucho del proyecto en estudio. Por ello se utiliza otro sistema que consiste en aprovechar parte de los datos disponibles, como son los costos del personal y estimar los costos totales a partir de las relaciones conocidas entre los diversos componentes.

**b. Método de la relación costo – capacidad**

Este método se basa en el empleo de gráficos o formulas en los que se han correlacionado los costos con las capacidades de producción de diferentes explotaciones. Esencialmente es el mismo método que se utiliza en la estimación de





los costos de capital. La base estadística de la que se parte si no es homogénea amplia y puede dar lugar a la introducción de errores con este procedimiento de estimación. Los datos que han servido para la elaboración de tales relaciones deben estar referidos a un método de explotación específico, con condiciones geográficas y geológicas semejantes. La extrapolación de los costos a partir de los correspondientes a una capacidad de producción conocida se efectúa con fórmulas iguales a las del costo capital. Sin embargo la variación de los costos de operación es más compleja que la de los costos de capital y requiere una descomposición de los mismos.

**c. Método de los componentes del costo**

Cuando el proyecto ha progresado hasta el punto en que se conoce la plantilla de personal, las obras de infraestructura, los consumos de materiales, los equipos necesarios, es posible desarrollar un sistema de estimación de costos basado en los gastos unitarios o elementales tales como:

- Dólares/metro
- Dólares/tonelada

**d. Método del costo detallado**

Finalmente, los costos de operación deben deducirse a partir de los costos principales. Para ello es necesario conocer índices tales como consumo de combustible por hora de operación, vida de los útiles de perforación, consumos específicos de explosivo, accesorios de voladura y otros. En primer lugar, se fijan los criterios básicos de organización relativos a días de trabajo año, relevos al día y horas de trabajo por relevo. Seguidamente para los niveles de producción previstos se establecen los coeficientes de disponibilidad y eficiencia con los cuales se



determinan la capacidad de los equipos necesarios y el número de estos. Por último para cada grupo de máquinas se elabora una tabla detallada indicando las distintas partidas que engloba el costo horario de funcionamiento: personal, materiales, consumos, desgastes, mantenimiento y servicios. Conociendo el número de horas necesarias para una determinada producción el costo horario de la máquina que intervienen en dicho proceso se obtiene de manera inmediata el costo de operación. Este procedimiento constituye el único método seguro para estimar los costos de operación de un proyecto. En la estimación de los costos horario de los equipos los conceptos que se deben tener en cuenta son:

**1. Costos directos**

- a. Consumos
  - Energía eléctrica
  - Combustibles
  - Lubricantes
- b. Reparaciones
- c. Neumáticos
- d. Elementos de desgaste
- e. Operador

**2. Costos indirectos**

- a. Amortización
- b. Intereses del capital
- c. Seguros
- d. Impuestos



El porcentaje de imprevistos se aplica sobre los costos de operación (directos, indirectos y generales) para tener en cuenta alguna eventualidad durante el periodo de trabajo. Estos problemas son debidos a condiciones climatológicas adversas, colapsos de terrenos, inundaciones. Las cifras que se utilizan varían entre el 10 a 25%, dependiendo del nivel de detalle de estimación de los costos.

Para el análisis de costos se utilizará los siguientes costos:

- Costos unitarios
- Costos directos
- Costos indirectos
- Costos totales

## **2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES**

### **1. Perforación**

Para realizar la voladura es necesario efectuar el confinamiento del explosivo, para esto es necesario perforar la roca a esta operación de agujerea en la roca se le denomina perforación y a los agujeros se le conoce con el nombre de taladros, usualmente cuanto más suave es la roca más es la velocidad de penetración, por otro lado, cuanto más resistente sea a la compresión, mayor fuerza y torque serán necesarios para perforarla.

La perforación se basa en concentrar una cantidad de energía en una pequeña superficie, para vencer la resistencia de la roca, aprovechando el comportamiento a la deformación de elástico - frágil que ellas presentan.



Es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos, o blasthole.

## **2. Malla de perforación**

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladros.

## **3. Explotación**

Trabajo realizado para extraer el mineral de las labores mineras. Las explotaciones mineras pueden clasificarse genéricamente en dos grandes grupos: subterráneas y a cielo abierto. Existen casos intermedios en los que se combinan o coexisten técnicas propias de cada uno de los grupos y se dice que son explotaciones mixtas.

## **4. Subterráneo**

Excavación natural o hechas por el hombre debajo de la superficie de la tierra”.

## **5. Frente**

Es el lugar en donde se emplaza personal y máquina de perforar para realizar el avance de una galería o crucero, mediante perforación y voladura.

## **6. Parámetros**

Se denomina así a las diversas ratios obtenidas en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.



## **7. Burden**

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

También denominado piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre. Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura.

## **8. Explosivos**

Son productos químicos que encierran un enorme potencial de energía, que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente con gran violencia.

## **9. Arranque**

Son taladros perforados y cargados; primero en ser chispeados para generar una cara libre.

## **10. Factor de carga**

Es la cantidad de explosivo usada por  $m^3$  de roca volada.

## **11. Sensibilidad**

Habilidad de un explosivo para propagarse a través de la columna explosiva, también controla el diámetro crítico en el cual el explosivo trabaja adecuadamente.

## **12. Macizo rocoso**

Es el conjunto de los bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

## **13. Voladura**

Es un fenómeno físico químico de la mezcla explosiva que al explosionar rompe un trozo de roca o mineral.



#### **14. Costos de producción mina**

Los costos de operación se definen como aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente ligados a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos.

#### **15. Costos directos**

Conocidos como costos variables, son los costos primarios en una operación minera en los procesos productivos de perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares mina, definiéndose esto en los costos de personal de producción, materiales e insumos, equipos.

