

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



**TESIS**

**OPTIMIZACION DE COSTOS DE PERFORACION Y VOLADURA CON NUEVO  
DISEÑO DE MALLA EN LA CHIMENEA SAN ANDRES DE LA CONTRATA MINERA  
RUMIJ S.R.L. – LA RINCONADA**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JUAN CARLOS MAMANI CHOQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

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



**TESIS**

**OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON  
NUEVO DISEÑO DE MALLA EN LA CHIMENEA SAN ANDRES DE LA  
CONTRATA MINERA RUMIJ S.R.L. – LA RINCONADA**

**PRESENTADA POR:**

**JUAN CARLOS MAMANI CHOQUE**

A la Dirección de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano como requisito para optar el título de:

**INGENIERO DE MINAS**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 DE DICIEMBRE DEL 2017.

**APROBADO POR:**

**PRESIDENTE DEL JURADO**

Ing. David Velásquez Medina

**PRIMER MIEMBRO**

Ing. Arturo R. Chayña Rodríguez

**SEGUNDO MIEMBRO**

Ing. Amílcar G. Terán Dianderas

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Ing. Jorge Durant Broden

AREA: Ingeniería de Minas  
TEMA: Análisis de costos mineros

## DEDICATORIA

A mis distinguidos padres, por su generosidad y dedicación hacia mi persona para culminar mis estudios superiores y lograr mi anhelo de ser Ingeniero de Minas.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios supremo creador del universo y la vida por concederme salud y vida para seguir trabajando por el bienestar de la familia.

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

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y personal docente por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas

Mi agradecimiento a mis compañeros de promoción, quienes me alentaron para concluir mis estudios superiores.

Mi Especial agradecimiento a la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.– La Rinconada, por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.

**INDICE**

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
INDICE .....	III
RESUMEN .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	VIII

**CAPITULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1 Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.2.1 Pregunta general.....	2
1.2.2 Preguntas específicas:.....	2
1.3 Objetivos de la investigación .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.4 Justificación de la investigación.....	3
1.5 Limitaciones del estudio.....	3
1.6 Viabilidad del estudio.....	3

**CAPITULO II****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Antecedentes del proyecto .....	4
2.2 Bases teóricas .....	6
2.3 Definiciones conceptuales .....	23
2.4 Formulación de hipótesis .....	25
2.4.1 Hipótesis general.....	25
2.4.2 Hipótesis específicas.....	25

**CAPITULO III****METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

METODOLOGÍA.....	26
3.1 Diseño metodológico .....	26
3.2 Población .....	27

3.3 Muestra .....	27
3.4 Operacionalización de variables .....	27
3.4.1 Variable Independiente .....	27
3.4.2 Variable Dependiente.....	27
3.5 Técnicas de recolección de datos.....	28
3.6 Instrumentos de recolección de datos .....	28

## CAPITULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados.....	30
4.1.1 Comparación con otras fuentes .....	30
4.2 Contrastación de las hipótesis .....	31
4.2.1 Resultados comparativos de perforación .....	31
4.2.2 Resultados comparativos de voladura .....	35
4.3 Costo de perforación y voladura anterior en la Chimenea San Andrés .....	37
4.4 Nuevo diseño de la malla de perforación en la chimenea San Andrés .....	39
4.5 Voladura optimizada en la Chimenea San Andrés .....	40
4.6 Costo de perforación y voladura optimizado en la chimenea San Andrés .....	42
4.7 Discusión de resultados de perforación y voladura .....	44
4.8 Resultados comparativos de costos de perforación y voladura anterior y optimizado .....	46
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>49</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>	
Cuadro 3.1 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	28
Cuadro 4.1 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS.....	33
Cuadro 4.2 COEFICIENTE DEL TIPO DE ROCA .....	34
Cuadro 4.3 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS OPTIMIZADOS .....	35
Cuadro 4.4 CONSUMO DE EXPLOSIVOS EN LA VOLADURA ANTERIOR .....	35
Cuadro 4.5 RESUMEN DE RESULTADOS EN LA VOLADURA ANTERIOR.....	37
Cuadro 4.6 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS OPTIMIZADOS .....	40
Cuadro 4.7 CONSUMO DE EXPLOSIVOS SEMEXA 65% .....	40
Cuadro 4.8 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA VOLADURA OPTIMIZADA .....	42

Cuadro 4.9 RESUMEN DE RESULTADOS COMPARATIVOS .....	46
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	
Figura 2.1 Corte angular pirámide o cuña .....	10
Figura 2.2 Corte quemado .....	11
Figura 2.3 Tipos de arranque corte quemado .....	12
Figura 2.4 Formas de distribución de taladros .....	13
Figura 2.5 Formas de distribución de taladros .....	13
Figura 2.6 Posición mostrada en el corte al hastial derecho .....	14
Figura 2.7 Posición mostrada en el corte .....	14
Figura 2.8 Posición mostrada en el corte debajo de la falla .....	15
Figura 2.9 Posición mostrada en el corte debajo de la falla .....	16
Figura 2.10 Desviaciones en el paralelismo: .....	16
Figura 2.11 Irregular longitud de los taladros .....	16
Figura 2.12 Intersección entre taladros .....	17
Figura 2.13 Sobrecarga.....	17
Figura 4.1 Corte quemado .....	32
Figura 4.2: Diseño de malla de perforación anterior.....	32
Figura 4.3 Nuevo diseño de malla optimizada.....	34

**INDICE DE TABLAS**

TABLA N° 1 .....	7
TABLA 2.....	7

## RESUMEN

En la actualidad la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada, viene desarrollando la Chimenea San Andrés, que se encuentra en el nivel 4 945 m.s.n.m., con la finalidad de comunicar a la galería Santa Eulalia del nivel 4 985m.s.n.m. y construir el Ore Pass y también mejorar el sistema de ventilación de las labores mineras.

La chimenea San Andrés tiene un longitud proyectada de 40 metros lineales y una sección de 1.20m x 2.40 m.

Durante la ejecución de su etapa inicial se ha realizado las evaluaciones de las operaciones de perforación y voladora, y se encontró una serie de deficiencias en los resultados de avances lineales, fragmentación inadecuada, falta de control de explosivos y accesorios de voladura, mala distribución de taladros, mayor consumo de explosivos por cada taladro y falta de selección del explosivo adecuado de acuerdo a las características del macizo rocoso y como resultado de análisis se encontró altos costos de perforación y voladura de la chimenea San Andrés.

El objetivo del estudio de investigación es la optimización de los costos de perforación y voladura en el desarrollo de la Chimenea San Andrés de la contrata minera RUMIJ S.R.L.- La Rinconada.

La metodología consistió en evaluar todos los procesos de desarrollo de perforación y voladura anterior de la Chimenea San Andrés, el control de operaciones mineras se ha realizado en 15 turnos, donde se ha analizado el diseño de la malla de perforación anterior y la cantidad de explosivos utilizados. En el estudio de investigación según las características del macizo rocoso se ha diseñado una nueva malla de perforación y la cantidad necesaria de explosivos a utilizar, se ha considerado el número de taladros, burden, espaciamiento, el tipo de trazo y la cantidad de explosivos requeridos en la voladura.

Con la aplicación de la nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se ha reducido de 202.81 US \$/m a 181.45 US \$/m, con una diferencia de 21.36 US \$/m.

Las palabras claves consideradas son: Optimización, costos, perforación, voladura, y diseño de malla.



**ABSTRACT**

At present Contrata minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada, has been developing the Chimney San Andrés, which is located at level 4 945 m.s.n.m., with the purpose of communicating to the gallery Santa Eulalia of level 4 985 m.s.n.m. And build the Ore Pass and also improve the ventilation system of the mining works. The San Andrés chimney has a projected length of 40 linear meters and a section of 1.20m x 2.40m. During the execution of its initial stage, evaluations of drilling and flying operations were carried out, and a number of deficiencies were found in the results of linear advances, inadequate fragmentation, lack of control of explosives and blasting accessories, poor distribution of Drills, increased explosive consumption per drill and lack of selection of the appropriate explosive according to the characteristics of the rocky massif and as a result of analysis high costs of drilling and blasting of the San Andrés chimney were found. The objective of the research work is the optimization of the costs of drilling and blasting in the development of Chimney San Andrés of the Contrata minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada The methodology is to evaluate all processes of drilling and blast development of the San Andrés Chimney, the control of mining operations has been carried out in 15 shifts where the design of the previous drill mesh and the quantity of explosives Used. In the research work according to the characteristics of the rocky massif has been designed a new mesh of drilling and the necessary quantity of explosives to use, the tests have been realized in 15 turns where it has been considered the number of drills, burden, spacing, The type of stroke and the amount of explosives required in the blast. With the application of the new drilling mesh, drilling and blasting costs have been reduced from 202.81 US \$ / m to 181.45 US \$ / m, with a difference of 21.36 US \$ / m

Key words considered are: Optimization, costs, drilling, blasting, and mesh design.

## INTRODUCCIÓN

En la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada, las actividades de perforación y voladura en una labor subterránea constituyen como una de las etapas más importantes en la elaboración de la chimenea San Andrés, para su ejecución es necesario tener mucha atención en el diseño de la malla de perforación, selección de carga explosiva a utilizar y costos para alcanzar los mejores resultados en el desarrollo de la Chimenea San Andrés, que se encuentra en el nivel 4 945 m.s.n.m., con la finalidad de comunicar a la galería Santa Eulalia del nivel 4 985m.s.n.m. y construir el Ore Pass y también para mejorar el sistema de ventilación de las labores mineras y considerando estos fundamentos se desarrolla la presente tesis titulado Optimización de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada.

