

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

MEDIANTE UN NUEVO DISEÑO DE MALLA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. OSCAR VLADIMIR ALCOS HUARILLOCLA

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

REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

MEDIANTE UN NUEVO DISEÑO DE MALLA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

Bach. OSCAR VLADIMIR ALCOS HUARILLOCLA

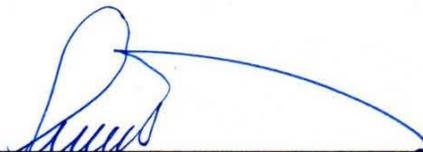
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

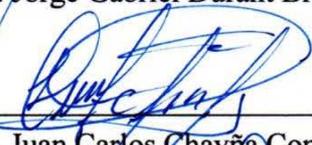
:



Dr. Jorge Gabriel Durant Broden

PRIMER MIEMBRO

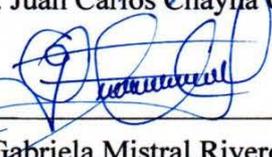
:



Ing. Juan Carlos Chayña Contreras

SEGUNDO MIEMBRO

:



Ing. Gabriela Mistral Riveros Mendoza

TEMA: Análisis de costos mineros y comercialización de minerales

ÁREA: Ingeniería de minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

*A Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas
para continuar en este proceso de obtener uno de
los anhelos más deseados.*

*También está dedicado a mi padre, quien me
enseñó que el mejor conocimiento que se puede
tener es él que se aprende por sí mismo. También
está dedicada a mi madre, quien me enseñó que
incluso la tarea más grande se puede lograr si se
hace un paso a la vez.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por permitirme realizar mis estudios en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

A mis padres, José y Alejandrina, por su grandioso sacrificio y amor, por guiarme en este sendero de formación profesional, a mis hermanos Paola N. y Jeanpool J. por su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURA

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Título	9
Resumen	9
Palabras clave	9
1. Introducción	10
2. Materiales y métodos	11
3. Resultados y discusión.....	12
4. Conclusiones	24
Referencias bibliográficas	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Malla de perforación anterior	17
Figura 2. Diseño de la nueva malla de perforación optimizado.....	18
Figura 3. Resultados comparativos de voladura.....	19
Figura 4. Resultados comparativos de perforación.....	19
Figura 5 Diseño de malla en la optimización.....	20
Figura 6 Resultados comparativos de voladura.....	23
Figura 7 Resultados comparativos de perforación.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados comparativos de la perforación anterior y la perforación optimizada.	13
Tabla 2 Consumo de explosivos y accesorios por disparo de la perforación anterior y la perforación optimizada.....	13
Tabla 3 Resumen de costo por disparo de voladura anterior y optimizada.....	14
Tabla 4 Tipo de roca.....	15
Tabla 5 Distribución de taladros en la perforación en la optimización.....	15
Tabla 6 Resumen de resultados en la voladura anterior y voladura optimizada.	16
Tabla 7 Distribución de taladros anterior.....	16
Tabla 8 Distribución de taladros optimizados.....	17
Tabla 9 Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura.	18
Tabla 10 Distribución de taladros en la optimización.....	20
Tabla 11 Resultados obtenidos en la perforación optimizada.....	20
Tabla 12 Voladura optimizada.	21
Tabla 13 Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura (antes y después).....	22

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Bz	: Buzamiento
CM	: Costo de mantenimiento
°C	: Grados Celsius
cm	: Centímetro
cc	: Centímetro cubico
E.P.P	: Equipo de protección personal
FR	: Factor de reparación
kg/ m ³	: Kilogramos por metro cubico
HP	: Horsepower
mm	: Milímetros
mg	: Miligramos
m ²	: Metro cuadrado
m/h	: Metros por hora
NW	: Nor-Oeste
N° Tal	: Número de taladro
RQD	: Rock quality designation
TM/disparo	: Tonelada métrica por disparo
US\$/ml	: Dólares por metro lineal

Reducción de costos en el proceso de perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla

Cost reduction in the drilling and blasting process by a new mesh design

Bach. Oscar Vladimir Alcos-Huarillocla

Facultad de ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

oscaralcosh93@gmail.com, 913734157

Resumen

En labores de minería subterránea es de gran importancia contar con los patrones y explosivos adecuados para abrirse paso en los distintos yacimientos subterráneos. el presente trabajo se basa en la investigación realizada en el frente crucero 340 NW de la Empresa Minera Yansur S.A.C. – Rinconada realizada en el año 2018, cuyo objetivo principal es determinar y aplicar un nuevo diseño de malla de perforación para obtener una longitud de carga adecuada y optimizar los costos de perforación y voladura. Se evaluó los procesos de ejecución del avance lineal en la perforación y voladura anterior, para poder plantear un nuevo diseño de la malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada, según las características de la roca encajonante y también las propiedades físicas y químicas de los explosivos a utilizar en la voladura. Luego de analizar los resultados de la nueva malla de perforación y la distribución de la carga explosiva adecuada para reducir los costos, son eficientemente aceptables en la determinación del diseño de la malla. Con la aplicación de la nueva malla de perforación, los taladros se han optimizado de 46 a 41 taladros perforados, con una reducción de costo por disparo de 26.98 US\$/ml y una reducción de 0.27 kg/m³ en el factor de carga. Se sugiere supervisar y controlar siempre el antes y después de la perforación y voladura para hacer un seguimiento correspondiente para ver el comportamiento de la roca y determinar el diseño de malla y la carga explosiva adecuada.