#### **16. Costos indirectos**

Conocidos como costos fijos, son gastos que se consideran independiente de la producción. Este tipo de costos puede variar en función del nivel de producción proyectado, pero no directamente con la producción obtenida.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

Según la naturaleza del trabajo de investigación y por las características de estudio es de tipo descriptivo, ya que se refiere a la optimización de costos de producción en las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

La metodología para desarrollar el presente estudio de investigación ha consistido primeramente en realizar el control de las operaciones unitarias de perforación y voladura de la explotación anterior, en donde se ha analizado el burden, espaciamiento, número de taladros, tipo de roca, equipos, diseños de labores mineras, maquinaria, y la carga explosiva utilizada, los datos se han registrado en sus respectivas fichas de control. De forma similar en la explotación actual del yacimiento mineral, las pruebas se han realizado en un periodo de 15 días, considerando en el nuevo diseño de la malla de perforación el análisis de: burden, espaciamiento, número de taladros, tipo de roca, equipos, maquinaria y la carga explosiva utilizada según las características del macizo rocoso, todos los datos se han recopilado en las fichas de control.

Para alcanzar los resultados requeridos se ha realizado el análisis de los costos de perforación y voladura anterior y actual en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.



### 3.2 POBLACIÓN

La población para el trabajo de investigación está constituida por los Tajeos: Mariana, Alexia, Marion y Amparo de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

### 3.3 MUESTRA

La muestra considerada en el presente trabajo de investigación está constituida por los Tajeos: Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

### 3.4 Operacionalización de variables. (Ver Tabla 2)

#### 3.4.1 Variable independiente

Evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

#### 3.4.2 Variable dependiente

Optimización de costos de producción mina en la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**Tabla 2: Operacionalización de variables**

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable independiente:</b>		
Evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa	• Costo de perforación	• \$/ metro
	• Costo de voladura	• \$/ metro





---

**Variable dependiente:**

Optimización de costos de producción mina en la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

- Costos de producción
- \$/TM
- \$/disparo
- \$/metro

---

### 3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es muy importante determinar que técnicas se utilizarán para la recolección de datos, en este caso el análisis estadístico y porcentual, la observación del disparo y el grado de fragmentación, y el método de explotación utilizado en la mina.

#### 3.5.1 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para el estudio de investigación son la liquidación mensual, el reporte diario de operación, reporte mensual de operación y la toma de fotografías para evaluar la perforación y voladura.

##### 1. Reporte diario de operación.

- Avances lineales
- Consumo de explosivos
- Granulometría
- Taladros disparados

##### 2. Reporte mensual de operación.

- Labor disparada.
- Explosivo utilizado.
- Número de taladros.



- Número de horas operadas de los equipos.

### 3. Técnicas para el procesamiento de la información.

Se aplicarán instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente.

- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
- Control de la eficiencia de perforación y voladura.

### 3.6 UBICACIÓN

El Yacimiento de Arcata se encuentra ubicado en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa. Geográficamente se encuentra al NE del Nevado Coropuna, a 175 km al NE en línea recta a la ciudad de Arequipa, dentro del macizo Occidental de la cordillera de los Andes. Dentro de la jurisdicción de:

Departamento: Arequipa

Provincia: Condesuyos

Distrito: Cayarani

### 3.7 ACCESIBILIDAD

El distrito minero es accesible desde la ciudad de Arequipa por una carretera en su totalidad afirmada, cubriéndose desde Arequipa 307 km en los tramos siguientes:

**Tabla 3: Accesibilidad a Mina Arcata**

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE CARRETERA
Arequipa-Pampa Cañahuas	95 Km.	Carretera Asfaltada
Pampa Cañahuas-Sibayo	53 Km.	Carretera Asfaltada
Sibayo-Caylloma	69 Km.	Carretera Afirmada
Caylloma-Arcata	90 Km.	Carretera Afirmada

El tiempo de viaje desde la ciudad de Arequipa es aproximadamente 7 horas. A 25 kilómetros al sur de Arcata se encuentra la mina Orcopampa, dicha mina cuenta con una pista de aterrizaje de 1,600 m de longitud. El tiempo total de vuelo entre Lima y Orcopampa es aproximadamente 2 horas, cubriéndose el viaje de Lima y Arcata en 4 horas.

### 3.8 HISTORIA

Se tiene conocimiento de la ocurrencia de los minerales de oro y plata desde el siglo XVIII, época en que los españoles, a juzgar por la magnitud de laboreo antiguo que se observa, habrían extraído alrededor de 100,000 toneladas de menas que fueron procesadas en los ingenios o trapiches, cuyos restos aún se observan cerca al pueblo Viejo de Arcata. Aparentemente, las operaciones mineras permanecieron paralizadas durante todo el siglo XIX, reiniciándose durante el presente siglo en 1952, con la presentación del denuncia de 700 hectáreas denominadas "Zwich", de propiedad del Sr. Werner Swicky.

El grupo Hochschild realizó los primeros reconocimientos geológicos de las estructuras de Arcata en 1954 a través de la compañía, denominada Compañía de Minas del Perú. Los muestreos efectuados en las labores antiguas, revelaron altos



valores de plata, sin considerar estimación alguna de mineral potencial que permitiera justificar la inversión en un programa de explotación detallado. Es precisamente esta compañía que solicitó los denuncios más extensos: Calvario I, Calvario II, Calvario III y Calvario IV, superpuestos a los denominados: Fundición, Macarena y otros. Durante los años de 1954 y 1956, se consolidó la propiedad minera iniciándose en este último año la construcción de una trocha carrozable de 120 km, que permitió el acceso a la zona de Arcata desde la mina Suycutambo.

La Ejecución del primer programa de exploraciones se inició en 1958 y concluyó en 1960; los resultados propiciaron la constitución de la actual sociedad Minas de Arcata S.A., en el año de 1961. El desarrollo y las preparaciones mineras comenzaron a partir de 1961 en las vetas Baja, Alta y Marión. Hasta enero de 1962, se estimó una reserva de mineral de 23,400 Tm con 15.61 Ag oz/Tm y 1.44 Au g/Tm, que justificó la instalación de una planta concentradora de 50 Tm/día de capacidad, que inició sus operaciones a fines de 1964.

Al promediar el año 1965, las labores de exploración y desarrollo permitieron estimar reservas adicionales que alcanzaron 135,000 Tm con 20.2 oz Ag/Tm y 1.3 g Au/Tm; calculándose las reservas potenciales en un millón de toneladas. La capacidad de tratamiento de planta concentradora se incrementó en ese mismo año a 150 Tm/día.

