



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



**ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA
OPTIMIZAR EL DESARROLLO DE LA GALERÍA ANACONDA
DE LA UNIDAD MINERA KORI CHASKA – ANANEA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. OMAR PROSPERO SANCHO CUSI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2014



DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi Padre Saturnino Sancho Sucasaire, y en memoria de mi madre Jacinta Eleodora Cusi Hanco y mis queridos Hermanos, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida quienes con su esfuerzo y dedicación han permitido la culminación de mi vida profesional.

A mi esposa Alicia y mi adorada hija Anahí Kristylle por su constante apoyo, quienes con su paciencia y perseverancia supieron comprender las dificultades para la culminación de mi carrera profesional hasta lograr el título de Ingeniero de Minas.

Omar Próspero



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Alma mater de mi educación universitaria, por haberme albergado durante los años de mi formación profesional.

Al personal docente y administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por haberme transmitido sus conocimientos y orientación vocacional para lograr los objetivos de mi vida profesional.

Mi agradecimiento a mis hermanos y amigos, quienes contribuyeron ya sea directa o indirectamente para hacer realidad mi formación profesional.

Agradezco a la Unidad Minera Kori Chaska de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco, Corporación Minera Ananea S.A., por darme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.

Omar Próspero



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 13

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2.1. Problema general 14

1.2.2. Problemas específicos 14

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 14

1.3.1. Hipótesis general..... 14

1.3.2. Hipótesis específicas 14

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

1.4.1. Objetivo general 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

2.2.1. Avance del disparo..... 18

2.2.2. Avance de la voladura al 95 % 19



2.2.3.	Teoría de Richard Ash modificada	22
2.2.4.	Proceso de fracturamiento.....	29
2.2.5.	Descripción del proceso	30
2.2.6.	Fisiografía y recursos naturales	32
2.2.7.	Clima.....	32
2.2.8.	Flora y fauna	33
2.2.9.	Drenaje	33
2.2.10.	Geología Regional	34
2.2.11.	Geología Local.....	38
2.2.12.	Geología estructural	40
2.2.13.	Estratigrafía local	42
2.2.14.	Geología económica.....	46
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	52

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN.....	56
3.2.	ACCESIBILIDAD.....	56
3.3.	DISEÑO METODOLÓGICO	57
3.4.	POBLACIÓN.....	58
3.5.	MUESTRA	58
3.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	58
3.6.1.	Variable independiente	58
3.6.2.	Variable dependiente	58
3.7.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	59
3.7.1.	Instrumentos de recolección de datos	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
-------------	------------------------------------	-----------



4.2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA GALERÍA ANACONDA	62
4.3. INSTALACIONES DE SERVICIOS AUXILIARES EN LA GALERÍA.....	62
4.4. DATOS GEOMECÁNICOS DE LA GALERÍA ANACONDA	63
4.5. PERFORACIÓN EN LA GALERÍA ANACONDA.....	65
4.5.1. Tipo de corte	65
4.6. CONTROL DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN ANTERIOR.....	71
4.7. VOLADURA EN LA GALERÍA ANACONDA. (VER TABLAS 14 Y 15)	73
4.8. COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA ANTERIOR:.....	76
4.9. DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.....	79
4.9.1. Control de tiempo de perforación optimizada	82
4.9.2. Voladura optimizada en la galería Anaconda	83
4.9.3. Costo de perforación y voladura optimizada:	86
4.10. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	89
4.10.1. Resultados comparativos de perforación	89
4.10.2. Resultados comparativos de voladura.....	91
4.11. RESULTADOS DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	92
4.12. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	94
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXOS.....	102

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Análisis de costos mineros

Fecha de sustentación: 28 de enero del 2014



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1. Constante del tipo de roca "k".	20
Tabla2. Constante Kb para cada tipo de roca	21
Tabla3. Temperaturas medias anuales	33
Tabla4. Ruta de acceso a la Unidad Minera	57
Tabla 5. Operacionalización de variables	59
Tabla 6. Resistencia a la compresión.....	64
Tabla 7. Resistencia a la tensión.....	64
Tabla 8. Resistencia a la compresión simple	65
Tabla 9. Relación de la dureza de la roca con la distancia	69
Tabla 10. Relación de la dureza de la roca con el coeficiente	69
Tabla 11. Control de tiempo de taladros de perforación no optimizado.....	70
Tabla 12. Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo.....	71
Tabla 13. Resultados obtenidos en la perforación anterior.....	71
Tabla 14. Consumo de explosivo Semexa 65% en la voladura anterior.....	73
Tabla 15. Resumen del consumo del explosivo y accesorios por disparo.....	73
Tabla 16. Resumen de resultados en la voladura anterior	75
Tabla 17. Costo de mano de obra	76
Tabla 18. Costo de materiales de perforación.....	76
Tabla 19. Costo de accesorios de perforación	76
Tabla 20. Costo de máquina perforadora.....	77
Tabla 21. Costo de materiales de voladura	77
Tabla 22. Costo de herramientas y otros materiales	77
Tabla 23. Costo de implementos de seguridad	78
Tabla 24. Resumen de costos de perforación y voladura anterior	78



Tabla 25. Distribución de taladros en la optimización	80
Tabla 26. Control de tiempo de taladros de perforación optimizada.....	81
Tabla 27. Control de tiempos de perforación optimizada.....	82
Tabla 28. Resultados obtenidos en la perforación optimizada	82
Tabla 29. Consumo de explosivo en la voladura optimizada	83
Tabla 30. Resumen de resultados en la voladura optimizada	86
Tabla 31. Costo de mano de obra	86
Tabla 32. Costo de materiales de perforación.....	87
Tabla 33. Costo de accesorios de perforación	87
Tabla 34. Costo de máquina perforadora.....	87
Tabla 35. Costo de materiales de voladura	87
Tabla 36. Costo de herramientas y otros materiales	88
Tabla 37. Costo de implementos de seguridad	88
Tabla 38. Resumen de costos de perforación y voladura optimizada.....	89
Tabla 39. Distribución de taladros anterior	90
Tabla 40. Distribución de taladros optimizados.	90
Tabla 41. Datos de la carga explosiva anterior	91
Tabla 42. Datos de la carga explosiva optimizada.....	92
Tabla 43. Comparación de costos de perforación y voladura.....	93
Tabla 44. Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura.....	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte Quemado.....	66
Figura 2. Malla de perforación anterior de la galería Anaconda.	72
Figura 3. Diseño de la nueva malla de perforación optimizada.....	79
Figura 4. Resultados comparativos de costos	94
Figura 5. Resultados comparativos de voladura	96
Figura 6. Resultados comparativos de perforación.....	96



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.A	:	Sociedad Anónima
m.s.n.m.	:	Metros sobre el nivel del mar
NE	:	Nor Este
NW	:	Nor Oeste
m	:	Metros
mm.	:	Milímetro
m ³	:	Metro cúbico
Tm	:	Tonelada métrica
kg	:	Kilogramo
g	:	Gramos



RESUMEN

La Unidad Minera Kori Chaska, de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco Ltda, se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes, en la jurisdicción del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina y departamento de Puno. Actualmente está desarrollando la Galería Anaconda en el nivel 5102 m.s.n.m. y tiene problemas de avance lineal y altos costos de perforación y voladura, debido a una malla de perforación no acorde a las geológica y geomecánicas del macizo rocoso. El objetivo principal del estudio de investigación es optimizar el desarrollo de la Galería Anaconda mediante el diseño de una nueva malla de perforación y la carga explosiva necesaria. La metodología para desarrollar el estudio de investigación ha consistido en su etapa inicial en analizar los costos de perforación y voladura anterior, en donde se ha considerado el diseño de la malla de perforación, número de taladros y carga explosiva utilizada. Posteriormente en base a pruebas se ha seleccionado el nuevo diseño de la malla de perforación, en donde se ha considerado el número de taladros perforados, carga explosiva a utilizar, burden, espaciamiento, según las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso y como resultado se llegó a las siguientes conclusiones, utilizando el nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la Galería Anaconda, los taladros se han reducido de 36 a 32 taladros perforados con una diferencia de 04 taladros y los costos de perforación y voladura se han reducido de 275.38 US \$/m a 239,39 US\$/m , con una diferencia de 36.01 US\$/m en el desarrollo de la Galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska – Ananea.

Palabras clave: Malla, optimización, costos, perforación, voladura.



ABSTRACT

The Kori Chaska Mining Unit, of the Cerro San Francisco Ltda Mining Cooperative, is located in the Eastern Cordillera of the Andes, in the jurisdiction of the Ananea district, San Antonio de Putina province and Puno department. He is currently developing the Anaconda Gallery at level 5102 m.s.n.m. and it has linear advance problems and high drilling and blasting costs, due to a drilling mesh not in accordance with the geological and geomechanical characteristics of the rocky massif. The main objective of the research study is to optimize the development of the Anaconda Gallery by designing a new perforation mesh and the necessary explosive charge. The methodology to develop the research study has consisted in its initial stage in analyzing the costs of previous drilling and blasting, where the design of the drilling mesh, number of holes and explosive charge used have been considered. Subsequently, based on tests, the new design of the drilling mesh has been selected, where the number of drilled holes, explosive charge to be used, burden, spacing has been considered, according to the geological and geomechanical characteristics of the rock mass and as a result reached the following conclusions, using the new drill mesh design in the front of the Anaconda Gallery, the holes have been reduced from 36 to 32 holes drilled with a difference of 04 holes and the drill and blast costs have been reduced from 275.38 US \$ / m to 239.39 US \$ / m, with a difference of 36.01 US \$ / m in the development of the Anaconda Gallery of the Kori Chaska - Ananea Mining Unit.

Keywords: Mesh, optimization, costs, drilling, blasting



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Unidad Minera KORI - CHASKA, es socio integrante de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco con contrato de explotación en la concesión minera Ana María IV, Zona Cuarto Manto del nivel 5102 m.s.n.m. con la Corporación Minera Ananea S.A.

En la actualidad viene desarrollando la galería Anaconda de una longitud de 250 m., con una sección de 3.5 m. x 2.50 m.

Durante la ejecución de su etapa inicial se realizó la evaluación de las operaciones de perforación y voladura, encontrando una serie de deficiencias en la fragmentación de la roca, avance lineal, sección de la galería, mala distribución de los taladros, mal uso de explosivos, ocasionando como consecuencia altos costos de perforación y voladura.

Teniendo en consideración que la ejecución de labores subterráneas es de mucha importancia el diseño de la malla de perforación y voladura y el uso de explosivo adecuado de acuerdo a las características del macizo rocoso lo que permitirá la rentabilidad del proyecto de desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los parámetros de análisis de costos de perforación y voladura para la optimización del desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera KORI - CHASKA?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el diseño de malla de perforación y voladura en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska para la optimización de costos?
- b. ¿Cuál es la reducción de costos de voladura utilizando la carga explosiva adecuada en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska?

1.3. Formulación de hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

Analizando los costos de perforación y voladura y seleccionando el diseño de malla de perforación y carga explosiva adecuada se optimizarán los costos de desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

1.3.2. Hipótesis específicas

- a) Con el diseño de la malla de perforación se optimizarán los costos de desarrollo de la galería Anaconda en la Unidad Minera Kori Chaska.
- b) Seleccionando la carga explosiva adecuada se reducirán los costos de voladura de la galería Anaconda en la Unidad Minera Kori Chaska.



1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Analizar los costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Diseñar la malla de perforación y voladura en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.
- b) Seleccionar la carga explosiva adecuada para reducir los costos de Voladura en el desarrollo galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska, de la Corporación Minera Ananea S.A. permitirá alcanzar al cuarto manto de la concesión Ana María IV con una ley promedio de 12.3 gAu/t, lo que permitirá el incremento de reservas minerales.

El desarrollo de la galería Anaconda tiene una longitud de 250 metros con una sección de frente de 3.50 m. x 2.50 m., su ejecución es de mucha importancia para la explotación de reservas minerales de cuarto manto de la concesión Minera Ana María IV y para ejecutar la galería se requiere el diseño de una malla de perforación y selección de carga explosiva, según las características del macizo rocoso, a bajos costos de perforación y voladura.



El presente estudio de investigación se justifica plenamente su ejecución y será de mucha importancia para la rentabilidad de la Unidad Minera Kori Chaska de Corporación Minera Ananea S.A.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Chambi F. (2011) en su tesis: Optimización de perforación y voladura en la ejecución de la rampa 740 – Unidad VINCHOS – VOLCAN S.A.A., Cerro de Pasco. Concluye que la optimización obtenida en perforación y voladura en la ejecución de la rampa 740, de la unidad VINCHOS del Cerro de Pasco, es reducir dos taladros por frente y ahorrar 8.0 Kg de explosivo por disparo.

Carreón Q. (2001) en su tesis: Optimización de Perforación y Voladura en la Rampa Principal 523 sistema mecanizado mina San Rafael, Universidad Nacional del Altiplano, como resultado establece que el número de taladros de 60 (antes de optimizar) se redujo a 48 (en la etapa final optimizado) y taladros cargados de 56 a 44 respectivamente. En consecuencia, el consumo de explosivos también bajo de 132.72 a 103.70 kg. /disparo.

Ticlavilca P. (2010) en su tesis: Diseño de perforación y voladura en el tajo Susan de la Unidad Corihuarmi Compañía Minera I.R.L. Concluye que la realización permanente de trabajos de perforación y voladura ha permitido ajustar los parámetros del diseño de la malla de perforación a las características del macizo rocoso.

Chahuares S. (2012) en su tesis: Nuevo diseño de la malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos 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 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 57.89 \$/disparo a 50.1 \$/disparo.

Lupaca M. (2009) en su tesis, Costos en Operaciones Mineras Unitarias 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 la necesidad, hacen que se puedan llevar un buen control de todos los costos unitarios que se emplean en minería.

2.2. BASES TEÓRICAS

Siendo de interés el mejoramiento de las eficiencias en la operación unitaria de perforación y voladura, para esto se aplicará las siguientes; teorías, técnicas, y prácticas operativas.

2.2.1. 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)

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

$$D_2 = 0.9 \times L$$



Donde:

L = Profundidad del taladro (metros)

D_2 = 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_2 = Diámetro de taladro de alivio equivalente

n = Número de taladros vacíos en el arranque

D_1 = Diámetro del taladro a cargar

2.2.2. 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)

• Teoría de Anderson

Considera que el burden es una función del diámetro y longitud del taladro, describiéndose así. (Ver Tabla 1.)

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



Donde:

B = Burden

D' = Diámetro del taladro en pies.

L = Longitud del taladro en pies.

Tabla1.

Constante del tipo de roca "k".

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 – 2001.

• **Fórmula de Ash**

Considera una constante K_b que depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado:

$$B = \frac{(K_b) \times \emptyset}{12}$$



Donde:

B = Burden.

\emptyset = Diámetro de taladro.

Kb = Constante. (Ver Tabla 2.)

Tabla2.

Constante Kb para cada tipo de roca

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 T. (2008)



• 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.

2.2.3. Teoría de Richard Ash modificada

La fórmula propuesta por Richard Ash, fue modificada en 1980, en la cual incorpora la velocidad sísmica del macizo rocoso, para calcular el burden y es como sigue:

$$B = \frac{K_b \times d}{12} \left[\frac{dr_1}{dr_2} \right]^{\frac{1}{3}} \times \left[\frac{SG_2 \times (V_2)^2}{SG_1 \times (V_1)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

B = Burden (pies)

K_b = Estándar del burden.