En el nuevo diseño de la malla de perforación se ha utilizado el corte quemado de 06 taladros de los cuales 02 taladros son de alivio, en total compuesto por 25 taladros, considerando en su ejecución el número de taladros de producción, burden, espaciamento, el tiempo de perforación por taladro y la carga explosiva utilizada en el carguío de taladros y también se ha realizado la capacitación permanente al personal de perforación y voladura para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

El trabajo de investigación se divide en cuatro capítulos, en el capítulo I, se considera el planteamiento del problema motivo de tesis, en el capítulo II, se desarrolla el marco teórico analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el trabajo de investigación, en el capítulo III, se describe el proceso de la metodología de la investigación y la operacionalización de variables, y en el capítulo IV se plantea las discusiones y análisis de resultados del trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción de la realidad del problema

En la actualidad la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada, viene desarrollando la Chimenea San Andrés, que se encuentra en el nivel 4945 m.s.n.m., con la finalidad de comunicar a la galería Santa Eulalia del nivel 4985m.s.n.m. y construir el Ore Pass y también para mejorar el sistema de ventilación de las labores mineras.

La chimenea San Andrés tiene una longitud proyectada de 40 metros lineales y una sección de 1.20m x 2.40.

Durante la ejecución de su etapa inicial se ha realizado las evaluaciones de las operaciones de perforación y voladura, y se encontró una serie de deficiencias en los resultados de avances lineales, fragmentación inadecuada, falta de control de explosivos y accesorios de voladura, mala distribución de taladros y como resultado de análisis se encontró altos costos de perforación y voladura de la chimenea San Andrés. También tiene problemas en el mayor consumo de explosivos por cada taladro, haciendo un consumo total de 8.6 kg/m y falta de selección del explosivo adecuado, es decir explosivo Exsa de 45%, lo cual no está de acuerdo a las características del macizo rocoso y obteniendo un avance de 1.30 m lineales con una granulometría de 6 a 7 pulgadas de diámetro.

En la ejecución de operaciones de minado subterráneo es de mucha importancia el diseño de la malla de perforación, y la selección de la carga explosiva a utilizar, de la misma forma es necesario el control de tiempos y son determinantes para optimizar los costos de perforación y voladura en una labor minera subterránea.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Pregunta general

¿Cómo optimizamos los costos de perforación y voladura diseñando una nueva malla de perforación y la carga explosiva necesaria en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada?

### 1.2.2 Preguntas específicas:

- a) ¿Cuál es el diseño de la nueva malla, para la optimización de los costos de perforación en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada?
- b) ¿Cómo optimizamos los costos en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada?
- c) ¿Cuál es la carga explosiva necesaria en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Optimizar los costos de perforación y voladura con el nuevo diseño de malla y la carga explosiva necesaria en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar la nueva malla de perforación, para optimizar los costos de perforación en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.
- b) Optimizar los costos de voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada.
- c) Determinar la carga explosiva necesaria en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada?

#### 1.4 Justificación de la investigación

La contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada, posee gran potencial de reservas de mineral aurífero probado y probable de 85326 TM y 42663 TM de mineral respectivamente con una ley promedio de 7.5gr /TM. Para continuar la explotación del yacimiento mineral es necesario realizar labores de preparación, por tanto es importante realizar la Chimenea San Andrés, la misma que comunicará del nivel 4945 m.s.n.m. a la galería Santa Eulalia del nivel 4985 m.s.n.m. Esta chimenea tendrá doble compartimiento para utilizar como ore pass y acceso de personal, además para mejorar el sistema de ventilación de las labores mineras subterráneas.

Por la chimenea San Andrés se accederá 121.5 TM/día, y mensualmente se accederá un total 3037.5 TM/mes

Por consiguiente el presente trabajo de investigación se justifica su ejecución y será de mucha importancia para la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada y también será modelo para realizar otras labores similares a bajos costos de operación mejorando la rentabilidad de la Empresa Minera.

#### 1.5 Limitaciones del estudio

El presente trabajo de investigación tiene limitaciones en el cambio de guardia y falta de control adecuado de los datos necesarios en el proceso de su ejecución, el presente proyecto de investigación se ha realizado en el nivel 4 945 m.s.n.m. de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada. Se tiene el apoyo de la Empresa Minera para realizar las actividades mineras para el desarrollo de la Chimenea San Andrés.

#### 1.6 Viabilidad del estudio

El trabajo de investigación está íntegramente relacionado con la actividad minera. La minería es una fuente de desarrollo del país y por ende nuestro departamento, en lo económico, infraestructuras, desarrollo social y su importancia a nivel internacional.

Conociendo su grado de importancia es viable para su desarrollo de acuerdo a nuevos métodos y avances de la tecnología minera, para su ejecución se cuenta con recursos económicos y recursos humanos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del proyecto

**Lupaca Marca, Jony (2009)**, en su tesis de título “Costos Unitarios en Operaciones Mineras Subterráneas”, concluye “Que los costos directos totales (perforación voladura y limpieza) por disparo del corte vertical son mayores que las del corte horizontal. Y la existencia de diversos métodos para estimar los costos de acuerdo a las necesidades que se pueda llevar un buen control de todos los costos unitarios que se emplean en la minería”. El autor ha utilizado el método del costo detallado, en donde se ha considerado los costos de equipos, costo de explosivo, costo de accesorios de voladura y costo de mano de obra directa.

**Mamani Pacoricona, Nilthon (2015)**, en su tesis titulado 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 293.05 US \$/m.

**Chahuares Sairitupa, F. Cepriano(2012)**, en su tesis de título Nuevo Diseño de Malla de Perforación y Voladura en el Proyecto de Explotación y Desarrollo, Mina El COFRE, 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 de taladros de 1.45 metros y en la voladura se ha reducido el consumo de explosivos de 12.6 kg/m a 10.78 kg/m.

**Frisancho Triveño, Giovanni (2006)**, en su tesis de título Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea, 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.

**Chambi Flores, Alan (2011)**, en su tesis de título “Optimización de Perforación y Voladura de la Rampa 740 – Unidad VINCHOS – VOLCAN S.A.A. Cerro de Pasco”, en su conclusión menciona “Que la Optimización Obtenida en la Perforación y Voladura en la Ejecucion de la Rampa 740 de la unidad VINCHOS de Cerro de Pasco, es reducir taladros por frente y ahorrar 8.0 kg de explosivos por disparo”

**Suasaca Grande, Yubert (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.

**Carreón Q. Juvenal (2001)**, en su tesis de título “Optimización de Perforación y Voladura en la Rampa Principal 523 Sistema Mecanizado Mina San Rafael”. Universidad Nacional del Altiplano Puno. En su conclusión menciona que el número de taladros de 60 (antes de optimizar) se redujo a 48 (en la etapa final de la optimización) y taladros cargados 56 a 44 respectivamente. En consecuencia del consumo de explosivos también bajo 132.72 a 103.70 kg/disparo.

**Zapata D. Mónica P. (2002)**, “Control de Costos de una Operación Minera Mediante el Método del Resultado Operativo”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El objetivo general del estudio fue aumentar la productividad y la calidad a través del mejoramiento continuo de las eficiencias y la efectividad en las operaciones. Como instrumentos de investigación utilizo los programas de actividad, curva “S” informes de producción y el resultado económico, sus conclusiones fueron: El resultado operativo nos permite saber si estamos adelantados o atrasados respecto al tiempo, evaluar si estamos ganando o perdiendo y porque, el método del resultado operativo es una herramienta de control que nos permite identificar y evaluar los costos operativos en los procesos productivos.

## 2.2 Bases teóricas

### 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, esto es: (EXSA, 2001).

$$L = 0.15 + 34.1 \times D_2 - 39.4 \times D_2^2$$

$$D_2 = 0.95 \times L$$

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:

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

Donde:

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

$$I = 0.95 \times H$$

Donde:

I = Avance de la voladura (metros)

H = Profundidad de los taladros a perforarse (metros)

- **Teoría de Anderson**

Considera que el burden es una función del diámetro y longitud del taladro, describiéndose así;



$$B = Kx\sqrt{(D'xL)}$$

Donde:

B = Burden

D' = Diámetro del taladro en pies.

L = Longitud del taladro en pies.

La relación longitud de taladro-burden influye sobre el grado de fragmentación.

**TABLA N° 1**  
**CONSTANTE DEL TIPO DE ROCA**

TIPO DE ROCA	CONSTANTE
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 – 2 001

**TABLA 2**  
**CONSTANTE DE VOLADURA EN MINA SUBTERRANEA “Kb”**

TIPO DE ROCA Y EXPLOSIVO	VOLADURA EN MINA SUBTERRÁNEA (Kb)
• Explosivos densos de densidad 1.6, en roca de baja densidad 2.2	20
• Explosivos densos de densidad 1.6, en rocas de densidad promedio 2.7	17
• Explosivos de densidad 1.2, en roca de densidad promedio 2.7	15
• Explosivos de baja densidad 0.8, en roca de densidad densa 3.2	10

Fuente: Voladura de rocas, Alfredo Cámac Torres (2 008)

- **Espaciamiento**

$$E = (K_e \times B)$$

Donde:

$K_e = 2,0$  para iniciación simultánea de taladros.

$K_e = 1,0$  para taladros secuenciados con retardos largos.

$K_e = 1,2$  a  $1,8$  para taladros secuenciados con retardos cortos

- **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.

$$\text{Ton (t)} = V \times \rho$$

Donde:

$\rho$  = Densidad de roca.

V = Volumen.