Como resultado del éxito alcanzado con la explotación y desarrollo, la producción minera comenzó a incrementarse gradualmente en forma significativa; la capacidad de tratamiento se elevó en 1971 a 250 Tm/día y en el año 1975 a 500 Tm/día; siendo a la fecha, más de 2000 Tm/día, para cuya operación se cuenta con



una reserva de mineral de 681,550 Tm, con 13.80 oz.Ag/Tm.

### **3.9 TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA**

La topografía presenta sectores de relieve ondulado a semi - accidentado y sectores de relieve abrupto o muy accidentado formando montañas y quebradas con escasos recursos de vegetación.

La fisiografía de la zona de estudio ha sido impartida por la acción degradacional de las glaciaciones, dado que se observan indicios inequívocos de este suceso. Presenta superficies estriadas o laminares como consecuencia de la abrasión efectuada en superficies rocosas, por los glaciares.

La zona de estudio se encuentra en una zona orogénica de varios relieves con altos picos superiores a los 5 000 m.s.n.m, profundos valles y cuencas dados por fuerzas tectónicas.

### **3.10 DRENAJE**

Los recursos hídricos, esta localizadas en una serie de lagunas escalonadas de origen glaciar formados por represamientos morrenicos donde más importante es la laguna de Chumille y cuyas aguas discurren formando un drenaje de tipo dendrítico. Estas aguas llegan a formar parte del sistema hídrico de la cuenca donde está ubicada la unidad operativa Arcata. La laguna Chumille llega a formar la quebrada Orcopampa, para formar la laguna El Salto; luego discurren hasta desembocar en la laguna represada Huisca-Huisca y finalmente ser descargada a la laguna Arcata.



### **3.11 CLIMA**

En la unidad operativa Arcata presenta un clima frío y seco, característico de la región puna y cordillera. La temperatura varía entre los 13°C y - 10°C entre el día y la noche.

El clima está dividido en dos estaciones marcadamente diferentes durante el año. Una seca y fría entre abril y noviembre, en esta época se producen las más bajas temperaturas (heladas), los meses de junio, julio y parte de agosto son los meses de las heladas. La otra estación húmeda y lluviosa se presenta entre los meses de diciembre y marzo originando el incremento de las aguas debido a las precipitaciones sólidas y líquidas.

### **3.12 VEGETACIÓN Y FAUNA**

La vegetación que predomina en la zona son: el ichu, la huayquera, la ortiga, pastos que sirven para uso doméstico en parte y como alimentos para auquénidos y ovejas.

Los animales que habitan en esta zona son las alpacas, llamas, vizcachas, guanaco, taruca, venado, zorro andino; aves como la parihuana, gaviota, etc.

### **3.13 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS**

#### **a) Suministro de energía**

El suministro de energía eléctrica para la unidad operativa Arcata se da debido al abastecimiento de dos centrales una que viene de Musapuquio con 33000 voltios es decir 3800 Kw y la otra que viene de interconexión SEAL vía Callali también con 33000 voltios; estos dos suministros se unen en la sub-estación Arcata o también conocida como central térmica donde dos transformadores respectivamente



reducen el voltaje de cada una a 10000 voltios y es de esta central que se distribuye a las secciones de planta, zona mariana, zona marion y campamentos.

## **b) Hidrografía**

Ocurrencia del río Orcopampa, laguna de Arcata vieja y la vertiente del río Chumille. El suministro de agua para la planta concentradora, relleno y consumo; se hace desde la represa Chumille, que se encuentra aproximadamente a 3.0 Km. De la unidad operativa Arcata, también para las operaciones en interior mina se recircula el agua por un sistema de bombeo con bombas gould 5500 de los tres reyes y de marion, y otro sistema de bombeo con bombas flyt por una red de tuberías de alvenius hacia superficie.

El drenaje de la zona es del tipo dendrítico, las aguas discurren buscando el cauce más fácil sorteando las dificultades del terreno y aprovechando los rasgos estructurales.

## **c) Recursos Humanos**

En la unidad operativa Arcata laboran 810 personas en total, de los cuales 620 son obreros y 190 empleados; cuya mano de obra es calificada, ya que el personal obrero es evaluado constantemente, recibiendo capacitación, entrenamiento y charlas de seguridad con metodología del trabajo y no sufrir accidentes voluntarios. Debido al sistema de rotación aplicado, la población que habitualmente se encuentra en la operación es alrededor de 540 personas. El régimen de trabajo es de 14 días en la operación y 7 días libre.



### **3.14 GEOLOGÍA GENERAL**

La geología de la mina de Arcata está compuesta por una sucesión de flujos lávicos andesíticos a dacíticos de gran espesor, intercalados con rocas vulcano-clásticas tanto de origen primario como retrabajadas, las lavas son porfídicas con fenocristales abundantes de plagioclasas tabular, de alrededor de 1.0 cm de longitud, y minerales ferro-magnesianos principalmente agujas de piroxenas de pocos milímetros y láminas de biolita también pequeñas que no superan el centímetro de diámetro, en algunas lavas se han reconocido escasos fenocristales de cuarzo. Los fenocristales suelen estar dispersos en una pasta afanítica de color gris medio a oscuro. Comúnmente estos flujos lávicos poseen decenas de metros de espesor, son macizos o con disyunción columnar intercalados con los depósitos lávicos se reconoce una potente sucesión de rocas vulcano-clásticas formadas principalmente por flujos piro-clásticos compuestos por brechas matriz sostén, que muestran diferentes grados de soldamiento.

### **3.15 GEOLOGÍA REGIONAL**

El yacimiento de Arcata se encuentra localizado en el segmento sur de la Cordillera de los Andes, donde afloran extensamente rocas volcánicas Cenozoicas genéticamente relacionadas con varios yacimientos epitermales de Plata y Oro existentes en el área tales como Caylloma, Suycutambo, Orcopampa, Ares, y otros. Arcata se encuentra situada en un amplio arco volcánico de edad miocena, conformado por lavas y rocas vulcano-clásticas de composición intermedia a ácida y afiliación calco-alcalina, típicas de márgenes continentales de la zona. La secuencia volcánica se deposita discordantemente sobre rocas sedimentarias de origen marino de edad jurásica-cretácica. Las vulcanitas del Mioceno inferior se





encuentran plegadas y deformadas por la fase Quechua I (Mégard et al., 1984), mientras que las rocas más jóvenes se encuentran no deformadas.