D = Diámetro del taladro.

dr_1 = Densidad de roca promedio (2.7 gr/cc).

dr_2 = Densidad de roca a disparar.

SG_1 = Densidad del explosivo referencia (1.3 gr/cc).



SG_2 = Densidad del explosivo a utilizar.

V_1 = VoD del explosivo referencia (3 657.6 m/seg).

V_2 = VoD del explosivo a usar.

• **Dimensionamiento de la voladura**

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

Donde:

V = Volumen m^3

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.

$$Tm = V \times \rho$$

Donde:

ρ = Densidad de roca.

V = Volumen.

b) Cantidad de carga.

$$Qt = V \times kg/m^3$$



c) Espaciamiento (E).

Es la distancia entre taladros de una misma fila o de una misma área de influencia en una malla de perforación.

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, espaciamientos 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, espaciamientos 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 determinar 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, el espaciado será de 2,9 m. 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:



$$E = \sqrt{(BxL)}$$

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

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 $CC = 2,3 \times B$

4. 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.



5. Volumen de explosivo.

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

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

6. Factor de carga (FC).

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

$$FC = (W_e/V)$$

Donde:

W_e = Peso de explosivo en kg.

V = Volumen del material roto

7. Tonelaje roto.

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

$$TM = (V \times \rho_r)$$

Donde:

V = volumen del material roto

ρ_r = densidad de la roca.



8. Perforación específica.

Es el número de metros o pies que se tiene que perforar por cada m^3 de roca volada.

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

Donde:

L = Profundidad del taladro (m).

H = Altura de banco (m).

B = Burden (m).

E = Espaciamiento (m).

9. Factor de perforación (FP).

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

Luego: $\frac{\text{Perforación total}}{FP \times \text{volumen total}}$

10. Cálculo general para carga de taladro

$(0,34 \times \varnothing^2 \times \rho_e)$, en kg/m.

Donde:

0,34 = Factor.

\varnothing = Diámetro del taladro, en (m).

ρ_e = Densidad del explosivo a usar, en (kg/m^3)



11. 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 (m).

ρ_e = Densidad del explosivo a usar (kg/m^3).

L = Longitud de perforación (m).

T = Taco(kg).

2.2.4. 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. (Exsa 2001).

2.2.5. Descripción del proceso

Inmediatamente después de la detonación, el efecto de impacto de la onda de choque y de los gases en rápida expansión sobre la pared del taladro, se transfiere a la roca circundante, difundiéndose a través de ella en forma de ondas o fuerzas de compresión, provocándole sólo deformación elástica, ya que las rocas son muy resistentes a la compresión. Al llegar estas ondas a la cara libre en el frente de voladura causan esfuerzos de tensión en la masa de roca, entra en la cara libre y el taladro. Si la resistencia a tensión de la roca es excedida, ésta se rompe en el área de la línea de menos resistencia, en este caso las ondas reflejadas son ondas de tensión que retornan al punto de origen, creando fisuras y grietas de tensión a partir de los puntos y planos de debilidad naturales existentes, agrietándola profundamente.

Casi simultáneamente, el volumen de gases liberados y en expansión penetra en las grietas iniciales ampliándolas por acción de cuña y creando otras nuevas, con lo que se produce la fragmentación efectiva de la roca. Si la distancia entre el taladro y la cara libre está correctamente calculada la roca entre ambos puntos cederá, luego los gases remanentes desplazan rápidamente la masa de



material triturado hacia adelante, hasta perder su fuerza por enfriamiento y por aumento de volumen de la cavidad formada en la roca, momento en que los fragmentos o detritos caen y se acumulan para formar la pila de escombros.

En esta etapa se produce fragmentación adicional por el impacto de los trozos de roca en el aire. La reacción del explosivo en el taladro es muy rápida y su trabajo efectivo se considera completado cuando el volumen de la masa se ha expandido a 10 veces el volumen original lo que requiere aproximadamente 5 a 10 milisegundos. Normalmente el trabajo de fragmentación es más eficiente en las rocas compactas y homogéneas que en las naturalmente muy figuradas, ya que en ellas los gases tenderán a escapar por las fisuras disminuyendo su energía útil. Teóricamente la detonación tiene un efecto de expansión esférica pero como normalmente los explosivos se cargan en taladros o huecos cilíndricos, la detonación tiene expansión cilíndrica donde, como consecuencia de la dilatación del taladro en un entorno rígido, se crea un proceso de "fisuramiento radial", que da lugar a la formación de planos de rotura verticales concordantes con el eje del taladro.

Cálculo general para carga de taladro

$$(0,34 \times \varnothing^2 \times \rho_e), \text{ en kg/m.}$$

Donde:

0,34 = Factor.

\varnothing = Diámetro del taladro, en m.

ρ_e = Densidad del explosivo a usar, en kg/m^3



Densidad de carga (Dc)

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

Donde:

Dc = Densidad de carga, en kg/m³.

0,57 = Factor.

\emptyset = Diámetro del taladro, en m.

ρ_e = Densidad del explosivo a usar en kg/m³.

L = Longitud de perforación en m.

T = Taco en m.

2.2.6. Fisiografía y recursos naturales

La mina presenta un relieve accidentado, con predominancia de estructuras de pizarra de los cerros San Francisco, Lunar de oro y cerro Antahuila; sobre el relieve de pizarra hay depósitos cuaternarios menores de grava y morrenas producto del deshielo glacial, también por toda la zona es predominante la acumulación de desmontes y cantos de pizarra producto de la erosión natural, y gran cantidad de desmontes producto de la intensa actividad minera de más de 450 labores artesanales y semi-mecanizadas trabajadas desde años atrás y al presente.

2.2.7. Clima

El clima es muy frío y seco propio de la región Janca o Cordillera, caracterizado por Tres temporadas definidas las cuales son: temporada de heladas

de mayo a julio, temporada de vientos de agosto a octubre y temporada de nevadas de noviembre hasta abril; la temperatura media anual es de 8°C, registrando máximas de 20°C y mínimas de -27°C. (Ver Tabla 5.)

Tabla 3.

Temperaturas medias anuales

CUADRO DE TEMPERATURAS						
Temperatura	Temporada de heladas		Temporada de vientos		Temporada de nevadas	
	Mayo	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Abril
Promedio	7°C		8°C		10°C	
Máxima	20°C		18°C		17°C	
Mínima	-27°C		-16°C		-12°C	

Fuente: Estación meteorológica de Ananea.

2.2.8. Flora y fauna

La mina presenta flora escasa, en las faldas de los cerros crece el ichu, y algunos musgos y líquenes, en la zona de desarrollo de la presente tesis prácticamente no hay flora alguna; en Fauna llegan a la zona algunas aves estacionales como las gaviotas, cóndor, y gorrión andino, pero en poblaciones ínfimas.

2.2.9. Drenaje

El macizo de Ananea por encontrarse en la Cordillera Oriental viene a ser la línea divisoria, en donde las aguas de su flanco Oriental desembocan en el Océano Atlántico, y las aguas de su flanco occidental al Lago Titicaca.



Este drenaje es típico de áreas que han sido cubiertas y erosionadas por un glaciar.

Es un área muy accidentada que estuvo cubierta de glaciares como demuestran las estrías encontradas en los afloramientos de roca que tienen un Rumbo E-O.

2.2.10. Geología Regional

La parte S-E del Perú, la Cordillera Oriental muestra una alineación geomorfológica y estructural de NW-SE, la zona en estudio se encuentra emplazada en el flanco Oriental, perteneciente a la vertiente del Atlántico y las depresiones longitudinales de valles glaciares fluvioglaciares del Terciario Superior y Cuaternario inferior.

Las rocas más antiguas en el extremo N-E de la provincia de San Antonio de Putina y la mayor parte de la provincia de Sandia; consisten en una secuencia de pizarras y lutitas del Paleozoico sobre la que se han depositados las areniscas y calizas del cretácico y cubriendo las formaciones anteriores por una extensa formación de Ignimbritas del terciario y deposito aluviales glaciares del cuaternario. Las rocas del paleozoico ocupan toda la cordillera de Carabaya extendiéndose al Este de la cuenca del río Inambari y la borde cubriendo las estribaciones del Altiplano. Las rocas del mesozoico aparecen hacia la cuenca del Titicaca con interrupciones cubiertas por formaciones del cenozoico y reciente. (Gerard Laubacher).



A) Paleozoico

a) Ordovícico

Consiste en las rocas más antiguas y están formadas de pizarras y lutitas negras a grises con un espesor de más de 6 000 m de profundidad. En el área de Ananea (Cordillera Oriental), el Ordovícico; está constituido por dos formaciones, la primera que está formado por lutitas y pizarras negras con más de 3 000 m. de potencia, sobre la que descansa la Formación Sandia con 3 000 m. de potencia también; ambas formaciones están plegadas y falladas, los ejes del plegamiento se orientan de SE-NW.

b) Silúrico Devónico

Consiste en pizarras lutitas y areniscas, en la parte inferior abundan areniscas, mientras que en el techo predominan las lutitas y pizarras. El silúrico y devónico, se extiende transversalmente desde la fila de cumbres de la cordillera hacia el flanco Occidental y desde el lago de Suches en el extremo Sur hacia el área Inambari en el extremo Noreste.

El cual está representado por la formación Ananea, Laubacher (1,973) indica que la formación Ananea tiene una potencia de más de 2 000 m. de espesor consistente de pizarras lutitas.

Los estratos de pizarras lutitas observados son de color negro, siendo su rumbo promedio NW-SE y buzamiento promedio de 10° a 20° SW; extendiéndose desde los nevados de Aricoma, Ananea hasta las partes bajas hacia las pampas de San Antonio de Poto.



En esta formación ocurren intercalaciones de cuarzo interestratificado en las capas de pizarras, que están asociados a mineralización de oro, estaño, wolframio. (Gerard Laubacher).

c) Missisipiano

Al lado occidental de San Antonio de Poto del poblado Ananea, se extiende una secuencia de rocas de origen continental, por lutitas grises e intercaladas con areniscas y cuarcitas carbonaceas del Grupo Ambo con más de 1 500 m. de espesor. (Gerard Laubacher).

d) Pensilvaniano

Consiste principalmente de una secuencia de lutitas negras bituminosas con intercalaciones de areniscas, dolomita y calizas fosilíferos representando al grupo Tarma con una potencia de 2 000 m. cuyos afloramientos ocurren principalmente en bloque fallados SW de Ananea. (Gerard Laubacher).

e) Perminiano

Están representados por el grupo Mitu de facie epicontinental, las rocas del grupo Mitu consisten en areniscas negras, tufos y lavas volcánicos cuyo espesor total alcanza aproximadamente hasta 3 000 m. los afloramientos del grupo Mitu aparecen al NW y W de Crucero. (Gerard Laubacher).



B) Mesozoico

a) Cretácico inferior medio

Neconiano Santoniano. - Representado por la formación Cotacucho, que consiste en su parte inferior de calizas, areniscas y depósitos lenticulares de yeso en su parte inferior o base, en la parte superior consiste de areniscas calizas dolomitas con una potencia de 1 000 m.

La formación Cotacucho aflora tanto al S como al W de área, con el grupo Tarma con Copacabana y el grupo Mitu estas son falladas en bloques.

b) Cretaceo superior

Daniano – Campaniano. - representado por la formación Vilquechico y consiste en lutitas grises con una potencia total de 600 m. son rocas de afloramiento Vilquechico, aparecen tanto al S como al SE del área, desde San Antonio de Poto hasta cercanías de la frontera con Bolivia.

C) Cenozoico

a) Terciario inferior

En la secuencia estratigráfica se observa que, en casi toda la región de Puno, desde el Altiplano hasta la zona Sub – Andina, ocurre un gran desfase que abarca del Pérmico faltando todo el Triásico y Jurásico depositándose las calizas y lutitas cretácicas sobre las rocas del pérmico. Así mismo en discordancia sobre el Cretácico y yace la serie sedimentaria continental del grupo Puno del Terciario Inferior que consiste en areniscas arcósicas y lutitas, siendo algunos horizontales de Piroclastos. El color predominante es el rojizo chocolate, la formación llega a



tener 800 m. de espesor.

b) Terciario superior

Cubriendo todas las formaciones anteriores aparece una extensa formación de rocas volcánicas casi horizontalmente, formadas principalmente por ignimbritas y en algunos lugares alternados depósitos cuaternarios.

c) Rocas ígneas intrusivas

Regionalmente se observa una secuencia de pequeños "stocks" de intrusivos que consisten en granitos y dioritas a lo largo del eje de la Cordillera de Carabaya desde los alrededores de Ananea y San Antonio de Poto, cuyas dimensiones abarcan hacia el NW hasta Crucero de San Gabán.

2.2.11. Geología Local

a) Paleozoico medio

El área que abarca el yacimiento aurífero Ana María se observa afloramientos consistentes en lutitas y pizarras que conforman la parte superior de la formación; generalmente tienen un rumbo promedio NE – SE con buzamiento promedio de 10° a 20° al S-E.

En la zona del mapeo geológico, los estratos de lutitas y pizarras, afloran tanto en el sector Sur-Este donde se ubica la mina Rinconada y al sector Noreste se ubica la mina "Cerro Lunar de Oro", entre estos dos sectores o áreas importantes surge la presencia de la lengua glaciaria.



Los afloramientos conspicuos de lutitas y pizarras están cortados por dos estructuras importantes, que son el dique San Pedro y el dique Tentadora, con rumbos promedios al NE a SE y con buzamiento al NE. También es importante mencionar la presencia de la veta Carmen que presenta un rumbo NE a SE y su buzamiento es ligeramente hacia el S-W.

Las lutitas y pizarras pélvicas y silicios son de grano medio, de color gris oscuro a negro, su textura varía de una sección a otra. Todo ello tal vez se deba al hecho de que se han depositado en cuencas bajo diferentes condiciones de sedimentación.

En la formación Ananea ocurren capas de cuarzo e interestratificados en los estratos de lutitas y pizarras, con posible mineralización precámbrica consistentes en oro (Au) y otros minerales de menor importancia. (Gerard Laubacher).

b) Rocas intrusivas del paleozoico superior

Las rocas intrusivas en el área se ven representadas por los diques Tentadora y San Pedro que al margen Oeste de este dique se observan mini stock a apófisis intrusivos.

En el sector, donde se ubica el Cerro San Francisco con coordenadas y cotas absolutas; al lado de este cerro se observa la posible ubicación de Stock, ello se debe al afloramiento inconspicuo de este cuerpo intrusivo, tal como se representa en el plano geológico superficial.

Litológicamente hablando consisten en intrusivos de naturaleza granítica – diorítica, de estado amorfo; los diques que afloran en el área se presentan en superficie meteorizada de un color gris oscuro a rojizo y en superficie fresca es de



color blanco lechoso.

Tanto en el sector SE-NE afloran los diques San Pedro, Tentadora y la Veta Carmen, siendo su potencia promedio del dique San Pedro de 400 m. y de la Veta Tentadora de 0.40 m. en dichos sectores la Veta Carmen se presenta en forma ramificada o cola de caballo, que consiste en vetillas de cuarzo con alto contenido de iones de oro libre con un ancho promedio de 0.01 m., otra estructura importante la Veta Poderosa que se ubica en el lado Sur de Cerro San Francisco.

Es importante resaltar la presencia del Stock Work tanto en sector SE y NE de la Mina Ana María, la que es de mucha importancia por su contenido y por causar el enriquecimiento de los mantos, como un depósito mineralógico capa - filón – capa. (Gerard Laubacher).