Palabras clave: Avance lineal; carga explosiva; optimización; galería; taladro

Abstract

In underground mining it is of great importance to have suitable patterns and explosives to break into the different underground deposits. This paper is based on research conducted at the head 340 NW Company Minera Yansur SAC - Rinconada made in 2018, whose main objective was determine and implement a new drill mesh design, a load length appropriate and optimize drilling and blasting costs. Implementation processes of the linear advance in the previous drilling and blasting was evaluated, to raise a new grid design of drilling, type and proper explosive charge, according to the characteristics of the host rock and the physical and chemical properties of explosives used in the blast. After analyzing the results of the new mesh and distribution of appropriate explosive charge to reduce costs it was found that they are acceptable in determining the design of the mesh. With the application of new drilling mesh, the holes are optimized for 46-41 drilled holes, with reduced cost per shot 26.98 US \$ / ml and a reduction of 0.27 kg / m³ in the load factor. It is suggested to always monitor and control the before and after drilling and blasting to make a corresponding follow-up to see the behavior of the rock and determine the mesh design and the appropriate explosive charge.

Keywords: Linear advancement; explosive charge; optimization; Gallery; drill

1. Introducción

En la actualidad, las actividades de perforación y voladura en una labor subterránea constituyen como unas de las etapas más importantes, en donde es necesario tener mucha atención en el diseño de la malla de perforación, selección de carga explosiva a utilizar y costos para alcanzar mejores resultados (Mamani-Choque, 2017). Otros estudios demuestran que los costos operativos son muy elevados a causa del mal diseño de la malla de perforación que no se ajusta a las características del macizo rocoso en donde se planteó optimizar la voladura aplicando el modelo matemático de áreas de influencia, que consiste en calcular el burden basándose en las clasificaciones geomecánicas de la roca (RQD,RMR,GSI) (Caceres-Navarro, 2017). La reducción de costos en tiempos de operación en la perforación y voladura, según las características del macizo rocoso que se encuentra en el campo será el punto de partida para llevar un nuevo diseño de malla, las mallas de perforación está en función a cálculos matemáticos y la determinación adecuada de la sustancia explosiva a utilizarse (Quispe-Caceres, 2018), la malla de perforación es la forma en la que se distribuye los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación del burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad del taladro. En operaciones subterráneas, tenemos solo una cara en la cual debemos perforar y ser capaces de crear alivio perpendicular a esa cara utilizando los primeros taladros que se detonan

(Larijo-Quenaya, 2019). Para determinar y evaluar correctamente los resultados, se detectaran en principio los errores de perforación, como son paralelismo, eficiencia de perforación, distribución de taladros, deficiencias en el arranque, espaciamiento, deficiente supervisión y otros que afectan una buena voladura; estos errores influyen en la reducción de un avance esperado, además de una posible sobre excavación, también puede producir un efecto canal, como también puede ejercer una deformación plástica en el arranque que es deficiente para realizar una cara libre, estos resultados influyen en el costo unitario de perforación y voladura, como consecuencia de estas deficiencias que se presentan en el frente surgió la necesidad de diseñar la nueva malla de perforación de acuerdo a los cálculos teóricos y a las características de la roca (Ayamamani-Pachari, 2016; Chipana-Tito, 2015).

En otros casos similares, como el caso de la Empresa Minera Vicus SAC, donde gracias a la implementación de una nueva malla de perforación y voladura calculada por el modelo matemático del Algoritmo de Holmberg ajustada al campo, se logró disminuir el costo de perforación y voladura por metro lineal en un 30.03% (Morales-Curo, 2019), o cuando se opera con el método de explotación de corte y relleno ascendente, caso Minera Bateas por lo cual, para el cumplimiento de su programa necesita aumentar el avance por disparo, reducir costos en el avance de frentes disminuir tiempos, para así aumentar la eficiencia, lo cual

obliga realizar un disparo óptimo, y evaluación de malla formulada por Holmberg para hacer un buen diseño de los parámetros de perforación y voladura, reduciendo la sobre excavación y utilizando los explosivos adecuados de acuerdo a la energía entregada (Taype-Obregon & Marcañaupa-Chancas, 2015). Además el taladro perforado no serviría de nada, si no se tiene en cuenta el diámetro óptimo y paralelismo del taladro, en tal sentido todas estas operaciones en conjunto son de suma importancia para llevar a cabo una buena voladura (Quispe-Centeno, 2019). Ya que la disminución del número de taladros en las nuevas mallas de perforación influye positivamente en la reducción de costos, ya que al tener menos taladros se realiza menos perforación, se emplea menos explosivos y por lo tanto menos horas hombre tanto en perforación como a la hora del carguío (Gago-Orna, 2019).

En este trabajo se consideró las características de la roca y también las propiedades físicas y químicas de los explosivos a utilizar, con el fin de diseñar la malla de perforación adecuada, ya que en el diseño anterior de la malla de perforación no se ha considerado las características geomecánicas del macizo rocoso.

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de los costos unitarios en perforación y voladura, con base a dos investigaciones, la primera presenta la evaluación de los procesos de ejecución del

avance lineal en la perforación anterior, en el frente Crucero 340 NW de la Empresa Minera Yansur S.A.C. – Rinconada donde el control de la actividad se realizó en diferentes procesos en donde se evaluó el avance lineal por cada disparo realizado, granulometría, el trazo de perforación, número de taladros el tipo y la cantidad de explosivos utilizados.

La segunda realizada en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa, donde en su primera fase se evaluó los procesos de ejecución del avance lineal en la perforación anterior.

2.1. Técnicas que se utilizaron para la inclusión y exclusión de artículos en la presente investigación son:

Análisis de documentos (para obtener información histórica del proyecto a investigar).

Revisión de artículos científicos de las empresas (Para obtener información histórica de costos y producción de anteriores proyectos de las empresas).

Objetivo: Determinar y aplicar un nuevo diseño de malla de perforación para obtener una longitud de carga adecuada y optimizar los costos de perforación y voladura.

Se plantea este objetivo con la finalidad de realizar en lo posterior un análisis comparativo de las metodologías realizadas en las investigaciones.