El distrito de Arcata se caracteriza por la presencia de dos juegos de lineamientos regionales conjugados de rumbo noroeste y noreste, que actuarían paralelos y transversales al arco volcánico mioceno, respectivamente. Sobre impuesto a estos lineamientos se reconoce una estructura circular de aproximadamente 15 kilómetros de diámetro. Posiblemente se trate de una estructura de colapso relacionada al evento volcánico ya que se encuentra centrada por un domo de composición ríolítica. En este marco, las vetas de Arcata se disponen asociadas a las fracturas arqueadas paralelas al margen de dicha estructura circular y hacia su borde norte-noreste.

En Arcata afloran rocas sedimentarias de diferente composición que forman el basamento en la región, y rocas volcánicas que adquieren mayor importancia, porque en ellas se alojan la mayoría de las estructuras mineralizadas. Las características físico-químicas del yacimiento de Arcata, permiten clasificarlo como un depósito epitermal de metales preciosos de baja sulfuración, del tipo adularia-sericita.

### **3.16 GEOLOGÍA LOCAL**

La geología de la mina de Arcata está compuesta por una sucesión de flujos lávicos ande-síticos a dacíticos de gran espesor, intercalados con rocas vulcanoclásticas tanto de origen primario como retrabajadas, donde muestra la distribución del afloramiento en dos escalas diferentes.

Las lavas son porfídicas con fenocristales abundantes de plagioclasas tabulares, y minerales ferro-magnesianos, principalmente agujas de piroxenas y



láminas de biotita. En algunas lavas se han reconocido escasos fenocristales de cuarzo.

Los fenocristales suelen estar dispersos en una pasta afanítica de color gris medio a oscuro. En general, la disposición de los fenocristales es azarosa, aunque en sectores se observa una alineación que evidencia cierta fluidalidad. Comúnmente, estos flujos lávicos poseen decenas de metros de espesor, son macizos o con disyunción columnar.

Intercalados con los depósitos lávicos descritos se reconoce una potente sucesión de rocas vulcano-clásticas formadas principalmente por flujos piroclásticos de origen primario y rocas vulcano-clásticas retrabajadas. Las piroclastitas primarias están constituidas por brechas matriz soportadas, formadas en general por abundantes fragmentos pumáceos sub redondeados a alargados que alcanzan 3 centímetros de diámetro/largo. Los lito-clastos son menos abundantes, poseen formas angulosas y diferentes composiciones, comúnmente son fragmentos de rocas volcánicas porfídicas de intermedias a ácidas.

Las estructuras de veta de la mina Arcata, ocurren dentro de una potente secuencia de rocas volcánicas, de edad miocena tardía a plioceno, constituido mayormente por derrames andesíticos intercalados con brechas de la misma composición y lentes pseudo estratificados de tobas y tufos compactados.

La base de esta secuencia volcánica, está constituida por flujos de ignimbrita riolítico de una edad radiométrica de 6,3 millones de años. Domos volcánicos riolíticos afloran al suroeste y noreste del distrito de Arcata, cortando a las rocas volcánicas.

Las edades radiométricas de estos domos, indican una edad de 5,4 millones de años. Rocas volcánicas post-minerales más recientes, no alteradas y de composición andesítica-basáltica, también ocurren supra-yaciendo a las rocas de caja alteradas,



que al parecer fueron eyectadas de varios conos volcánicos que se presentan en el yacimiento y alrededores.

### **3.17 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

En el área de la mina se observa estructuras que manifiestan un fuerte tectonismo ocurrido en la región, posiblemente debido al levantamiento andino (pleistoceno), estas fuerzas tectónicas han dejado vestigios impresos en las diversas estructuras existentes como fallas u fisuras, a las que se han dividido de acuerdo al tiempo que se formaron.

Dentro de las más importantes fallas y fisuras pre minerales, están las fallas gravitacionales en las cuales se hallan emplazadas las vetas: Alta, baja y Consuelo. Dichas fallas tienen un rumbo general NW y SW y buzamiento promedio de 60° SW.

La escarpa de la falla de veta alta se presenta en forma conspicua a lo largo de 3 kilómetros. La veta baja se puede apreciar a lo largo de 2,5 kilómetros mientras que la veta consuelo tiene una corrida de 1 kilómetro.

Entre las fisuras de mayor importancia son las de Marciano y Marión, de menor importancia las fisuras en las que se hallan emplazadas las vetas: Tres reyes, Lucrecia y Alexia.

Las fallas y fracturas post-minerales se han producido por movimientos orogénicos epirogenéticos que han dado lugar al callamiento y fracturamiento en forma diagonal o transversal a los sistemas mineralizados, pero no han afectado mayormente a las vetas anteriormente detallados.



### 3.18 GEOLOGÍA ECONÓMICA

La mineralización económica en el distrito ocurre en vetas, exhibiendo texturas típicas de relleno de espacios abiertos, evidenciadas por el bandeamiento y crustificación de los minerales de mena y ganga.

La mineralización de mena de Arcata, se presenta mostrando un zoneamiento vertical muy claro. En los afloramientos más elevados de las vetas poco erosionadas, solamente se presentan valores geoquímicos de Plata y Oro por encima de los clavos mineralizados, como en el caso, de las vetas Marión (Cimoide), "D", Luisa y Macarena. Hacia profundidad, estos valores, se incrementan gradualmente alcanzando valores de mena aproximadamente a partir de los 45 y 100 m. (niveles 4743.70 y 4701.60); constituyendo debajo de estos niveles, un horizonte de plata y oro, alargado y casi continuo, de un intervalo vertical de unos 240 m y cuyo borde inferior se sitúa aproximadamente en el nivel -4512.30.