2.2.12. Geología estructural

El yacimiento Aurífero de Ana María ha sido afectado por tectonismo eoherciniano, del tipo intercontinental con una fase comprensiva y que siguió a un régimen de distensión en el ordovícico – silúrico – devónico.

El periodo posttectónico del permo-triásico, están asociado al fracturamiento cortical con probable distensión que produjo una tectónica de bloques y un magmatismo alcalino más rico en cuarzo y álcalis. El tectónico en el yacimiento juega un papel muy importante en cuanto a la concentración de oro libre en mantos auríferos, a continuación, se describe el caso.



a) Diaclasamiento

Tanto los mantos cuarcíferos, así como los estratos de lutitas y pizarras han sido afectados por este fenómeno tectónico, observándose en la superficie e interior de la mina bloques de forma irregular, este fenómeno está relacionado a los inicios de sedimentación. (Gerard Laubacher).

b) Plegamiento

Es otro tipo de los fenómenos importantes que ocurren en el yacimiento, es muy notorio que los plegamientos se presentan a manera de flexuras-anticlinales y sinclinales que son productos de fuerte movimiento horizontales que han afectado a los estratos de lutitas y pizarras. En el sector de Lunar de Oro se observa claramente el eje del anticlinal asimétrico con rumbo NE-SE, pero en el sector Cerro San Francisco se puede observar un anticlinal asimétrico con un rumbo NW-SW.

c) Fallamiento

El fallamiento en el yacimiento está relacionado con un periodo anterior al permo-triásico consecuentemente con fallas pre-mineralizantes. Las fallas: San Andrés, Esperanza, Carmen y Lunar de Oro se orientan hacia NW-SE, de bajo ángulo con desplazamiento vertical.

Otros sistemas de fallas importantes son: San Francisco, Norma y Virginia que completan un cuadro tectónico de fallamiento transversal de rumbo NE-SW, estas fallas son casi verticales, con desplazamiento vertical. (Gerard Laubacher).



2.2.13. Estratigrafía local

a) Formación Sandia

La formación Sandia está definida como una secuencia detrítica de cuarcitas con pizarras negras en capas gruesas a medianas, con un espesor aproximado de 1 500 m. (Gerard Laubacher 1 978)

La formación Sandia presenta un conjunto de Siltitas finas y pizarras negras, con una foliación paralela predominante, las estructuras sedimentarias internas son variadas formando dunas de varios kilómetros de longitud de onda, presentando laminaciones paralelas y con niveles de reactivación arcillosa dentro de las juntas y fallas del tectonismo.

Esta formación se habría sedimentado en un ambiente de llanura tidal, por tratarse de una sedimentación impuesta por Siltitas y Lutitas, cuyas estructuras internas corresponden a “Flaser Bedding”, “Lenticular Bedding”, “Wave Bedding” y otras, que posteriormente fue afectada por el proceso Ehorciniano hace 400-450 millones de años.

Esta unidad geológica aflora ampliamente desde la zona sub-central hacia el norte de todo el yacimiento, formando los cerros y nevados del Ananea, con una continuación hacia las zonas posteriores de: Cuyo subcentral, Risopata, Ñacaria, Vilacota, Sorapata, Huancasayane y Untuca, las cuales también presentan mantos auríferos.

Su contacto estratigráfico con la unidad infrayacente no se observa, mientras que el contacto con la formación Ananea es anormal a través de un sobrecurrimiento o fallamiento inverso que muestra a la formación Sandia



cabalgando sobre la formación Ananea. (ver Anexo N° 02)

b) Formación Ananea

La formación Ananea está constituida por paquetes de pizarras con intercalaciones por cuarcitas; cuyo espesor total es difícil de estimar por la intensa actividad tectónica, aparentemente es muy superior a los 2,500 m.; el rumbo es de NW-SE, con buzamiento promedio de 18° SW por correlación estratigráfica, Martínez (1971), Laubacher (1972) se le asignan una edad Silúrico-Devónico.

Las pizarras Ananea se caracterizan por ser negras, cuya estratificación fina y esquistosidad paralela a los estratos, microscópicamente presenta una esquistosidad secundaria coincidente a los planos axiales de un microplegamiento.

Esta roca está constituida por cuarzo (40%), Moscovita (20%), y Clorita (10%), a veces están presentes las plagioclasas, arsenopirita, pirita, turmalina y circón.

Por su paragénesis las pizarras Ananea corresponden a las facies de esquistos verdes, las cuarcitas se caracterizan por su color gris oscuro, grano fino y constituida casi en su totalidad por cuarzo.

Metagenéticamente y económicamente entre la característica más importante de la formación Ananea es la presencia de filones de cuarzo aurífero con sulfuros, las cuales, en su mayoría concordante, interestratificado por la pizarra y cuarcita. (Gerard Laubacher 1978).



c) Formación Arco Aja

Unidad que se encuentra restringida a la depresión de Carabaya, alcanzando un grosor aproximado de 120 m, constituida por horizontes de arcillas, gravas, y conglomerados con niveles lenticulares de areniscas, la composición de los rodados es predominantemente cuarcitas, pizarras y algunos intrusivos de la edad del Mioceno; en esta unidad se incluyen acumulaciones de sedimentos detríticos de origen aluvial, coluvial, eólico y glacial.

d) Grupo Ambo

Asignado al Missisipiano por Steiman, los terrenos continentales atribuidos al grupo ambo afloran al NW del lago Titicaca y depósitos marinos en el flanco occidental de la cordillera oriental en el extremo W de San Antonio de Poto, Laubacher 1 977, el espesor en esta zona alcanza 1,500 m. con rumbo NW y con buzamiento NE.

Este grupo está conformado por una secuencia basal de cuarcitas dolomitas que surgieron de una marina de cuarcitas intercaladas con lutitas grises y negras al techo.

e) Grupo Mitu

A este grupo Laubacher (1 978), asigna al Pérmico Superior, constituido por areniscas rojas y coloradas volcánicas erosionadas y redepositadas; estos afloran en el W de San Antonio de Poto cuyo espesor total alcanza hasta 3 000 m.



f) Rocas ígneas

En la región hubo metamorfismo general Herciniano Epizonal y un metamorfismo de extensión restringido de la misma edad de alta presión y temperatura relacionado a la intrusión de granitoides durante la compresión ehoerciniano, Laubacher (1 978).

En el área elevada de la cordillera oriental próxima al eje, afloran algunos cuerpos formados por cuarzo, plagioclasa y biotita cloritizada, dichos cuerpos son probablemente apófisis del batolito de Limbani.

g) Depósitos cuaternarios D

Depósitos glaciares

Es de edad cuaternaria, estos depósitos cubren gran parte del área, las formas en que se presentan son en orden de frecuencia, las áreas que ocupan son morrenas laterales, de fondo dentrales, terminales y drumplins, la litología consiste en aglomerado de moderada consolidación constituido por bloques y fragmentos sobre redondeados de pizarras, cuarcitas y cuarzos de la formación Ananea.

Depósitos fluviglaciares

Son mucho más restringidos en área y volumen que los depósitos anteriores, se reconocen con facilidad en el área central de Pampa Blanca (zona dragada), estos depósitos presentan una alteración de bancos de grava y arenal mal seleccionada.



Depósitos fluviales

Por lo general se encuentran sobre los depósitos glaciares y fluvioglaciares estructuralmente los depósitos fluviales consisten en lentes alargadas de grava y arenas gruesas, los constituyentes de estos sedimentos son: pizarras, cuarcitas y cuarzo aurífero de la formación Ananea; areniscas y dolomitas de la formación del grupo Ambo.

2.2.14. Geología económica

a) Afloramiento

Tanto en la sección San Francisco principalmente en Ana María I, Ana María IV y en la sección Ana María III; afloran diferentes mantos de cuarzos auríferos con espesores que varían de 0.01 m. hasta 0.04 m, interestratificados entre los paquetes de pizarras de la formación Ananea. El rumbo general de los mantos es E-W y el buzamiento varía de 10° a 20° al SW los mantos reconocidos están separados unos de otros desde los 2 m. hasta los 70 m. el aspecto de los mantos es sensiblemente lenticular; la roca encajonante esta débilmente alterada, generalmente una decoloración de las pizarras, a veces la pizarra esta finamente piritizada.

En la sección de San Francisco ocurren hasta 23 mantos reconocidos, mientras que en la sección de lunar de oro de observan 5 mantos.



b) Mineralogía

Elemento Nativo	: Oro.
Sulfuros	: Blenda rubia, galena, pirrotita, pirita, calcopirita, molibdenita, marcacita.
Sulfosales	: Arsenopirita, tetraedrita.
Oxidos	: Limonita, hematita.
Silicatos	: Titanita
No-Metalicos	: Cuarzo

La ocurrencia en partículas libres de 3 micras a más y como inclusiones principalmente dentro del cuarzo. También ocurren esporádicas inclusiones de oro en la arsenopirita con dimensiones de 1 a 20 micras. Los sulfuros blendas y galenas ocurren en granos muy finos y muy erráticamente asociados a chalcopirita, arsenopirita y pirita, la molibdenita ocurre en granos libres, la pirita, primero ocurre en finas dimensiones en el cuarzo, la marcasita es supergenica resultante de la descomposición de la pirrotita muestra textura Colomórfica, la arsenopirita también se presenta en dimensiones y venillas llevando algo de oro asociado; la tetraedrita es mineral portador de los valores de plata; otros elementos menores son la limonita, hematita y titanita. (Laubacher 1 978)



c) Mineralización

La mineralización en Ana María se encuentra en mantos y relleno de fracturas y microfracturas lo que se conoce con el nombre de "capa-filón-capá", siendo los primeros de mayor ocurrencia en el NW y SW (San Francisco y Lunar). Estas fracturas y microfracturas con contenido de cuarzo y oro libre se entrecruzan y forman un enrejado, lo que en conjunto forman la zona de "stock work", esta zona importante enriquecida con oro libre se ubica entre el dique Tentadora y la veta Carmen.

El "stock work", se orienta con un eje NW-SE, a manera de una franja con un ancho promedio de 80 m. y una longitud no determinada en el extremo NW, por la presencia de nevados perpetuos, pero si determinado en el extremo SE, que partirá del "stock" intrusivo inconspicuo que estaría enclavo en el lado E del cerro San Francisco.

Otra zona de menor importancia económica, es la comprendida entre el dique San Pedro y dique Tentadora, donde la presencia de fracturas y microfracturas con contenido de cuarzo y oro libre es muy limitado y poco influyente en el enriquecimiento de los mantos más en cada zona se presentan lentes mineralizados de oro libre y estos se repiten a distancias irregulares.

Estos resultados indicaran la existencia de dos fuentes diferentes de soluciones mineralizantes, con probable removilización de la mineralización Pre-Cámbrica.



d) Fracturamiento

El esquema de fracturamiento está íntimamente vinculado con la historia ígnea local. El 80% de la mineralización está en la intersección de los mantos con las fracturas y microfracturas conteniendo cuarzo y oro libre. Generalmente se puede decir que hay dos etapas de fracturamiento.

- Un fracturamiento central o principal representado por fracturas y microfracturas con rumbos promedio NE-SE y NW-SW, originando un enrejado denominado "stock Work" ligado a la segunda fase de mineralización.

- Otra etapa de fracturamiento es compleja y se presenta como ramificaciones o estructura cola de caballo constituido por microfracturas con cambio de rumbo y buzamiento ya sea en una vista vertical y horizontal.

e) Alteración hidrotermal

Del manto hacia afuera la alteración hidrotermal está representado por la cloritización, que es abundante en el sector de Lunar y San Francisco.

f) Estructura de los mantos

La estructura externa importante es la lenticular o rosario, que son originales por fuerzas de compresión horizontal.

Las principales estructuras internas son: bandeamiento, coincide con los planos de estratificación, está configurada por una disposición irregular de granos.



g) Controles de mineralización

1) Influencia de los diques

El dique Tentadora es considerado post-mineral en relación con los mantos singenéticos estratoligados, en la zona de stock work el dique Tentadora juega un papel muy importante e influyente en:

- Continuidad de mineralización con oro libre al sector Este del dique.
- La proximidad al dique con el manto, tienen altas leyes de mineralización.
- Un indicador para los mantos inferiores.

2) Intersecciones

Las intersecciones entre las vetillas y el manto constituyen el control fundamental, estas intersecciones han originado bolsonadas de gran riqueza como aquellos de los mantos principales.

3) Cambio de buzamiento de los mantos

Los cambios de buzamientos a manera de microsinclinales, con buzamientos que oscilan entre 20° y 30° , en el laboreo minero se manifiestan con rumbos variables con respecto a los rumbos de las fracturas y microfracturas, permitiendo el enriquecimiento en el eje del microsinclinal, estas manifestaciones pueden favorecer o desfavorecer la ley del mineral.

4) Plegamiento

El plegamiento se presenta en forma de microsinclinales y microanticlinales formándose antes de mineralización con oro libre.



5) Fallamiento

Las dislocaciones se presentan como controles pre - minerales a la deposición del oro libre, en todo distrito minero, localmente se manifiesta como fallas normales e invertidas de poco ángulo y arrastre. Estas dislocaciones originan el enriquecimiento de oro en los mantos, generalmente en el estrato manto. Este control junto con las intersecciones conforma en este yacimiento minero, los controles importantes que ayudan para la búsqueda y explotación subterránea.

6) Control mineralógico

La presencia de cuarzo ahumado perlado (gris oscuro y café oscuro), indican un aumento en la ley de oro. La presencia de antimonio indica también la presencia de oro libre. Las leyes son altamente erráticas, desde el punto de vista económico los trabajos de exploración se deben concentrar en las zonas donde los mantos tienen leyes constantes, como la zona de Riticucho y cuatro amigos de las minas Rinconada.

h) Formación del yacimiento

La secuencia de formación del yacimiento se ha tenido en cuenta observaciones geológicas tanto superficiales como subterráneas.

La formación de estratos lutitas y areniscas en una cuenca intercontinental (formación Ananea), afectada por metamorfismo regional, con mineralización de oro, comprobado por las características geométricas, geológicas estratificadas y mineralógicas que ocurre en el silúrico-devónico.

Los mantos singenéticos estrato ligados, íntimamente ligados al fracturamiento y tectónica de bloques, seguido posteriormente por el magmatismo



alcalino, que lleva el enriquecimiento de oro libre y sulfuros tipo hidrotermal del Permiano.

i) Tipo y génesis de yacimiento

El yacimiento Ana María y aledaños es un depósito definido geoméricamente como tabular, estrato ligado, manteado, originado por sustitución metasomática, en conclusión, es un yacimiento singenético – endógeno en su primera fase.

En la segunda fase de mineralización que es la más importante es de origen hidrotermal por lo tanto es un yacimiento epigenético – endógeno originado por fuerzas tensionales dando lugar a la formación de fracturas y microfracturas que a través de las cuales las corrientes de fluidos han ascendido con mineralización de iones metálicos formando sulfuros y oro libre, el que es muy apreciable en las intersecciones con los mantos singenéticos y las fracturas que han producido una estructura conocida con el nombre de bolsónada, situada en el espacio horizontal y vertical con enriquecimiento de oro libre.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. Exploración

Son los trabajos de localización de nuevos yacimientos y probar la continuidad y riqueza de los depósitos de mineral ya conocidos.