**b) Cantidad de carga**

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

**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

##### 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).

## ❖ PERFORACIÓN DE ARRANQUE

**Arranque:** Son los taladros que van a permitir hacer una cara libre más y a partir de ésta segunda cara libre generada, se amplía la abertura con los taladros de primera y segunda ayuda, que están alrededor del arranque, hasta que la delimitación sea total de la labor a ejecutar. En toda malla de perforación se debe mantener la simetría de los taladros de tal forma de generar una buena secuencia de salida.

## ❖ TIPOS DE ARRANQUES

Hay varios tipos de arranque que reciben diferentes nombres, según su forma o el lugar donde se le ha usado primero. , pero todos los tipos de cortes podemos agruparlos en tres:

## ❖ CORTE ANGULARES

Son taladros que hacen un ángulo con el frente donde se perfora, con el objeto de que al momento de la explosión formen un “cono” de base (cara libre) amplia y de profundidad moderada, dependiendo del tipo de terreno. Entre los cortes angulares tenemos:

- a) Corte en Cuña o en “V”
- b) Corte en pirámide.

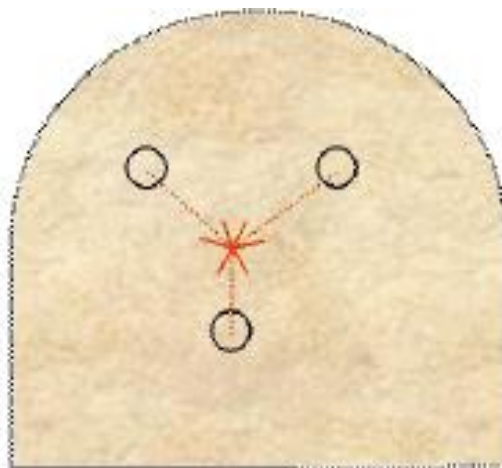


Figura 2.1 Corte angular pirámide o cuña

Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

### ❖ CORTE PARALELOS

Consiste en tres o más taladros horizontales, que son exactamente paralelos entre sí y paralelo al eje de la galería; cuanto más duro es el terreno, estos taladros deberán estar más cerca uno a otro.

De los taladros que forman el corte, uno o más se dejan sin cargar (Taladros de Alivio), con el objeto de que dejen un espacio libre que facilite la salida de los otros que están cargados. De estos taladros de alivio depende mucho el avance que se puede lograr en un solo tiro, es decir a mayor diámetro de taladros de alivio mayor será el avance.

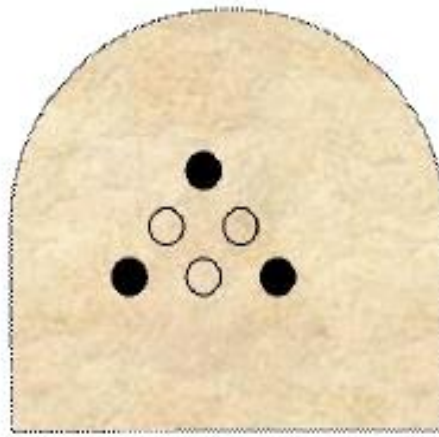


Figura 0-22.2 Corte quemado

Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

### ❖ CORTE COMBINADOS

Son la combinación de Cortes en “V” y cortes en pirámide. Los variantes del corte “QUEMADO” son: Corte escalonada y corte crack.

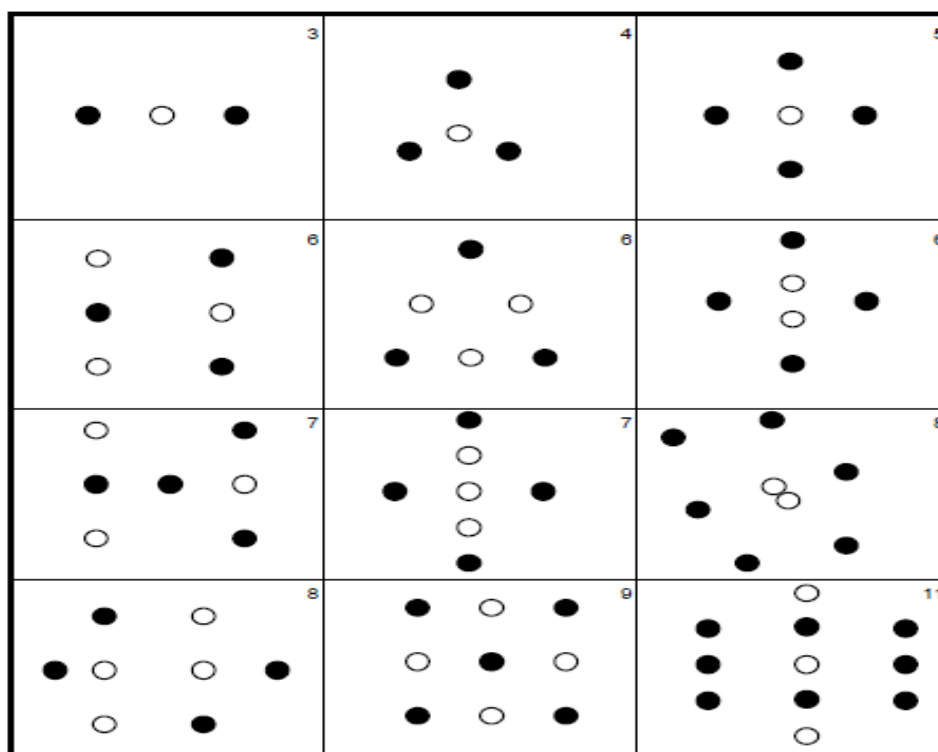


Figura 2.3: Tipos de arranque corte quemado  
Fuente: Elaboración propia

#### ❖ DISTRIBUCIÓN Y DENOMINACIÓN DE TALADROS

Los taladros se distribuirán en forma concéntrica, con los del corte o arranque en el área central de la voladura, siendo su denominación como sigue:

- a) **ARRANQUE.**- Son los taladros que se disparan primero, para formar la cavidad inicial. Por lo general la carga explosiva es mayor que los otros taladros.
- b) **AYUDAS.**- Son los taladros que rodean a los taladros de arranque y forman las salidas hacia la cavidad inicial. De acuerdo a la dimensión del frente varía su número y distribución comprendiendo el burden y espaciamiento
- c) **CUADRADORES.**- Son los taladros laterales (hastiales) que forman los flancos de la galería.
- d) **ALZAS.**- Son los que forman el techo o bóveda de la galería. También se les denominan taladros de la corona.
- e) **ARRASTRES.**- Son los taladros que se encuentran al piso de la galería; y se disparan al final de toda la secuencia.

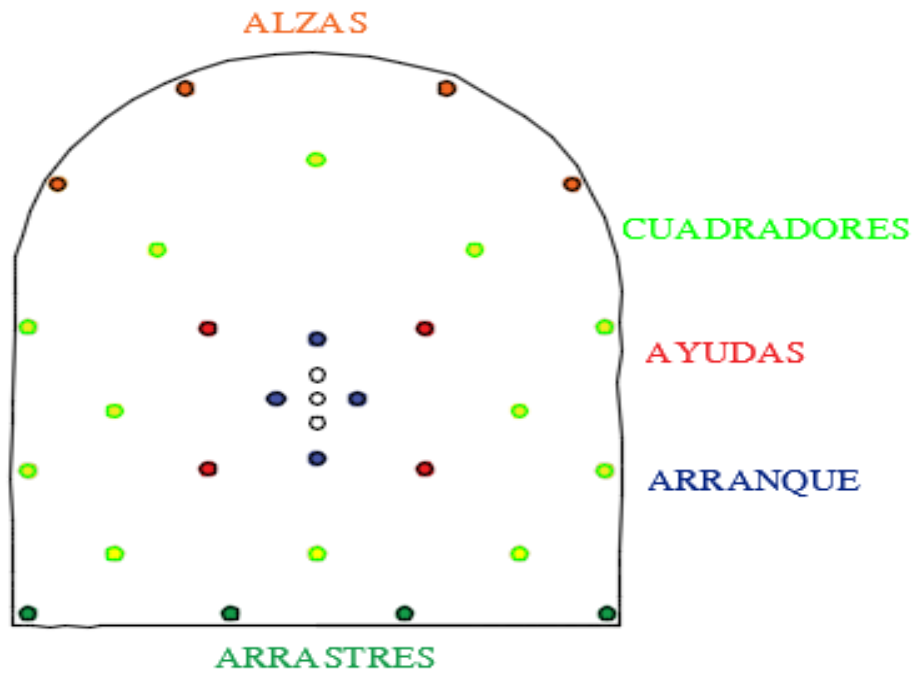


Figura 0-42.4 Formas de distribución de taladros  
Fuente: Manual de perforación EXSA 2001

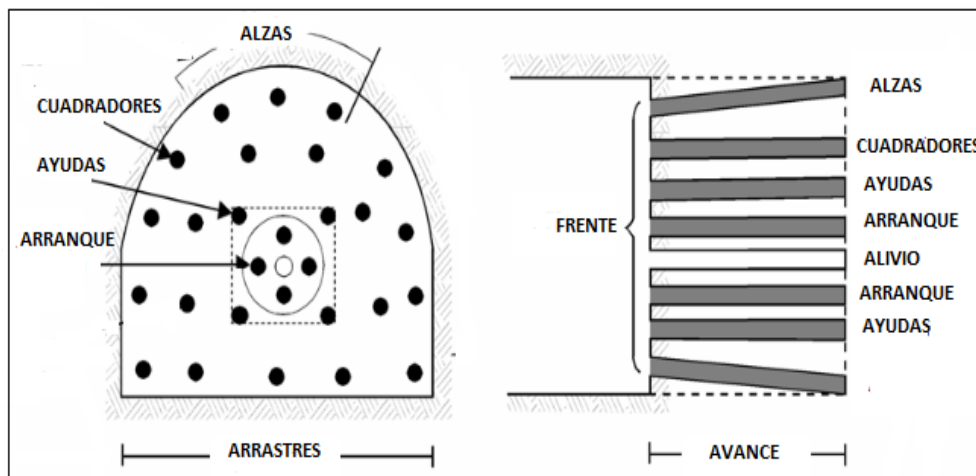


Figura 0-52.5 Formas de distribución de taladros  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

❖ **POSICIÓN DE CORTE EN EL FRENTE**

La ubicación del corte en un frente es un tema a considerar porque requiere de mayor carga específica causando, las sobre vibraciones y sobre presión; la ubicación del corte tiene que ver con el comportamiento geomecánico de las cajas y techo.