En general, aproximadamente por debajo del nivel -160, los valores de Plata disminuyen gradualmente; incrementándose inversamente, los minerales de metales básicos (Pb, Zn y Cu) en profundidad, indicando una posición paragenética más antigua (nivel - 4465).

En resumen, la mineralización de mena, del horizonte de metales preciosos y básicos muestra un intervalo vertical de aproximadamente 300 m y una extensión lateral de 1,500 a 2,500 m.

El borde superior del horizonte de metales preciosos, de la mayoría de las vetas, se encuentra parcialmente oxidada y constituye una franja estrecha de 20 a



60 m más o menos subparalela a la superficie topográfica erosionada. Esta franja de oxidación, está constituida mayormente por óxidos de manganeso (Pirolusita), hierro limonitas y remanentes de minerales de Plata.

### 3.19 ESTRATIGRAFÍA

#### a) Rocas Sedimentarias

Son las rocas más antiguas de la región de la edad cretácica y está representada por las siguientes formaciones:

- **Formación Hualhyani**

Pertenece al grupo Yura y está conformada por cuarcitas con intercalación de areniscas y lutitas carbonosas con un espesor aproximado de 100 metros.

- **Formación Murco**

Aflora parcialmente con una potencia de 100 metros y está compuesta por areniscas y lutitas que se vuelven rojizas por intemperismo. El tope de esta secuencia corresponde a la formación Arcurquina, que está constituida por calizas grises y azulinas se estima una potencia de 200 metros.

- **Formación Maure**

Corresponde a los depósitos lacustrinos expuestos en forma localizada en ciertas áreas y sobreyacen en discordancia angular a los volcánicos Orcopampa y Shila, está compuesta de una interrelación de areniscas con tufos re TRABAJADOS de coloración verdosa; se estima que tiene un espesor de aproximadamente de 150 a 400 metros.



## **b) Rocas Volcánicas**

- **Volcánicos Terciarios**

Los volcánicos terciarios sobreyacen en discordancia erosional a las cuarcitas Huarhuani e infrayacen a los basaltos Andagua. Está representado por los siguientes:

- **Volcánico Orcopampa**

Regionalmente es conocido como volcánicos Tacaza ampliamente distribuido en la sierra sur del Perú. En la región cubre gran parte del área y se encuentra sobre yaciendo en discordancia angular a las formaciones cretáceas. Está compuesta de una alternancia de brechas andesíticas gris verdosas con lavas ande-síticas gris oscuras, presentando ocasionalmente depósitos lacústricos en la base y en predominio de piroclastos hacia el techo. La secuencia tiene un espesor de 500 a 600 metros.

- **Volcánico Shila**

Se expone al sur de Arcata, la secuencia está constituido por lavas brechosas y brechas volcánicas de composición riodacíticas, estimándose un espesor de 60 metros.

- **Volcánico Sencca**

Se presenta en dos fases, una constituidas por tufos ignimbricos brechoides de composición riodacíticas y la otra compuesta por domos riolíticos.

## **c) Volcánicos cuaternarios pleistocénicos**

- **Volcánico Barroso**

Se expone en el área sobre yaciendo en su mayor parte a los volcánicos Orcopampa y en menor área al domo riolítico y formación Maure. Está compuesto



por conglomerados y aglomerados volcánicos seguidos por una potente columna de lavas andesíticas y andesitas basálticas porfirítica, se estima un espesor de 400 a 500 metros.

- **Volcánico Andagua**

Afloran en el sur del área de Arcata, cubriendo mayormente a los volcánicos Orcopampa y a los volcánicos Shila. Constituye la actividad volcánica más reciente y se caracteriza por el desarrollo conos volcánicos bien formados se considera un espesor de 100 a 500 metros.

### **3.20 MINERALIZACIÓN**

La mineralización del distrito de Arcata se localiza en vetas sub paralelas, de rumbo predominante noroeste, continuas y bien desarrolladas. Existen algunas estructuras que se disponen transversalmente con alto ángulo a las precedentemente mencionadas, aunque son estructuras menores y sólo forman clavos de importancia en raras ocasiones. Las vetas poseen desde pocos centímetros hasta más de 10 metros de potencia, con texturas de relleno de espacios abiertos como bandeados costriiformes, en cucarda, crecimientos en peine y brechas. Los clavos mineralizados suelen ser continuos tanto horizontal como verticalmente. La mineralización consistente en plata con cantidades variables de oro y metales base, como se puede apreciar un ejemplo en la ilustración N°7, por lo que se puede clasificar como epitermal de sulfuración intermedia a baja.

La alteración hidrotermal más ampliamente distribuida es la propilitización, caracterizada por una alteración a clorita de los minerales máficos y en la pasta de las vulcanitas, mientras que las plagioclasas se encuentran alteradas de débil a fuertemente por sericita y/o calcita. En las cercanías de las vetas se reconoce un fuerte metasomatismo potásico, caracterizado por la presencia de cuarzo y adularia,



con las plagioclasas frecuentemente sericitizadas y los minerales máficos cloritizados, y abundante piritita diseminada, mientras que en los sectores más altos se ha reconocido marcasita en cavidades y venillas. La alteración potásica y la silicificación suelen estar sobreimpuestas a la alteración propilítica dando a la roca un aspecto de brecha, con textura en rompecabezas y abundantes venillas de cuarzo-adularia.





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La optimización de perforación y voladura se ha realizado en el tajeo Mariana ubicado en el nivel 4 450 m.s.n.m. de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

Las características del diseño de perforación por su importancia se han considerado los siguientes parámetros:

Tipo de roca	: Semidura
Densidad de roca	: 2,6 t/m <sup>3</sup>
Potencia del tajeo	: 2,10 m
Equipo de perforación	: Stoper Atlas Copco
Longitud del tajeo	: 45 m
Tipo de perforación	: Realce
Diametro del taladro	: 39 mm
Longitud de barreno	: 1,82 m
Longitud efectiva de perforación	: 1,72 m
Número de cartuchos/taladro	: 6 Unidades
Explosivo Semexsa	: 65 % , 45 %
Buzamiento de la veta	: 84 grados
Inclinación de perforación	: 71 grados



## **4.2 PERFORACIÓN EN EL TAJEO MARIANA Y ALEXIA**

La explotación del yacimiento mineral se ha realizado en los tajeos Mariana y Alexia, indicando que en el tajeo Alexia se ha realizado la perforación anterior y en el tajeo Mariana se ha realizado la perforación con el nuevo diseño de malla calculando en ambos casos el número de taladros perforados y la cantidad de explosivos utilizados.