2. Desarrollo

Son las labores que se realizan después que se ha verificado la existencia e importancia de un depósito mineral con el fin de limitarlo.



3. Preparación

Son los trabajos que se ejecutan una vez que se ha limitado el yacimiento.

La preparación se hace de acuerdo al método de explotación seleccionado.

4. Perforación

Es una operación que consiste en realizar taladros en el frente de una labor, mediante un diseño de ubicación o distribución de taladros con la finalidad de colocar en su interior mezclas explosivas para fracturación del macizo rocoso.

5. Voladura

Es un fenómeno físico químico que consiste en arrancar de una masa rocosa o mineral una porción de las mismas.

6. Malla

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.

7. Subterráneo

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

8. 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.

9. Burden

Distancia desde el barrenado al frente libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro. También denominado piedra, 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.



10. Explosivos

Es una mezcla química que reacciona a gran velocidad, liberando gases sometidos a grandes presiones y altas temperaturas.

11. Explosión

Es la liberación repentina de gases ya sea detonando o deflagrando.

12. Galería

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

13. Arranque

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

14. Factor de carga (kg/m³)

Es la cantidad de explosivo usada por m³ de roca volada.

15. 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.

16. Macizo rocoso

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

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

18. Análisis

Estudio minucioso de un asunto.

19. Costos

Son los recursos que se utilizan para la producción de bienes o servicios.



20. Costos unitarios

Es el resultado de dividir los costos totales de un determinado periodo entre el número de unidades producidas.

21. Costos directos

Gastos que se identifican directamente con el proceso productivo.

22. Costos indirectos

Gastos que no están estrechamente ligados a la producción.

23. Costos fijos

Son aquellos que son independientes del nivel de producción.

24. Costo total

Es el resultado de la suma de los costos variables y costos fijos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La Unidad Minera Kori Chaska de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco Ltda. se encuentra ubicada en el flanco Occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, dentro de la jurisdicción del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región Puno, república del Perú.

Dentro de las coordenadas UTM

Este: 452 205

Norte: 8 383 034

3.2. ACCESIBILIDAD

Desde la capital de la República - Lima, se accede mediante vía terrestre y aérea, hasta la ciudad de Juliaca, y desde la capital de la Región Puno. Siendo la ruta más accesible, comercial y transitada la que se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.*Ruta de acceso a la Unidad Minera*

ORIGEN	DESTINO	DISTANCIA Km.	TIPO DE CARRETERA	TIEMPO DE VIAJE
Puno	Juliaca	45	Asfaltada	50 minutos
Juliaca	Huatasani	71.6	Asfaltada	48 minutos
Huatasani	Putina	20.2	Asfaltada	17 minutos
Putina	minutos	15.2	Asfaltada	15 minutos
Quilcapuncu	Pampilla	39.1	Asfaltada	40 minutos
Pampilla	Ananea	10.9	Trocha	07 minutos
Ananea	Kori Chaska	7	Trocha	33 minutos
Distancia total Puno-Mina La Rinconada = 209 kilómetros				
Tiempo aproximado de viaje			= 3 Horas 30 minutos	

Fuente: Unidad Minera Kori Chaska – 2018.

3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

Según la naturaleza del trabajo de investigación y por las características del estudio es de tipo descriptivo y experimental, el estudio se refiere al análisis de costos de perforación y voladura y aplicar un diseño adecuado de malla de perforación y voladura en la ejecución de la galería Anaconda de la Unidad Minera KORI CHASKA.

En el desarrollo de la primera etapa la galería Anaconda de una longitud de 250 metros y sección de 3.50 m. x 2.50 m., se ejecutó con una malla de perforación y taladro de 1.52 m de longitud.

En el estudio del proyecto, el control de operaciones mineras se realizó en 5 turnos, en donde se ha analizado el tipo de roca, número de taladros, explosivos utilizados y la fragmentación de la roca, encontrando altos costos de perforación y voladura. Posteriormente en el trabajo de investigación se ha diseñado una nueva



malla de perforación y selección de explosivos a utilizar. Las pruebas se han realizado en 5 turnos considerando los siguientes parámetros: Burden, espaciamiento, tipo de trazo, distribución de taladros y la carga explosiva a utilizar.

Finalmente se ha realizado el análisis de costos comparativos de perforación y voladura de las dos mallas de perforación para encontrar los resultados óptimos de perforación y voladura de la galería Anaconda.

3.4. POBLACIÓN

La población para este trabajo de investigación está constituida por las labores de: galería Anaconda, galería San Jorge, galería San Ignacio y Nivel 5125 de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco Ltda., Unidad Minera Kori-Chaska.

3.5. MUESTRA

La muestra en el presente trabajo de investigación está constituida por la galería Anaconda de la Cooperativa Minera Cerro San Francisco Ltda., Unidad Minera Kori Chasca.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.6.1. Variable independiente

Diseño de malla de perforación en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

3.6.2. Variable dependiente

Costos de perforación y voladura en el desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

Tabla 5.

Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente:		
Diseño de malla de perforación en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera KORI CHASKA.	<ul style="list-style-type: none">• Número de taladros• Carga explosiva• Burden• Espaciamiento• Longitud de taladro	<ul style="list-style-type: none">• Metros perforados• kg/taladro• Metros• Metros• metros
Variable dependiente:		
Costos de perforación y voladura en el desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera KORI CHASKA	<ul style="list-style-type: none">• Costos de Equipos• Costos de Barrenos• Costos Explosivos• Costo de broca• Costo de aire comprimido	<ul style="list-style-type: none">• \$ /m• \$ /m• \$ /m• \$ /m• \$ /m

3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es muy importante determinar que técnicas se aplicaran, como en análisis estadístico y porcentual, la observación del disparo y el grado de fragmentación obtenido en la voladura del frente de la galería.

3.7.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para el estudio son la liquidación mensual para verificar el avance de la galería y volumen obtenido, el reporte diario de operación, reporte operacional mensual y la toma de fotografías para evaluar la voladura.



Reporte operacional mensual.

- Cantidad de explosivo utilizado por labor
- Número de taladros
- Tipo de sostenimiento

Reporte diario de operación.

- Labor disparada.
- Explosivo utilizado.
- Número de taladros.
- Número de horas operadas de los equipos

Técnicas para el procesamiento de la información.

Se utilizaron instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente.

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

Los formatos se incluyen en el anexo N° 01



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La optimización de perforación y voladura se ha realizado en la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

Las operaciones de perforación y voladura en una mina subterránea deben conducirse según las prácticas operativas y diseñadas para minimizar los costos operativos y garantizar un ambiente de trabajo seguro para el personal.

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

- Número de taladros vacíos.
- Diámetro de taladros vacíos.
- Número de taladros de producción.
- Diámetro de los taladros de producción.
- Longitud de taladros perforados.
- Avance lineal.
- Tipo de roca.
- Equipo a utilizarse.
- Volumen de roca.
- Área de la sección de la galería.
- Tonelaje de material roto.



4.2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA GALERÍA ANACONDA

a) **Sección:** la dimensión de la galería está en relación a la capacidad y tamaño del equipo a utilizar, y las características físicas del terreno y el tipo de minado y si ha determinado una sección de 3.50 m. x 2.50 m.

b) **Gradiente:** La construcción de la galería tiene una pendiente positiva de 1.5%.

c) **Longitud:** El proyecto de desarrollo de la galería Anaconda tiene una longitud de 250 metros desde la galería Principal hasta interceptar a la zona mineralizada de la Unidad Minera Kori Chaska.

4.3. INSTALACIONES DE SERVICIOS AUXILIARES EN LA GALERÍA

a) **Aire:** El aire comprimido en la mina se usa para realizar los trabajos de perforación y voladura y recorre toda la galería de desarrollo, desde el estacionamiento de la compresora hasta llegar al frente de avance de la galería Anaconda.

La prolongación de la tubería de aire es de 2 pulg. De diámetro hasta el tope de la galería para perforar los taladros con equipos tipo Jack-leg Modelo secoroc 250S.

b) **Agua:** El agua es utilizado para perforación de taladros con Jack-leg en el frente de la galería, y también es utilizado para el regado de material roto después de realizar la voladura en cada turno.

c) **Ventilación:** La ventilación es mediante un ventilador tipo axial, donde el aire ingresa mediante mangas de ventilación de 36 pulgadas de diámetro y es colocado según el avance de la galería.



Los ventiladores son de 15 HP que suministra el aire atmosférico desde la superficie.

d) Sistema Eléctrico: La instalación del sistema eléctrico es mediante cables de alta tensión, desde una sub estación hacia el interior de la galería llegando a los frentes de operación a una caja breaker desde allí se alimenta a toda labor la energía es de 440 v.

4.4. DATOS GEOMECÁNICOS DE LA GALERÍA ANACONDA

Durante la construcción de la galería se requiere conocer el estado de tensiones al que se encuentra sometido el terreno objeto de la excavación y tener en cuenta en la construcción subterránea, se modifica el comportamiento de las tensiones, de manera que se genera un desequilibrio en el momento de iniciar la excavación y que dicho desequilibrio puede provocar al terreno a colapsar el entorno de la sección. (Ver Tablas 6 y 7)

- Calidad del macizo rocoso.
- Características del macizo rocoso.
- Tensión in-situ de la roca.
- Resistencia a la tracción y compresión de la roca.

Tabla 6.

Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión de la roca en la Galería Anaconda						
Tipo de roca	Densidad t/m ³	Resistencia a la compresión		Resistencia a la tracción		Velocidad sísmica m/s
		Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/m ²	
Pizarra	2.6					
Marga Roja	2.6	51.7	1338.0	2.5	133.8	3500.0
Marga Verde	2.5	50.0	1295.0	5.0	129.5	2650.0
Mineral Diseminado	3.0	49.0	1269.0	4.9	126.9	2530.0
Mineral Masivo	3.3	52.5	1360.0	5.3	136.0	2460.0

Fuente: Departamento de geomecánica de mina Kori Chaska.

Tabla 7.

Resistencia a la tensión

Esfuerzo a la tensión de la roca en la galería Anaconda						
Tipo de roca	Densidad t/m ³	Esfuerzo a la compresión		Esfuerzo a la tracción		
		Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/m ²	
Pizarra	2.6					
Marga Roja	2.6	46.0	1338.0	4.9	50.4	
Marga Verde	2.5	44.0	1270.0	4.7	48.3	
Mineral						
Diseminado	3.0	36.0	998.0	4.6	47.1	
Mineral Masivo	3.3	45.0	1310.0	5.0	51.4	

Fuente: Departamento de geomecánica de mina Kori Chaska.

Tabla 8.

Resistencia a la compresión simple

Clase	Descripción	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)
A	Muy Alta	>2250
B	Alta	1120 - 2250
C	Media	560 - 1120
D	Baja	280 - 560
E	Muy baja	280

Fuente: Departamento de geomecánica de mina Kori Chaskal

4.5. PERFORACIÓN EN LA GALERÍA ANACONDA

La perforación se realizó con equipo tipo Jack – leg modelo Secoroc 250S, con una longitud de 5 pies (1.52 m.) y broca de 38 mm.

La sección de la galería es de 3.5 m. x 2.50 m.

4.5.1. Tipo de corte

- **Corte Quemado:** como el corte consiste en perforar taladros paralelos un total de 6 taladros de los cuales 2 son de alivio, se usa generalmente en terreno duro, dejando taladros vacíos con la finalidad de que se constituyan en cara libre a fin de que la roca triturada se expanda hacia el espacio libre.

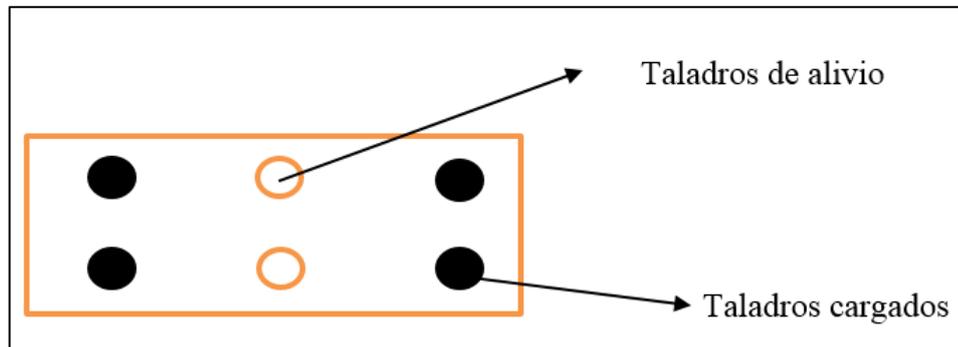


Figura 1: Corte Quemado
Fuente: Mina Kori Chaska

- Datos de campo.

Densidad de la roca: 2.6 Tm/m^3

Sección de la galería

Ancho: 3.5 m.

Altura: 2.50 m.

Diámetros del taladro de producción: 0.038 mm.

Diámetros del taladro de alivio: 0.038 mm.

Longitud de barrenos de 5 pies: 1.52 m.

- Profundidad de taladros a perforarse.

ALGORITMO DE HOLMBERG

$$H = 0.15 + 34.1 \times O - 39.4 O^2$$

Donde:

H = Profundidad de taladros a perforarse (m).

O = Diámetro del taladro vacío (m).

$$H = 0.15 + 34.12 \times (0.038) - (0.038)^2$$

$$H = 1.40 \text{ m.}$$



• **Avance de la voladura al 95%**

$$I = 0.95 \times H$$

Donde:

I = Avance de la voladura (m)

H = Profundidad de los taladros a perforarse (m)

$$I = 0.95 \times 1.4 \text{ m}$$

$$I = 1.33 \text{ m}$$

• **Número de cartuchos por taladro**

Según la relación de longitud de carga del taco en un taladro perforado se tiene.

$$\text{N}^\circ \text{ Cartuchos} = \frac{2/3 \times L}{L_e \times 0.8}$$

Donde:

N° cartuchos = Total de cartuchos por taladro (unidad)

L = Longitud del taladro perforado (m)

L_e = Longitud de explosivo o cartucho (m)

0.80 = 80% longitud de carga por cartucho el 20% menos al ser atacado.



$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{2/3 \times 1.52}{0.2 \times 0.8}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{0.666 \times 1.52}{0.2 \times 0.8}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = 6.27$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = 6 \text{ cartuchos /taladro}$$

• Número de taladros

Según el modelo matemático de EXSA

$$N^{\circ} \text{ Tal.} = \left(\frac{P}{dt} \right) + (k \times s)$$

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

$$N^{\circ} \text{ Tal.} = \left(\frac{4\sqrt{s}}{dt} \right) + (k \times s)$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ Tal.}$ = Número de taladros

P = Perímetro de la sección de la galería (m)

dt = Distancia entre los taladros (semi duro)

K = Coeficiente o factor de la roca

S = Sección de la galería



Tabla 9.

Relación de la dureza de la roca con la distancia

Dureza de roca	Distancia entre taladros (dt)
Roca dura	0,50 a 0,55
Roca intermedia	0,60 a 0,65
Roca suave o friable	0,70 a 0,75

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001.

Tabla 10.

