

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**OPTIMIZACIÓN DE AVANCE LINEAL CON NUEVO DISEÑO DE MALLA EN  
EL FRENTE DE LA GALERÍA SAN JORGE EN LA MINERA AURÍFERA  
CUATRO DE ENERO S.A. – AREQUIPA**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. RONY RONALD PINO CHILI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2019**



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

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE AVANCE LINEAL CON NUEVO DISEÑO DE MALLA EN  
EL FRENTE DE LA GALERÍA SAN JORGE EN LA MINERA AURÍFERA  
CUATRO DE ENERO S.A. – AREQUIPA

PRESENTADA POR:


Bach. RONY RONALD PINO CHILI

INGENIERO DE MINAS


FECHA DE SUSTENTACIÓN: 31-05-19

APROBADA POR LOS JURADOS:

PRESIDENTE DEL JURADO

:   
M.Sc Eugenio Araucano Dominguez


PRIMER MIEMBRO

:   
Ing. David Velásquez Medina

SEGUNDO MIEMBRO

:   
Ing. Arturo Rafael Chaiña Rodriguez

DIRECTOR

:   
Ing. Amílcar Giovanni Terán Dianderas

Área: Ingeniería de Minas  
Tema: Análisis de Costos Mineros

## DEDICATORIA

Con todo cariño para mis padres Carlos y Alejandrina por su gran apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, quienes con su esfuerzo y dedicación han permitido la culminación de mi vida profesional, a mi hermana Katherine por su cariño y confianza, a Faviola por acompañarme durante este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

**RONY RONALD PINO CHILI**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme salud, fortaleza y capacidad permitiéndome concluir con mi objetivo.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por concederme los claustros universitarios para realizar mis estudios superiores hasta lograr el título de Ingeniero de Minas.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, quienes supieron impartir sus conocimientos con mucho esfuerzo, para hacer posible mi preparación profesional y realización de esta tesis.

Mi especial agradecimiento a **la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa** quienes me dieron la oportunidad de realizar el presente trabajo de Investigación.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA. ....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos: .....	2
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION. ....	2
1.3.1. Hipótesis general.....	2
1.3.2. Hipótesis específicos.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO .....	4

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.    Diseño de la malla de perforación y cálculo de carga.....	6
2.2.2. Mecánica de rotura de rocas.....	11
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	13

**CAPÍTULO III****MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	15
3.2. POBLACIÓN.....	16
3.3. MUESTRA. ....	16
3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	16
3.4.1. Variable independiente.....	16
3.4.2. Variable dependiente.....	16
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	17
3.5.1. Instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. UBICACIÓN.....	19
3.7. ACCESIBILIDAD. ....	20
3.8. CLIMA.....	20
3.9. FLORA. ....	20
3.10. FAUNA.....	21
3.11. GEOLOGÍA REGIONAL.....	21
3.12. GEOLOGIA LOCAL.....	24
3.13. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	27
3.14. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....	28
3.14.1. El yacimiento aurífero de Cuatro Horas.....	28
3.14.2. Mineralogía.....	28
3.14.3. Génesis y tipo de yacimiento.....	29
3.14.4 Paragénesis y zonamiento.....	29
3.14.5. Controles mineralógicos.....	30
3.14.6. Alteraciones hidrotermales.....	31
3.14.7. Alteraciones hipógenas.....	31
3.14.8. Alteraciones supérgenas.....	33

**CAPÍTULO IV****RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. DATOS REQUERIDOS PARA EL CÁLCULO.....	34
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	35
4.3. PERFORACIÓN EN LA GALERÍA SAN JORGE .....	36

4.3.1. Tipo de corte.....	36
4. MALLA DE PERFORACIÓN ANTERIOR.....	36
4.4.1. Control de tiempos de perforación anterior.....	37
4.4.2. Voladura en la galería San Jorge.....	39
4.5. DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.....	41
4.5.1. Control de tiempo de perforación optimizada.....	44
4.5.2 Voladura optimizada en la galería San Jorge.....	44
4.6. CONTRASTACION DE LAS HIPÓTESIS.....	47
4.6.1. Resultados comparativos de perforación.....	47
4.6.2. Resultados comparativos de voladura.....	48
4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	49
4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.8.1 Análisis comparativo.....	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Relación de la dureza de la roca con la distancia.....	8
Tabla 2. Relación de la dureza de la roca con el coeficiente.....	8
Tabla 3. Calculo de sección y burden .....	9
Tabla 4.Operacionalizacion de variables .....	17
Tabla 5. Distribución de taladros.....	17
Tabla 6. Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo) .....	18
Tabla 7.Consumo de explosivo Semexa 45% y 65% .....	18
Tabla 8. Distribución de taladros.....	36
Tabla 9. Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo). .....	37
Tabla 10. Resultados obtenidos en la perforación anterior. ....	38
Tabla 11. Consumo de explosivo Semexa 45% en la voladura anterior.....	39
Tabla 12. Resumen del consumo del explosivo y accesorios en voladura anterior.....	39
Tabla 13. Resumen de resultados en la voladura anterior.....	41
Tabla 14. Distribución de taladros en la optimización.....	41
TABLA 15. Control de tiempo de perforación de taladros y avance lineal optimizada.....	43
Tabla 16. Control de tiempos en la perforación optimizada .....	44
Tabla 17. Resultados obtenidos en la perforación optimizada .....	44
Tabla 18. Consumo de explosivos en la voladura optimizada .....	45
Tabla 19. Resumen de resultados en la voladura optimizada.....	47
Tabla 20. Distribución de taladros.....	47
Tabla 21. Distribución de taladros optimizados .....	48
Tabla 22. Resultados en la voladura anterior .....	49
Tabla 23. Resultados en la voladura optimizada .....	49
Tabla 24. Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura .....	50



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Corte quemado .....	36
Figura 2. Malla de perforación anterior .....	38
Figura 3. Diseño de la nueva malla de perforación optimizada .....	42

**LISTA DE ANEXOS**

Anexo 01 Plano de ubicación. ....	58
Anexo 02 Plano de geología Regional.....	59
Anexo 03 Plano de geología Local.....	60

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MACDESA	: Minera Aurífera Cuatro de Enero Sociedad Anónima.
M	: Metros
MM	: Milímetros.
M <sup>3</sup>	: Metro cubico.
KG	: Kilogramo.
TM	: Toneladas métricas.
UTM	: Universal transversal de Mercator.
UM	: Unidad Minera.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa” fue desarrollado en la unidad Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa, que se encuentra ubicado en el distrito de Chaparra, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a 280 km en dirección NW de la ciudad de Arequipa, a 5 km. al NW de poblado de Chaparra, a una altitud de 1930 m.s.n.m, actualmente está desarrollando la Galería San Jorge, con la finalidad de recuperar el mineral económico, dicha galería tiene una longitud proyectada de 350 metros lineales y una sección de 3.00 m x 2.70 m. y hasta la fecha tiene un avance lineal de 130 metros y mediante la evaluación realizada se tiene problemas de avance lineal en un promedio de 1.30 metros por cada disparo realizado y un factor de carga de 1.22 kg/m<sup>3</sup>. De continuar el problema hubiera afectado al presupuesto de la Empresa Minera y al mayor tiempo de culminación de la galería, por lo que se ha planteado como objetivo principal optimizar el avance lineal mediante un nuevo diseño de malla, el tipo y la carga explosiva adecuada en el frente de la Galería San Jorge. La meta propuesta del estudio de investigación ha sido incrementar el avance lineal en un 10 %. La metodología para desarrollar el trabajo de investigación en su primera etapa ha consistido en evaluar todos los procesos de ejecución del avance lineal en la perforación anterior de la Galería San Jorge. El control de las actividades mineras se ha realizado en 20 turnos, en dicho periodo se ha considerado el avance lineal por cada disparo realizado, granulometría, el trazo de perforación, número de taladros, el tipo y la cantidad de explosivos utilizados. En el trabajo de investigación se ha planteado un nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada, según las características de la roca encajonante las pruebas se han realizado en 20 turnos, en donde se ha considerado, el número de taladros, tipo de trazo, burden, espaciamiento, el tipo y la carga explosiva adecuada según las características del macizo rocoso. Los datos se han registrado en las fichas de control. Finalmente se ha llegado a las siguientes conclusiones, con la malla de perforación anterior el avance lineal ha sido de 1,30 metros y con el nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada, se ha optimizado el avance lineal en 1,40 metros, con una diferencia de 0,10 metros, con un total de 32 taladros perforados.

Palabras claves: Avance lineal, diseño de malla, galería, optimización, perforación y voladura.

## ABSTRACT

The present work of investigation titled "Optimization of linear advance with new design of mesh in the front of the gallery San Jorge in the gold mine Cuatro de Enero S.A. - Arequipa" was developed in the Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa, which is located in the district of Chaparra, province of Caravelí, department of Arequipa, 280 km. in NW direction of the city of Arequipa, 5 km. NW of Chaparra town, at an altitude of 1930 m.s.m., is currently developing the San Jorge Gallery, in order to recover the economic mineral, said gallery has a projected length of 350 linear meters and a section of 3.00 m x 2.70 m. and to date it has a linear advance of 130 meters and by means of the evaluation carried out it has problems of lineal advance in an average of 1.30 meters for each shot made and a load factor of 1.22 kg / m<sup>3</sup>. If the problem continued, it would have affected the budget of the Mining Company and the longer time of completion of the gallery, so the main objective has been to optimize the linear advance through a new mesh design, the type and the appropriate explosive charge in the front of the San Jorge Gallery. The proposed goal of the research study has been to increase the linear advance by 10%. The methodology to develop the research work in its first stage has consisted in evaluating all the processes of execution of the linear advance in the previous perforation of the San Jorge Gallery. The control of the mining activities has been carried out in 20 shifts, in this period the linear advance has been considered for each shot made, granulometry, the drilling stroke, number of holes, the type and quantity of explosives used. In the research work has been proposed a new design of perforation mesh, the type and the appropriate explosive charge, according to the characteristics of the casing rock the tests have been carried out in 20 shifts, where it has been considered, the number of drills, type of stroke, burden, spacing, type and adequate explosive charge according to the characteristics of the rock mass. The data has been recorded in the control sheets. Finally the following conclusions have been reached, with the previous perforation mesh the linear advance has been 1.30 meters and with the new design of perforation mesh, the type and the adequate explosive charge, the linear advance has been optimized in 1.40 meters, with a difference of 0.10 meters, with a total of 32 drilled holes in the front.