2.2. Técnicas de recolección de datos que se utilizaron en las investigaciones revisadas.

Es muy importante determinar que técnicas se aplicaron, como el análisis estadístico y porcentual, la toma de datos de perforación, voladura y el costo de operación mina.

2.3. Instrumento de recolección de datos:

- **Reporte mensual de operación:** Cantidad de explosivo utilizado, 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:** Cuadros estadísticos, revisión de datos.

Factores del diseño de perforación y equipos que se utilizaron en ambas investigaciones.

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

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. Compresor de aire Atlas Copco AD55VSD.

3. Resultados y discusión

Primeramente, se evaluará los resultados obtenidos de la primera investigación.

3.1. Perforación y voladura no optimizada en el frente del crucero.

- La sección de la galería es: 3.5 m. x 2.50 m.
- Densidad de la roca: 2.6 TM/ m³
- Sección de la galería: 3.5 m x 2.5 m
- Diámetro del taladro de producción: 0.038 mm
- Diámetro del taladro alivio: 0.038 mm
- Longitud de barrenos de perforación: 1.52 m
- Tipo de corte: Corte quemado

Profundidad del taladro a perforarse.

Utilizando la ecuación: (EXSA, 2001)

$$H = 0.15 + 34.12 \times \phi - 39.4\phi^2$$

Dónde:

H: Profundidad de taladros a perforarse (m)

ϕ : diámetro del taladro vacío (m)

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

$$H = 1.38 \text{ m}$$

Avance de la voladura al 95 %

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

Con la ecuación:

$$I = 0.95 \times H$$

N° Cartuchos: Total de cartuchos por taladro
(unidad)

Dónde:

L: Longitud del taladro perforado (m)

I: Avance de la voladura (m)

Le: Longitud de explosivo o cartucho (m)

H: Profundidad de los taladros a perforarse
(m)

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

$$I = 0.95 \times 1.38m$$

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

$$I = 1.31m$$

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

Número de cartuchos por taladro.

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

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

$$N^{\circ} \text{ Cartuchos} = 6 \text{ cartuchos/tal.}$$

3.1.1. Comparación de parámetros de la perforación anterior y la perforación optimizada.

Tabla 1

Resultados comparativos de la perforación anterior y la perforación optimizada.

	Unidad	Anterior	Optimizada
Tiempo de perforación del frente	h min s	03:04:43	03:04:43
Longitud de perforación	m	1.3	1.5
N° de taladros perforados	Taladros	46	41
Longitud total perforado/disparo	m	69	61.5
Tiempo promedio de perforación por cada taladro	h min s	00:04:03	00:03:46

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

3.1.2. Consumo de explosivos y accesorios.

Tabla 2

Consumo de explosivos y accesorios por disparo de la perforación anterior y la perforación optimizada.

Descripción	Unidad de medida	Anterior	Optimizada
Semexa 65%	Kg	15.92	13.44
Mecha de seguridad	m	80.467	71.32
Fulminante N° 8	Unidades	44	39.00

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

- **Cálculo del volumen roto.**

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

Donde:

V: Volumen roto (m³)

b: Ancho de la labor (m)

h: Altura de la labor (m)

Lp: Longitud de perforación (m)

$$V = 3.5m \times 2.5m \times 1.35m$$

$$V = 11.81m^3$$

- **Cálculo de tonelaje roto.**

$$TN = V \times dr$$

Donde:

TM: Tonelada métrica de material roto

V: Volumen roto

dr: Densidad de roca

$$TN = 11.81 \times 2.6$$

$$TN = 30.71TM$$

- **Cálculo del factor de carga.**

$$Fc = \frac{kg - explosivo}{volumen roto}$$

$$Fc = \frac{15.92 kg}{11.81 m^3}$$

$$Fc = 1.35 kg/m^3$$

- **Cálculo de carga lineal.**

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

$$Fc = \frac{15.92}{1.35}$$

$$Fc = 11.8 kg/m$$

- **cálculo de potencia.**

$$Fp = \frac{kg - explosivo}{tonelaje roto}$$

$$Fp = \frac{15.92 kg}{30.71 TM}$$

$$Fp = 0.52 kg/TM$$

3.1.3. resumen comparativo de perforación y voladura.

Tabla 3

Resumen de costo por disparo de voladura anterior y optimizada.

Descripción	Costo Total (US\$/ml) de la voladura anterior	Costo Total (US\$/ml) de la voladura optimizada
Mano de obra	283.47	282.47
Máquina perforadora y compresor de aire	25.94	23.12
Materiales de perforación	32.18	28.68
Materiales de voladura	144.90	124.30
Herramientas de perforación	2.37	2.34
E.P.P.	2.94	2.91
Total	491.80	464.82

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

3.2. parámetros tomados en cuenta para el diseño de la nueva malla de perforación.

De acuerdo al análisis de la malla de perforación anterior, la misma que ha tenido

una serie de deficiencias en su aplicación como tal se realiza el nuevo diseño de malla de perforación según las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso y luego para

su posterior comparación con el nuevo diseño en donde se utilizó el modelo matemático de EXSA.

Numero de taladros.

Según el modelo matemático de EXSA, se calcula con la siguiente ecuación el número de taladros:(EXSA, 2001)

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

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

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

N° 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 (m^2)

Tabla 4

Tipo de roca

Tipo de roca	Dt	K
Blanda	0.7	1
Semi dura	0.6	1.5
Dura	0.5	2

Fuente: (EXSA, 2001)

Calculando el número de taladros:

$$N^{\circ} Tal. = \left(\frac{11.83}{0.5}\right) + (2 \times 8.75)$$

$$N^{\circ} Tal. = (23.66) + (17.5)$$

$$N^{\circ} Tal. = 41.16 \cong Total 41 taladros$$

Tabla 5

Distribución de taladros en la perforación en la optimización.