## **4.3 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **HIPÓTESIS I**

Al diseñar una nueva malla se optimizará los costos de perforación en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

## **4.4 RESULTADOS DE PERFORACIÓN**

### **a) Diseño de la malla de perforación anterior**

En el diseño de la malla de perforación anterior el burden ha sido de 0.45 m y el espaciamiento cada 0.45 m, requiriendo un total de 347 taladros perforados, no se ha considerado estrictamente las características del macizo rocoso, como tal se ha utilizado para la perforación del tajeo un total de 347 taladros. (Ver Anexo N° 1).

### **b) Nuevo diseño de la malla de perforación**

Según el análisis de malla de perforación anterior y para obtener los resultados óptimos se ha realizado la estandarización del diseño de la nueva malla de perforación en el que el burden ha sido de 0.50 m y el espaciamiento cada 0.50 m, requiriendo un total de 312 taladros perforados y 6 cartuchos por cada taladro. (Ver Anexo N°2)

## 4.5 RESULTADOS DE COSTOS DE PERFORACIÓN

### a) Costos de perforación anterior

En cada guardia se ha realizado un promedio de 58 taladros de 6 pies, para obtener los 347 taladros perforados, se ha requerido de 06 guardias.

**Tabla 4: Mano de obra**

1US\$ = S/.3,35

Mano de obra directa	Número de personal	Jornal en Soles	Costo US \$/guardias
Capataz de mina	01	65	19.40
Perforista	01	65	19.40
Ayudante perforista	01	55	16.42
Bodeguero	01	50	14.93
<b>Sub total</b>	---	---	<b>70.15</b>
Leyes sociales	60%	---	<b>42.09</b>
<b>TOTAL</b>	---	---	<b>112,24</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**Tabla 5: Máquina perforadora**

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perforados	US \$/pie	Pies perforados	US \$/guardia
Máquina Perforadora	5 120	120,000	0,043	348	<b>14,96</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**Tabla 6: Materiales de perforación**

Accesorios	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies Perforados	US \$/pie Perforados	US \$
Barra cónica	1	95	1200	348	0.08	27.84
Broca de 38mm	1	45	400	348	0.11	38.28
<b>TOTAL</b>	---	---	---	---	---	<b>66.12</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.



**Tabla 7: Herramientas y otros materiales**

Mangueras y Accesorios	Cantidad	Costo US \$/m	Vida útil (pp)	Pies perforad	US \$/pie Perforad	US \$/guardia
Manguera de ½ pulg.	40 m	1.50	1 100	348	0.05	17.40
Manguera de 1 pulg.	40 m	2.85	1 100	34.80	0.10	34.80
Aceite de perforación	0.25gal	12.5 \$/gal	1	---	---	3.12
<b>TOTAL</b>	---	---	---	---	---	<b>55.32</b>

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil día	Costo US \$/guardia
Barrerillas	Unidad	1	10.35	60	0.17
Lampas	Unidad	1	14.60	120	0.12
Picos	Unidad	1	14.70	120	0.12
Alambre	kg.	0.25	1.50	1	1.60
Llave stilson N°14	Unidad	1	16.60	360	0.05
Atacador de madera	Unidad	1	2.50	60	0.04
<b>COSTO TOTAL</b>	---	---	---	---	<b>2.11</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**COSTO TOTAL: HERRAMIENTAS Y OTROS MATERIALES 57,43 US\$/guardia**



**Tabla 10: Máquina perforadora en la optimización**

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perforados	US \$/pie	Pies perforados	US \$/guardia
Máquina Perforadora	5 120	120,000	0,043	372	<b>15,99</b>

**Tabla 11: Materiales de perforación optimizado**

Accesorios	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies Perforados	US \$/pie Perforados	US \$
Barra cónica	1	95	1200	372	0.08	29,76
Broca de 38mm	1	45	400	372	0.11	40,92
<b>TOTAL</b>	---	---	---	---	---	<b>70,68</b>

**Tabla 12: Herramientas y otros materiales optimizado**

Mangueras y Accesorios	Cantidad	Costo US \$/m	Vida útil (pp)	Pies perforad	US \$/pie Perforad	US \$/guardia
Manguera de ½ pulg.	40 m	1.50	1 100	372	0.05	18,60
Manguera de 1 pulg.	40 m	2.85	1 100	372	0.10	37.20
Aceite de perforación	0.25gal	12.5 \$/gal	1	---	---	3,12
<b>TOTAL</b>	---	---	---	---	---	<b>58,92</b>

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil días	Costo US\$/guardia
Barrerillas	Unidad	1	10.35	60	0,17
Lampas	Unidad	1	14,60	120	0,12
Picos	Unidad	1	14.70	120	0,12
Alambre	kg.	0.25	1.50	1	1.60
Llave stilson N°14	Unidad	1	16,60	360	0,05
Atacador de madera	Unidad	1	2,50	60	0,04
<b>COSTO TOTAL</b>	---	---	---	---	<b>2,11</b>

**COSTO TOTAL: HERRAMIENTAS Y OTROS MATERIARES 61,03 US\$/guardia**

**Tabla 13: Implementos de seguridad optimizado**

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil	Costo US\$/guardia
Protector	Pza	1	12,9	300	0,05
Guantes de cuero	Pza	1	4.75	25	0,19
Correas porta lámpara	Pza	1	3,7	300	0,03
Botas de jebe	Pza	1	21.15	180	0,12
Mamelucos	Pza	1	23.5	180	0,14
Respiradora	Pza	1	22.6	180	0,15
Filtro de respiradores	Pza	1	5.7	15	0,38
Tapón de oídos	Pza	1	2.5	120	0,03
Ropa de jebe	Pza	1	31.65	120	0,28
Lentes de seguridad	Pza	1	10.45	120	0,09
Lámpara de batería	Pza	1	116,2	120	0,97
<b>COSTO TOTAL</b>	---	---	---	---	<b>2,43</b>

**Costo total de perforación optimizada:**

	<b>US\$/Tm</b>
<b>COSTO US\$/Tm</b>	<b>3,43</b>

## HIPÓTESIS II

Al determinar la carga explosiva necesaria se optimizará los costos de voladura en los tajeos de explotación Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

### 4.6 RESULTADOS DE VOLADURA

#### a) Voladura anterior en el tajeo Alexia

La carga explosiva de la voladura anterior se ha realizado sin tener en cuenta el comportamiento del macizo rocoso y el tipo de roca a perforar, se ha utilizado el explosivo Semexsa de 65% en una proporción mayor.