La posición mostrada depende del comportamiento geomecánico de las cajas, y de las direcciones relativas de los estratos con respecto al eje de la galería; En otras palabras

si el hastial derecho es de mala calidad rocosa el corte se debe realizar casi junto al hastial izquierdo y viceversa.



Figura 2.6 Posición mostrada en el corte al hastial derecho

Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

Posición mostrada es la más común utilizada generalmente, pero se debe utilizar cuando no tenemos problemas alguno de calidad de macizo rocoso tanto en cajas y techo.



Figura 0-7Figura 2.7 Posición mostrada en el corte

Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

Posición del corte que representa ventajas, reducción del afecto en la sobre rotura en el techo por el explosivo a ese nivel se puede variar su lado de ubicación dependiendo del comportamiento de las cajas.



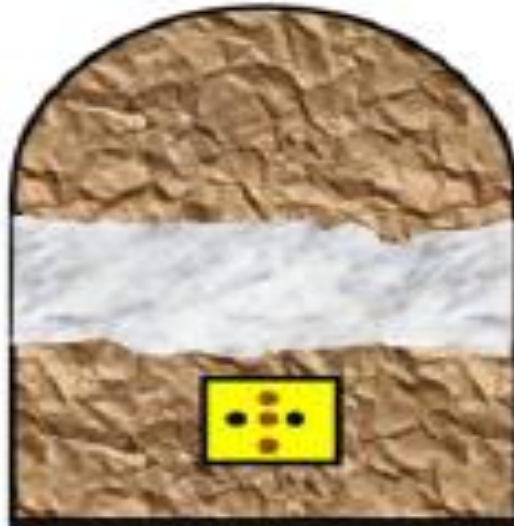


Figura 0-82.8 Posición mostrada en el corte debajo de la falla

Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

#### ❖ ERRORES Y DEFECTOS EN LA PERFORACIÓN

La perforación debe ser realizada, en el menor tiempo y con acabado de calidad. Evitando que se quede mineral en las cajas o que se diluya por deficiente perforación. También en las labores de desarrollo el avance debe ser el 95% de la longitud perforada de lo contrario no estamos realizando un trabajo eficiente. EXSA (2004). “Manual práctico de voladura de rocas”.

- Los conocimientos necesarios que le faltan para mejorar su trabajo, el perforista debe ser consiente en su capacitación buscando ser habiloso, flexible al cambio permanente, participando en grupos de mejoramientos continuo.
- Finalmente el perforista debe cumplir satisfactoriamente las órdenes de sus jefes, tener un conocimiento perfecto de los procedimientos escritos de trabajo PETS, estándares de trabajo, realizando sus IPERC y trabajar con ellas. A continuación se muestra los errores en la perforación:

##### a) Taladro de alivio de diámetro muy pequeño

Los errores son significativos, especialmente si afectan al arranque del disparo.

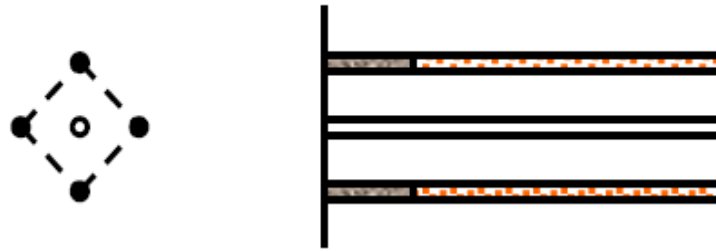


Figura 0-92.8 Posición mostrada en el corte debajo de la falla  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

**b) Desviaciones en el paralelismo**

En este caso el burden no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta al fracturamiento y al avance.

Este problema es determinante en los arranques y en la periferia (techos) de túneles y galerías.



Figura 2.10 Desviaciones en el paralelismo:  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

**c) Irregular longitud de los taladros**

Influye en el avance (especialmente si el de alivio es muy corto) y también determina una nueva cara muy irregular.



Figura 2.11 Irregular longitud de los taladros  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

**d) Intersección entre taladros**

Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper.

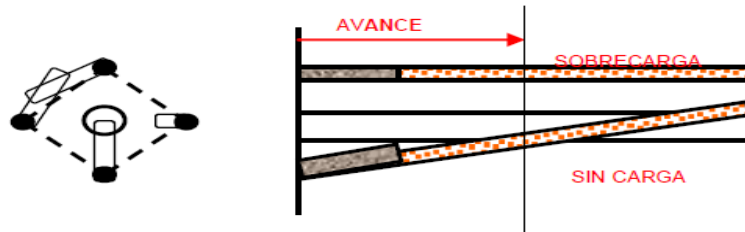


Figura 2.12 Intersección entre taladros  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

**e) Sobrecarga (excesiva densidad de carga):**



Figura 2.13 Sobrecarga  
Fuente: Exsa 2 001, Manual práctico de voladura

❖ **PERFORACIÓN SECUNDARIA**

Se origina estos tipos de perforación cuando después de la voladura por mala fragmentación debido a deficiencias en los disparos, también se origina por efectos de fisuras naturales de la roca, estos tipos de perforación es peligrosa y cara, suele traer retrasos en el trabajo. La eliminación de estos bancos es mediante perforaciones cortas de 2 a 4 pies llamados “Cachorros”, para depositar el explosivo, de otro modo se elimina colocando explosivos en la superficie de falla, llamado “Plasta” esto dependerá del tamaño del banco. (López Jimeno C. - 2002).

**¿Qué pasa cuando sopla un disparo?:** Bien analizamos, hemos perforado taladros de 1.52 m a taqueado 40cm el frente avanzó 1.20m, pero hemos usado las brocas por éste 40 cm de taco, también hemos utilizado explosivo por 40 cm de taco, además el próximo frente vamos a perforar otro 1.52 m pero siempre estamos menos 40cm. Ahora suponemos que el costo por metro es de S/. 378.00, entonces hemos perdido S/. 378 x40cm S/. 151.2 por el disparo de una guardia, pero si todos los días tenemos el mismo defecto; en un mes vamos a perder S/. 151.2 x 25días es igual a S/. 3780, por solo una labor. En un año sería S/. 3780 x 300 días trabajado el valor será S/. 1 134 000 al año. El pequeño análisis es solo de una sola labor, pero en la mina hay más de una labor de desarrollo. Si perforamos un frente sin usar un trazo adecuado, tendríamos que hacer mayor número de taladros que el necesario, con un gasto excesivo de explosivo. Además probablemente no conseguiríamos un avance satisfactorio, e inclusive podría “soplar”. Finalmente es necesario perforar siempre un buen trazo, para mantener uniforme el tamaño y la forma de la sección de la labor, especialmente cuando se trata de labores principales, controlando debidamente su construcción.

#### ❖ **BURDEN**

Es la distancia entre un taladro cargado con explosivos a la cara libre de una malla de perforación. El burden depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca y las características del explosivo a emplear.

#### ❖ **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:

- a) Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- b) Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- c) Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan el fracturamiento y movimiento de la roca
- d) 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:

- a) Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
- b) Teoría de expansión de gases.
- c) Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- d) Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
- e) Teoría de caracterización.
- f) Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- g) Teoría de liberación súbita de cargas.
- h) 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:

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

- **CARGA EXPLOSIVA**

1. **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:

$$B + 0,3 B; \text{ luego:}$$

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

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 Ø para roca fácil a 45 Ø para muy dura.

2. **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.

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

Usualmente  $CC = 2,3 \times B$

### 3. Estimación de cargas

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

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

Tonelaje: volumen por densidad de la roca o mineral.

### 4. Volumen de explosivo

Diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva (columna continua) o por la suma de las cargas segmentadas.

$$V_e = (\emptyset \times C_e), \text{ en m}^3$$

### 5. Factor de carga (FC)

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

$$FC = (W_e/V)$$

### 6. Tonelaje roto

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

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

## 7. 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.

## 8. Factor de perforación (FP)

$$FP = (H/B) \times E \times H, \text{ en m/m}^3$$

Luego:

Perforación total

FP x volumen total

## 9. Cálculo general para carga de taladro

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

Donde:

0,34 = Factor.

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

pe = Densidad del explosivo a usar, en g/cm<sup>3</sup>



## 10. Densidad de carga (Dc)

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

Donde:

Dc = Densidad de carga, en kg/tal.

0,57 = Factor.

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

pe = Densidad del explosivo a usar.

L = Longitud de perforación.

T = Taco.

## 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. Subterráneo

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

### 4. 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.

### 5. Parámetros

Se denomina así a los diversos ratios obtenidos en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

### 6. 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.

### 7. 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.

Se fabrican con diferentes potencias, dimensiones y resistencia al agua, según se requiera.

### 8. Chimenea

Es una labor vertical que se realiza sobre el mineral o veta, las secciones son variables.

### 9. Arranque

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

**10. Factor de carga (kg/m<sup>3</sup>)**

Es la cantidad de explosivo usada por m<sup>3</sup> 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 exclusiva de explosivos que al explosionar rompe un trozo de roca o mineral.