Relación de la dureza de la roca con el coeficiente

Dureza de roca	Coefficiente de roca (K)
Roca dura	2,00
Roca intermedia	1,50
Roca suave o friable	1,00

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001.

$$N^{\circ} Tal. = \left(\frac{12}{0,6}\right) + (1.5 \times 8.75)$$

$$N^{\circ} Tal. = (20) + (13.13)$$

$$N^{\circ} Tal = 33,13 \text{ Taladros}$$

Tabla 11. Control de tiempo de taladros de perforación no optimizado

FECHA	CONTROL DE TIEMPOS DE TALADROS DE PERFORACION NO OPTIMIZADOS DEL MES DE JULIO											Tiempo total de perforación	Avance lineal (metros)
	Alivio	Arranque	1° Ayuda arranque	2° Ayuda arranque	Sub ayuda	Cuadradores	Alzas	Arrastres					
Martes 01/07/2014	00:03:56	00:04:03	00:04:10	00:04:05	00:04:06	00:04:04	00:04:16	00:04:35			02:29:32	1.32	
Miércoles 02/07/2014	00:03:54	00:04:04	00:04:09	00:04:03	00:04:05	00:04:05	00:04:14	00:04:32			02:29:06	1.31	
Jueves 03/07/2014	00:03:53	00:04:06	00:04:09	00:04:02	00:04:08	00:04:07	00:04:16	00:04:34			02:29:56	1.28	
Viernes 04/07/2014	00:03:57	00:04:08	00:04:12	00:04:03	00:04:05	00:04:03	00:04:13	00:04:34			02:29:24	1.30	
Sábado 05/07/2014	00:03:55	00:04:05	00:04:12	00:04:02	00:04:06	00:04:05	00:04:15	00:04:34			02:29:36	1.29	
Lunes 07/07/2014	00:03:53	00:04:03	00:04:09	00:04:03	00:04:05	00:04:05	00:04:16	00:04:35			02:29:20	1.34	
Martes 08/07/2014	00:03:55	00:04:05	00:04:12	00:04:02	00:04:07	00:04:03	00:04:15	00:04:36			02:29:28	1.30	
Miércoles 09/07/2014	00:03:54	00:04:03	00:04:11	00:04:05	00:04:06	00:04:05	00:04:15	00:04:36			02:29:42	1.27	
Jueves 10/07/2014	00:03:53	00:04:05	00:04:10	00:04:02	00:04:05	00:04:06	00:04:16	00:04:34			02:29:34	1.30	
Viernes 11/07/2014	00:03:54	00:04:06	00:04:10	00:04:04	00:04:05	00:04:05	00:04:14	00:04:35			02:29:34	1.32	
Sábado 12/07/2014	00:03:54	00:04:04	00:04:07	00:04:02	00:04:08	00:04:04	00:04:13	00:04:36			02:29:08	1.33	
Lunes 14/07/2014	00:03:55	00:04:05	00:04:11	00:04:03	00:04:06	00:04:06	00:04:14	00:04:34			02:29:42	1.29	
Martes 15/07/2014	00:03:57	00:04:05	00:04:08	00:04:03	00:04:05	00:04:05	00:04:14	00:04:36			02:29:28	1.34	
Miércoles 16/07/2014	00:03:55	00:04:08	00:04:09	00:04:03	00:04:08	00:04:06	00:04:15	00:04:35			02:30:02	1.28	
Jueves 17/07/2014	00:03:56	00:04:06	00:04:12	00:04:05	00:04:05	00:04:04	00:04:16	00:04:38			02:30:00	1.30	
Viernes 18/07/2014	00:03:55	00:04:05	00:04:08	00:04:03	00:04:06	00:04:05	00:04:15	00:04:36			02:29:32	1.31	
Sábado 19/07/2014	00:03:54	00:04:07	00:04:11	00:04:04	00:04:06	00:04:05	00:04:17	00:04:36			02:30:02	1.30	
Lunes 21/07/2014	00:03:57	00:04:03	00:04:10	00:04:02	00:04:06	00:04:04	00:04:14	00:04:34			02:29:10	1.30	
Martes 22/07/2014	00:03:56	00:04:04	00:04:12	00:04:02	00:04:05	00:04:04	00:04:13	00:04:37			02:29:24	1.33	
Miércoles 23/07/2014	00:03:56	00:04:06	00:04:11	00:04:04	00:04:06	00:04:08	00:04:14	00:04:35			02:30:16	1.27	
Jueves 24/07/2014	00:03:53	00:04:05	00:04:08	00:04:03	00:04:07	00:04:07	00:04:15	00:04:35			02:29:48	1.29	
Viernes 25/07/2014	00:03:54	00:04:03	00:04:12	00:04:02	00:04:05	00:04:04	00:04:14	00:04:37			02:29:20	1.30	
TIEMPO PROMEDIO	00:03:55	00:04:05	00:04:10	00:04:03	00:04:06	00:04:05	00:04:15	00:04:35			02:29:36	1.30	

Fuente: Reporte diario de perforación Mina.

4.6. CONTROL DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN ANTERIOR

Tabla 12.

Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo)

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h: min: s)	Tiempo total de perforación
Alivio	2	0:03:55	0:07:50
Arranque	4	0:04:05	0:16:20
1° Ayuda arranque	4	0:04:10	0:16:40
2° Ayuda arranque	4	0:04:03	0:16:12
Sub ayuda	4	0:04:06	0:16:24
Cuadradores	10	0:04:05	0:40:50
Alzas	4	0:04:15	0:17:00
Arrastres	4	0:04:35	0:18:20
Total/Disparo	36	0:04:09	02:29:36

Fuente: Departamento de geomecánica de mina Kori Chaska.

Tabla 13.

Resultados obtenidos en la perforación anterior

Parámetros obtenidos (perforación anterior)		
Tiempo de perforación del frente	02:29:36	Hora:Minuto:Segundo
Longitud de perforación/taladro	1.5	Metros
N° de taladros perforados	36	Taladros
Longitud total perforados/disparo	54	Metros
Tiempo promedio de perforación/tal	00:04:09	Hora:Minuto:Segundo

Fuente: Departamento de geomecánica de mina Kori Chaska.

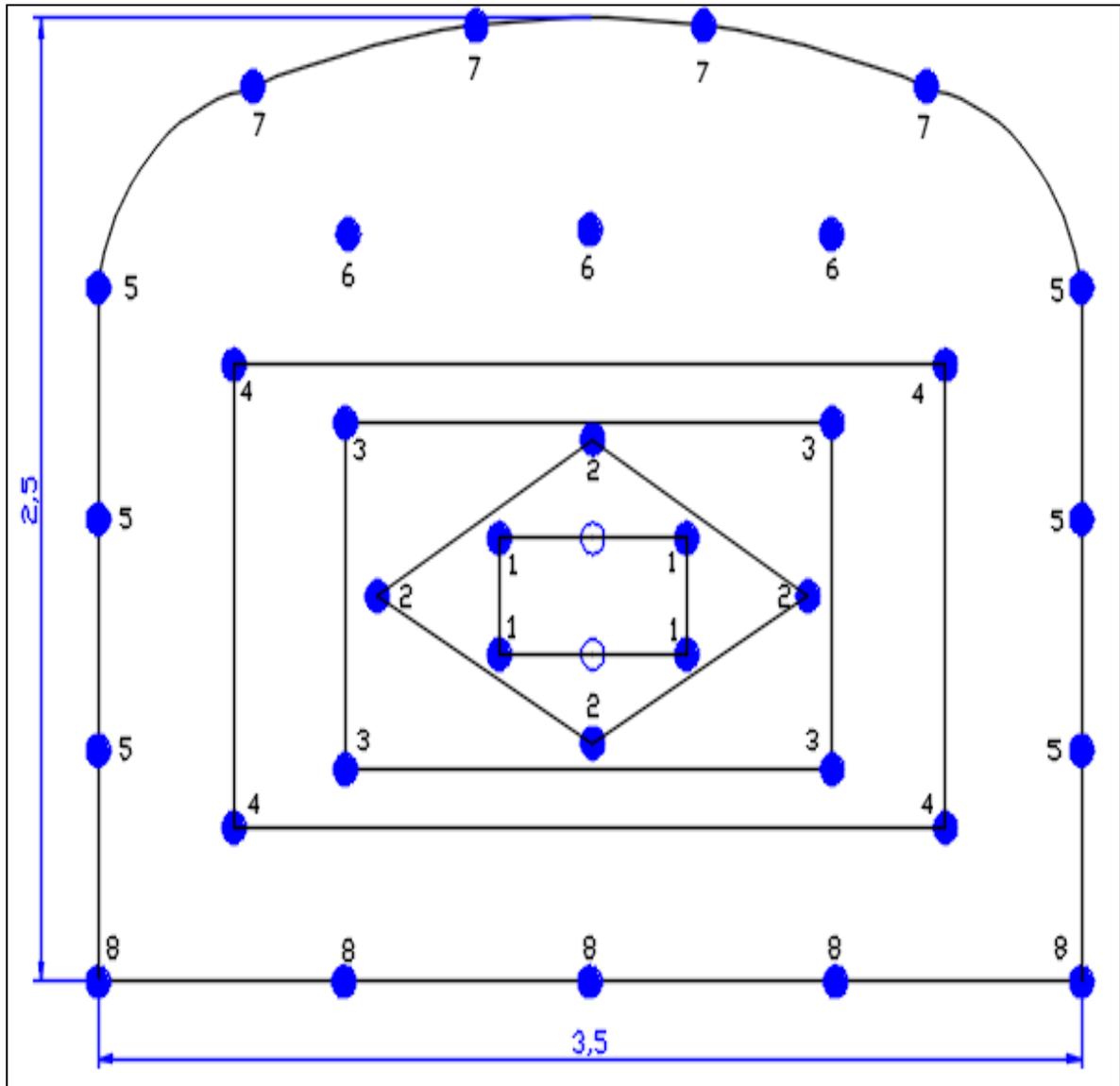


Figura 2: Malla de perforación anterior de la galería Anaconda.

Fuente: Mina KORI CHASKA

Escala: 1/50

Secuencia de	1°	2°	3°	4°	5° y 6°	7°	8°
Salida del Disparo	Arranque	1ra. Ayuda	2da. Ayuda	Sub Ayuda	Cuadradores	Alza	Arrastre



4.7. VOLADURA EN LA GALERÍA ANACONDA. (Ver Tablas 14 y 15)

Tabla 14.

Consumo de explosivo Semexa 65% en la voladura anterior

Consumo del explosivo dinamita 65% (kg)					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartuchos/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0.08	2.24
1° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.6
2° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.6
Sub ayuda	4	4	16	0.08	1.28
Cuadradores	10	4	40	0.08	3.2
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	4	5	20	0.08	1.6
Total/disparo	36		160		12.8

Tabla 15.

Resumen del consumo del explosivo y accesorios por disparo

Descripción	Unidad de medida	Total
Semexa 65%	kg/disp.	12.8
Mecha de seguridad	Pies	204
Fulminante N° 8	Unidades	34

• **Volumen roto**

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

Donde:

$$V = \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$



$b =$ Ancho de la labor (m)

$h =$ Altura de la labor (m)

$L_p =$ Longitud de perforación (m)

$$V = 3.5 \times 2.5 \times 1.30$$

$$V = 11.38 \text{ m}^3$$

• Tonelaje roto

$$TM = V \times dr$$

Donde:

TM = Tonelada métrica de material roto

V = Volumen roto

dr = Densidad de roca

$$TM = 11.38 \times 2.6$$

$$TM = 29.59 \text{ TM}$$

• Factor de carga

a. Metros cúbicos

$$F_c = \frac{\text{kg} - \text{explosivo}}{\text{Volumen Roto}}$$

$$F_c = \frac{12.80}{11.38}$$



$$F_c = 1.12 \text{ kg/m}^3$$

• **Factor de carga lineal**

$$F_c = \frac{\text{kg} - \text{explosivo}}{\text{metro lineal}}$$

$$F_c = \frac{12.8}{1.30}$$

$$F_c = 9.85 \text{ kg/m}$$

• **Factor de potencia**

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

$$F_p = \frac{12.80}{29.59}$$

$$F_p = 0.43 \text{ kg/T}$$

Tabla 16.

Resumen de resultados en la voladura anterior

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA ANTERIOR	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
kg/ disparo	12.80 kg.
Volumen	11.38 m ³ .
Toneladas	29.59 TM
Factor de carga	1.12 kg/m ³ .
Factor de potencia	0.43 kg/TM
Factor de carga lineal	9.85 kg/m.

4.8. COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA ANTERIOR:

Los costos de mano de obra, materiales de perforación, accesorios de perforación, máquina perforadora, materiales de voladura, herramientas e implementos de seguridad se especifican en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17.

Costo de mano de obra

MANO DE OBRA DIRECTA	NUMERO DE PERSONAL	JORNAL EN SOLES	COSTO US\$/DISPARO
Capataz de Mina	1	85	29.31
Perforista	1	80	27.58
Ayudante perforista	1	75	25.86
Bodeguero	1	75	25.86
SUB TOTAL		315	108.61
	LEYES SOCIALES 65%		70.59
	COSTO TOTAL		179.2

Tabla 18.

Costo de materiales de perforación

Accesorios	Cantidad	Costo US\$/unidad	Vida útil Pies perf.	Pies perforados	US\$/Pie Perf.	US\$/disparo
Barra cónica 5 pies	1	95	1100	180	0.09	16.2
Broca de 38 mm.	1	25	400	180	0.06	10.8
		COSTO TOTAL				27.00

Tabla 19.

Costo de accesorios de perforación

Mangueras y Accesorios	Unidad	Cantidad	Costo US\$	Vida útil/días	US\$/disparo
Manguera de 1/2" O	metros	30	1.5	150	0.3
Manguera de 1" O	metros	30	3.5	120	0.88
Aceite de perforación	Galones	0.25	10.5	1	2.63
		COSTO TOTAL			3.81

Tabla 20.

Costo de máquina perforadora

EQUIPO	COSTO US\$	VIDA		Pies Perf.	US\$/disparo
		UTIL Pies Perf	US\$/Pies		
Máquina perforadora	5200	120000	0.04	180	7.2

Tabla 21.

Costo de materiales de voladura

Descripción	Unidad	Costo US\$	Cantidad/disp.	US\$/disparo
Semexa 65%	Cartuchos	0.56	160	89.6
Fulminante N° 8	Capsulas	0.46	34	15.64
Mecha de Seguridad	Metros	0.52	62.18	32.33
COSTO TOTAL				137.57

Tabla 22.

Costo de herramientas y otros materiales

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US\$/unidad	Vida útil días	Costo US\$/disparo
Barretillas	Unidad	1	10.4	60	0.17
Lampas	Unidad	1	11.5	120	0.10
Picos	Unidad	1	11.7	120	0.10
Alambre	Kg.	0.25	1.5	1	0.38
Llave stilson	Unidad	1	14.5	360	0.04
Atacador de madera	Unidad	1	2.6	45	0.06
COSTO TOTAL					0.85



Tabla 23.

Costo de implementos de seguridad

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo US\$/unidad	Vida útil días	Costo US\$/disparo
Casco	Pieza	1	12.8	300	0.04
Guantes de cuero	Pieza	1	4.85	25	0.19
Correas porta lámparas	Pieza	1	5.7	300	0.02
Botas de jebe	Pieza	1	22.15	180	0.12
Mameluco	Pieza	1	23.65	180	0.13
Respiradores	Pieza	1	25.75	180	0.14
Filtro de respirador	Pieza	1	5.7	15	0.38
Tapón de oídos	Pieza	1	2.55	120	0.02
Ropa de jebe	Pieza	1	33.6	120	0.28
Lentes de seguridad	Pieza	1	10.55	120	0.09
Lámpara de batería	Pieza	1	115.5	120	0.96
COSTO TOTAL					2.37

Tabla 24.