Keywords: Linear advancement, mesh design, gallery, optimization, drilling and blasting.

## INTRODUCCIÓN

En la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa, las actividades de perforación y voladora constituyen una de las etapas más importantes para su ejecución y es necesario tener mucha atención en el diseño de la malla de perforación, voladura y costos para alcanzar los mejores resultados en el desarrollo de las labores subterráneas. Actualmente está desarrollando la Galería San Jorge de una sección 3.00 m x 2.70 m y una longitud proyectada de 350 m, consistente en rocas ígneas de una densidad promedio de 2,6 TM/m<sup>3</sup>.

La perforación se ha realizado con equipo tipo Jack – leg modelo Seco 250 S, con barrenos de 5 pies de longitud y brocas de 38 mm de diámetro. El explosivo utilizado ha sido Semexa de 65% y 45%, fulminante N° 8 y mechas de seguridad. En el diseño de la malla de perforación anterior no se ha considerado las características geomecánicas del macizo rocoso, presentando deficiencias en su aplicación. En la malla de perforación optimizada se ha considerado las características de la roca y también las propiedades físicas y químicas de los explosivos a utilizar en la voladura y avance lineal de la galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

En el estudio de investigación se ha considerado cuatro capítulos, en el Capítulo I, se ha desarrollado la introducción, en el Capítulo II, se ha planteado la revisión de literatura analizando las bases teóricas y definiciones conceptuales para realizar el estudio de investigación, en el Capítulo III, se describe los materiales y métodos de la investigación, en el Capítulo IV, se ha analizado los resultados y discusión del estudio de investigación para el desarrollo de la galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA.

La Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa, viene desarrollando la Galería San Jorge para recuperar el mineral económico mediante el método de explotación de Corte y relleno Ascendente Convencional.

La galería San Jorge tiene una longitud proyectada de 350 metros lineales y una sección de 3.00 m x 2.70 m. y hasta la fecha tiene un avance lineal de 130 metros y mediante la evaluación realizada se tiene problemas de avance lineal en un promedio de 1.30 metros por cada disparo realizado y un factor de carga de 1.22 kg/m<sup>3</sup>.y el tipo de roca a perforar es semidura.

Durante la ejecución en su etapa inicial, se ha realizado las evaluaciones de las operaciones de perforación y voladura, encontrando una serie de deficiencias en avances lineales, fragmentación, excesivo consumo de explosivos y accesorios de voladura, mala distribución de taladros.

En la ejecución de operaciones de minado subterráneo es de mucha importancia el diseño de la malla de perforación, la selección del explosivo a utilizar.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo optimizamos el avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- a) ¿Cuál es el diseño de la malla de perforación en el frente de la Galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa?
- b) ¿Cuál es la carga explosiva adecuada en el frente de la Galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa?

## **1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.**

### **1.3.1. Hipótesis general.**

Con el nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada se optimizará el avance lineal de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.- Arequipa.

### **1.3.2. Hipótesis específicos.**

- a. Al diseñar una nueva malla de perforación, se optimizará el avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.
- b. Al seleccionar el tipo y la carga explosiva adecuada, se optimizará el avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa tiene gran potencial de reservas de mineral probado de 560 624 TM y probable de 280 312 TM, con una ley promedio de 6.5

gr/TM y para la explotación del yacimiento mineral se requieren desarrollar varias labores subterráneas.

Para desarrollar la Galería San Jorge es de suma importancia el avance lineal por cada disparo a realizar, porque a mayor avance lineal por cada disparo, se logrará mayor volumen de producción y rendimiento, además al obtener mayor avance lineal, la construcción de la Galería San Jorge se culminará en menos tiempo, lo cual significa un ahorro económico para la Empresa Minera.

Actualmente la Empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa requiere profundizar varias labores horizontales de desarrollo para la recuperación del mineral económico, diseñando una nueva malla de perforación según las características de la roca encajonante y cumplir con los objetivos planteados.

El presente proyecto de investigación se justifica plenamente su ejecución y será de mucha importancia para la Empresa Minera MACDESA y también servirá para desarrollar otras labores similares, optimizando el avance lineal de las labores subterráneas de la Empresa Minera.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.5.1. Objetivo general.**

Optimizar el avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- a) Optimizar el avance lineal con nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.
- b) Optimizar el avance lineal con la selección de la carga explosiva adecuada en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.



### **1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO**

El trabajo de investigación está íntegramente relacionado con la actividad minera y es una fuente de desarrollo económico y social del país, por ende el Departamento de Arequipa.

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

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

**Chahuares Sairitupa Felix Cepriano (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. También se ha obtenido un avance lineal de 1.40 metros lineales por cada disparo.

**Frisancho Triveño, Giovanni (2006)**, en su tesis titulado Diseño de mallas de perforación en minería subterránea, concluye que la perforación y voladura es la primera y la más importante operación minera unitaria en el ciclo total de minado. Los diseños de voladura inadecuados y defectuosos podrían tener graves consecuencias a lo largo de todo el ciclo de minado.

**Jáuregui A. Oscar Alberto (2010)**, en su tesis Reducción de costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye que la reducción de costos operativos en una empresa minera, los estándares óptimos se logra con un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones y se sintetizan en la supervisión y capacitación continua. La reducción de costos de perforación y voladura se obtiene reduciendo el número de taladros y el uso del explosivo adecuado.

**Rodríguez Velásquez Roger H. (2011)**, en su tesis: Mejoramiento de Operaciones Unitarias en Labores de Desarrollo en Minería Subterránea Convencional - Unidad Minera el Cofre; Universidad Nacional del Altiplano, se concluye que se ha reducido el número de taladros empleados en el diseño de malla de perforación, la mina EL Cofre anteriormente venía realizando el diseño de malla de perforación con 33 taladros, de los cuales 30 son taladros cargados y 03 de alivio, empleando un barreno de 5 pies 1/ 2” de diámetro, con un avance lineal 1.25 m. reduciendo a 25 taladros de los cuales 22 son taladros cargados y 03 son de alivio, siendo la profundidad de taladro de 1.40 m.

**Mamani Pacoricona, Nilthon (2015)**, en su tesis Optimización de Costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, concluye que el avance lineal de 1.35 metros en la perforación anterior, con la nueva malla de perforación se ha optimizado a 1.42 metros por cada disparo realizado.

**Prospero Sancho Cusi (2015)**, en su tesis Análisis de costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la Galería Anaconda de la Unidad minera Kori Chaska- Ananea, concluye que aplicando el nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la Galería Anaconda, se ha logrado un avance lineal de 1.40 metros lineales por disparo en cada turno.

## 2.2. MARCO TEÓRICO.

Se aplicará las siguientes; teorías, técnicas, y prácticas operativas.

### 2. Diseño de la malla de perforación y cálculo de carga

- **Avance del disparo.**- Está limitado por el diámetro del taladro vacío y la desviación de los taladros de carga que debe mantenerse por debajo del 2%, los avances promedios y deben llegar al 95% de la profundidad del taladro L, esto es: (EXSA, 2001).

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

$$D_2 = 0.95 \times L$$

Donde:

L = Profundidad del taladro (metros).

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

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

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

Donde:

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

n = Número de taladros vacíos en el arranque.

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

- **Avance de la voladura al 95 %**

#### ALGORITMO DE HOLMBERG

$$I = 0.95 * H$$

Donde:

I = Avance de la voladura (metros)

H = Profundidad de los taladros a perforarse (metros)

- **Número de taladros.**

El número de taladros requeridos para una voladura subterránea depende del tipo de roca a volar, del grado de confinamiento del frente, del grado de fragmentación que se desea obtener y del diámetro de las brocas de perforación disponibles; factores que individualmente pueden obligar a reducir o ampliar la malla de perforación y por consiguiente aumentar o disminuir el número de taladros calculados teóricamente. Se puede calcular el número de taladros en forma aproximada mediante la siguiente fórmula empírica (Exsa, 2001).

$$N^{\circ}\text{tal} = 10 \times \sqrt{(A \times H)}$$

Donde:

A = Ancho de labor.

H = Altura de labor.

En forma más precisa con la relación:

$$N^{\circ}tal = (P/dt) + (K * S)$$

Donde:

N° tal = Número de taladros

P = Circunferencia o perímetro de la sección de labor en metros, que se obtiene con la fórmula:

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

dt = Distancia entre los taladros de la circunferencia o periféricos.

K = Coeficiente o factor de la roca.

S = Sección de labor.

**Tabla 1. Relación de la dureza de la roca con la distancia.**

Dureza de roca	Distancia entre taladros (m)
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 2. Relación de la dureza de la roca con el coeficiente.**

Dureza de roca	Coeficiente de roca (m)
Roca dura	2.00
Roca intermedia	1.50
Roca suave	1.00

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA – 2001

- **Cálculo de burden, R. Holmberg:**

$$B = 1.5 * D$$

Cálculo para primer burden y sección, la distancia entre el taladro central de alivio y los taladros de la primera sección no debería exceder de  $1,7 \times D2$  ( $D2$  es el diámetro del taladro de alivio y  $D1$  el de producción) para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca. Las condiciones de fragmentación varían mucho, dependiendo del tipo de explosivo, características de la roca y distancia entre los taladros cargados y vacíos. Para un cálculo más rápido de las voladuras de túnel con cortes de taladros paralelos de cuatro secciones se puede aplicar la siguiente regla práctica: Una regla práctica para determinar el número de secciones es que la longitud del lado de la última sección B sea igual o mayor que la raíz cuadrada del avance, como se puede apreciar en la tabla.

**Tabla 3. Calculo de sección y burden**

Sección del corte	Valor de burden	Lado de la sección
Primera	$B1 = 1,5 \times D2$	$B1 \times \sqrt{2}$
Segunda	$B2 = B1 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B2 \times \sqrt{2}$
Tercera	$B3 = 1,5 \times B2 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B3 \times \sqrt{2}$
Cuarta	$B4 = 1,5 \times B3 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B4 \times \sqrt{2}$

Fuente: Manual práctico de voladura-EXSA (2001) edición especial

- **Distribución de la carga**

- a) **Movimiento de roca**

$$\text{Volumen (V)} = S \times L$$

Donde:

V = Volumen de roca.