**14. Yacimiento**

Es la concentración u ocurrencia natural de uno o más minerales.

**2.4 Formulación de hipótesis****2.4.1 Hipótesis general**

Con el nuevo diseño de la malla de perforación y la carga explosiva necesaria se optimizará los costos de perforación y voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada.

**2.4.2 Hipótesis específicas**

- a) Al diseñar la nueva malla de perforación se optimizará los costos de perforación en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.
- b) Al seleccionar el explosivo adecuado se optimizará los costos de voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.
- c) Al determinar la carga explosiva necesaria se optimizará los costos de voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –la Rinconada.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Diseño metodológico

Según la naturaleza del trabajo y características del proyecto de investigación es de tipo descriptivo, el estudio se refiere a la optimización de costos en la perforación y voladura, con un nuevo diseño de malla y la carga explosiva necesaria en el desarrollo de la Chimenea San Andrés del nivel 4945 m.s.n.m. de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada.

La Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada ha desarrollado la chimenea San Andrés con una sección de 1.20m. x 2.40m. el mismo que en su primera fase ha ocasionado altos costos de perforación y voladura.

La metodología ha consistido en evaluar todos los procesos de desarrollo de perforación y voladura anterior de la Chimenea San Andrés. se hizo un seguimiento de la malla anterior por que el consumo de carga explosiva era exagerada, y se empezó a analizar el porqué. Para el mejor control de los resultados de perforación y voladura y para obtener los datos se ha realizado un seguimiento en 15 turnos, en donde se ha analizado el diseño de malla de perforación anterior, en el cual el número de taladros perforados fue 32, 03 taladros utilizados en el alivio, 03 taladros utilizados en el arranque, 08 taladros utilizados en las ayudas y 18 taladros utilizados en los cuadradores; la cantidad de explosivos utilizados fue 8.60 kg/m; con un avance lineal de 1.30 m, con una eficiencia de perforación de 86.6% y con un diámetro de 6 – 7 pulgadas de diámetro en la fragmentación de la roca.

Se analizaron los costos de perforación y voladura con esa malla los cuales fueron: 202.81 US\$/m, los costos eran relativamente altos puesto que con otro diseño de malla y tomando en cuenta la dureza de la roca estos costos se reducirían por lo cual el presente trabajo de investigación se dedicó a diseñar la nueva malla de

perforación para reducir los costos de perforación y voladura.

Posteriormente en el trabajo de investigación según las dimensiones de la sección de la chimenea y características del macizo rocoso, se ha diseñado una nueva malla de perforación la cual es con 28 taladros de los cuales: 03 taladros utilizados en el alivio, 03 taladros utilizados en el arranque, 08 taladros utilizados en las ayudas y 14 taladros utilizados en los cuadradores; se calculó la cantidad de explosivos a utilizar cuyo valor es 7.03 kg/m: , con avance lineal de 1.35 m, con una eficiencia de perforación de 90%, las pruebas se han realizado en 15 turnos en donde se considera: el burden, espaciamiento, tipo de trazo, numero de taladros, cantidad de explosivos y la granulometría .

Finalmente se ha realizado la comparación de los costos de perforación y voladura anterior y actual en el desarrollo de la Chimenea San Andrés del nivel 4945 m.s.n.m. de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.- La Rinconada.

### **3.2 Población**

La población para el presente proyecto de investigación está constituido por las chimeneas San Jorge, Santa Teresa, San Cosme y San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.- La Rinconada.

### **3.3 Muestra**

La muestra está constituido por la Chimenea San Andrés del nivel 4945 m.s.n.m. de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. – La Rinconada.

### **3.4 Operacionalización de variables**

#### **3.4.1 Variable Independiente**

Diseño de malla y características geométricas del frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.- La Rinconada.

#### **3.4.2 Variable Dependiente**

Optimización de los costos de perforación y voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata RUMIJ S.R.L.- La Rinconada.

**Cuadro 3.1 Operacionalización de variables**

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable Independiente:</b>  Diseño de malla y características geométricas del frente de la chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.- Rinconada.	- Burden - Espaciamiento - Número de taladros - Sección de la chimenea	- Metros - Metros - Pies perforados - Metros
<b>Variable Dependiente:</b>  Optimización de los costos de perforación y voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. - Rinconada.	- Costo de equipo - Costo de brocas - Costo de barrenos - Costo de explosivos	- \$/metro - \$/metro - \$/metro - \$/metro

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Técnicas de recolección de datos.

Es de mucha importancia determinar las técnicas que se aplicarán, tales como el análisis estadístico y porcentual, control de tiempos de perforación y voladura.

### 3.6 Instrumentos de recolección de datos

Para el procesamiento se utilizará la estadística descriptiva, mostrando los datos mediante gráfico de barras y cuadros estadísticos.

Los instrumentos utilizados para el estudio de investigación son la liquidación mensual para verificar el resumen de los costos de perforación y voladura, el reporte diario de operación, reporte mensual de operación y la toma de fotografías de la malla de perforación.

#### Reporte diario de operación.

- Avances lineales
- N° de taladros disparados
- Consumo de explosivos
- Granulometría

#### Reporte mensual de operación

- Control de tiempos de perforación
- Número de horas operadas del equipo
- Número total de taladros perforados
- Número de barrenos utilizados
- Consumo total de explosivos

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

Se aplicaron los siguientes instrumentos y procedimientos:

- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
- Información de reporte diario de operación mina

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Análisis de resultados

La optimización de los costos de perforación y voladura se ha realizado en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.

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

- Número de los taladros vacíos
- Diámetro de los taladros vacíos
- Número de los taladros de producción
- Diámetros de los taladros de producción
- Longitud de los taladros perforados
- Avance lineal
- Tipo de roca
- Equipos utilizados
- Área de sección de la chimenea
- Tonelaje de material roto.
- Volumen de roca

##### 4.1.1 Comparación con otras fuentes

El ingeniero Mamani Pacoricóna, Nilthon (2 015), en su tesis titulado 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 293.05 US \$/m.

En el presente trabajo de investigación los costos de perforación y voladura de la chimenea San Andrés se han reducido de 202.81 US\$/m a 181.45 US\$/m. con lo que se concluye que determinando una nueva malla de perforación los costos se reducen considerablemente.

El ingeniero Chahuares Sairitupa, F. Cepriano(2012), en su tesis de título Nuevo Diseño de Malla de Perforación y Voladura en el Proyecto de Explotación y Desarrollo, Mina El COFRE, 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 de taladros de 1.45 metros y en la voladura se ha reducido el consumo de explosivos de 12.6 kg/m a 10.78 kg/m.

En el presente trabajo de investigación con el nuevo diseño de malla, el número de taladros se ha reducido de 32 a 28 taladros y el consumo de explosivo se ha reducido de 8.6 kg/m a 7.08 kg/m con lo que se concluye que realizando el control de carga explosiva se reduce el consumo de explosivos.

## **4.2 Contrastación de las hipótesis**

### **HIPOTESIS 1.**

Al diseñar la nueva malla de perforación se optimizará los costos de perforación en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada.

#### **4.2.1 Resultados comparativos de perforación**

- A. Perforación en la Chimenea San Andrés.-** Para la perforación en el frente de la Chimenea se ha utilizado el corte quemado (ver figura 4.1)

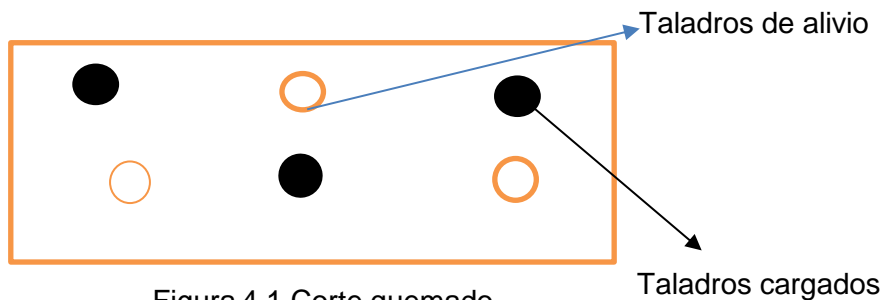


Figura 4.1 Corte quemado  
Fuente: Elaboración propia

a) Diseño de la malla de perforación anterior (ver Anexo N° 1)

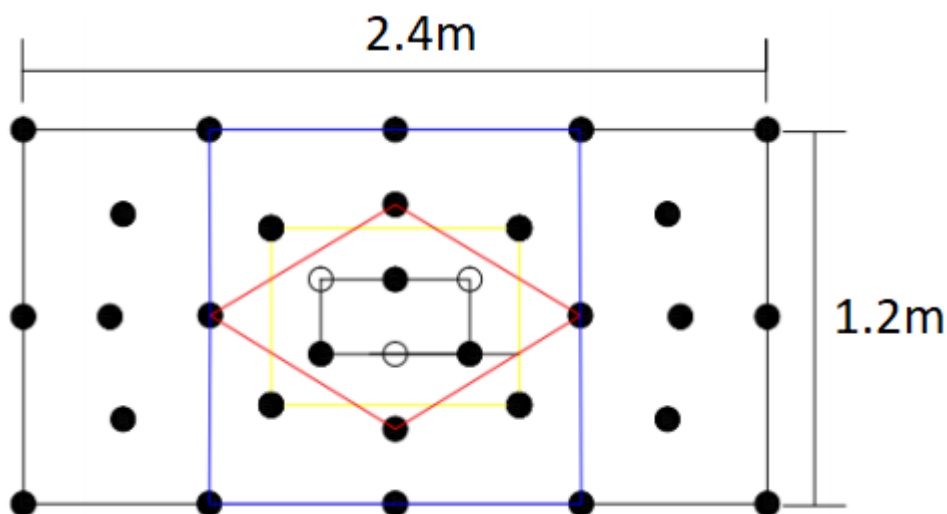


Figura 4.2: Diseño de malla de perforación anterior  
Fuente: Contrata minera RUMIJ S.R.L.