**Tabla 14: Consumo de explosivos en la voladura anterior**

Consumo de explosivo Semexsa 65%					
Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total de cartuchos	Peso del Cart. kg	Peso total ( kg )
ARRANQUE	347	6	2 082	0.080	166,56
<b>TOTAL</b>	<b>347</b>	<b>---</b>	<b>2 082</b>	<b>---</b>	<b>166,56</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**a) VOLUMEN ROTO**

$$V = b \times h \times Lp$$

Donde:

V = Volumen roto (m<sup>3</sup>)

b = Ancho del tajeo (m)

h = Altura del tajeo(m)

Lp = Longitud del block del tajeo (m)

$$V = 1.86 \times 1.70 \times 45$$

$$V = 142,29 \text{ m}^3$$

**b) TONELAJE ROTO**

$$Tm = V \times dr$$

Donde:

Tm = Tonelada métrica de material roto

V = Volumen roto

Dr = Densidad de roca

$$Tm = 142.29 \times 2.60$$





$$Tm = 369.95 Tm$$

### c) FACTOR DE CARGA

$$Fc = \frac{Kg-explosivo}{Volumen roto}$$

$$Fc = \frac{166.56Kg}{142.29 m^3}$$

$$Fc = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$Fc = \frac{Kg-explosivo}{metro lineal}$$

### d) FACTOR DE POTENCIA

$$Fp = \frac{Kg-explosivo}{Tonelaje roto}$$

$$Fp = \frac{166.56Kg}{369.95Tn}$$

$$Fp = 0.45 \text{ kg/Tm}$$

**Tabla 15: Resumen de resultados de la voladura anterior**

PARÁMETROS OBTENIDOS DE LA VOLADURA ANTERIOR	
PARÁMETROS	DINAMITA SEMEXA 65%
kg/disparo	166,56 kg
Volumen	142.29 m <sup>3</sup>
Toneladas	369,95 Tm
Factor de carga	1,17 kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0,45 kg/Tm

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**a) Voladura optimizada en el tajeo Mariana**

La carga explosiva de la voladura optimizada se ha realizado según las características del macizo rocoso y el tipo de roca a perforar, se ha utilizado el explosivo Semexsa de 65% y 45%, cuyo cálculo ha sido de menor proporción.

**Tabla 16: Consumo de explosivos en la voladura optimizada**

<b>Consumo de explosivo Semexsa 65% y 45%</b>					
<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso del Cart. kg</b>	<b>Peso total ( kg )</b>
ARRANQUE	212	6 (65%)	1 260	0.080	100,80
ARRANQUE	100	6 (45%)	612	0.080	48,96
<b>TOTAL</b>	<b>312</b>	<b>---</b>	<b>1872</b>	<b>---</b>	<b>149,76</b>

**a) VOLUMEN ROTO**

$$V = b \times h \times Lp$$

Donde:

V = Volumen roto (m<sup>3</sup>)

b = Ancho del tajeo (m)

h = Altura del tajeo(m)

Lp = Longitud del block del tajeo (m)

$$V = 1.86 \times 1.76 \times 45$$

$$V = 147.31 \text{ m}^3$$



## b) TONELAJE ROTO

$$T_m = V \times d_r$$

Donde:

$T_m$  = Tonelada métrica de material roto

$V$  = Volumen roto

$d_r$  = Densidad de roca

$$T_m = 147.31 \times 2.60$$

$$T_m = 383.01 \text{ Tm}$$

## c) FACTOR DE CARGA

$$F_c = \frac{Kg\text{-explosivo}}{Volumen\ roto}$$

$$F_c = \frac{149.76 \text{ Kg}}{147.31 \text{ m}^3}$$

$$F_c = 1.02 \text{ kg/m}^3$$

## d) FACTOR DE POTENCIA

$$F_p = \frac{Kg\text{-explosivo}}{Tonelaje\ roto}$$

$$F_p = \frac{149.76 \text{ Kg}}{383.01 \text{ TM}}$$

$$F_p = 0.39 \text{ kg/Tm}$$

**Tabla 17: Resultados de la voladura optimizada**

<b>PARÁMETROS OBTENIDOS DE LA VOLADURA OPTIMIZADA</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Explosivo Semexsa 65%, 45%</b>
Kg	149,76 kg
Volumen	147,31 m <sup>3</sup>
Toneladas	383.01 Tm
Factor de carga	1,02 kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0,39 kg/Tm

#### 4.7 RESULTADOS DE COSTOS DE VOLADURA

##### a) Costos de voladura anterior

**Tabla 18: Materiales de voladura anterior**

<b>Insumos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio US \$</b>	<b>Cantidad por guardia</b>	<b>US \$/guardia</b>
Dinamita 65%	Cartucho	0.52	348	180,96
Fulminante N° 8	Cápsula	0.43	58	24,94
Mecha de seguridad	Metros	0.45	123,75	55,69
<b>COSTO TOTAL</b>	---	---	---	<b>261,59</b>

Fuente: Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

**COSTO US\$/Tm** **4,24** **US\$/Tm**

##### b) Costos de voladura optimizada

**Tabla 19: Materiales de voladura optimizada**

<b>Insumos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio US \$</b>	<b>Cantidad por guardia</b>	<b>US \$/ guardia</b>
Dinamita 65%	Cartucho	0,52	42 x 6 = 252	131,04
Dinamita 45%	Cartucho	0,49	20 x 6 = 120	58,80
Fulminante N° 8	Cápsula	0,43	62	26,66
Mecha de seguridad	Metros	0,45	132,28	59,53
<b>COSTO TOTAL</b>	---	---	---	<b>276,03</b>