Descripción	N° de taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Sub cuadradores	8
Cuadradores	11
Alzas	4
Arrastres	4
Total	41

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

Datos de campo

Densidad de la roca : 2.6 TM/ m^3

Sección de la galería : 3.5m x 2.5m

Diámetro de taladro de producción : 0.038 mm

Longitud de barrenos de perforación : 5 pies

• Cálculo del volumen roto.

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

$$V = 3.5m \times 2.5m \times 1.42m$$

$$V = 12.43m^3$$

• Cálculo de tonelaje roto.

$$TN = V \times dr$$

$$TN = 12.43 \times 2.6$$

$$TN = 32.31TM$$

• Cálculo del factor de carga.

$$Fc = \frac{kg - explosivo}{volumen roto}$$

$$Fc = \frac{13.44 kg}{12.43 m^3}$$

$$Fc = 1.08 kg/m^3$$

- **Cálculo de carga lineal.**

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

$$Fc = \frac{13.44}{1.42}$$

$$Fc = 9.46 \text{ kg/m}$$

- **cálculo de potencia.**

$$Fp = \frac{kg - explosivo}{tonelaje roto}$$

$$Fp = \frac{13.44 \text{ kg}}{32.31 \text{ TM}}$$

$$Fp = 0.42 \text{ kg/TM}$$

Comparación de resultados de la voladura anterior y voladura optimizada.

Tabla 6

Resumen de resultados en la voladura anterior y voladura optimizada.

Descripción	Unidad de medida	Anterior	Optimizada
Cantidad de explosivo	kg.	15.95	13.44
Volumen	m ³ .	11.81	12.43
Toneladas	TM	30.71	32.31
Factor de carga	kg/m ³ .	1.35	1.08
Factor de potencia	kg/TM	0.52	0.42
Factor de carga lineal	kg/m	11.80	9.46

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

3.3. Resultados de mallas de perforación.

3.3.1. Malla de perforación anterior.

Realizando el análisis del diseño de la malla de perforación anterior en el frente del crucero 340NW, de la empresa minera Yansur S.A.C., donde se pone en evidencia que no se ha considerado las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, donde la longitud de perforación era de 1.30 m, como tal se ha utilizado 46 taladros de 5pies, de los cuales 2 son taladros de alivio, como se muestra en la tabla N° 7.

Tabla 7

Distribución de taladros anterior.

Descripción	Número de taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Sub cuadradores	8
Cuadradores	10
Sub alzas	3
Sub arrastres	4
Alzas	3
Arrastres	4
Total	46

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

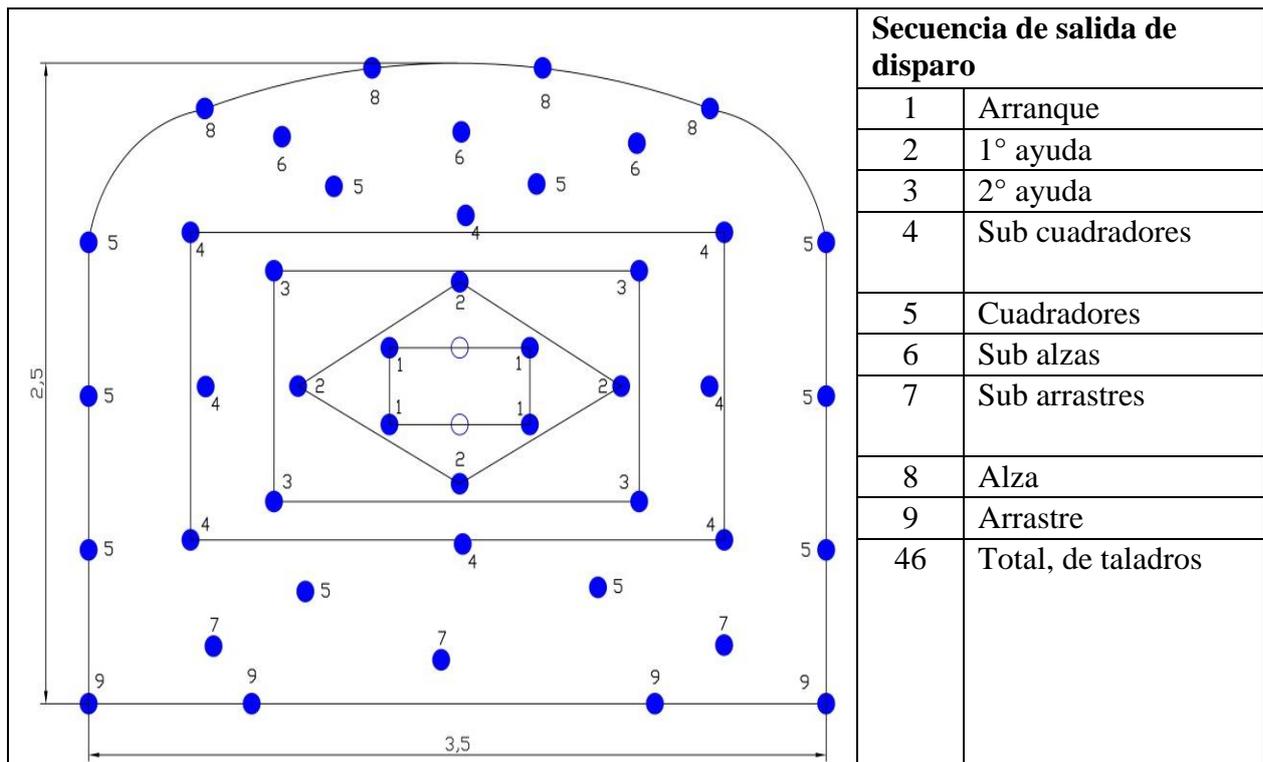


Figura 1. Malla de perforación anterior
Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

3.3.2. Malla de perforación optimizada.

Para lograr mejores resultados de perforación y voladura, de acuerdo al análisis de la malla de perforación anterior, el mismo que ha tenido una serie de deficiencias en su aplicación como tal, en el nuevo diseño de la malla de perforación en el frente, se ha realizado los cálculos utilizando el modelo matemático de EXSA y también se ha considerado las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, se ha determinado 41 taladros perforados de los cuales 2 taladros de alivio y teniendo una longitud de perforación de 1.50 m.

