

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA
EN EL FRENTE DE CRUCERO 890 NV 1665 DE LA UNIDAD MINERA ESPERANZA-
AREQUIPA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADA POR:

DEMETRIO YANA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS
“OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS EN PERFORACION Y VOLADURA
EN EL FRENTE CRUCERO 890 NV 1665 DE LA UNIDAD MINERA ESPERANZA -
AREQUIPA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

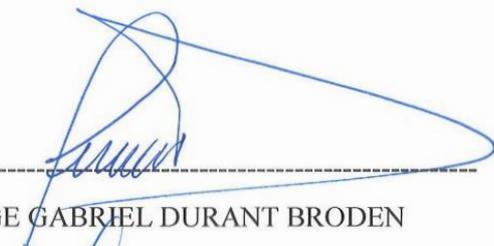
DEMETRIO YANA QUISPE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

: 
DR. JORGE GABRIEL DURANT BRODEN

PRIMER MIEMBRO

: 
M. Sc. AMERICO ARIZACA AVALOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
ING. GABRIELA MISTRAL RIVEROS MENDOZA

TEMA: Optimización de Operaciones Unitarias en Minería Convencional

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACION: 14 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres Mario y Victoria por su constante apoyo y abnegada labor que forjaron en mí esa semilla que creció y dio fruto al estudio, con la cual supieron brindarme su esfuerzo en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Humberto (+) y Marina (+), que desde el cielo me iluminan mis caminos y las sendas por recorrer.

Dedico también a mi familia, a mi esposa Sonia y nuestros hijos Rodrigo (+), Vania Abigail y Darek Sebastián, quienes son la luz de mis días, la fuerza para superarme cada día, motor y inspiración de seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi alma Mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que he adquirido y que me servirá en mi desenvolvimiento profesional.

Agradezco profundamente a la Facultad de Ingeniería de Minas y a su cuerpo de docentes quienes con su sabiduría y experiencia me transmitieron sus sabias enseñanzas durante el transcurso de mi formación académica – profesional en las aulas universitarias.

Mi agradecimiento a mis compañeros de estudio, quienes me supieron brindar su amistad incondicional.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Índice de tabla	
Índice de figura	
Índice de acrónimo	
Resumen	9
Abstract	9
Introducción.....	10
Objetivos	12
Materiales y métodos.....	12
Resultados y discusión	13
Conclusiones	25
Bibliografías:	25

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Ruta de acceso a la Mina Esperanza	12
Tabla 2 Consumo de explosivos en la voladura anterior.....	14
Tabla 3 Parámetros obtenidos de la voladura anterior	15
Tabla 4 Mano de obra.....	16
Tabla 5 Máquina perforadora.....	16
Tabla 6 Materiales de perforación.....	16
Tabla 7 Implementos de seguridad.....	17
Tabla 8 Herramientas y otros materiales.....	17
Tabla 9 Materiales de voladura	18
Tabla 10 Consumo de explosivos en la voladura optimizada	19
Tabla 11 Resumen de resultados en la voladura optimizada.....	20
Tabla 12 Mano de obra.....	20
Tabla 13 Máquina perforadora.....	21
Tabla 14 Materiales de perforación.....	21
Tabla 15 Implementos de seguridad.....	22
Tabla 16 Herramientas y otros materiales.....	22
Tabla 17 Materiales de voladura.....	22
Tabla 18 Resumen de resultados comparativos de perforación anterior y optimizada.....	24

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Vista panorámica de la Unidad Minera Esperanza.....	12
Figura 2 Detalle de la distribución de espacios sección 7 x 7.....	13
Figura 3 Diseño de arranque anterior y después	14
Figura 4 Resultados comparativos de perforación y voladura	24

ÍNDICE DE ACRÓNIMO

TM	: Tonelada métrica
Nv	: Nivel
m	: Metros
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
US\$/m	: Dólares por metro
P.p.	: Pies perforados
Km	: Kilómetros
g	: Gramos
h	: Hora
Unid.	: Unidades
US\$/m	: Dólares por metro
US\$/disp.	: Dólares por disparo
US\$/unid	: Dólares por unidad
V. útil	: Vida útil.
H	: Altura del crucero
Lp	: Longitud de perforación (m)
V	: Volumen roto
m ³	: Metro cubico

**Optimización de operaciones unitarias en perforación y voladura en frente de crucero 890 NV
1665 de la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.**

**Optimization of the drilling and blasting operations on the mined heading crosscut 890 LV
1665 of the Unit Mining Esperanza – Arequipa.**

Bach. Demetrio Yana Quispe

Escuela Profesional de ingeniería de Minas, email: dyq1285@gmail.com

ORCID Id 0000-0003-3827-0981, Universidad Nacional del Altiplano.