S = Dimensión de la sección, en  $m^2$ .

L = Longitud de taladros, en m.

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

Donde:

V = Volumen de roca.

$\rho$  = Densidad de roca, usualmente de 1,5 a 2,5.

**b) Cantidad de carga**

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

Donde:

V = Volumen estimado, en m<sup>3</sup>.

Kg/m<sup>3</sup> = Carga por m<sup>3</sup>

**c) Carga promedio por taladro**

$$Qt/N^{\circ}\text{Tal.}$$

Donde:

Qt = Carga total de explosivo, en kg.

N<sup>o</sup>tal. = Número de taladros.

En la práctica, para distribuir la carga explosiva, de modo que el corte o cual sea reforzado, se incrementa de 1,3 a 1,6 veces la “carga promedio” en los taladros del arranque, disminuyendo en proporción las cargas en los cuadradores y alzas (que son los que menos trabajan, ya que actúan por desplome).

**d) Número de taladros por sección**

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

Donde:

R = Circunferencia de la sección en metros

C = Distancia entre los taladros de circunferencia en metros

0,5 Para roca dura

0,6 Para roca intermedia (andesita por ejemplo)

0,7 Para roca blanda

S = Dimensión de la sección en m<sup>2</sup>.

K = Coeficiente de roca

2 Para roca dura.

1,5 Para roca intermedia.

1 Para roca blanda.

**e) Cantidad de carga (factor).**

De acuerdo a las secciones del túnel y dureza de la roca, se obtiene el promedio en kg de explosivo utilizado por m<sup>3</sup> de roca movida para cada metro de avance, teniéndose los siguientes casos para roca intermedia:

- (a) 1 a 5 m<sup>2</sup> : 2,2 a 1,8 kg/m<sup>3</sup>
- (b) 5 a 10 m<sup>2</sup> : 1,8 a 1,4 kg/m<sup>3</sup>
- (c) 10 a 20 m<sup>2</sup> : 1,4 a 1,0 kg/m<sup>3</sup>
- (d) 20 a 40m<sup>2</sup> : 1,0 a 0,8 kg/m<sup>3</sup>

**TABLA 2.4: 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

**2.2.2. Mecánica de rotura de rocas.**

**A. Proceso de fracturamiento.**

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción. Una explicación sencilla, comúnmente aceptada estima que el proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde el inicio de la fragmentación hasta el total desplazamiento del material volado, estas etapas son:

- Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.



- Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan el fracturamiento y movimiento de la roca.
- Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritus.

### **B. Fragmentación de la roca.**

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

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

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

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

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

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 1. Perforación.

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

La perforación se basa en concentrar una cantidad de energía en una pequeña superficie, para vencer la resistencia de la roca, aprovechando el comportamiento a la deformación de elástico - frágil que ellas presentan. Es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos, o blasthole.

### 2. Malla de perforación.

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

### 3. Subterráneo.

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

### 4. Galería.

Es una labor subterránea horizontal que se realiza sobre mineral o veta.

### 5. Frente.

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

**6. Parámetros.**

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

**7. Burden.**

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

**8. Explosivos.**

Son productos químicos que encierran un enorme potencial de energía, que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente con gran violencia. Se fabrican con diferentes potencias, dimensiones y resistencia al agua, según se requiera.

**9. Arranque.**

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

**10. Factor de carga ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).**

Es la cantidad de explosivo usada por  $\text{m}^3$  de roca volada.

**11. Sensibilidad.**

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

**12. Macizo rocoso.**

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

**13. Voladura.**

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

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.

Según la naturaleza del trabajo de investigación y por las características del estudio es de tipo descriptivo, el estudio se refiere a la optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

La metodología para desarrollar el trabajo de investigación en su primera fase será la evaluación de los procesos de ejecución del avance lineal en la perforación anterior de la Galería San Jorge. El control de las actividades mineras se ha realizado en 20 turnos, en dicho periodo se ha evaluado el avance lineal por cada disparo realizado, granulometría, el trazo de perforación, número de taladros, el tipo y la cantidad de explosivos utilizados. En el trabajo de investigación se ha planteado un nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada, según las características de la roca encajonante las pruebas se han realizado en 20 turnos, en donde se ha considerado: El número de taladros, tipo de trazo, burden, espaciamiento, el tipo y la carga explosiva adecuada para cada taladro perforado, teniendo en cuenta el factor de carga y la cantidad de explosivos utilizados. Finalmente para encontrar los resultados requeridos se ha realizado el análisis comparativo del avance lineal anterior y actual, considerando las dos mallas de perforación, el tipo y la carga explosiva utilizada en la voladura con la finalidad de encontrar la diferencia del avance lineal en la Galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. Arequipa.

### **3.2. POBLACIÓN.**

La población para este trabajo de investigación está constituida por las labores subterráneas horizontales: San Valentín de sección 3.00 m x 2.80 m., Santa Marta de sección 3.00 m x 2.75 m. y San Jorge de sección 3.00 m x 2.70 m. cuya roca encajonante es semi dura de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. Arequipa.

### **3.3. MUESTRA.**

La muestra para el presente trabajo de investigación se ha considerado la Galería San Jorge de sección 3.00 m x 2.70 m. cuya roca encajonante es semidura de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. Arequipa.

## **3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

### **3.4.1. Variable independiente.**

Nuevo Diseño de la malla de perforación y el factor de carga explosiva, en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa.

### **3.4.2. Variable dependiente**

Avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa.

**Tabla 4.Operacionalizacion de variables**

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p><b>Variable independiente:</b> Nuevo Diseño de la malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de taladros</li> <li>- Burden</li> <li>- Espaciamiento</li> <li>- Sección de la Galería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pies perforados</li> <li>- Metros</li> <li>- Metros</li> <li>- Metros</li> </ul>
<p><b>Variable dependiente:</b> Avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metros de avance</li> <li>- Costo de las brocas</li> <li>- Costo de los barrenos</li> <li>- Costo de los explosivos</li> <li>- Costo de los equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metros</li> <li>- \$/m</li> <li>- \$/m</li> <li>- \$/m</li> <li>- \$/m</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

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

**Tabla 5. Distribución de taladros**

Descripción	Nº de Taladros
Alivio	
Arranque	
1º Ayuda arranque	
2º Ayuda arranque	
Ayuda cuadradores	
Cuadradores	
Alza (corona)	
Arrastre	
<b>Total/disparo</b>	

Fuente: Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

**Tabla 6. Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo)**

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:min :s)	Tiempo total de perforación (h:min :s)
Alivio			
Arranque			
1° Ayuda arranque			
2° Ayuda arranque			
Ayuda cuadradores			
Cuadradores			
Alzas			
Arrastres			
<b>Total/disparo</b>			

Fuente: Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

**Tabla 7. Consumo de explosivo Semexa 45% y 65%**

Consumo del explosivo dinamita 45% y 65% (kg)					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio					
Arranque					
1° Ayuda arranque					
2° Ayuda arranque					
Ayuda cuadradores					
Cuadradores					
Alzas					
Arrastres					
<b>Total/disparo</b>					

Fuente: Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

### 3.5.1. Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos utilizados para el estudio son la liquidación mensual para verificar el avance del desarrollo de la Galería San Jorge, el reporte diario de operación, reporte mensual de operación y la toma de fotografías para evaluar la voladura.

**1. Reporte diario de operación.**

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

**2. Reporte mensual de operación.**

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

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

Se aplicarán instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente.

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

**3.6. UBICACIÓN.**

La Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. MACDESA, está ubicada en la jurisdicción del distrito de Cháparra, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa.

La zona de estudio corresponde a la zona catastral 18-S, hoja 32-O, banda L, presenta aproximadamente las siguientes coordenadas UTM y geográficas. Ver ANEXO N°01.

**Coordenadas UTM**

Norte : 8 263 000

Este: 618 500

**Coordenadas geográficas**

Latitud Sur : 15° 42' 00"

Longitud Oeste : 73° 53' 30"

**Altitud**

600 m.s.n.m. a 1 970 m.s.n.m.



### 3.7. ACCESIBILIDAD.

Se puede llegar al área de operaciones de la siguiente forma:

**a) Vía Terrestre:**

Lima – Chala – Cháparra – Mina 4 Horas (Vehículo).

**b) Vía Aérea:**

Lima – Arequipa (Avión).

Arequipa – Chala – Cháparra – Mina 4 Horas (Vehículo).

**c) Vía Marítima:**

Lima – Marcona (Puerto San Nicolás).

Marcona – Chala – Mina 4 Horas (Vehículo).

### 3.8. CLIMA.

La temperatura promedio anual en la zona, es de 18 - 20° C por lo cual la región se considera técnicamente como semi-cálida. Las diferencias entre las temperaturas diurnas y nocturnas son más acentuadas, a causa de las características geográficas de la zona.

Los vientos fuertes y frecuentes se producen mayormente en los meses de Agosto a Octubre, siendo la dirección de los vientos de Este a Oeste con velocidades de 30 Km/hora.

Según la estación meteorológica de Cháparra, la precipitación anual promedio es de 2,1 mm. Es importante mencionar que en la región ocurren sequías prolongadas y que esporádicamente se presentan lluvias extraordinarias que solo duran algunas horas.

### 3.9. FLORA.

Debido a la aridez de la zona por ausencia de lluvias; el lugar presenta flora casi nula. Alguna vegetación que se presenta, es tipificada como Semidesértica, similar a la del desierto costero y la serranía esteparia, plantas gramíneas de aspecto ralo al igual que los matorrales.

En esta zona prevalece un clima semi-cálido muy seco (desértico o árido subtropical). Las condiciones climáticas son una de las trabas que dificultan el desarrollo de la agricultura.

No hay visible actividad agrícola, predominando un ambiente árido; apareciendo esporádicos Cactus y en algunos lugares plantas raquílicas temporales, especies halófilas, distribuidas en pequeñas manchas verdes dentro del extenso y monótono arenal grisáceo eólico.

### **3.10. FAUNA.**

La fauna, desde el punto de vista animales ganaderos, es casi nula debido a que no se desarrollan alimentos de tipo vegetativo y arbustivo para animales; a este hecho se incrementa la clara escasez de agua y las características climáticas.

Sin embargo, la fauna natural, presenta algunas especies de animales menores (roedores, reptiles, insectos, etc.), en número muy escaso; mejor dicho, las zonas no favorecen el desarrollo de una mayor diversidad de especies.