Tabla 8

Distribución de taladros optimizados.

Descripción	Número de taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Sub cuadradores	8
Cuadradores	10
Alzas	4
Arrastres	4
Total	41

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

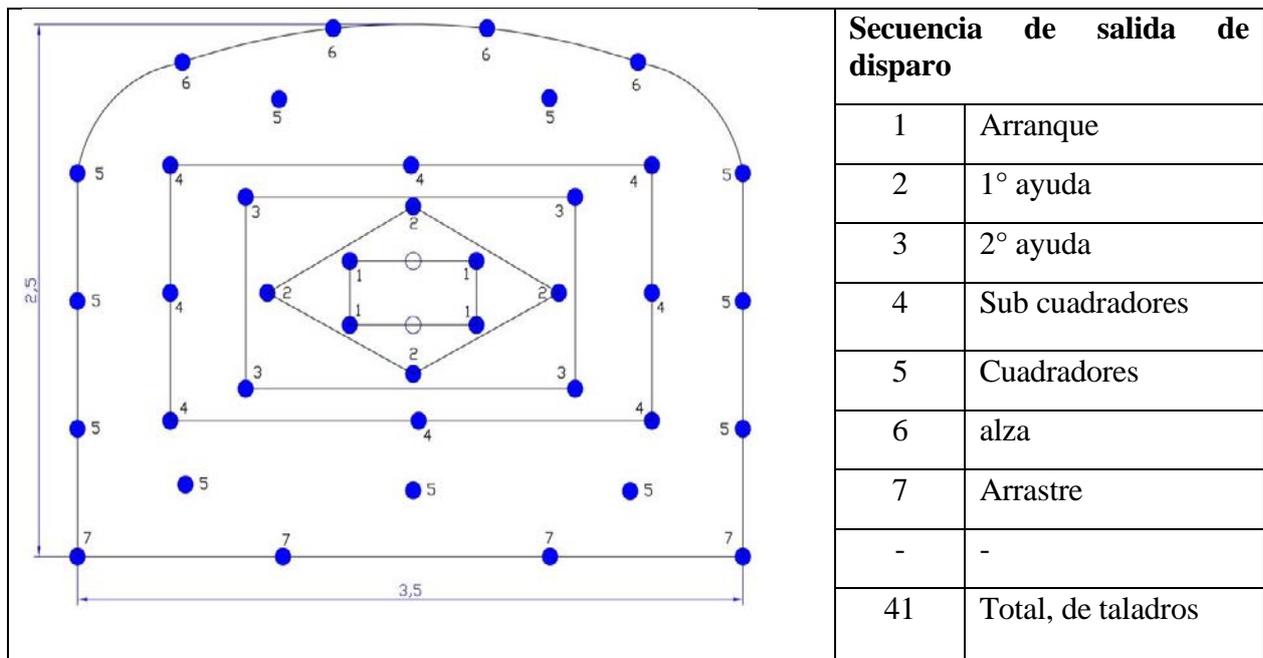


Figura 2. Diseño de la nueva malla de perforación optimizado.
Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

3.3.3. Discusión de resultados de perforación y voladura.

Según los cálculos y el análisis de los resultados de perforación y voladura, antes y después de la optimización, se muestra claramente que hay una diferencia en los parámetros y costos de perforación y voladura en el frente crucero 340NW.

En el diseño de la perforación anterior, se ha utilizado 46 taladros perforados y con el nuevo diseño de la malla de perforación, se ha reducido a 41 taladros perforados, haciendo una diferencia de 5 taladros, en ambos casos se ha utilizado el corte quemado de 06 taladros de 5 pies, de los cuales 02 taladros son de alivio como se muestra en la figura 2.

Tabla 9
Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura.

Descripción	Unidad de Medida	Antes	Después	Diferencia
Taladros perforados	Taladro	46.0	41.0	5.0
Taladros cargados	Taladro	44.0	39.0	5.0
Fulminante N° 8	unidades	44	39	5.0
Mecha de seguridad	m	80.5	71.5	9.0
Cantidad de explosivos	kg	15.92	13.44	2.48
Factor de carga	kg/m ³	1.35	1.08	0.27
Factor de potencia	kg/TM	0.52	0.42	0.1
Factor de carga lineal	kg/m	11.80	9.46	2.34
Tiempo Prom. de perforación	h. min. s.	03:04:43	02:32:01	00:32:42
Tiempo Prom. de perforación	h. min. s.	00:04:03	00:03:46	00:00:17

Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

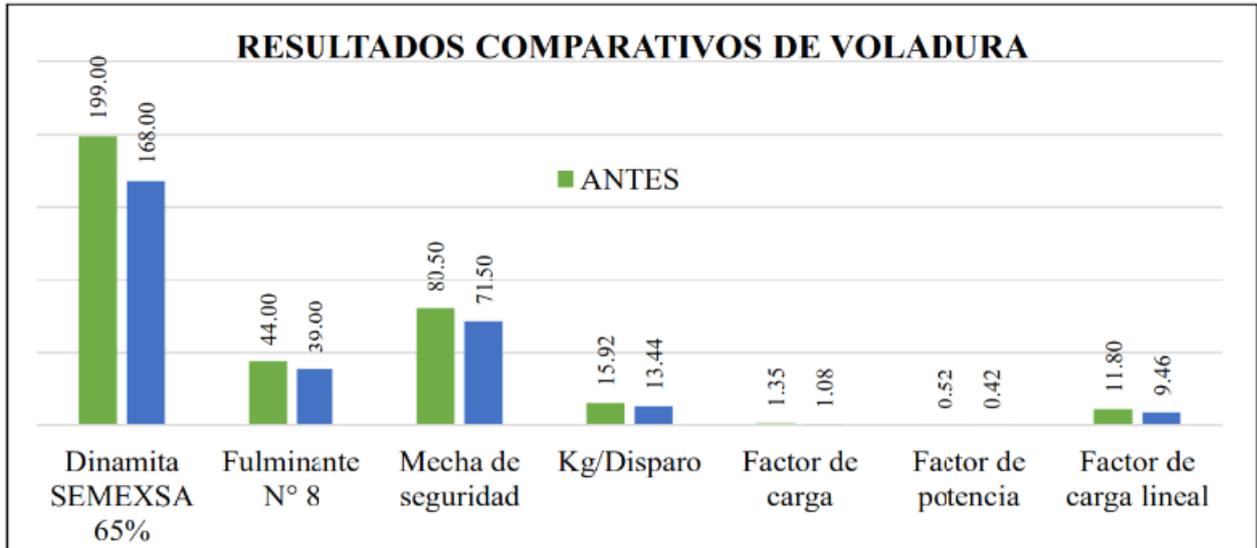


Figura 3. Resultados comparativos de voladura.
Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

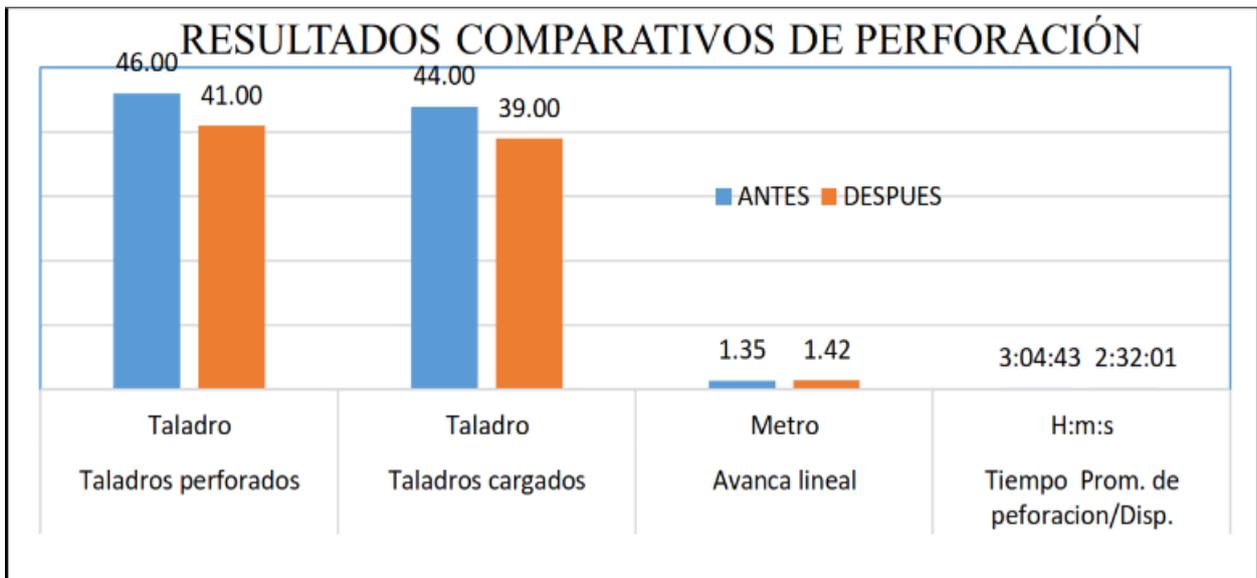


Figura 4. Resultados comparativos de perforación.
Fuente: (Quispe-Caceres, 2018)

Análisis comparativo con la segunda investigación.

Ahora realizando la misma metodología que la investigación anterior y esta vez comparándola con la investigación realizada en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa se tiene lo siguiente:

Datos de campo:

- Densidad de la roca: 2.6 TM/ m³
- Sección de la galería: 3.0 m x 2.70 m.
- Ancho: 3.0 m.
- Altura: 2.70 m.
- Diámetro del taladro de producción: 0.038 mm.

- Diámetros del taladro vacío o el alivio: 0.038 mm.
- Longitud de barrenos de perforación: 5 pies.

Tabla 10

Distribución de taladros en la optimización.

Distribución de taladros en la optimización.

Distribución de taladros	
Descripción	N° de Taladros
Alivio	2
Arranque	4
1° Ayuda arranque	4
2° Ayuda arranque	4
Cuadradores	10
Alza	4
Arrastre	4
Total/disparo	32

Fuente: (Pino-Chili, 2019)