Resumen de costos de perforación y voladura anterior

Costos por disparo	
Descripción	US\$ Total
Mano de obra	179.20
Máquina perforadora	7.20
Materiales de perforación	30.81
Materiales de voladura	137.57
Herramientas y otros materiales	0.85
Implemento de seguridad	2.37

4.9. Diseño de la nueva malla de perforación

De acuerdo al análisis de la malla de perforación anterior, el mismo que ha tenido una serie de deficiencias en su aplicación como tal se ha realizado el diseño de la nueva malla de perforación según las características geológicas y geomecánicas de la roca encajonante. (Ver Tabla 25 y Figura 3).

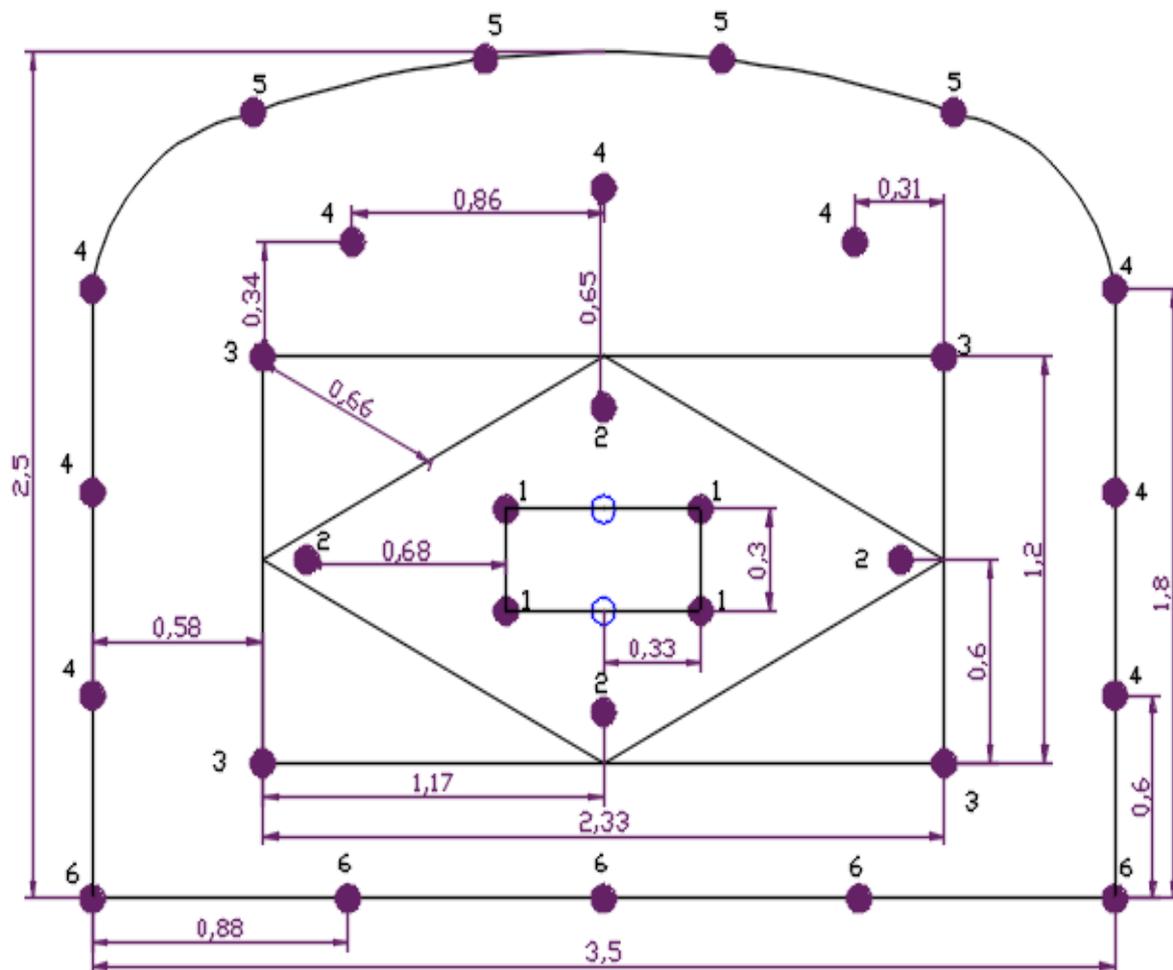


Figura 3: Diseño de la nueva malla de perforación optimizada



Tabla 25.

Distribución de taladros en la optimización

Secuencia de Salida del Disparo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
	Arranque	1ra Ayuda	2da Ayuda	Ayudas alza	Cuadradores	Alza	Arrastre

Tabla 26.
Control de tiempo de perforación optimizada

FECHA	CONTROL DE TIEMPOS DE TALADROS DE PERFORACION OPTIMIZADA DEL MES DE SETIEMBRE										
	Alivio	Arranque	1° Ayuda arranque	2° Ayuda arranque	Cuadradores	Ayudas Alza	Alzas	Arrastres	Tiempo total de perforación	Avance lineal (metros)	
Lunes 01/09/2014	00:03:41	00:03:51	00:03:49	00:03:55	00:04:08	00:04:07	00:04:17	00:04:18	2:09:29	1.42	
Martes 02/09/2014	00:03:48	00:03:50	00:03:50	00:03:52	00:04:12	00:04:09	00:04:12	00:04:22	2:10:01	1.38	
Miércoles 03/09/2014	00:03:32	00:03:52	00:03:53	00:03:54	00:04:11	00:04:05	00:04:11	00:04:21	2:09:30	1.38	
Jueves 04/09/2014	00:03:45	00:03:56	00:03:51	00:03:52	00:04:10	00:04:07	00:04:14	00:04:20	2:10:03	1.40	
Viernes 05/09/2014	00:03:42	00:03:57	00:03:50	00:03:57	00:04:09	00:04:09	00:04:15	00:04:21	2:10:26	1.39	
Sábado 06/09/2014	00:03:44	00:03:54	00:03:54	00:03:54	00:04:08	00:04:08	00:04:17	00:04:20	2:10:16	1.43	
Lunes 08/09/2014	00:03:45	00:03:58	00:03:48	00:03:56	00:04:07	00:04:07	00:04:15	00:04:22	2:10:11	1.42	
Martes 09/09/2014	00:03:46	00:03:56	00:03:51	00:03:52	00:04:06	00:04:09	00:04:17	00:04:21	2:10:04	1.44	
Miércoles 10/09/2014	00:03:41	00:03:57	00:03:50	00:03:54	00:04:09	00:04:09	00:04:18	00:04:20	2:10:19	1.43	
Jueves 11/09/2014	00:03:45	00:03:54	00:03:51	00:03:58	00:04:09	00:04:07	00:04:14	00:04:19	2:10:08	1.43	
Viernes 12/09/2014	00:03:47	00:03:56	00:03:49	00:03:57	00:04:09	00:04:09	00:04:15	00:04:22	2:10:33	1.43	
Sábado 13/09/2014	00:03:45	00:03:54	00:03:48	00:03:54	00:04:14	00:04:06	00:04:14	00:04:14	2:09:42	1.37	
Lunes 15/09/2014	00:03:45	00:03:52	00:03:52	00:03:52	00:04:05	00:04:05	00:04:15	00:04:20	2:09:19	1.40	
Martes 116/09/2014	00:03:46	00:03:56	00:03:49	00:03:56	00:04:15	00:04:06	00:04:15	00:04:18	2:10:34	1.39	
Miércoles 17/09/2014	00:03:45	00:03:51	00:03:50	00:03:57	00:04:09	00:04:09	00:04:15	00:04:18	2:09:53	1.36	
Jueves 18/09/2014	00:03:48	00:03:57	00:03:51	00:03:52	00:04:11	00:04:07	00:04:15	00:04:19	2:10:18	1.41	
Viernes 19/09/2014	00:03:43	00:03:58	00:03:52	00:03:54	00:04:10	00:04:10	00:04:14	00:04:22	2:10:38	1.42	
Sábado 20/09/2014	00:03:47	00:03:57	00:03:51	00:03:56	00:04:11	00:04:09	00:04:14	00:04:19	2:10:34	1.40	
Lunes 22/09/2014	00:03:46	00:03:57	00:03:50	00:03:57	00:04:10	00:04:06	00:04:13	00:04:21	2:10:23	1.40	
Martes 23/09/2014	00:03:47	00:03:56	00:03:51	00:03:53	00:04:12	00:04:07	00:04:14	00:04:20	2:10:23	1.41	
Miércoles 24/09/2014	00:03:49	00:03:54	00:03:51	00:03:55	00:04:11	00:04:05	00:04:15	00:04:22	2:10:29	1.38	
Jueves 25/09/2014	00:03:49	00:03:56	00:03:52	00:03:54	00:04:14	00:04:05	00:04:14	00:04:21	2:10:46	1.43	
Viernes 26/09/2014	00:03:45	00:03:58	00:03:48	00:03:57	00:04:08	00:04:08	00:04:17	00:04:19	2:10:17	1.39	
TIEMPO PROMEDIO	00:03:45	00:03:55	00:03:50	00:03:55	00:04:10	00:04:07	00:04:15	00:04:20	02:10:11	1.40	

4.9.1. Control de tiempo de perforación optimizada

El control de tiempo de perforación optimizada se especifica en el Cuadro 5.22

Tabla 27.

Control de tiempos de perforación optimizada

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:m:s)	Tiempo total de perforación
Alivio	2	00:03:45	00:07:30
Arranque	4	00:03:55	00:15:40
1° Ayuda arranque	4	00:03:50	00:15:20
2° Ayuda arranque	4	00:03:55	00:15:40
Cuadradores	6	00:04:10	00:25:00
Ayudas alza	3	00:04:07	00:12:21
Alzas	4	00:04:15	00:17:00
Arrastres	5	00:04:20	00:21:40
Total/disparo	32	00:04:02	02:10:11

Tabla 28.

Resultados obtenidos en la perforación optimizada

Parámetros obtenidos		
Tiempo de perforación del frente	02:10:11	Hora:Minuto:Segundo
Longitud de perforación/taladro	1.5	Metros
N° de taladros perforados	32	Taladros
Longitud total perforados/disparo	48	Metros
Tiempo promedio de perforación/taladro	00:04:01	Hora:Minuto:Segundo

4.9.2. Voladura optimizada en la galería Anaconda

Para obtener una voladura eficiente del frente de la galería se han tenido en cuenta las características estructurales del macizo rocoso, y sea seleccionado el explosivo Semexa 65% y también se ha considerado el confinamiento en carguío de taladros.

Tabla 29.

Consumo de explosivo en la voladura optimizada

Consumo del explosivo Semexa 65%					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartuchos/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	6	24	0.08	1.92
1° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.60
2° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.60
Cuadradores	6	4	24	0.08	1.92
Ayudas alza	3	4	12	0.08	0.96
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	5	4	20	0.08	1.60
Total/Disparo	32		136		10.88

a) Datos de campo

- Densidad de roca : 2.6
- Sección de la galería : 3.5 m x 2.5 m
- Diámetro de taladro de producción: 0.038 mm
- Longitud de barreno de perforación: 5 pies = 1.5 m



b) Volumen roto

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

Donde:

$$V = \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$

$$B = \text{Ancho de la labor (m)}$$

$$h = \text{Altura de la labor (m)}$$

$$Lp = \text{Longitud de perforación (m)}$$

$$V = 3.5 \times 2.5 \times 1.40$$

$$V = 12.25 \text{ m}^3$$

• Tonelaje roto

$$TM = V \times dr$$

Donde:

$$TM = \text{Tonelada métrica de material roto}$$

$$V = \text{Volumen roto}$$

$$dr = \text{Densidad de roca}$$

$$TM = 12.25 \times 2.6$$

$$TM = 31.85 \text{ TM}$$



• **Factor de carga**

$$F_c = \frac{\text{kg} - \text{explosivo}}{\text{Volumen Roto}}$$

$$F_c = \frac{10.88}{12.25}$$

$$F_c = 0.89 \text{ kg/m}^3$$

• **Factor de carga lineal**

$$F_c = \frac{\text{kg} - \text{explosivo}}{\text{metro lineal}}$$

$$F_c = \frac{10.88}{1.40}$$

$$F_c = 7.77 \text{ kg/m}$$

• **Factor de potencia**

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

$$F_p = \frac{10.88}{31.85}$$

$$F_p = 0.34 \text{ kg/TM}$$

Tabla 30.*Resumen de resultados en la voladura optimizada*

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA OPTIMIZADA	
Descripción	Unidad de medida
kg/ m	7.77 kg.
Volumen	12.25 m ³ .
Toneladas	31.85 TM
Factor de carga	0.89 kg/m ³ .
Factor de potencia	0.34kg/TM
Factor de carga lineal	7.77 kg/m.

4.9.3. Costo de perforación y voladura optimizada:

Los costos de mano de obra, materiales de perforación, accesorios de perforación y otros se especifican en las Tablas 31 y 32.

Tabla 31.*Costo de mano de obra*

Mano de obra directa	Número de personal	Jornal en soles	Costo US\$/disparo
Capataz de mina	1	85	29.31
Perforista	1	80	27.58
Ayudante perforista	1	75	25.86
Bodeguero	1	75	25.86
SUB TOTAL		315	108.61
		LEYES SOCIALES 65%	70.59
		COSTO TOTAL	179.20

Tabla 32.

Costo de materiales de perforación

Accesorios	Cantidad	Costo US\$/unidad	Vida útil pies perf.	Pies perforados	US\$/pie perf.	US\$/disparo
Barra cónica 5 pies	1	95	1100	160	0.09	14.40
Broca de 38 mm.	1	25	400	160	0.06	9.60
COSTO TOTAL						24.00

Tabla 33.

Costo de accesorios de perforación

Mangueras y accesorios	Unidad	Cantidad	Costo US\$	Vida útil/días	US\$/disparo
Manguera de 1/2" O	Metros	30	1.5	150	0.3
Manguera de 1" O	Metros	30	3.5	120	0.88
Aceite de perforación	Galones	0.25	10.5	1	2.63
COSTO TOTAL					3.81

Tabla 34.

Costo de máquina perforadora

Equipo	Costo US\$	Vida útil pies perf	US\$/pies	Pies perf.	US\$/disparo
Máquina perforadora	5200	120000	0.04	160	6.4
TOTAL					6,40

Tabla 35.

Costo de materiales de voladura

Descripción	Unidad	Costo US\$	Cantidad/disp.	US\$/disparo
Semexa 65%	Cartuchos	0.56	136	76.16
Fulminante N° 8	Capsulas	0.46	30	13.80
Mecha de Seguridad	Metros	0.52	54.86	28.53
COSTO TOTAL				118.49

Tabla 36.*Costo de herramientas y otros materiales*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo	Vida útil	Costo
			US\$/unidad	días	US\$/disparo
Barretillas	Unidad	1	10.4	60	0.17
Lampas	Unidad	1	11.5	120	0.10
Picos	Unidad	1	11.7	120	0.10
Alambre	Kg.	0.25	1.5	1	0.38
Llave stilson	Unidad	1	14.5	360	0.04
Atacador de madera	Unidad	1	2.6	45	0.06
COSTO TOTAL					0.85

Tabla 37.*Costo de implementos de seguridad*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo	Vida	Costo
			US\$/unidad	útil días	US\$/disparo
Casco	Pieza	1	12.8	300	0.04
Guantes de cuero	Pieza	1	4.85	25	0.19
Correas porta lámpara	Pieza	1	5.70	300	0.02
Botas de jebe	Pieza	1	22.15	180	0.12
Mameluco	Pieza	1	23.65	180	0.13
Respiradores	Pieza	1	25.75	180	0.14
Filtro de respirador	Pieza	1	5.70	15	0.38
Tapón de oídos	Pieza	1	2.55	120	0.02
Ropa de jebe	Pieza	1	33.6	120	0.28
Lentes de seguridad	Pieza	1	10.55	120	0.09
Lámpara de batería	Pieza	1	115.5	120	0.96
COSTO TOTAL					2.37



Tabla 38.