No es frecuente la presencia de aves a excepción del Gallinazo el cual logra aclimatarse a las condiciones de la zona; no existe de igual modo animales en peligro de extinción o especies amenazadas que habiten en el área donde se desarrollará el proyecto.

Las especies que se observan en el área del proyecto son: águila (*Harpia harpyja*), alacrán (*Centruroides* sp), serpiente (*Lichanura trivirgata* ssp), gallinazo (*Coragys atratus*), guanaco (*Lama guanicoe*), lagartija (*Tropidurus peruviana*), lechuza (*Athene cunicularia*), rata (*Rattus rattus*), ratón (*Mus músculos*), vizcacha (*Lagidium viscacia*), zorro (*Pseudalopex griseus*).

### **3.11. GEOLOGÍA REGIONAL**

Las unidades lito estratigráficas del área comprenden un rango cronológico amplio, las edades van desde Jurásico superior, Cretáceo superior, Paleoceno inferior, hasta el cuaternario reciente. Véase en el ANEXO N° 02

### **EDAD Y CORRELACIÓN.**

De acuerdo al contenido fosilífero como son los lamenibranceos, braquiopodos y clinoideos se menciona una edad Liásica. en Pachia y Palca (Wilson y Garcia 1962).

### **DEPÓSITOS CLÁSTICOS RECIENTES.**

Tenemos depósitos aluviales localizados en las grandes quebradas como las de Yauca, Chala, Cháparra, Lampalla y Atíco están constituidas por conglomerados alternados con capas de arcilla y arena.

Los depósitos Fluviales constituyen el lecho de los actuales ríos y están formados por gravas y arenas.

Dentro de los depósitos de escombros tenemos los coluviales acumulados en las laderas de los cerros y que se han originado por la acción de la gravedad, así como también aquellos que han tenido lugar por efectos de los Huaycos y por ende las lluvias.

Depósitos eólicos se encuentran conformados por arena localizados en los cerros de arena, pampa de Huaranguillo, Alalo, Medanal, cerros los Medanos, y el cerro Andenes, estas acumulaciones se encuentran desarrolladas desde el nivel del mar hasta los 1400 m.s.n.m. en el cerro Andenes y 2000m.s.n.m. en la pampa Medanal.

### **ROCAS INTRUSIVAS.**

La roca intrusiva predomina en la zona de estudio actuando como roca encajonante de los afloramientos de Diques y Vetas, las mayores exposiciones de rocas intrusivas se encuentran en los cuadrángulos de Jaqui y Cháparra.

Tenemos intrusivos (Mesozoicos - Cenozoicos) denominados intrusivos andinos estos comprenden rocas plutónicas y rocas Hipabisales.

**a) BATOLITO DE LA COSTA.**

Esta unidad aflora ampliamente en la región, siendo de naturaleza granodiorítica, sus afloramientos se encuentran en los cerros estrella, puruja, y cruz de oro.

La roca en superficie intemperizada tiene un color gris a gris claro de grano medio a grueso y está constituido por: Cuarzo, feldespato y abundante contenido de ferromagnesianos esencialmente horblenda en forma de prismas alargados, biotita en forma tabular y piroxenos, también la presencia de xenolitos redondeados de grano fino con diámetro de 5 cm. a 50 cm. y la presencia de diques pegmatíticos, y diques de cuarzo, estas características son las que diferencian a la superunidad Tiabaya de otra.

**b) COMPLEJO BELLA UNIÓN**

La denominación fue dada J. Caldas 1978, al describir un enorme volumen de rocas sub volcánicas (Hipabisales), que en la localidad de bella unión (cuadrángulo de Acarí) intruyen a la formación Guaneros del Cretaceo Inferior.

Regionalmente aflora en la parte Este y Oeste de la zona de estudio y ocupa una faja continua e intermedia del cuadrángulo de Cháparra, con un alineamiento NW-SE y se encuentra limitado por grandes lineamientos estructurales que probablemente controlaron su emplazamiento, también intruye a formaciones del Jurásico

Litológicamente el complejo bella Unión es variado predominando rocas del tipo brecha de intrusión de naturaleza andesítica y dacítica, con grandes bloques angulosos y sub-angulosos, desarrollados por el emplazamiento del cuerpo intrusivo, y que por erosión diferencial exhiben una morfología cavernosa, principalmente en los terrenos de fuerte pendiente, este tipo de roca a su vez se encuentra intruido por innumerables plutones y diques de andesitas porfíricas con grandes fenocristales en matrices afaníticas intensamente piritizadas. Finalmente, el conjunto de estas rocas se encuentra cruzada por diques andesíticos o dacíticos, en muchos casos formando verdaderos enjambres.

### **3.12. GEOLOGIA LOCAL.**

En la conformación geológica de la zona tenemos rocas ígneas y hipabisales cuyas edades varían desde el cretáceo superior hasta el terciario más moderno, los depósitos más jóvenes (pleistoceno reciente) tenemos a material aluvial, coluvial, y eluvial distribuido a manera de relleno de la quebrada principal. Ver ANEXO N° 03.

#### **DEPÓSITOS CUATERNARIOS.**

Los depósitos aluviales se presentan en la quebrada cortadera, formado por fragmentos sub redondeados a redondeados de diferente tamaño bien consolidado por una matriz de limos y arcillas. Estos fragmentos llegan hasta 5 metros de diámetro.

Los depósitos aluviales se encuentran en los afloramientos de la roca intrusiva en pequeñas acumulaciones.

Los depósitos eólicos producto de la acción del viento son observados en las falderas de los cerros como lentes de ceniza volcánica las dimensiones de estos lentes son de 1 metro de ancho por 7 a 8 metros de largo.

#### **ROCAS INTRUSIVAS.**

Afloran en gran extensión, representada por la granodiorita, perteneciente a la superunidad Tiabaya en el batolito de la Costa del Cretáceo Superior a Terciario Inferior.

El batolito de la costa se encuentra emplazado paralelamente a las márgenes activas entre la placa de Nazca y Sudamericana, y en forma alargada, siguiendo una gran zona de falla de rumbo NW – SE, que es el rumbo de la estructura regional.

El Batolito de la costa está dividido en tres segmentos, segmento Norte, segmento Lima, y Segmento Arequipa, cada segmento constituye un gran complejo tanto por su estructura como por su composición mineralógica.

Estas rocas instruyen rocas del complejo basal y están cubiertas por formaciones terciarias, a la vez el batolito de la Costa está intruido por rocas hipabisales de naturaleza volcánica, en forma de diques.

La súper unidad Tiabaya se distingue por su composición mineralógica, estructura y textura, ya que no presenta cambios notables dentro de una superunidad, los máficos (biotita, hornblenda y piroxenos) son los factores para la diferenciación de las grandes unidades.

#### **a) GRANODIORITA.**

Esta roca intrusiva pertenece a la súper unidad Tiabaya, integrante del batolito costanero, ampliamente distribuido en la zona, sus afloramientos se encuentra bien expuestos, esta roca se encuentra cortada por una gran cantidad de diques andesíticos de color gris oscuros a gris verdosos, con potencias variables de 0.10 m. a 1.5 m. y dirección variable E-W a N 80° W.

La granodiorita macroscopicamente presenta una textura granular fanerítica, holocristalina, de color gris claro en roca fresca y con presencia de xenolitos de microdiorita de 2 cm. a 50 cm de diámetro. Su composición macroscópica es la siguiente:

Por el alto contenido de feldespatos calcosódicos y bajo porcentaje de ortosa se la clasifica como una granodiorita, este cuerpo intrusivo granodiorítico es cortado por diques de composición ácida como primera manifestación, compuesto esencialmente de Cuarzo, feldespato y plagioclasas, emplazado después de haberse formado el cuerpo intrusivo, las potencias variables de 0.50 m. a 2 m. y rumbos de N 25 W, N 30 W.

#### **ROCAS VOLCÁNICAS.**

En la zona de estudio afloran remanentes volcánicos que cortan el cuerpo intrusivo, como diques de composición andesítica y zona de brecha de intrusión de grandes dimensiones que afloran en las cumbres de los cerros.

**a) DIQUES ANDESÍTICOS.**

En la zona de estudio proliferan gran cantidad de diques de naturaleza volcánica y de edad más reciente, estos diques se presentan en formas individuales (potencia de 0.50 m.), y en forma de enjambres concentrados en ciertas áreas como es el caso del cerro Cruz de Oro en dirección SE del área de estudio (potencia variable de 0.10 m. a 0.50 m.

La mayoría de estos diques presentan rumbos generales E – W y N 75° W. Muchos de estos diques tienen relación con la mineralización de oro debido a que sirven como conductos de las soluciones hidrotermales, y esto es corroborado en el paralelismo entre los diques y las menas.

La actividad hidrotermal que se presenta está relacionada con la argilización específicamente con la caolinita, cloritización, y la silicificación.

Los diques presentan colores gris verdosos a gris oscuros con textura afanítica, fuerte fracturamiento y presencia de alteración cloritica en diferentes grados.

**b) STOCK DACITA PORFIRÍTICA.**

En la zona de estudio afloran cuerpo producto de la alta presión y temperatura como son la Dacita Porfirítica, que probablemente se correlacione con la dacita de Molles un cuerpo Hipabisal que aflora en dirección NW con respecto a la zona de estudio, con el cual se cree que se emplazó la mineralización, esta brecha de intrusión en el área de estudio se puede observar de grandes a pequeñas dimensiones, presenta una matriz afanítica de color verde grisáceo, su textura es porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y hornblendas bien desarrollados, sus afloramientos son generalmente en la cumbres de los cerros y sus dimensiones son variables van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho.

### **3.13. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.**

Las estructuras están netamente relacionadas a la tectónica andina, producto de la subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

Estas estructuras mineralizadas de oro están netamente ligadas a la provincia aurífera que se da desde Ocoña a Palpa, generalmente relacionadas a un ambiente de deposición de sistemas de fallas y fracturamientos producto de la deformación regional.

#### **a) SISTEMA DE FALLAS Y VETAS.**

En el área afloran diques andesíticos oscuros del complejo Bella Unión de edad Cretaceo inferior.