En el diseño de la malla de perforación anterior no se ha considerado estrictamente las características del macizo rocoso en el frente de la chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L.- Rinconada.se ha realizado empíricamente, como tal ha tenido deficiencias en su aplicación:

**Cuadro 4.1 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS**

DISTRIBUCION DE TALADROS	
DESCRIPCION	N° DE TALADROS
Alivio	3
Arranque	3
1° ayuda	4
2° ayuda	4
1° ayuda cuadradores	4
2° ayuda cuadradores	4
Cuadradores	10
TOTAL	32

Fuente: Elaboración propia

**a) DATOS DE CAMPO:**

- Densidad de roca(pizarra) : 2.65
- Sección de la chimenea 2.40m x 1.20m.
- Diámetro de los taladros de producción: 0.038m.
- Diámetro del taladro de alivio: 0.038m.
- Longitud del barreno de perforación: 5 pies = 1.50m

**NÚMERO DE TALADROS:**

CÁLCULO DEL NÚMERO DE TALADROS.

N° tal:  $(R / C) + (K \times S)$  Donde:

S: sección.

R: circunferencia de la sección en metros.

C: distancia entre taladros de la circunferencia o perímetros.

K: coeficiente. Se muestra en el Cuadro

**Cuadro 4.2 COEFICIENTE DEL TIPO DE ROCA**

Tipo de roca	C	k
roca dura	0.5	2
roca intermedia	0.6	1.5
roca suave y blanda	0.7	1

Fuente: EXSA (2008) Manual Práctico de Voladura.

Reemplazando datos

$$N^{\circ} \text{ tal} = (R / C) + (K \times S)$$

$$N^{\circ} \text{ tal} = (13.2 / 0.6) + (1.5 \times 9)$$

$$N^{\circ} \text{ tal} = 28 \text{ taladros.}$$

**b) Nuevo diseño de la malla de perforación (ver anexo N° 02)**

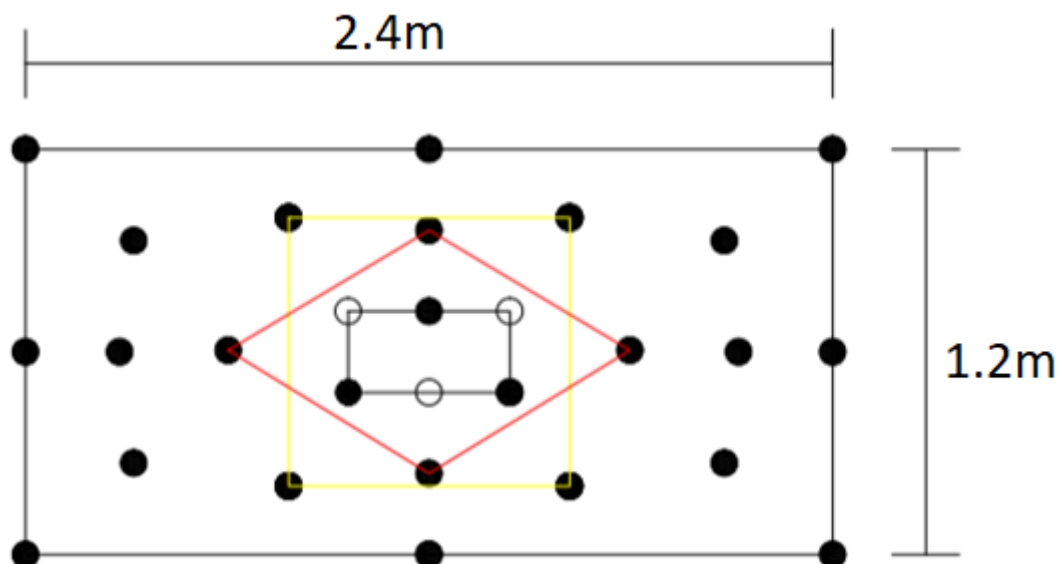


Figura 4.3 Nuevo diseño de malla optimizada

Fuente: Contra minera RUMIJ S.R.L.

**Cuadro 4.3 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS OPTIMIZADOS**

DESCRIPCION	N° DE TALADROS
Alivio	3
Arranque	3
1° ayuda	4
2°ayuda	4
1° cuadradores	3
2° cuadradores	3
Cuadradores	8
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración propia

**HIPOTESIS 2.**

Al utilizar la carga explosiva necesaria se optimizará los costos de voladura en el frente de la Chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –Rinconada.

**4.2.2 Resultados comparativos de voladura**

**A) Voladura anterior en la Chimenea San Andrés**

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 dinamita Semexa 45% en una proporción mayor.

**Cuadro4.4 CONSUMO DE EXPLOSIVOS EN LA VOLADURA ANTERIOR**

CONSUMO DE EXPLOSIVO SEMEXSA 45%					
Descripción	N° de taladros	N° de cart./taladro	Total de cartuchos	Peso del cart (kg)	peso total (kg)
Alivio	3	0	0		
Arranque	3	6	18	0.079	1.42
1° ayuda	4	5	20	0.079	1.58
2° ayuda	4	5	20	0.079	1.58
1° ayuda. cuad.	4	5	20	0.079	1.58
2° ayuda. cuad.	4	5	20	0.079	1.58
Cuadradores	10	4	40	0.079	3.16
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>		<b>138</b>		<b>10.90</b>

Fuente: Elaboración propia.

**a) VOLUMEN ROTO**

$$V = b \times h \times L_p$$

Donde:

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

b = Ancho de la chimenea (m)

h = Altura de la chimenea (m)

L<sub>p</sub> = Longitud de perforación (m)

$$V = 2,40 \times 1,20 \times 1,30$$

$$V = 3,74 \text{ m}^3$$

**b) TONELAJE ROTO**

$$TM = V \times dr$$

Donde:

TM = Tonelada métrica

V = Volumen roto

dr = Densidad de roca

$$TM = 3,74 \times 2,65$$

$$TM = 9,91 \text{ TM}$$

**c) FACTOR DE CARGA**

$$Fc = \frac{Kg\text{-explosivo}}{Volumenroto}$$

$$Fc = \frac{10,90Kg}{3,74 \text{ m}^3}$$

$$Fc = 2,91 \text{ kg/m}^3$$

$$Fc = \frac{Kg\text{-explosivo}}{metrolineal}$$

Fc = Factor de carga lineal

$$Fc = \frac{10,90Kg}{1,30m}$$

$$Fc = 8,38 \text{ kg/m}$$

**Cuadro 4.5 RESUMEN DE RESULTADOS EN LA VOLADURA ANTERIOR**

PARÁMETROS OBTENIDOS DE LA VOLADURA ANTERIOR	
PARÁMETROS	DINAMITA SEMEXA 65%
kg	10.90
Volumen	3.74 m3
Toneladas	9.91 TM
Factor de carga	2.91 kg/m3
Factor de carga lineal	8.38 kg/m

Fuente: Elaboración propia

**4.3 Costo de perforación y voladura anterior en la Chimenea San Andrés**

**a) MANO DE OBRA**

T.C.= 3.27

Mano de obra directa	Número de personal	Jornal en Soles	Costo US \$/disparo
Capataz de mina	01	65	19.88
Perforista	01	65	19.88
Ayudante perforista	01	60	18.35
Bodeguero	01	50	15.35
Sub total			73.40
Leyes sociales	60%		44.04
<b>Total</b>			<b>117.44</b>

**b) MÁQUINA PERFORADORA**

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perforados	US \$/pie	Pies perforados	US \$/disparo
Máquina Perforadora	5 000	120.000	0.042	160	6.72

**c) MATERIALES DE PERFORACIÓN**

Accesorios	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies Perforados	US \$/pie Perforados	US \$/disparo
Barra cónica	1	90	1200	160	0.08	12.80
Broca de 38mm	1	26	400	160	0.07	11.20
<b>TOTAL</b>						<b>24.00</b>

Mangueras y Accesorios	Cantidad	Costo US \$/m	Vida útil pp	US \$/disparo
Manguera de ½ pulgada	30m	1,60	150	0.32
Manguera de 1 pulgada	30m	3,60	120	0.90
Aceite de perforación	0.25galones	11,00	1	2.75
<b>TOTAL</b>				<b>3.97</b>

**d) MATERIALES DE VOLADURA**

Insumos	Unidad	Precio US \$	Cantidad por disparo	US \$/disparo
Dinamita 45%	Cartucho	0.53	138	73.14
Fulminante N° 8	Cápsula	0.41	29	11.89
Mecha de seguridad	Metros	0.43	53.04	22.80
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>107.31</b>

**e) HERRAMIENTAS Y OTROS MATERIALES**

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$	Vida útil (días)	Costo US \$/disp.
Barrerillas	Unidad	1	10.36	60	0.17
Lampas	Unidad	1	12.50	120	0.10
Picos	Unidad	1	12.60	120	0.11
Alambre	kg.	0.25	1.40	1	1.50
Llave stilson N°14	Unidad	1	14.70	360	0.04
Atacador de madera	Unidad	1	2.60	60	0.04
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1.86</b>

**f) IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD**

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$	Vida útil (días)	Costo US \$/disp.
Protector	Pza	1	12.9	300	0.04
Guantes de cuero	Pza	1	4.75	25	0.19
Correas porta lámpara	Pza	1	3.7	300	0.02
Botas de jebe	Pza	1	21.15	180	0.12
Mamelucos	Pza	1	23.5	180	0.14
Respiradora	Pza	1	22.6	180	0.13