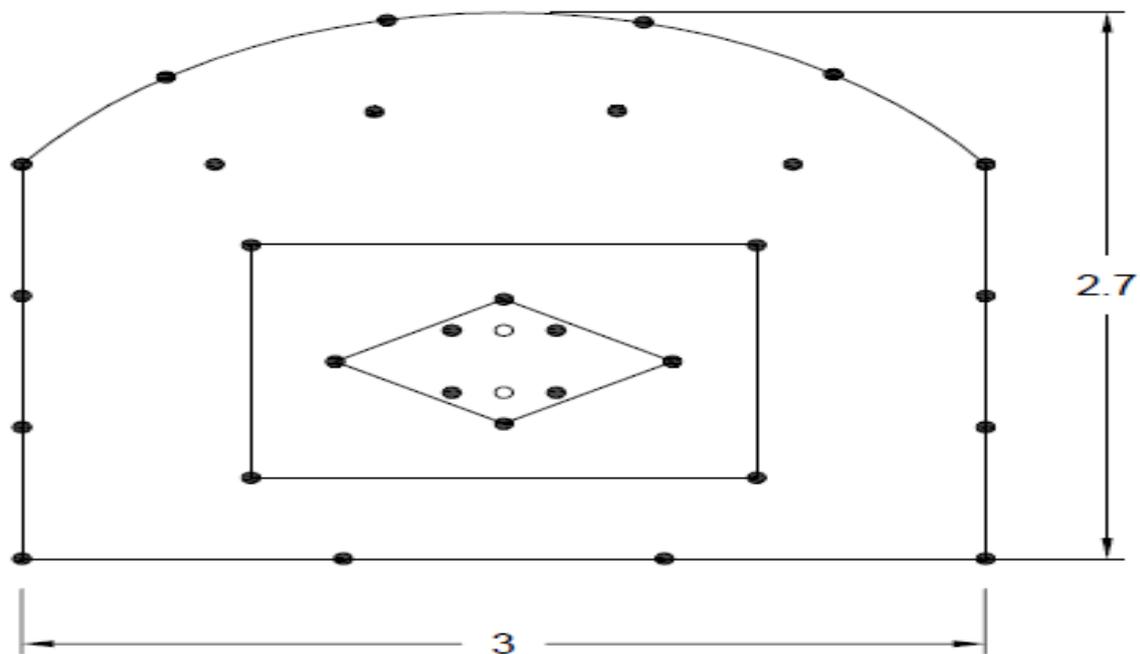


Figura 5 Diseño de malla en la optimización.

Fuente: (Pino-Chili, 2019)

Resultados obtenidos en la perforación optimizada.

Tabla 11

Resultados obtenidos en la perforación optimizada.

Parámetros obtenidos		
Tiempo de perforación del frente	02:14:50	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: (Pino-Chili, 2019)

Voladura optimizada.

Tabla 12
Voladura optimizada.

Consumo del explosivo Semexa 65%					
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
Cuadradores	10	4	40	0.08	3.20
Alzas	4	4	16	0.08	1.28
Arrastres	4	4	16	0.08	1.28
Total/disparo	32		136		10.88

Fuente: (Pino-Chili, 2019)

- **Cálculo del volumen roto.**

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

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

- **Cálculo de tonelaje roto.**

$$TN = V \times dr$$

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

- **Cálculo del factor de carga.**

$$Fc = \frac{\text{kg} - \text{explosivo}}{\text{volumen roto}}$$

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

- **Cálculo de carga lineal.**

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

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

- **cálculo de potencia.**

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

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

Discusión de resultados de perforación y voladura de la segunda investigación.

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.

Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura.

Tabla 13

Resumen de resultados comparativos de perforación y voladura (antes y después).

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 ³	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 perforación/disparo	de H:min:s	02:33:41	02:14:50	00:18:51

Fuente: (Pino-Chili, 2019)

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/ m³, 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 voladura 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/ m³, factor de potencia 0.37 kg/TM, factor de carga lineal 7.77 kg/m y con un avance lineal de 1.40 metros.

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.

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 m³, 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 m³, un tiempo total por disparo de 02:14:50(h: min: s) y una eficiencia de perforación de 92 %.

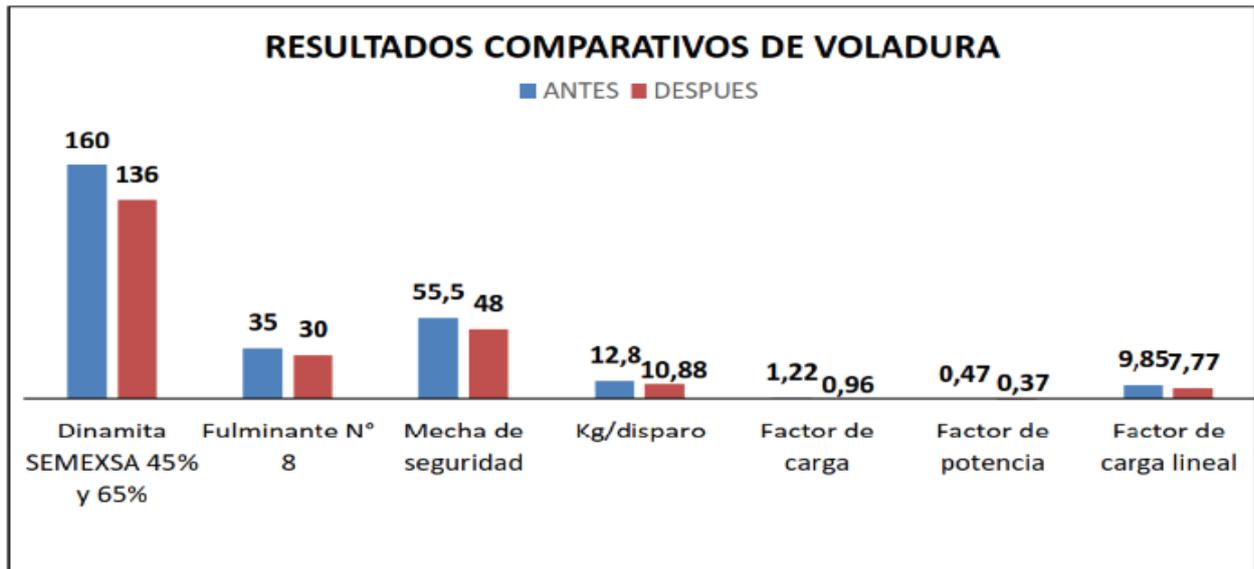


Figura 6 Resultados comparativos de voladura.
Fuente: (Pino-Chili, 2019)