En superficie se encontró gran cantidad de diques Andesíticos con fenocristales de Plagioclasa, en algunas partes silicificados, con dirección N 70° W, N 80° W, E – W, tal es el caso que estos diques tienen relación con la mineralización debido a que han actuado como conductores de la mineralización y a lo largo de su afloramiento la mineralización es visible en forma paralela a los diques, las vetas que se presentan de esta manera tienen una dirección de N 60° W, N 80° W, en el lado oeste de la veta Cuatro Horas se encontró diques andesíticos silicificados con dirección N 20° W, con intrusiones de brecha de turmalina con clastos de cuarzo, esto evidencia y corrobora la presencia de una actividad hidrotermal que mineralizó los fracturamientos existentes.

Actualmente es notoria la presencia de diques andesíticos gris verdosos que son cortados por la veta principal Cuatro Horas estos diques tienen dirección N 70° W, N 77° W, y buzamiento 65° NE, 68 °NE.

#### **b) FALLAMIENTO**

Las fuerzas tectónicas que actúan sobre una roca produce la deformación de la misma, ocasionando en este tipo granodiorítico fracturamiento, donde el grado de fracturamiento está en relación directa con el grado de compactación que tiene la roca, en la formación de estas fracturas han intervenido fuerzas de compresión los cuales han producido fallas pre-minerales y post-minerales.



La granodiorita presenta un sistema de fallamiento en bloques, con rumbos que varían N 60° W, N 70° W con buzamientos 74° NE, 85° NE, hasta verticales. Estas fracturas no sólo se presentan en superficie sino también en las labores subterráneas.

### **3.14. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

Se considera como provincia aurífera a la zona comprendida entre Nazca y Ocoña debido a que se da la ocurrencia de vetas de oro, de apreciable longitud y potencia.

Desde el punto de vista metalogénico el yacimiento de Cuatro Horas forma parte de esta provincia aurífera.

Este yacimiento es del tipo filoneano, emplazado en el Batolito de la Costa, en la zona de estudio afloran vetas paralelas entre sí, las estructuras mineralizadas tienen rumbos E – W y N 80 W con buzamientos de 30° NE, 45° NE y con una potencia de 0.10 m a 2.0 m. siendo la veta Cuatro Horas y Milagrosa de gran importancia por su potencia y leyes de oro.

#### **3.14.1. El yacimiento aurífero de Cuatro Horas.**

Comprende un sistema de vetas paralelas con similar rumbo N 60° W , N 80° W y con Buzamientos variables 33° NE, 45° NE, la roca principal es del tipo granodiorítico de la super unidad Tiabaya, la cual ha sido intruida por numerosos diques hipabisales andesíticos, la alteración en el contacto con la roca encajonante y la estructura mineralizada es débil, pero se diferencia sericitización, silicificación, cloritización, calcita, y gran cantidad de óxidos de fierro.

#### **3.14.2. Mineralogía.**

Los minerales que se describen se encuentran presentes en la veta Cuatro Horas y se pueden clasificar en dos grupos de acuerdo a su importancia económica.

##### **a) Minerales de Mena.**

Tenemos el oro principalmente, que se presenta en forma macroscópica oro nativo (charpas) que se da en las oquedades del cuarzo y también en la hematita, el oro microscópico o fino se manifiesta mayormente en la limonita.

El cuarzo está netamente asociado al oro puesto que la pirita por acción meteórica del agua ha originado cavidades donde el oro se depositó en forma nativa es decir formo una estructura Boxwork o más conocido como criadero, en donde el oro se deposita, tal es así que se ha encontrado mayores leyes en oro nativo en este tipo de cuarzo oqueroso.

#### **b) Minerales de Ganga**

Se distinguen minerales característicos de la zona de óxidos.

**Zonade óxido.** Principalmente Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) lechoso y blanco, hematina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonta ( $\text{Fe O (OH) \cdot nH}_2\text{O}$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) gris oscura y pirita como cobre.

#### **3.14.3. Génesis y tipo de yacimiento.**

El yacimiento tiene su origen en la geotectónica donde se relaciona a las áreas magmáticas continentales, es decir relacionado a la subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

El tipo de yacimiento aurífero por su morfología, relaciones texturales, y secuencia paragenética, y las correlaciones de campo, se tiene que el yacimiento es un filón de tipo hidrotermal por las siguientes razones.

La mineralización se encuentra rellenando fracturas, la roca encajonante actúa como receptáculo de las soluciones hidrotermales ascendentes o hipogénicas, por esta consideración es un deposito epigenético.

#### **3.14.4 Paragénesis y zonamiento.**

La paragénesis u orden cronológico de deposición mineral, es macroscópicamente conocido por el estudio de la relación entre los minerales que se observan en las características texturales. Segunda etapa otro evento de cuarzo, calcopirita y oro grueso y fino.

Como mineralización hipogénica tenemos:

- Cuarzo (muy abundante).

- Pirita (regular).
- Calcopirita (regular a escaso).
- Oro nativo (regular).

Como mineralización supergénica tenemos:

- Hematita(abundante).
- Limonita(abundante).
- Calcita(abundante).
- Yeso (regular a escaso).

### **3.14.5. Controles mineralógicos.**

Los factores de carácter regional han permitido comprobar que todas las vetas con mineralización de oro están encajonadas en rocas intrusivas del Batolito de la Costa.

La mineralización de Au está dentro estructuras de la tectónica, no sobresaliendo una dirección única para las vetas de los yacimientos, pero si tenemos las direcciones NW-SE y NE-SW, son equivalentes en relación con la compresión E-W, de la cual nos da la acción de estructuras para todos los yacimientos.

En cuanto a las características del relleno de fisura o yacimientos filoneanos y a través de comparaciones de varios yacimientos a lo largo de la faja aurífera Nazca Ocoña existen tres componentes principales: Cuarzo, pirita, y oxido de fierro, los cuales están relacionados al Au.

#### **a) Control estructural.**

Esta dado por las fallas y fracturas pre-existentes en la granodiorita Tiabaya que controlan las estructuras de rosario (veta), originada por movimientos tectónicos, estas fallas y fracturas son de buzamiento sub-vertical, lo cual favoreció la deposición del mineral, estas fallas son del tipo normal de acuerdo a las evidencias encontradas en la misma veta.

**b) Control mineralógico.**

Los cambios mineralógicos que se presentan en el tipo de vetas epigenéticas envuelven habitualmente la introducción de ciertos elementos químicos y sustracción de otros. Por qué el reemplazamiento de los minerales por distintas etapas de mineralización trajeron consigo minerales estéril y económico, el ensamble mineralógico consta de Cuarzo lechoso, Hematita, Limonita calcita, en distintas fases de alteración hidrotermal siendo los más importantes la silicificación, argilización, y sericitización las que acompañaron a la mineralización económica y la propilitización acompañó a las fases menores de mineralización, pero la alteración predominante es la argilización con la caolinita es decir que la mineralización esta netamente ligado a este mineral de alteración que es la caolinita.

**3.14.6. Alteraciones hidrotermales.**

En la formación de todo yacimiento hidrotermal, se considera primero la disponibilidad de los fluidos hidrotermales que contengan la suficiente concentración de metales y, en segundo lugar, la presencia de las fracturas en las rocas que faciliten el transporte de las soluciones, y que sirvan como receptáculo de la mineralización.

El progresivo cambio en la constitución de las rocas al ser atravesados por las soluciones, originan diferentes especies minerales que agrupados en diversas asociaciones constituyen los grados de alteración.

La mineralización y alteración son parte de un solo proceso, ya que el emplazamiento de mineral económicamente explotable, ha sido precedido por un mayor o menor grado de alteración hidrotermal.

**3.14.7. Alteraciones hipógenas.**

Las soluciones hidrotermales, al contacto con las paredes rocosas de las aberturas, producen cambios físicos tales como color, recristalización y cambios físicos como la formación de halos o anillos alrededor de la estructura mineral.

En el yacimiento cuatro horas la alteración hipógena está representada por:

**a) Propilitización.**

Alteración débil, es observada en 2 grados bien definido, la primera fase presenta ligera tonalidad verdusca, las plagioclasas aún son observadas con incipiente alteración, la segunda es más fuerte, el color verde es intenso, los minerales primarios están totalmente alterados notándose una textura suave blanquecina (calcita) alternada con la clorita, presenta un estilo de alteración perbásica y perbásica selectiva, su ensamble mineralógico Cuarzo- Clorita-Carbonato, su forma es concéntrica alrededor de las vetas, las dimensiones de los altos de alteración van desde algunos centímetros hasta varios metros, los cuales están en los márgenes de las estructuras (vetas) y en las zonas de brechamiento, la temperatura promedio es de 50°C a 350°C, esta alteración es observada en forma moderada.

**b) Argilización – Sericitización.**

Esta alteración forma parte de la veta cuatro horas por su relación directa con la mineralización económica, se presenta en forma zonada constituyendo una guía en la explotación subterránea.

Son grados intermedios a avanzados del proceso de alteración hidrotermal se caracteriza por la formación de arcillas y sericita, que destruyen los rasgos primarios de la roca (feldespatos y plagioclasas)

**c) Silicificación.**

Es producto de la introducción de sílice en las rocas, lo que produce el endurecimiento y la impermeabilidad de la roca de la caja de la veta cuatro horas la silicificación es notoria, pues a ello se relacionan áreas de interés económico.

La silicificación viene a formar el Cuarzo secundario, con forma concéntrica suave, sus dimensiones son de unos centímetros a varios metros, y están a una temperatura de 100°C a 600°C.

### **3.14.8. Alteraciones supérgenas.**

Cuando un yacimiento mineral es expuesto a la erosión, las aguas superficiales meteóricas oxidan muchos minerales metálicos como es el caso de la pirita, produciendo disolventes que disuelven a su vez a otros minerales originando la Hematita y Limonita.

En el yacimiento, la alteración alrededor de las vetas es la argilización, existiendo una anomalía de color rojo - naranja, debido a la alteración supergena de la pirita hipógena. La argilización ocurre predominantemente en el afloramiento de las estructuras notándose una coloración blanquecina producto de la alteración de los feldespatos y plagioclasas, la presencia de las hematitas es producto de la oxidación de la pirita supérgena por acción de las aguas meteóricas, la limonita se forma cuando la hematita reacciona con las aguas meteóricas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DATOS REQUERIDOS PARA EL CÁLCULO

a) **Datos de campo.**

- Densidad de la roca : 2.6 TM/m<sup>3</sup>
- Sección de la galería : 3.0 x 2.70
- Ancho : 3.0 m.
- Altura : 2.70 m.
- Diámetros del taladro de producción : 0.038 mm.
- Diámetros del taladro vacío o el alivio : 0.038 mm.
- Longitud de barrenos de perforación : 5 pies = 1.52 m.

b) **Número de taladros:**

**Modelo matemático de EXSA**

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

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

$$S = b \times h$$

Donde:

N° Tal = Número de taladros

P = Perímetro de la galería

S = Sección de la galería

dt = Constante

Ks = Constante

b = Base de la galería

h = Altura de la galería.