**COSTO US\$/Tm** **3,60** **US\$/Tm**

#### 4.8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Según el análisis de resultados de perforación y voladura antes y después de la optimización, se muestra claramente que hay una diferencia en los parámetros y costos de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. - Arequipa, cuyo resumen se muestra en las Tablas 20 y 21

**Tabla 20: Resumen de resultados anterior y actual**

Descripción	Antes	Después	Diferencia	Unidad medida
Taladros perforados	347	312	35	N° de Tal.
Taladros cargados	347	312	35	N° de Tal.
Semexsa 65%	2 082	1260	822	cartuchos
Semexsa 45%	---	612	---	cartuchos
Cordon detonante	40	40	---	m
Fanel	347	312	35	Unidad
kg por disparo	166.56	149.76	16.80	kg
Factor de carga	1.17	1.02	0.26	kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0.45	0.39	0.06	kg/Tm

En el diseño de la malla de perforación anterior se ha utilizado 347 taladros perforados y con el nuevo diseño de la malla de perforación se ha reducido a 312 taladros haciendo una diferencia 35 taladros, en ambos casos se ha utilizado 06 cartuchos por taladro.

Para la voladura anterior se ha utilizado el explosivo Semexsa de 65 % en total de 2 082 cartuchos, fanel 347 unidades, cordón detonante de 140 metros, factor de carga 1.17 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0.45 kg/Tm.



En la voladura optimizada se ha utilizado el explosivo Semexsa 65% y 45%, en total 1260 cartuchos de 65% y 612 cartuchos de 45%, fanel 312 unidades, cordón detonante 140 metros, factor de carga de  $1.02 \text{ kg/m}^3$ , factor de potencia de 0.39 kg/Tm.

**Tabla 21: Resumen de costos de perforación y voladura**

<b>Costo de perforación y voladura</b>	<b>Anterior US\$/TM</b>	<b>Optimizado US\$/TM</b>	<b>Diferencia US\$/TM</b>
<b>Costo de perforación</b>	4,24	4,11	0,13
<b>Costo de voladura</b>	3,60	3,43	0,17
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>7,84</b>	<b>7,54</b>	<b>0,30</b>

#### 4.9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

El estudio de investigación es similar con la tesis, Análisis de costos operativos para optimizarla perforación y voladura en la Unidad Minera EL COFRE, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en donde concluye que en la voladura se ha reducido el consumo de explosivos de 483.07 kg a 369.48 kg por corte, cuya diferencia es de 113.61 kg de explosivos por mes. (Suasaca G, 2 014).



## V. CONCLUSIONES

Con el nuevo diseño de la malla de perforación, los costos de perforación y voladura se ha optimizado de 7,84 US \$/Tm a 7,54 US \$/Tm, con una diferencia de 0,30 US \$/Tm. en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

Aplicando la nueva malla de perforación, el costo de perforación se ha optimizado de 4,11 US \$/Tm a 3,43 US \$/Tm, Con una diferencia de 0,68 US\$/Tm en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

El consumo de explosivos utilizados en la voladura anterior ha sido 166,56 kg y con la optimización 149,76 kg. con una diferencia de 16,80 kg y los costos de voladura se ha optimizado de 4,24 US \$/Tm a 3,60 US \$/Tm, con una diferencia de 0,64 US\$/Tm en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.



## VI. RECOMENDACIONES

Se debe cumplir con los parámetros del nuevo diseño de la malla de perforación y para optimizar los costos de producción en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.

Se debe hacer un buen confinamiento de la carga explosiva para realizar la voladura en el tajeo Mariana de la Compañía Minera Arcata S.A. – Arequipa.





## VII. REFERENCIAS

- Cámac, T. A. (2005), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM-UNA. Puno.
- Chambi, F. A. (2011), *Optimización de Perforación y Voladura en la Ejecución de la Rampa 740 – Unidad Vinchos – Volcan S.A.A.*
- Chahuares, S. F. (2012), *Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo Mina EL COFRE.*
- EXSA (2001), *Manual Práctico de Voladura, Edición Especial*, Perú.
- Frisancho, T. G. (2006), *Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea*”
- Famesa Explosivos, (2008, *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea.*
- Jáuregui, A. A. 2009), Tesis, *Reducción de costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura*”. Presentada a la Facultad de Ciencias Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Laricano, F. E. (1995), *Optimización de Costos en las Labores de Desarrollo Minera Pachapaqui S.A.*
- López, J. C., (1994), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*, Instituto Geológico y Minero España. Edición 1994.
- López, J. C. (1997), *Manuel de Túneles y Obras Subterráneas Madrid*, Gráficas Arias Montano.
- Lupaca, M. J. (2009), *Costos en Operaciones Mineras Unitarias Subterráneas.*



- Mamani, P. N. (2015), en su tesis *Optimización de Costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea*, Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Mendoza, J. (2006), *Perforación y voladura*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Rodríguez, V. R. (2011), *Mejoramiento de Operaciones Unitarias en Labores de Desarrollo en Minería Subterránea Unidad Minera EL COFRE*.
- Suasaca, G. Y. (2014), en su tesis *Análisis de costos operativos para optimizar la Perforación y Voladura en la Unidad Minera EL COFRE*, Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Tapia, C. W. (2015), en su tesis *Optimización de la producción y avance mediante diseño de perforación y voladura en rampa 650 en la Empresa Especializada IESA S.A. CIA Minera ARES S.A.C.*, Universidad Nacional del Altiplano- Puno.
- Ticlavilca, P. E. (2010), *Diseño de Perforación y Voladura en el tajo Susan de la Unidad Minera Corihuarmi Compañía Minera I.R.L.*
- Vargas, V. E. (2009), *Voladura controlada en labores de desarrollo preparación de la mina Animon Chungar S.A.C."*



## ANEXOS