Resumen de costos de perforación y voladura optimizada

Descripción	US\$ Total
Mano de obra	179.20
Máquina perforadora	6.40
Materiales de perforación	27.81
Materiales de voladura	118.49
Herramientas y otros materiales	0.85
Implementos de seguridad	2.37
COSTO TOTAL	335.12

4.10. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis 1

Con el diseño de la malla de perforación se optimizará los costos de desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

4.10.1. Resultados comparativos de perforación

a) Malla de perforación anterior

En el diseño de la malla de perforación anterior en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska no se han considerado las características estructurales del macizo rocoso. En esta malla de perforación se han utilizado 36 taladros de 1.52 m, de los cuales 02 taladros son de alivio.

Tabla 39.*Distribución de taladros anterior*

Descripción	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Sub ayuda	4
Cuadradores	10
Alzas	4
Arrastres	4
Total/disparo	36

b) Malla de perforación optimizado

Para diseñar la nueva malla de perforación en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska, se ha realizado los cálculos, considerando las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, se ha determinado 32 de taladros perforados de los cuales 2 taladros son de alivio.

Tabla 40.*Distribución de taladros optimizados.*

Descripción	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Cuadradores	6
Ayudas alza	3
Alzas	4
Arrastres	5
Total/disparo	32



Del análisis de resultados (antes y después), se concluye, que aplicando el nuevo diseño de malla de perforación se han reducido 04 taladros, en comparación a la malla de perforación anterior.

Hipótesis 2

Seleccionando la carga explosiva adecuada se reducirán los costos de voladura en la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

4.10.2. Resultados comparativos de voladura

a) Carga explosiva anterior

En la voladura anterior se ha utilizado mayor cantidad de explosivo debido a la mala distribución y carguío a los taladros, se ha utilizado Semexsa 65% y mecha de seguridad.

Tabla 41.

Datos de la carga explosiva anterior

Descripción	Unidad de medida
Kg/m	9.84 kg
Factor de carga	1.12 kg/m ³
Factor de potencia	0.43 kg/TM
Factor de carga lineal	9.85 kg/m
Fulminante N° 8	34 Cápsulas
Mecha de seguridad	62.18 m

b) Carga explosiva seleccionada

Según características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso se ha seleccionado el explosivo Semexa 65%, y mecha seguridad, los resultados se

muestran en la Tabla

Tabla 42.

Datos de la carga explosiva optimizada

Descripción	Unidad de medida
Kg/m	7.77 kg.
Factor de carga	0.89 kg/m ³
Factor de potencia	0.34 kg/TM
Factor de carga lineal	7.77 kg/m
Fulminante N° 8	30 cápsulas
Mecha de seguridad	54.86 m

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se comparan con los resultados del proyecto de explotación y desarrollo de la mina El Cofre, trabajo de tesis nuevo diseño de la malla de perforación para mejorar la perforación y voladura realizado por el Ingeniero Chahuares Sairitupa Félix, en donde los taladros se han reducido de 41 taladros a 36 taladros, el consumo de explosivos se ha reducido de 13.8 kg/m a 7.39 kg/m.

4.11. RESULTADOS DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

1. Costos de perforación y voladura anterior

En la perforación y voladura anterior se obtuvieron altos costos de perforación y voladura debido a la utilización de una malla de perforación no acorde a las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso y también se ha utilizado mucha carga explosiva en el carguío de taladros, los resultados se muestran en la Tabla



2. Costos de perforación y voladura optimizado

Al utilizar el nuevo diseño de la malla de perforación y selección de carga explosiva en el carguío de taladros y confinamiento correspondiente para una eficiente explosión, se ha reducido los costos de perforación y voladura en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska, los resultados se muestran en la Tabla

Tabla 43.

Comparación de costos de perforación y voladura

COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	ANTERIOR US\$	OPTIMIZADO US\$	DIFERENCIA US\$
Mano de obra	179,20	179,20	-
Equipo de perforación	7,20	6,40	0,80
Materiales de perforación	30,81	27,81	3,00
Materiales de voladura	137,57	118,49	19,08
Implementos de seguridad	2,37	2,37	-
Herramientas y otros materiales	0,85	0,85	-
Costo/ disparo	358,00	335,12	22,88

De acuerdo al análisis de costos de perforación y voladura se discute que antes de la optimización, los costos de mano de obra eran: US\$ 179,20, equipo de perforación US\$ 7,20, materiales de perforación US\$ 30,81, materiales voladura US\$ 137,57, implementos de seguridad US\$ 2,37, herramientas y otros materiales US\$ 0,85, haciendo un total de US\$ 358,00.

Según el análisis de costo de perforación y voladura optimizado, se tiene que el costo de mano de obra es: US\$ 179,20, equipo de perforación US\$ 6,40, materiales de perforación US\$ 27,81, materiales voladura US\$ 118,49, implementos de seguridad US\$ 2,37, herramientas y otros materiales US\$ 0,85, haciendo un total de US\$ 335,12.

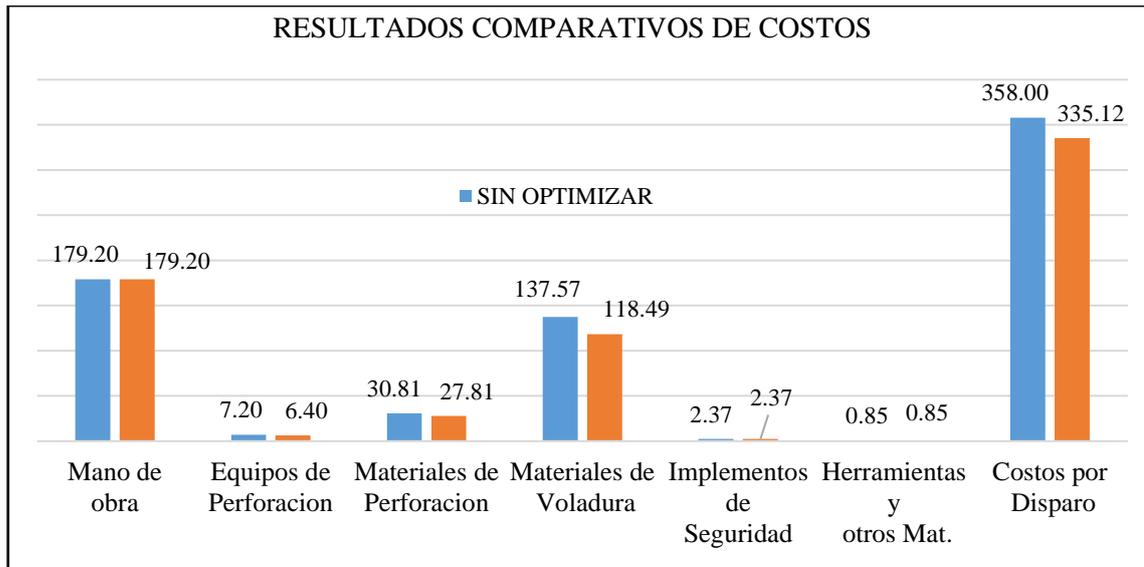


Figura 4. Resultados comparativos de costos

En ambos casos (antes y después), el costo de mano de obra, costo de implementos de seguridad y costo de herramientas y otros materiales son iguales debido a que las operaciones de perforación y voladura se han realizado con la misma cantidad de personal.

4.12. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

De acuerdo a los cálculos y análisis de resultados de perforación y voladura antes y después de la optimización, se demuestra que hay una diferencia en los parámetros y costos de perforación y voladura en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska. (Ver Tabla 44)

Tabla 44.*Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura*

Descripción	Unidad de Medida	Antes	Después	Diferencia
Taladros perforados	Taladro	36.0	32.0	4.0
Taladros cargados	Taladro	34.0	30.0	4.0
Dinamita SEMEXSA 65%	Cartuchos	160.0	136.0	24.0
Fulminante N° 8	Capsulas	34.0	30.0	4.0
Mecha de seguridad	Metro	62.2	54.9	7.3
kg/disparo	Kilogramos	12.8	10.9	1.9
Factor de carga	kg/m ³	1.1	0.9	0.2
Factor de potencia	kg/TM	0.4	0.3	0.1
Factor de carga lineal	kg/m	9.9	7.8	2.1
Avance lineal	Metro	1.3	1.4	0.1
Tiempo prom. de perforación/disp.	h:min:s	02:28:36	02:10:11	00:18:25
Tiempo prom. de perforación/ taladro	h:min:s	00:04:09	00:04:01	00:00:08

Fuente: Elaboración propia.

- En la voladura anterior se ha utilizado el explosivo Semexsa 65%, en total de 160 cartuchos, fulminante N° 8, 34 unidades, mecha de seguridad 62.18 metros, factor de carga 1,12 kg/m³, factor de potencia 0,43 kg/TM, factor de carga lineal 9,84 kg/m, con un avance lineal de 1,30 metros.

- En la voladura optimizado se utilizó el explosivo Semexsa 65%, en total de 136 cartuchos, fulminante N° 8, 30 unidades, mecha de seguridad 54,86 m, factor de carga 0,89 kg/m³, factor de potencia 0,34 kg/TM, factor de carga lineal 7,77 kg/m, con un avance lineal de 1,40 metros. (ver Figura 5)

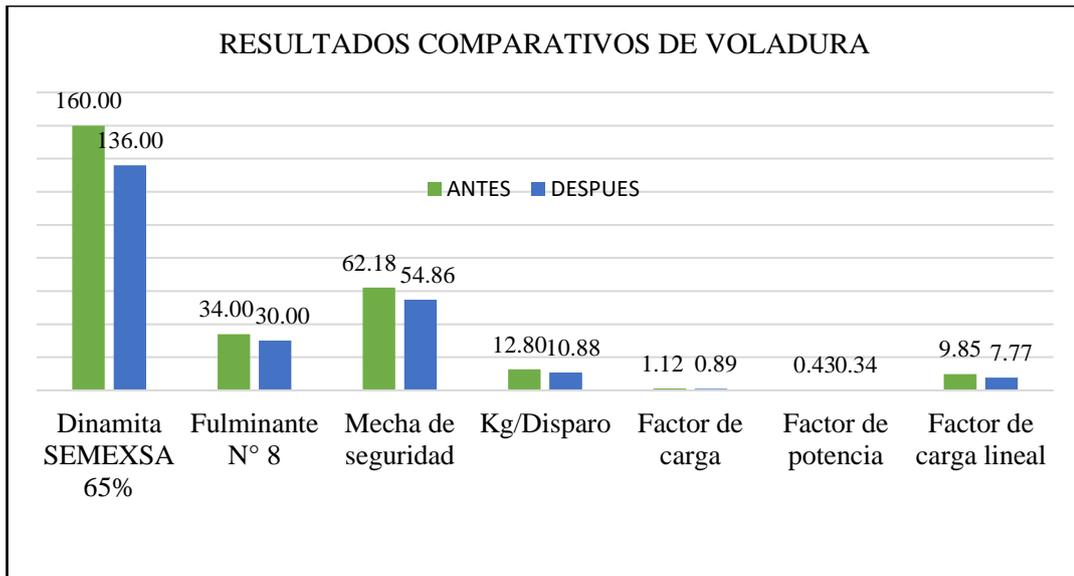


Figura 5. Resultados comparativos de voladura

En el diseño de la perforación anterior se ha utilizado 36 taladros perforados y con el nuevo diseño de la malla de perforación se redujo a 32 taladros perforados, haciendo una diferencia de 04 taladros, en ambos casos se ha utilizado el corte quemado de 06 taladros de 5 pies, de los cuales 02 taladros son de alivio. (ver Figura 6)

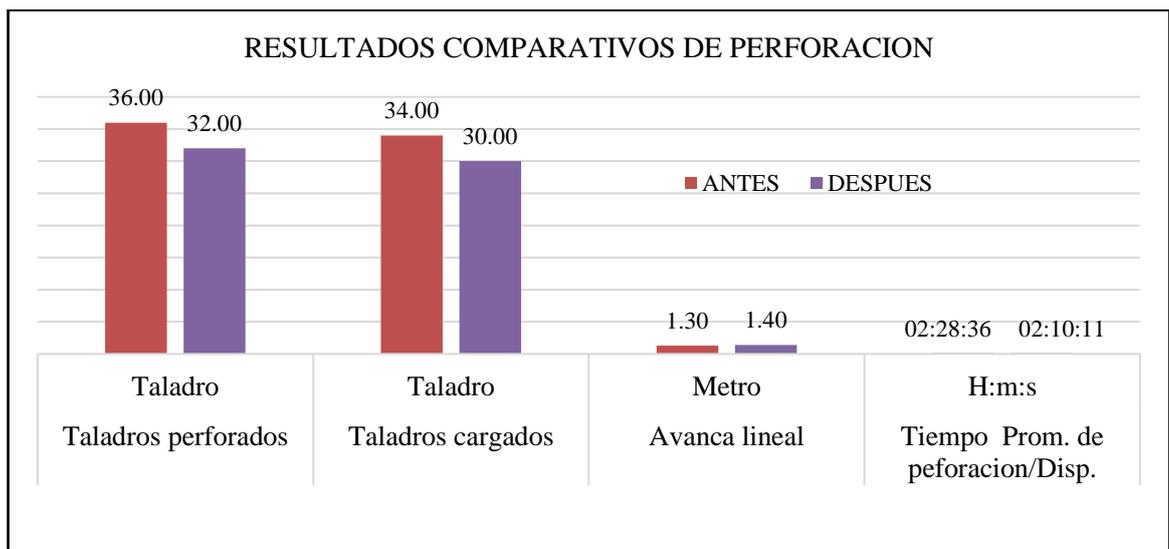


Figura 6. Resultados comparativos de perforación



Según el análisis de resultados de la perforación anterior y el optimizado se concluye que la granulometría en la voladura anterior no ha sido informe, presentando en algunos disparos dimensiones de roca mayores a 35 cm, y el avance lineal en un promedio de 1.30 m, el volumen obtenido ha sido un promedio de 11.38 m³, un tiempo total por disparo de 02:28:36 (h:min:s) y una eficiencia por disparo de 85% y un costo de perforación y voladura de 358.0 \$ USA.

Y con el nuevo diseño de la malla de perforación y la carga explosiva adecuada se ha logrado una granulometría de tamaño < a 25 cm, el avance lineal un promedio de 1.40m el volumen obtenido de 12.25m³, un tiempo total por disparo de 02:10:11(h:min:s), una eficiencia de perforación de 92 %, y un costo de perforación y voladura de 335.12 \$ USA.

Finalmente se concluye que de acuerdo al análisis de costos (antes y después) se concluye que los costos se han reducido de 275.38 \$/m a 239.37 \$/m haciendo una diferencia de 36.01 \$/m.



V. CONCLUSIONES

Utilizando el nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska los taladros se han reducido de 36 a 32 taladros perforados de 1,52 metro con una diferencia de 04 taladros.