### c) Factores del diseño de perforación.

Para el diseño de la malla 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. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se ha considerado la perforación y voladura anterior y actual realizados en el frente de la galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. (MACDESA).



### 4.3. PERFORACIÓN EN LA GALERÍA SAN JORGE

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

La sección de la galería es de 3.0 m. x 2.70 m.

#### 4.3.1. 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.

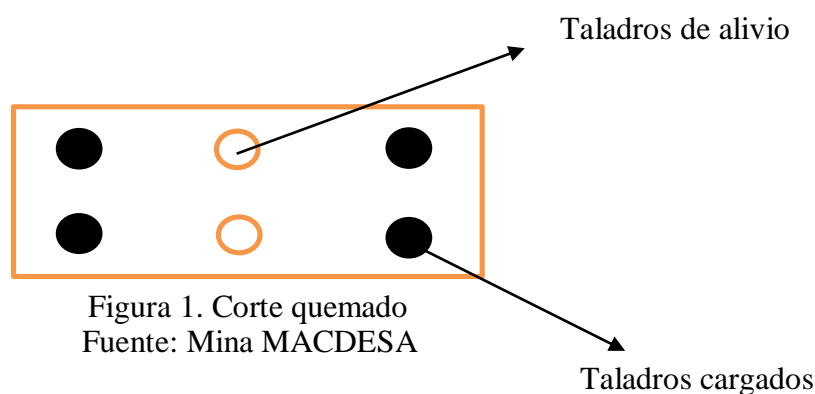


Figura 1. Corte quemado  
Fuente: Mina MACDESA

### 4. MALLA DE PERFORACIÓN ANTERIOR.

Tabla 8. Distribución de taladros.

Descripción	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Ayuda cuadradores	4
Cuadradores	11
Alza (corona)	4
Arrastre	4
<b>Total/disparo</b>	<b>37</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

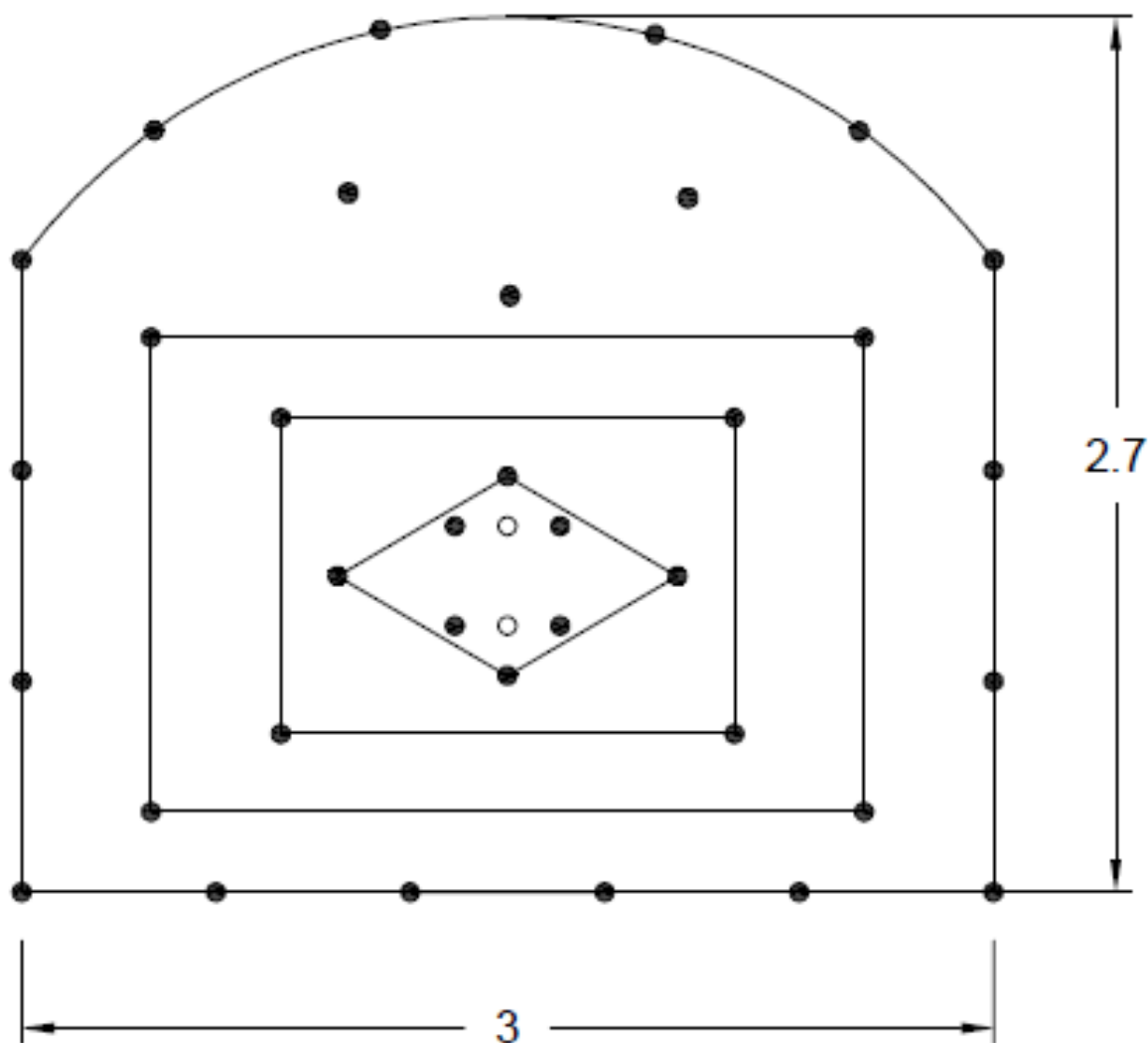
#### 4.4.1. Control de tiempos de perforación anterior.

**Tabla 9. Control de tiempos de perforación (horas: minuto: segundo).**

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:min :s)	Tiempo total de perforación (h:min :s)
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
Ayuda cuadradores	4	0:04:06	0:16:24
Cuadradores	11	0:04:05	0:44:55
Alzas	4	0:04:15	0:17:00
Arrastres	4	0:04:35	0:18:20
<b>Total/disparo</b>	<b>37</b>	<b>0:04:09</b>	<b>02:33:41</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

Figura 2. Malla de perforación anterior



Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

Tabla 10. Resultados obtenidos en la perforación anterior.

Parámetros obtenidos (perforación anterior)		
Tiempo de perforación del frente	02:33:41	Hora:Minuto:Segundo
Longitud de perforación/taladro	1.5	Metros
Nº de taladros perforados	37	Taladros
Longitud total perforados/disparo	55.5	Metros
Tiempo promedio: perforac./taladro	00:04:09	Hora:Minuto:Segundo
Promedio total de avance lineal	1.30	Metros

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

## 4.4.2. Voladura en la galería San Jorge.

Tabla 11. Consumo de explosivo Semexa 45% en la voladura anterior.

Consumo del explosivo dinamita 45% (kg)					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/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
Ayuda cuadradores	4	4	16	0.08	1.28
Cuadradores	11	4	44	0.08	3.52
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	4	5	20	0.08	1.60
<b>Total/disparo</b>	<b>37</b>		<b>160</b>		<b>12.80</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

Tabla 12. Resumen del consumo del explosivo y accesorios en voladura anterior

Descripción	Unidad de medida	Total
Semexa 45%	kg/disparo	12.80
Mecha de seguridad	Pies	210
Fulminante N° 8	Unidades	35

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

- **Volumen roto.**

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

Donde:

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

b = Ancho de la labor (m)

h = Altura de la labor (m)

Lp = Longitud de perforación (m)

$$V = 3.0 \times 2.7 \times 1.30$$

$$V = 10.53 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje roto.**

$$TM = V \times dr$$

Donde:

TM = Tonelada métrica de material roto

V = Volumen roto

dr = Densidad de roca

$$TM = 10.53 \times 2.6$$

$$TM = 27.38 \text{ TM}$$

- **Factor de carga.**

Metros cúbicos

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

$$Fc = \frac{12.80}{10.53}$$

$$Fc = 1.22 \text{ kg/m}^3$$

- **Factor de carga lineal.**

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

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

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

- **Factor de potencia.**

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

$$F_p = \frac{12.80}{27.38}$$

$$F_p = 0.47 \text{ kg/TM}$$

**Tabla 13. Resumen de resultados en la voladura anterior.**

<b>PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA ANTERIOR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
kg/ disparo	12.80 kg.
Volumen	10.53 m <sup>3</sup> .
Toneladas	27.38 TM
Factor de carga	1.22 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0.47 kg/TM
Factor de carga lineal	9.85 kg/m.