Filtro de respiradores	Pza	1	5.7	15	0.38
Tapón de oídos	Pza	1	2.5	120	0.02
Ropa de jebe	Pza	1	31.65	120	0.26
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>2.36</b>

**COSTO TOTAL POR DISPARO = a + b + c + d + e + f**

**COSTO TOTAL POR DISPARO= 263.66US \$**

**COSTO TOTAPOR METRO= 202.81 US\$**

#### **4.4 Nuevo diseño de la malla de perforación en la chimenea San Andrés**

(ver Anexo N° 2)

El nuevo diseño de malla de perforación se realizó en función a la roca semidura (pizarra) aplicando la fórmula de Exsa

#### **MODELO MATEMÁTICO DE EXSA**

$$N^{\circ} \text{ TAL} = \frac{P}{dt} + S \times Ks$$

$$P = 4\sqrt{S}$$

$$S = b \times h$$

Donde:

N° Tal = Número de taladros

P = Perímetro de la chimenea

S = Sección de la chimenea

dt = Constante

Ks = Constante

b = Base de la chimenea

h = Altura de la chimenea

**Cuadro 4.6 DISTRIBUCIÓN DE TALADROS OPTIMIZADOS**

DESCRIPCION	N° DE TALADROS
Alivio	3
Arranque	3
1° ayuda	4
2°ayuda	4
1° cuadradores	4
2° cuadradores	4
Cuadradores	8
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración propia

**4.5 Voladura optimizada en la Chimenea San Andrés**

Para optimizar la carga explosiva para la voladura del frente, se ha tenido en cuenta el tipo de roca y las características geomecánicas del macizo rocoso, se ha seleccionado el explosivo semexa 65%.

**Cuadro4.7 CONSUMO DE EXPLOSIVOS SEMEXA 65%**

CONSUMO DE EXPLOSIVO SEMEXA 65%					
Descripción	N° de taladros	N° de cart./taladro	Total de cartuchos	Peso del cart. (kg)	Peso total (kg)
Alivio	3	0	0		
Arranque	3	6	18	0.081	1.46
1° ayuda	4	5	20	0.081	1.62
2° ayuda	4	5	20	0.081	1.62
1° Ayuda cuadradores	4	4	08	0.081	0.65
2° Ayuda cuadradores	2	5	20	0.081	1.62
Cuadradores	8	4	32	0.081	2.59
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>		<b>118</b>		<b>9.56</b>

Fuente: Elaboración propia

**A) DATOS DE CAMPO:**

Densidad de roca	:	2.65 TM/m <sup>3</sup>
Sección de la chimenea doble	:	2.40 m x 1.20 m.
Diámetro de los taladros de producción	:	0.038 m.
Diámetro del taladro de alivio	:	0.038 m.
Longitud del barreno de perforación	:	5 pies = 1.52 m

**B) VOLUMEN ROTO**

$$V = b \times h \times L_p$$

Donde:

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

b = Ancho de la chimenea (m)

h = Altura de la chimenea (m)

L<sub>p</sub> = Longitud de perforación (m)

$$V = 2.40 \times 1,20 \times 1.36$$

$$V = 3.91 \text{ m}^3$$

**C) TONELAJE ROTO**

$$TM = V \times dr$$

Donde:

TM = Tonelada métrica

V = Volumen roto

dr = densidad de roca

$$TM = 3.91 \times 2.65$$

$$TM = 10.36 \text{ TM}$$

**D) FACTOR DE CARGA**

$$F_c = \frac{Kg\text{-explosivo}}{Volumenroto}$$

$$F_c = \frac{9,56}{3,89}$$

$$F_c = 2.45 \text{ kg/m}^3$$

$$F_c = \frac{Kg - \text{explosivo}}{\text{metrolineal}}$$

Fc = Factor de carga lineal

$$F_c = \frac{9,56Kg}{1.36 m}$$

$$F_c = 7.03 \text{ kg/m}$$

**Cuadro 4.8 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA VOLADURA OPTIMIZADA**

Parámetros obtenidos en la voladura optimizada	
PARÁMETROS	DINAMITA SEMEXA 65%
kg/metro	7.08kg/m
Volumen	3.91 m3
Toneladas	10.36 TM
Factor de carga	2.45 kg/m3
Factor de carga lineal	7.03 kg/m

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 Costo de perforación y voladura optimizado en la chimenea San Andrés

##### a) MANO DE OBRA

T.C = 3,27

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo US \$/disparo
Capataz de mina	1	65	19.88
Perforista	1	65	19.88
Ayudante perforista	1	60	18.35
Bodeguero	1	50	15.29
Sub total			73.40
Leyes sociales	60%		44.04
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>		<b>117.44</b>

**b) MÁQUINA PERFORADORA**

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perf.	US \$/pie	Pies perforados	US \$/disparo
Máquina perforadora	5 000	120.000	0.042	140	5.88

**c) MATERIALES DE PERFORACIÓN**

Descripción	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pie perforado	US \$/día
Barra cónica	1	90	1200	140	0.08	11.20
Broca de 38mm	1	26	400	140	0.07	9.80
<b>TOTAL</b>						<b>21,00</b>

Mangueras y accesorios	Cantidad	Costo US \$/m	Vida útil pp	US \$/disparo
Manguera de ½ pulgada	30m	1.60	150	0.32
Manguera de 1 pulgada	30m	3.60	120	0.90
Aceite de perforación	0.25galones	11.00	1	2.75
<b>TOTAL</b>				<b>3.97</b>

**d) MATERIALES DE VOLADURA**

Insumos	Unidad	Precio US \$	Cantidad por disparo	US \$/disparo
Dinamita 65%	Cartucho	0.53	118	62.54
Fulminante N° 8	Cápsula	0.41	25	10.25
Mecha de segur.	Metros	0.43	45.72	19.66
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>92.45</b>

**e) HERRAMIENTAS Y OTROS MATERIALES**

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil (días)	Costo \$/disp.
Barretillas	Unidad	1	10.36	60	0.17
Lampas	Unidad	1	12.5	120	0.10
Picos	Unidad	1	12.6	120	0.11
Alambre	kg.	0.25	1.4	1	1.40
Llave stilson N°14	Unidad	1	14.7	360	0.04
Atacador de madera	Unidad	1	2.6	60	0.04
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1.86</b>

**f) IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD**

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US	Vida Útil (días)	Costo \$/disp.
Protector	Pza	1	12.5	300	0.04
Guantes de cuero	Pza	1	4.65	25	0.19
Correa porta lámpara	Pza	1	4.7	300	0.02
Botas de jebe	Pza	1	21.15	180	0.12
Mamelucos	Pza	1	24.5	180	0.14
Respiradores	Pza	1	22.6	180	0.13
Filtro de respiradores	Pza	1	5.7	15	0.38
Tapón de oídos	Pza	1	2.5	120	0.02
Ropa de jebe	Pza	1	31.65	120	0.26
Lentes de seguridad	Pza	1	10.42	120	0.09
Lámpara de batería	Pza	1	116.2	120	0.97
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>2.36</b>

**COSTO TOTAL POR DISPARO = a + b + c + d + e + f**

**COSTO TOTAL POR DISPARO = 244.96 US \$.**

**4.7 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 el frente de la chimenea San Andrés de la Contrata Minera RUMIJ S.R.L. –La Rinconada, cuyo resumen se muestra en el Cuadro 4.8.

**Cuadro 4.8 Resumen de resultados comparativos**

**Optimización de perforación y voladura en la chimenea San Andrés**

Descripción	Antes	Después	Diferencia	Unidad medida
Taladros perforados	32	28	4	Tal
Taladros cargados	29	25	4	Tal
Semexa 65%	138	118	20	Cart.
Fulminante N° 8	29	25	4	Pz
Mecha de seguridad	53.04	45.72	7.32	m
kg por disparo	10.90	9.56	1.34	kg
Factor de carga	2.91	2.45	0.46	kg/m3
Factor de carga lineal	8.38	7.03	1.35	kg/m
Avance m/disparo	1.30	1.35	0.05	m

Fuente: Elaboración propia

**Resultados comparativos de perforación y voladura**

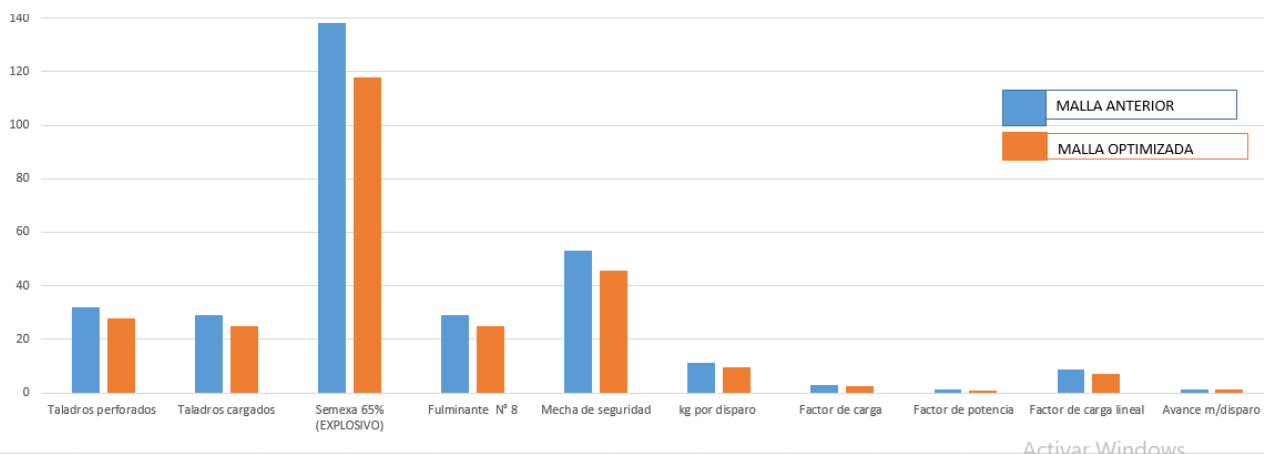


Figura: 4.4: Resultados comparativos de perforación y voladura

Fuente: Elaboración propia

En el diseño de la malla de perforación anterior se ha utilizado 32 taladros perforados y con el nuevo diseño de la malla de perforación se ha reducido a 28 taladros, haciendo una diferencia de 04 taladros.