En la voladura de frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska, el consumo de explosivo Semexa 65%, se ha reducido 9,84 kg/m. a 7,77 kg/m, haciendo una diferencia de 2,11 kg/m.

Con la aplicación de nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se ha reducido de 275,38 US\$/m a 239,37 US\$/m en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

Mediante el nuevo diseño de la malla de perforación, los parámetros de perforación y voladura se redujeron el factor de carga de 1,12 Kg/m³ a 0,89 kg/m³, factor de potencia de 0,43 kg/TM a 0,34 kg/TM y factor de carga lineal de 9,85 kg/m a 7,77 kg/m., el tiempo de perforación por disparo se ha reducido de 02:29:36 a 02:10:11. en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.



V. RECOMENDACIONES

Los tiempos de perforación por taladro dependen de la habilidad del perforista, entonces los tiempos de perforación se pueden reducir, dependiendo del tipo de roca a perforar.

La supervisión, es un factor importante para el cumplimiento de las tareas y objetivos de la Unidad Minera Kori Chaska y por ende la reducción de costos.

Se debe cumplir los parámetros de diseño de la nueva malla de perforación, sistema de carguío de taladros, y el buen confinamiento para obtener una buena fragmentación del macizo rocoso y minimizar los costos de perforación y voladura en el frente de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

Los taladros de producción es posible reducir, utilizando otro tipo de corte y un nuevo diseño de la malla de perforación a utilizar, por lo que se recomienda realizar el estudio correspondiente para lograr la malla óptima.



VII. REFERENCIAS

- Aquino, A. E. (2007). *Túneles y Diseño de Excavaciones Subterráneas* Texto guía: UNA- Puno.
- Camac, T. A. (2001). *Voladura de rocas*, Texto guía; UNA- Puno.
- Camac, T.A. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM- UNA. Puno.
- Chahuares, S. F. (2012). *Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo Mina EL COFRE”*
- Chambi, F. A. (2011). *Optimización de Perforación y Voladura en la Ejecución de la Rampa 740 – Unidad Vinchos – Volcan S.A.A.*
- Carreón Q. J. (2001). *Optimización de perforación voladura en la rampa principal 523 sistema mecanizado*, Mina San Rafael.
- Exsa (2001). *Manual práctico de voladura edición especial Perú”*
- Famesa Explosivos (2008). *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea.*
- Flores, R. A. (2001). *Tesis: Desarrollo de la rampa 4-100S. por la Contrata minera Zicsa en la Cía. Minera Caylloma S.A.*
- Instituto en Seguridad Minera, ISEM (2010). *D.S. N° 024-2016- EM. -Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.*
- Laubacher, G. (1973). *Estudio geológico de la Zona Norte de Puno.*
- Lopez, J. C. (1997). *Manuel de Túneles y Obras Subterráneas”*, Madrid: Gráficas Arias Montano.
- Lupaca, M. J. (2009). *Costos en operaciones Minera Unitarias Subterráneas*
- Rodríguez, V. R. (2011), *Mejoramiento de Operaciones Unitarias en Labores de Desarrollo en Minería Subterránea*, Unidad Minera EL COFRE.



Torres, G. A. (2001), *Superintendente general Vinchos: Fuentes de recolección de datos orales de sus experiencias.*

Ticlavilca, P. E. (2010), *Diseño de perforación voladura en el tajo Susan de la Unidad Cori Huarmi CIA. Minera I.R.L.*

Vargas, V. E. (2009), *Tesis: Voladura controlada en labores de desarrollo y preparación de la mina Animon Chungar S.A.C.*



ANEXOS



Anexo N° 01: Formato de cuadros representativos para recolección de datos

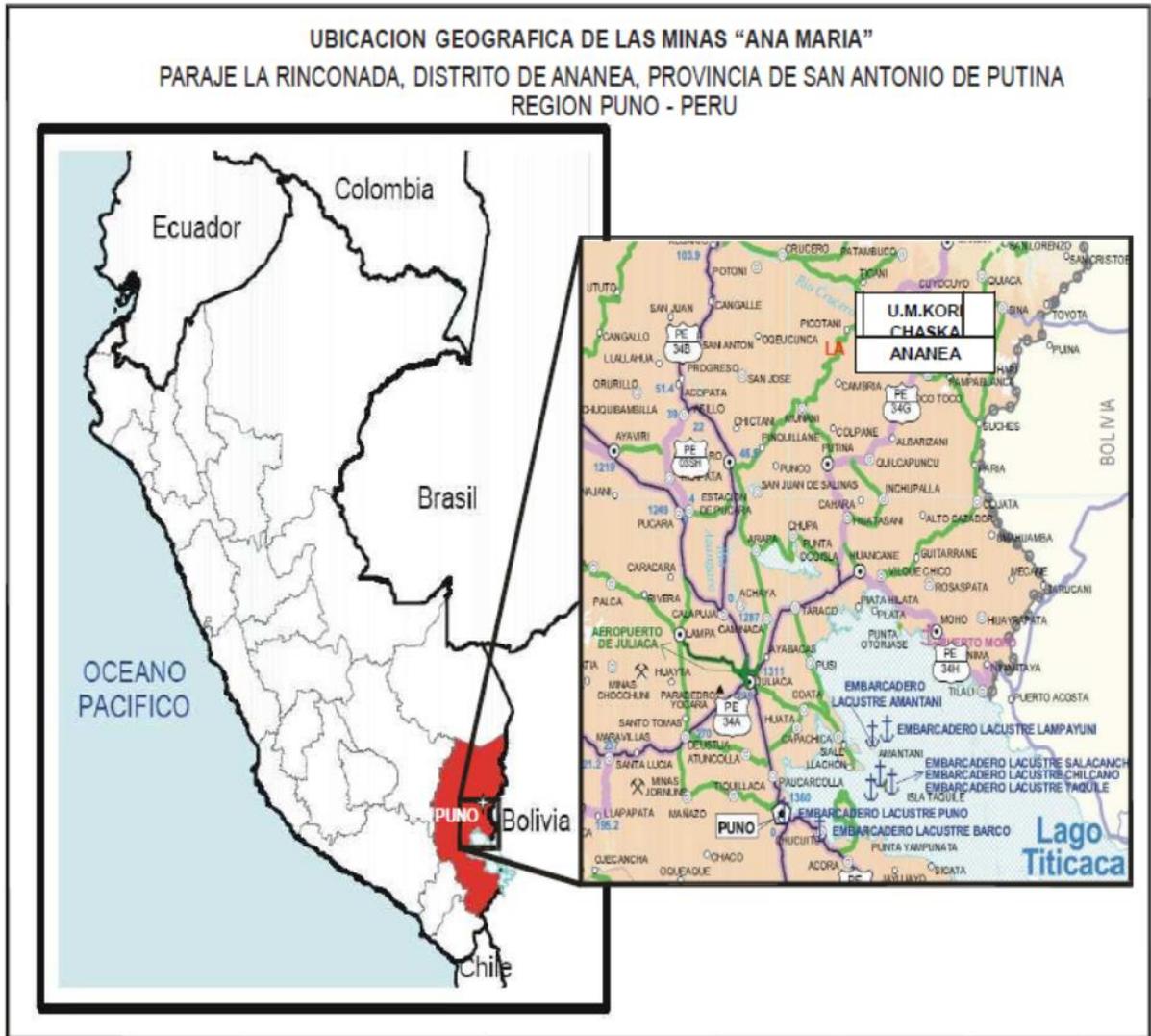
DISTRIBUCIÓN DE TALADROS ANTERIOR

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:min :s)	Tiempo total de perforación
Alivio	2	0:03:55	0:07:50
Arranque	4	0:04:05	0:16:20
1° Ayuda arranque	4	0:04:10	0:16:40
2° Ayuda arranque	4	0:04:03	0:16:12
Sub ayuda	4	0:04:06	0:16:24
Cuadradores	10	0:04:05	0:40:50
Alzas	4	0:04:15	0:17:00
Arrastres	4	0:04:35	0:18:20
Total/Disparo	36	0:04:09	02:29:36

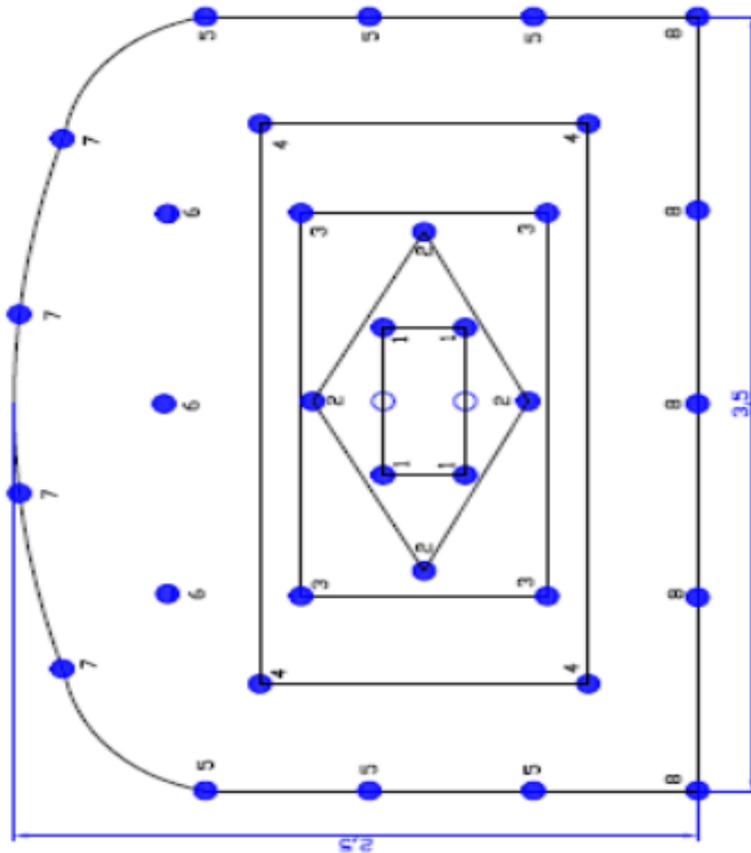
CONSUMO DE EXPLOSIVOS EN VOLADURA ANTERIOR

Taladros	Consumo del explosivo dinamita 65% (kg)				Distribución de explosivos (kg)
	N° de Taladros	N° de cartuchos/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0.08	2.24
1° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.6
2° Ayuda arranque	4	5	20	0.08	1.6
Sub ayuda	4	4	16	0.08	1.28
Cuadradores	10	4	40	0.08	3.2
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	4	5	20	0.08	1.6
Total/disparo	36		160		12.8

Anexo N° 02: Ubicación geográfica la Unidad Minera Kori Chaska



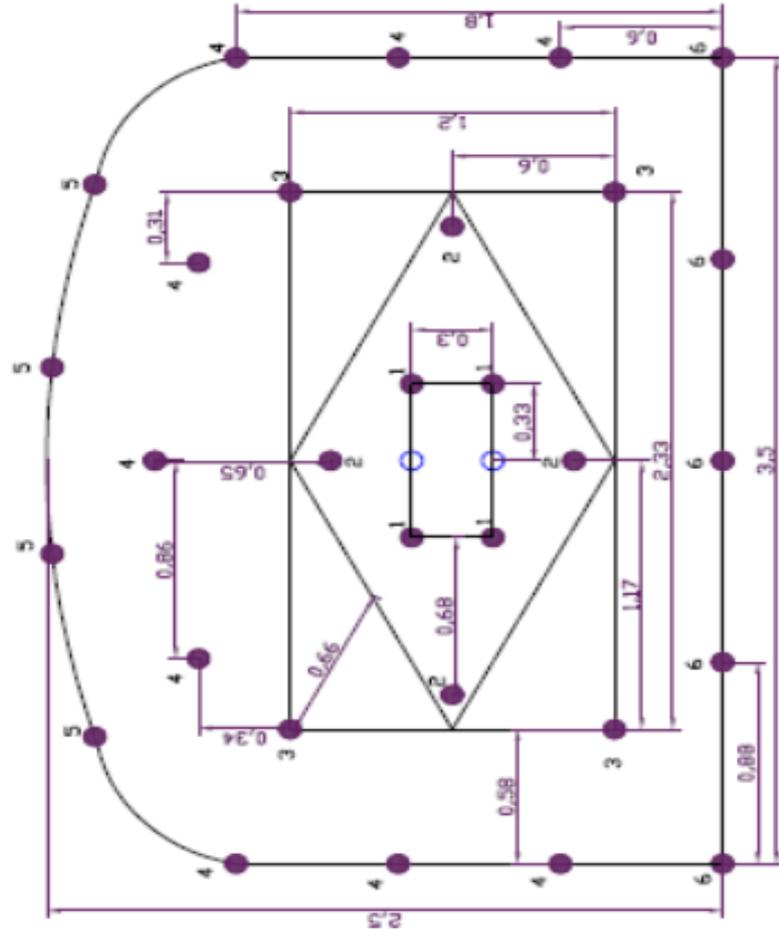
ANEXO 03 MALLA DE PERFORACION NO OPTIMIZADO



DIÁMETRO DE TALADROS DE ALIVIO	0.036
DIÁMETRO DE TALADROS DE PRODUCCIÓN	0.098
LONGITUD DE TALADROS	1.50m
N° DE TALADROS PERFORADOS	35
N° DE TALADROS DE ALIVIO	2
N° DE TALADROS DE PRODUCCIÓN	34

TIPO DE TALADRO	N° DE TAL.	GUIA (m)	FULMIN. Capsulas	CARTUCHOS Cart./Tid.	TOTAL CARTUCHOS
ALIVIO	2		0	0	
ARRANQUES	4	7.2	4	7	28
1° AYUDAS ARRANQ.	4	7.2	4	5	20
2° AYUDAS ARRANQ.	4	7.2	4	5	20
AYUDAS ALZA	4	17.2	4	4	16
CUADRADORES	10	18.0	10	4	40
ALZAS	4	7.2	4	4	16
ARRASTRES	4	7.2	4	5	20
TOTAL DE CARTUCHOS DE SEMEXA 65%					160
KILOS TOTALES DE EXPLOSIVO (Kg)					12.80
VOLUMEN ROTO DE ROCA(m ³)					11.38
FACTOR DE POTENCIA (Kg/m ³)					0.43

ANEXO 04 MALLA DE PERFORACION OPTIMIZADO



DIAMETRO DE TALADROS DE ALIVIO	0.038
DIAMETRO DE TALADROS DE PRODUCCION	0.038
LONGITUD DE TALADROS	1.50m
N° DE TALADROS PERFORADOS	32
N° DE TALADROS DE ALIVIO	2
N° DE TALADROS DE PRODUCCION	30

TIPO DE TALADRO	N° DE TAL.	GUIA (m)	FULMIN. Capsulas Cart./Tal.	CARTUCHOS TOTAL
ALIVIO	2		0	0
ARRANQUES	4	7.2	4	6
1° AYUDAS ARRANQ.	4	7.2	4	5
2° AYUDAS ARRANQ.	4	7.2	4	5
CUADRADORES	6	10.8	6	4
AYUDAS ALZA	3	5.4	3	4
ALZAS	4	7.2	4	4
ARRASTRES	5	9.0	5	4
TOTAL DE CARTUCHOS DE SEMEXA 65%				136
KILOS TOTALES DE EXPLOSIVO (Kg)				10.88
VOLUMEN ROTO DE ROCA(m ³)				12.25
FACTOR DE POTENCIA (Kg/m ³)				0.34