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

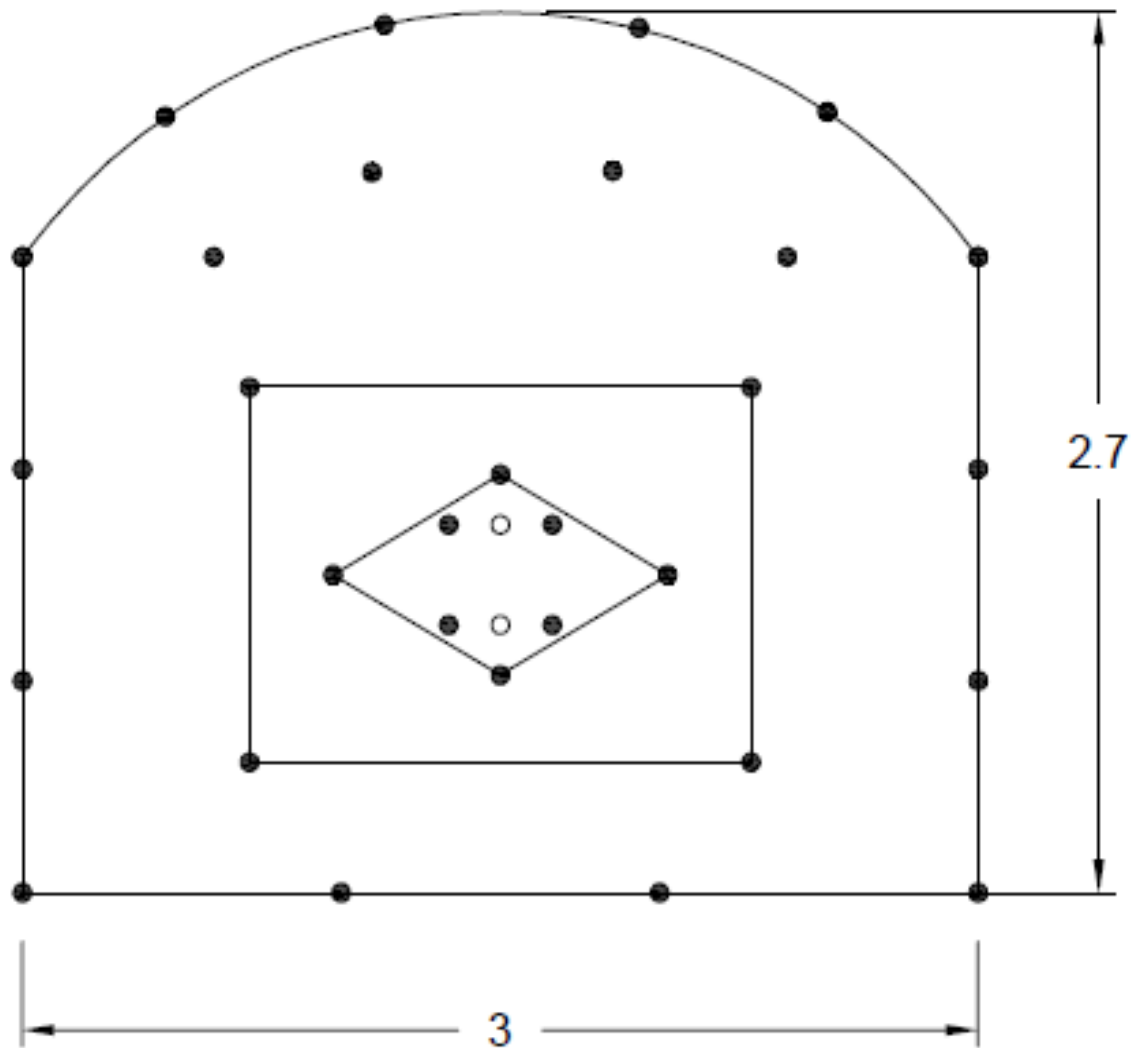
#### 4.5. DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.

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 del macizo rocoso.

**Tabla 14. Distribución de taladros en la optimización**

<b>DISTRIBUCIÓN DE TALADROS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>N° de Taladros</b>
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Cuadradores	10
Alza	4
Arrastre	4
<b>Total/disparo</b>	<b>32</b>

Figura 3. diseño de la nueva malla de perforación optimizada



Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

**TABLA 15. Control de tiempo de perforación de taladros y avance lineal optimizada**

FECHA	CONTROL DE TIEMPOS DE TALADROS DE PERFORACION OPTIMIZADA DEL MES SETIEMBRE 2018										
	Alivio	Arranque	1° Ayuda arranque	2° Ayuda arranque	Cuadradores	Ayudas Alza	Alzas	Arrastres	Tiempo total de perforación	Avance lineal (metros)	
Miércoles 01/09/2018	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	
Jueves 02/09/2018	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	
Viernes 03/09/2018	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	
Sábado 04/09/2018	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	
Lunes 06/09/2018	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	
Martes 07/09/2018	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	
Miércoles 08/09/2018	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	
Jueves 09/09/2018	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	
Viernes 10/09/2018	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	
Sábado 11/09/2018	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	
Lunes 13/09/2018	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	
Martes 14/09/2018	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 15/09/2018	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 16/09/2018	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 17/09/2018	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 18/09/2018	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 19/09/2018	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 20/09/2018	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 21/09/2018	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 22/09/2018	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 23/09/2018	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 24/09/2018	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 25/09/2018	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	

Fuente: Reporte diario de perforación Mina.



**4.5.1. Control de tiempo de perforación optimizada.**

El control de tiempo de perforación optimizada se especifica en Tabla.

**Tabla 16. Control de tiempos en la perforación optimizada**

Taladros	N° de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:min:s)	Tiempo total de perforación (h:min:s)
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	10	00:04:10	00:41:40
Alzas	4	00:04:15	00:17:20
Arrastres	4	00:04:20	00:21:40
<b>Total/disparo</b>	<b>32</b>	<b>00:04:02</b>	<b>02:14:50</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

**Tabla 17. Resultados obtenidos en la perforación optimizada**

Parámetros obtenidos		
Tiempo de perforación del frente	<b>02:14:50</b>	Hora:Minuto:Segundo
Longitud de perforación/taladro	1.5	Metros
N° de taladros perforados	32	Taladros
Longitud total perforados/disparo	48	Metros
Tiempo promedio:perforac./taladro	00:04:02	Hora:Minuto:Segundo
Promedio total de avance lineal	1.40	Metros

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

**4.5.2 Voladura optimizada en la galería San Jorge**

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

**Tabla 18. Consumo de explosivos en la voladura optimizada**

Consumo del explosivo Semexa 65%					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/taladro	N° Total de cartucho	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	10	4	40	0.08	3.20
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	4	4	16	0.08	1.28
<b>Total/disparo</b>	<b>32</b>		<b>136</b>		<b>10.88</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

- Datos de campo.**

Densidad de roca : 2.6  
 Sección de la galería : 3.0 m x 2.7 m  
 Diámetro de taladro de producción : 0.038 mm  
 Longitud de barreno de perforación : 5 pies = 1.5 m

- Volumen roto.**

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

Donde:

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

b = Ancho de la labor (m)

h = Altura de la labor (m)

Lp = Longitud de perforación (m)

$$V = 3.0 \times 2.7 \times 1.40$$

$$V = 11.34 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje roto.**

$$TM = V \times dr$$

Donde:

TM = Tonelada métrica de material roto.

V = Volumen roto.

dr = Densidad de roca.

$$TM = 11.34 \times 2.6$$

$$TM = 29.48 \text{ TM}$$

- **Factor de carga.**

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

$$Fc = \frac{10.88}{11.34}$$

$$Fc = 0.96 \text{ kg/m}^3$$

- **Factor de carga lineal.**

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

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

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

- **Factor de potencia.**

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

$$Fp = \frac{10.88}{29.48}$$

$$Fp = 0.37 \text{ kg/TM}$$

**Tabla 19. Resumen de resultados en la voladura optimizada**

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA OPTIMIZADA	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
kg/ m	7.77 kg.
Volumen	11.34 m <sup>3</sup> .
Toneladas	29.48 TM
Factor de carga	0.96 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0.37kg/TM
Factor de carga lineal	7.77 kg/m.

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

#### 4.6. CONTRASTACION DE LAS HIPÓTESIS

##### HIPÓTESIS 1.

Al diseñar una nueva malla de perforación, se optimizará el avance lineal en el frente de la Galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

##### 4.6.1. Resultados comparativos de perforación.

###### a) Malla de perforación anterior

**Tabla 20. Distribución de taladros.**

DESCRIPCION	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Cuadradores	11
Alza	4
Arrastre	4
<b>Total/disparo</b>	<b>37</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

**b) Malla de perforación optimizado.**

Para diseñar la nueva malla de perforación en desarrollo de la galería San Jorge, se ha realizado los cálculos considerando las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, se ha determinado 32 taladros perforados de los cuales 2 taladros son de alivio.

**Tabla 21. Distribución de taladros optimizados**

DESCRIPCION	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Cuadradores	10
Alza	4
Arrastre	4
<b>Total/Disparo</b>	<b>32</b>

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

Del análisis de resultados (antes y después), se concluye, aplicando en nuevo diseño de malla de perforación se ha reducido 05 taladros, en comparación a la malla de perforación anterior.

**4.6.2. Resultados comparativos de voladura.****HIPOTESIS II****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 SEMEXA 45% y mecha de seguridad.

Tabla 22. Resultados en la voladura anterior

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA ANTERIOR	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
kg/ disparo	12.80 kg.
Volumen	10.53 m <sup>3</sup> .
Toneladas	27.38 TM
Factor de carga	1.22 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0.47 kg/TM
Factor de carga lineal	9.85 kg/m.

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

#### b) Carga explosiva optimizada.

Según características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso se ha seleccionado el explosivo SEMEXA 65%, en mecha seguridad, resultados se muestran en el cuadro.

Tabla 23. Resultados en la voladura optimizada

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA VOLADURA OPTIMIZADA	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
kg/ m	7.77 kg.
Volumen	11.34 m <sup>3</sup> .
Toneladas	29.48 TM
Factor de carga	0.96 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0.37kg/TM
Factor de carga lineal	7.77 kg/m.

Fuente: Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.

#### 4.7. DISCUSIÓN DE 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 de perforación y voladura en el desarrollo de la Galería San Jorge de la Minera MACDESA.