En la voladura anterior se ha utilizado el explosivo Semexa 45%, en un total de 138 cartuchos, fulminante N° 8, 29 unidades, factor de carga 2,91 kg/m3, factor de potencia de 1,10 kg/TM. factor de carga lineal de 8,38 kg/m, con un avance lineal de 1.30 metros.

En la voladura optimizada se ha utilizado el explosivo semexa 65%, en total 118 cartuchos, fulminante N° 8, 25 unidades, factor de carga de 2,45 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0.92 kg/TM, factor de carga lineal de 7,03 kg/m, con un avance lineal de 1.35 metros.

#### 4.8 Resultados comparativos de costos de perforación y voladura anterior y optimizado

Los costos de perforación y voladura anterior y optimizada se especifican en el Cuadro 4.9

**Cuadro 4.9 Resumen de resultados comparativos**

Descripción	Anterior US\$	Optimizado US\$	Diferencia US\$
Mano de obra	117.44	117.44	-
Equipo de perforación	6.72	5.88	0.84
Material de perforación	27.97	24.97	3
Materiales de voladura	107.31	92.45	14.86
Herramientas y otros materiales	2.36	2.36	-
Implementos de seguridad	1.86	1.86	-
<b>Costo por metro</b>	<b>263.66</b>	<b>244.96</b>	<b>18.70</b>

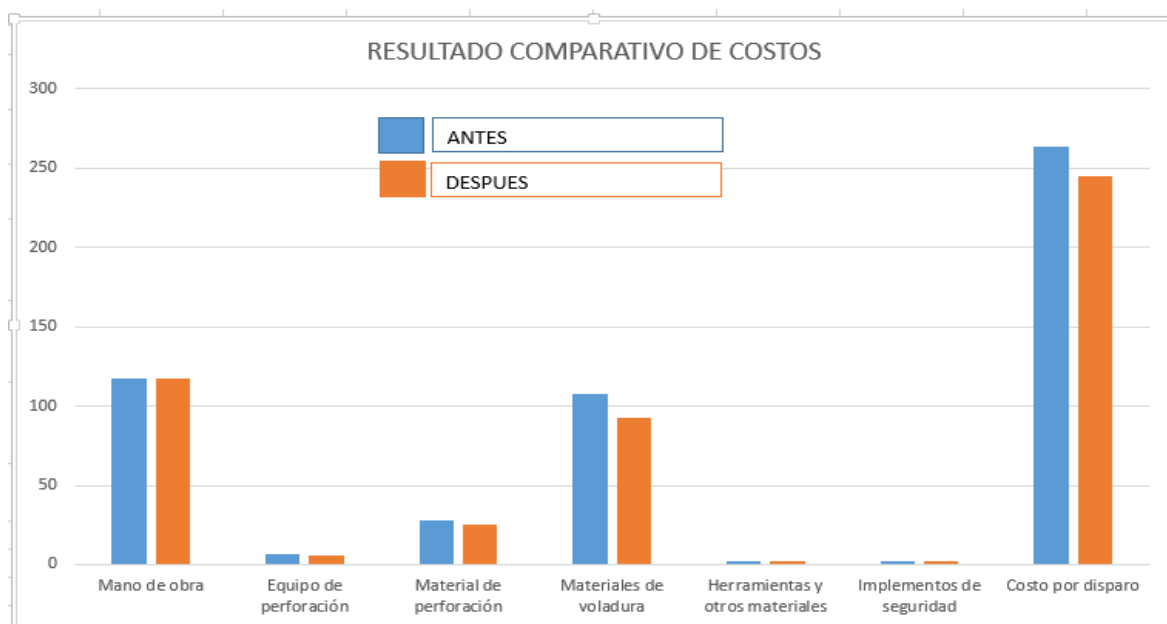


Figura 4.5: Costos comparativos de perforación y voladura

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

1. Con el nuevo diseño malla de perforación en el frente de la chimenea San Andrés de nivel 4 945 m.s.n.m. de la Contrata minera RUMIJ S.R.L., los taladros se han reducido de 32 a 28 taladros perforados con una diferencia de 04 taladros de 5 pies.
2. Con la aplicación de la nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se ha reducido de 202.81 US\$/m a 181.45 US \$/m, con una diferencia de 21.36 US\$/m.
3. En la voladura del frente de la chimenea San Andrés de nivel 4 945 m.s.n.m. de la Contrata minera RUMIJ S.R.L., el consumo de explosivo semexa 65%, se ha reducido de 8.60 kg/m a 7.08 kg/m haciendo una diferencia de 1.52 kg/m.

## RECOMENDACIONES

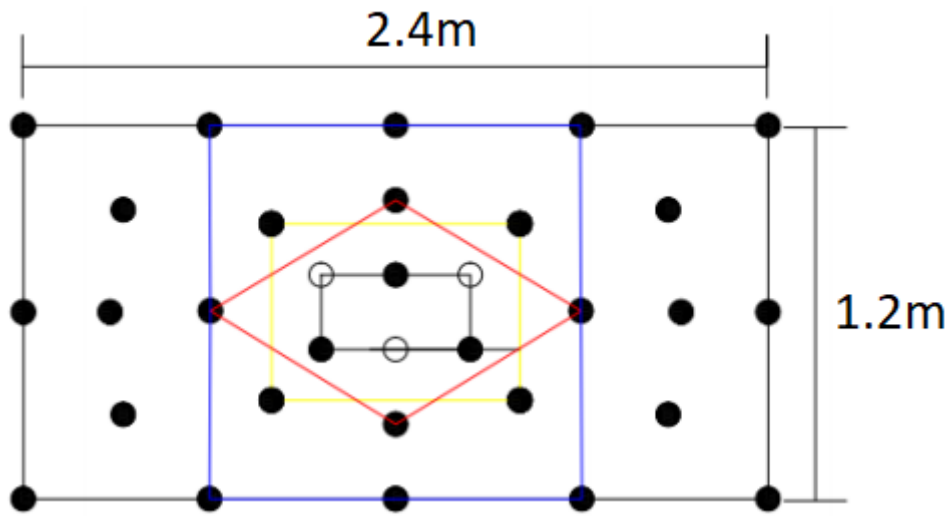
1. Se debe cumplir estrictamente los parámetros de diseño de la nueva malla de perforación, control de tiempos, el sistema de carguío a los taladros y el confinamiento para minimizar los costos de perforación y voladura en el frente de la chimenea San Andrés de la Contrata minera RUMIJ S.R.L.
2. Para realizar la voladura se debe hacer buen confinamiento de carga explosiva y verificar la secuencia de chispeo para obtener una voladura eficiente.
3. La supervisión es un factor importante en el cumplimiento de las tareas y objetivos de la Contrata minera para esto se tiene que estar presente en el proceso de perforación para verificar y controlar el paralelismo y simetría de los taladros, se debe capacitar al personal de perforación y voladura permanentemente.

### Referencias Bibliográficas

- Cámac T., Alfredo (2008), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM-UNA. Puno.
- Carreón Q., Juvenal (2001), *Optimización de Perforación y Voladura en la Rampa 523 Sistema Mecanizado Mina San Rafael*. Universidad Nacional del Altiplano
- Chambí Flores, Alan (2011), *Optimización de Perforación y Voladura de la Rampa 740 – Unidad Vinchos – VOLCAN S.A.A.* Cerro de Pasco.
- Chahuares Sairitupa, F. Cepriano (2012), *Nuevo Diseño de Malla de Perforación y Voladura en el Proyecto de Explotación y Desarrollo, Mina El COFRE*.
- Exsa (2001), *Manual Práctico de Voladura* Edición. Especial. Perú
- Frisancho Triveño, Giovanni (2006), *Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea*.
- Jauregui Aquino, O. Alberto (2003), *Reducción de los Costos Operativos en Mina, Mediante la Optimización de los Estándares de las Operaciones unitarias de Perforación y Voladura*.
- López Jimeno, C. (1944), *Manual de Perforación y Voladura de rocas*, Instituto Geológico y Minero de España.
- López Sánchez, L. (2003), *Evaluación de energía de los explosivos mediante modelos termodinámicos de detonación*.
- Lupaca Marca, Jony P. (2009). *Costos Unitarios en Operaciones Mineras Subterráneas*.
- Mamani Pacoricona, Nilthon (2015), *Optimización de Costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A- Ananea*.
- Muñoz López Galo (2012), *Modelo de Costos para la Valorización de planes Mineros*.
- Rodríguez Velásquez, R. H. (2011), *Mejoramiento de Operaciones Unitarias de Labores de Desarrollo en Minería Subterránea Convencional Unidad Minera el COFRE - PUNO*
- Suasaca Grande, Yubert (2014), *Análisis de costos operativos para optimizar la Perforación y Voladura en la Unidad Minera EL COFRE*
- Zapata D. Mónica P. (2002), “Control de Costos de una Operación Minera Mediante el Método del Resultado Operativo”.

## ANEXOS

**ANEXO N° 01**  
**Malla de perforación anterior**



Anexo N°2  
Malla de perforación optimizada