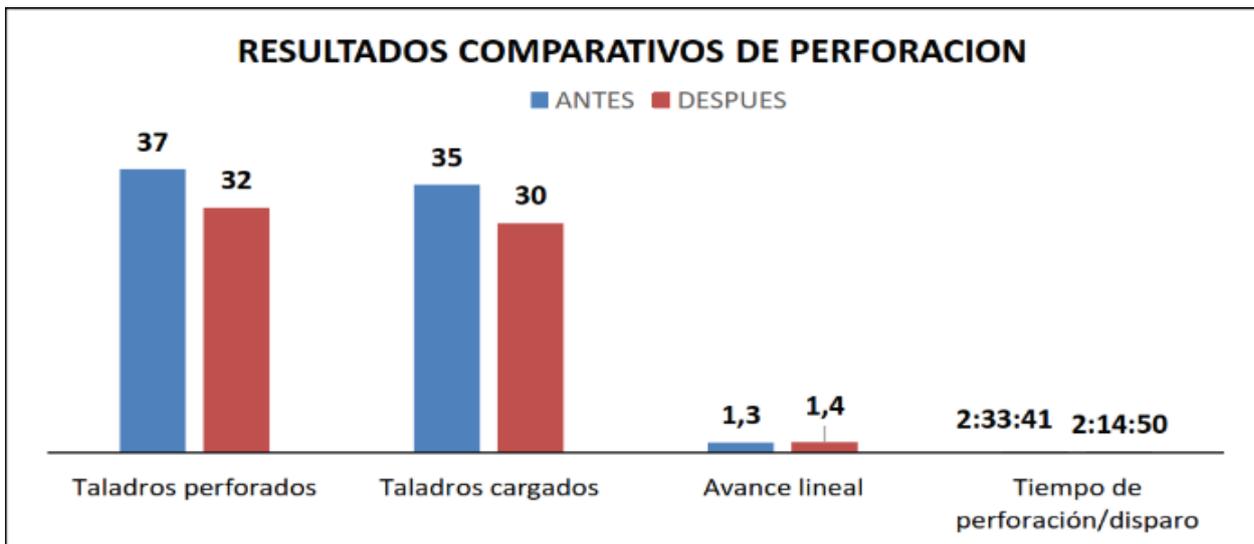


Figura 7 Resultados comparativos de perforación.
Fuente: (Pino-Chili, 2019)

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 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 m³, 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 m³, un tiempo total por disparo de 02:14:50(h: min: s) y una eficiencia de perforación de 92 %.

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).(Pino-Chili, 2019).

Del mismo modo la tesis, minimización de costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del crucero 627 de la minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa. Con la aplicación de la nueva malla de perforación, en el frente del Crucero 627 de la Unidad Minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa, los costos de perforación y voladura se ha reducido de 242,92 US\$/metro a 215,83 US\$/metro, con una diferencia de 27,09 US\$/metro. En la voladura de frente del Crucero 627 de la Unidad Minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa, el consumo de explosivo SEMEXA 65%, se ha reducido de 11,54

kg/metro a 9,39 kg/metro, haciendo una diferencia de 2,15 kg/metro (Larijo-Quenaya, 2019).

4. Conclusiones

Con el nuevo diseño de malla de perforación y la selección de la carga explosiva adecuada, en la primera investigación se tenía anteriormente un costo total por disparo de 491.80 US\$/ml y con el nuevo diseño de malla de perforación, se obtiene 464.82 US\$/ml, con una reducción de costo por disparo de 26.98 US\$/ml, lo que nos indica que el modelo matemático de Exsa es favorable.

En la segunda investigación, 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/m³ a 0.96 kg/m³, 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.

Ambos casos tuvieron resultados favorables, en la aplicación del modelo matemático de Exsa, tomando en cuenta que la densidad de roca en ambos casos era 2.6 TM/m³ y que en la segunda investigación donde se utilizaba el Semexa de 45% se pasó a utilizar el Semexa de 65%.

Referencias bibliográficas

Ayamamani-Pachari, C. (2016). *Diseño de perforación y voladura y su incidencia en los costos unitarios en Balcón III de la*

- Corporación Minera Ananea S. A.* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Caceres-Navarro, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el Crucero 10014 de la empresa minera Marsa* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Chipana-Tito, R. M. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A.* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Gago-Orna, G. W. (2019). *Diseño de malla de perforación y voladura en frentes de avance para reducción de costos y optimización de tiempos en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A- Unidad San Vicente, Vitoc Junin, 2018 San Vicente, Vitoc Junin, 2018* (Universidad Continental).
- Larijo-Quenaya, R. J. (2019). *Minimización de costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del Crucero 627 de la Minera Yanaquihua S.A.C.- Arequipa* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Mamani-Choque, J. C. (2017). *Optimización de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en la chimenea San Andrés de la Contrata Minera Rumij S.R.L.- La Rinconada* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Morales-Curo, K. (2019). *Reducción de costos unitarios mediante la optimización de la malla de perforación y voladura en el inclinado -180 valeria norte de la Empresa Minera Vicus SAC* (Universidad Nacional del Centro del Peru).
- Pino-Chili, R. R. (2019). *Optimización de avance lineal con un nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. - Arequipa* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Quispe-Caceres, H. T. (2018). *Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el frente Crucero 340 NW de la Empresa Minera Yansur S.A.C. - Rinconada* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Quispe-Centeno, N. (2019). *Diseño de mallas de perforación y voladura y su incidencia en los costos unitarios en la Unidad Minera Chalhuane* (Universidad Nacional de San Agustín).
- Taype-Obregon, J. A., & Marcañaupa-Chancas, D. (2015). *Implementación de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura en frentes de avance, en la minera San Cristobal de la CIA. Minera Bateas S.A.C* (Universidad Nacional del Centro del Perú).