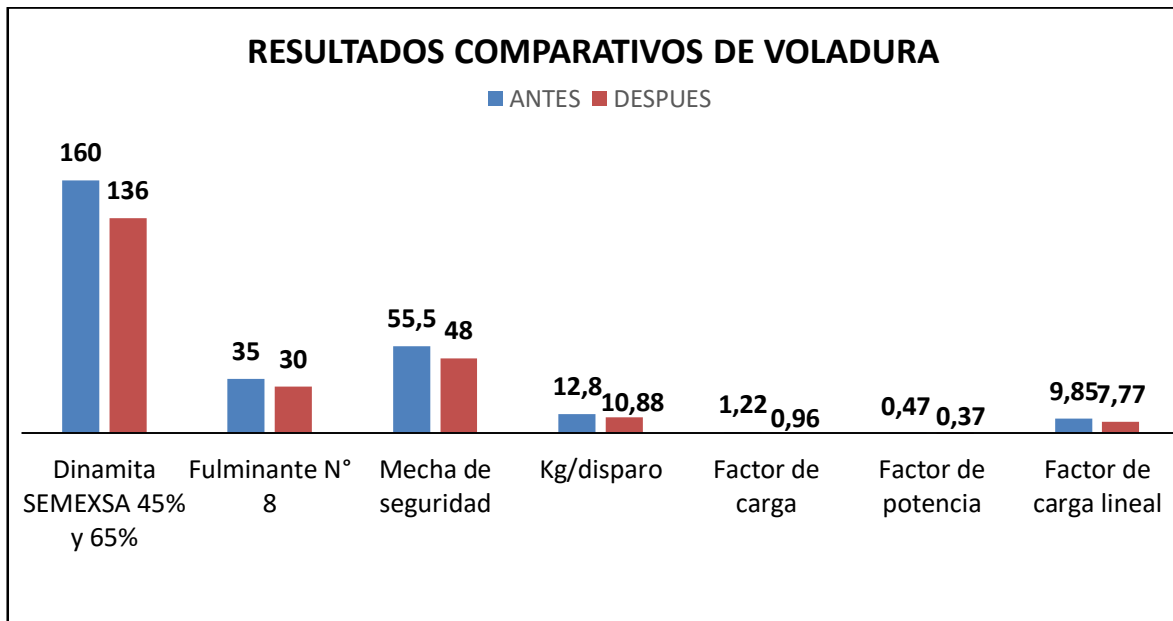
**Tabla 24. Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura**

Descripción	Unidad de Medida	Antes	Después	Diferencia
Taladros perforados	Taladro	37	32	05
Taladros cargados	Taladro	35	30	05
Dinamita SEMEXSA 45% y 65%	Cartuchos	160	136	24
Fulminante N° 8	Cápsulas	35	30	05
Mecha de seguridad	Metro	55.50	48.0	7.50
Kg/disparo	Kilogramo	12.80	10.88	1.92
Factor de carga	Kg/m <sup>3</sup>	1.22	0.96	2.09
Factor de potencia	Kg/TM	0.47	0.37	0.80
Factor de carga lineal	Kg/m	9.85	7.77	5.39
Avance lineal	Metro	1.30	1.40	0.10
Tiempo de perforación/disparo	H:min:s	02:33:41	02:14:50	00:18:51

Fuente: Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

- En la voladura anterior se ha utilizado el explosivo SEMEXA 45%, en total de 160 cartuchos de dinamita, 35 unidades del fulminante N° 8, mecha de seguridad 55.50 metros, factor de carga 1.22 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia 0.47 kg/TM, factor de carga lineal 9.85 kg/m y con un avance lineal de 1.30 metros.
- En la voladuras optimizado se ha utilizado el explosivo SEMEXSA 65%, en total de 136 cartuchos de dinamita, 30 unidades del fulminante N° 8, mecha de seguridad 48 metros, factor de carga 0.96 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia 0.37 kg/TM, factor de carga lineal 7.77 kg/m y con un avance lineal de 1.40 metros.

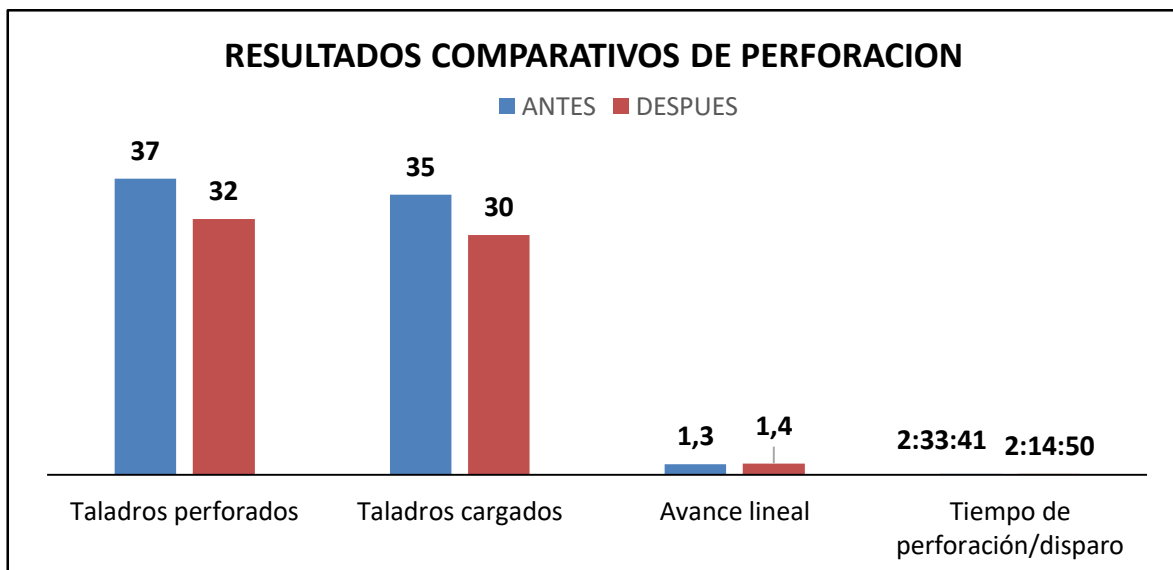
**Figura 4.1: Resultados comparativos de voladura.**



Fuente: Elaboración propia

En el diseño malla de la perforación anterior se ha utilizado 37 taladros perforados y con el nuevo diseño de la malla de perforación 32 taladros perforados, haciendo una diferencia de 05 taladros, en ambos casos se ha utilizado el corte quemado de 06 taladros de 5 pies, de los cuales 02 taladros son de alivio.

**Figura 4.2: Resultados comparativos de perforación.**



Fuente: Elaboración Propio



Según el análisis de resultados de la perforación anterior y el optimizado se concluye que la granulometría en la voladura anterior no ha sido uniforme, 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 10.53 m<sup>3</sup>, un tiempo total por disparo de 02:33:11 (h: min: s) y una eficiencia por disparo de 85%.

Con el nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada se ha logrado una granulometría de tamaño < a 25 cm, el avance lineal en un promedio de 1.40 metros, el volumen obtenido de 11.50 m<sup>3</sup>, un tiempo total por disparo de 02:14:50(h: min: s) y una eficiencia de perforación de 92 %.

#### **4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Con el nuevo diseño de la malla de perforación, los taladros se han optimizado de 37 a 32 taladros perforados, con una diferencia de 05 taladros, en ambos casos se ha utilizado el corte quemado de 06 taladros de 5 pies, de los cuales 02 taladros son de alivio.

El avance lineal se ha optimizado de 1.30 metros a 1.40 metros con una diferencia de 0.10 metros.

Con la carga explosiva seleccionada, el consumo de explosivo, se ha reducido de 9.85 kg/m a 7.77 kg/m, haciendo una diferencia de 2.08 kg/m.

##### **4.8.1 Análisis comparativo.**

El estudio de investigación es similar con la tesis, Optimización de Costos de Perforación y Voladura en la Mina Maribel de Oro A, Ananea - Phoquera, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en donde concluye que el avance lineal en la perforación anterior ha sido de 1.35 metros y con la nueva malla de perforación se ha optimizado a 1.42 metros por cada disparo realizado y en la voladura el consumo de explosivo se ha reducido de 14.35 kg/m. a 11.69 kg/m. (Mamani Pacoricona, 2015).

## CONCLUSIONES

Con el nuevo diseño de malla de perforación y la selección de la carga explosiva adecuada, el avance lineal se ha optimizado de 1,30 metros a 1,40 metros con una diferencia de 0,10 metros por cada disparo realizado en el frente de la galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

Mediante el nuevo diseño de malla de perforación los taladros se han optimizado de 37 a 32 taladros perforados con una diferencia de 04 taladros, en el frente de la galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

Con la selección de la carga explosiva adecuada, el consumo de explosivos Semexa de 65%, se ha optimizado de 9.85 kg/m a 7.77 kg/m, con una diferencia de 2.08 kg/m y los parámetros de voladura se han , el factor de carga de 1.22 kg/m<sup>3</sup> a 0.96 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0.47 kg/TM. a 0.37 kg/TM y factor de carga lineal de 9.85 kg/m a 7.77 kg/m.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el estudio correspondiente de geomecánica para un nuevo diseño de malla de perforación y lograr la malla óptima de perforación para reducir los taladros de producción en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

Se recomienda realizar un estudio detallado de las propiedades físicas y químicas de los explosivos dinamita de 45% y 65% para determinar las características favorables de cada explosivo y utilizar el más apropiado según las características del macizo rocoso.

## BIBLIOGRAFÍA

Cámac Torres, Alfredo (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM-UNA. Puno.

Cámac Torres, Alfredo (2005). *Tecnología de Explosivos*. FIM-UNA. Puno.

Chambi Flores, Alan (2011), *Optimización de Perforación y Voladura en la Ejecución de la Rampa 740 – Unidad Vinchos – Volcan S.A.A.*

Chahuares Sairitupa, F. C. (2012) *Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo Mina EL COFRE*.

EXSA (2001) *Manual Práctico de Voladura* ,Edición Especial. Perú.

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

FAMESA EXPLOSIVOS, (2008), *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea*.

Jáuregui Aquino, Alberto (2009), tesis: *Reducción de costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura*. Presentada a la Facultad de Ciencias Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lopez Jimeno C., (1994), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*, Instituto Geológico y Minero España. Edición 1994.

Lopez Jimeno, Carlos (1997), *Manuel de Túneles y Obras Subterráneas*, Madrid: Graficas Arias Montano.

Rodríguez Velásquez, Roger Hernán (2011), *Mejoramiento de Operaciones Unitarias en Labores de Desarrollo en Minería Subterránea Unidad Minera EL COFRE*.

Laricano Flores, Ernesto (1995), *Optimización de Costos en las Labores de Desarrollo Minera Pachapaqui S.A.*

Lupaca Marca, Jony P. (2009), *Costos en Operaciones Mineras Unitarias Subterráneas.*

Mendoza, Juan (2006), *Perforación y voladura*, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.

Ticlavilca Paredes, Efraín A. (2010), *Diseño de Perforación y Voladura en el Tajo Susan de la Unidad Minera Corihuarmi Compañía Minera I.R.L*

Vargas Vargas Ernesto, (2009), *tesis: Voladura controlada en labores de desarrollo y preparación de la mina Animon Chungar S.A.C."*

## **ANEXOS**

**Anexo N° 1 Plano de ubicación**

**Anexo N° 2 Geología regional**



**Anexo N° 3 Geología Local**