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo optimizar las operaciones unitarias de perforación y voladura con un nuevo diseño de malla de perforación en el frente crucero 890 NV 1665, el cual tiene una sección de 2.10 m x 2.10 m y está siendo ejecutado para cortar el cuerpo mineralizado de la veta Karina en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa. La metodología de investigación fue de tipo descriptivo y aplicativo, en el que primero se hizo una evaluación de varios parámetros de perforación y voladura como: la malla de perforación, número de taladros, burden, espaciamiento, tipo de trazo y cantidad de explosivos utilizados; con los cuales se estaba desarrollando el crucero 890. En capítulo IV de resultados y discusiones, usando el nuevo diseño de malla, se logró reducir el número de taladros perforados de 31 a 28, obteniéndose una diferencia de 03 taladros. Consecuentemente, el costo de perforación y voladura se ha reducido de 207.31 US\$/m a 193.72 US\$/m, lográndose una diferencia de 13.59 US\$/m, esto debido a que los taladros perforados con un barreno de 5 pies y una broca de 38 mm, son 3 taladros menos en cada disparo. De esta manera, se logró optimizar las operaciones perforación y voladura en el crucero 890 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

Palabras claves: Optimización, perforación, voladura.

Abstract

The objective of this research was to optimize the unitary operations of drilling and blasting with the new drill pattern design in the mined heading crosscut 890 Level-1665. This heading has a section of 2.10 x 2.10 m and it is been built in order to run into the Karina vein in the Esperanza Mining Unit – Arequipa. The research's methodology was descriptive and applicative, in which first it made an evaluation of several parameters of drilling and blasting such as: drill pattern, blast holes numbers, burden, spacing, type of boom and the quantity of explosives used, which it were been utilized in the development of the crosscut 890. In the chapter IV of results and discussions, by using new drill design, it achieved to reduce the numbers of blast holes, from 31 to 28, by obtaining a difference of three blast holes. Consequently, the costs of drilling and blasting have been minimized from 207.31 US\$/m to 193.72 US\$/m, by obtaining a difference in the cost of 13.59 US\$/m due to the fact that the blast holes, which have a length of three foots and diameter hole of 38 mm, are three less in each blast . In this way, it achieved to optimize the drilling and blasting operations in the mined heading crosscut 890 of the Esperanza Mining Unit. – Arequipa.

Keywords: Optimization, drilling, blasting.

I. Introducción

La Unidad Minera Esperanza-Arequipa, a desarrollando el crucero 890 NV 1665 netamente convencional con la finalidad recuperar mineral de la veta Karina y realizar un costo comparativo antes y después del crucero 890 que se ha desarrollado para optimizar las operaciones unitarias de perforación y voladura.

EXSA (2009), La perforación convencional se realiza con taladros paralelos atacando directamente a la cara libre frontal, con un grupo de taladros de arranque que formaran una cavidad inicial, seguida por el resto de taladros de rotura distribuidos alrededor del arranque, delimitando la sección del frente con los taladros periféricos.

(Rincón-durán & Molina-escobar, 2017), En su artículo: Mejoramiento del arranque mediante el control de las desviaciones de perforación, caso mina “El Roble”, Colombia, menciona que la “perforación y la voladura son conjuntas, por lo tanto una buena perforación asegura una buena voladura. La perforación es la base para que la voladura salga de la mejor manera, se dice que la perforación aporta el 70% de la voladura, por lo tanto el porcentaje restante solo está en hacer un carguío correcto acorde al frente a explotar, teniendo en cuenta el tipo de roca y factores geomecanicos”.

(Ortega, Jaramillo, & Molina, 2016), En su artículo concluye que “además del espaciamiento existen ciertos factores que pueden favorecer la eficiencia de las voladuras, como lo son la variación en la cantidad de explosivos en los barrenos y las secuencias de detonación de estos (por ejemplo detonaciones en V). Estos parámetros también pueden traer beneficios en la granulometría, a menores afectaciones a la roca encajonante y costos entre otros, por lo cual sería recomendable estudiar”.

(Larijo, 2019), concluye que 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”.

(Bocangel, 2015),concluye que “la optimización de la valorización de lo ejecutado se ha logrado con un mejor control de operaciones mina realizando nuevas mallas de perforación, controlando el paralelismo de los taladros, la longitud de perforación, consumo de aceros, llevando mejor control en el consumo de explosivos y por ende se llega a una reducción de costos”.

(Cayllahua, 2018), menciona que “se desarrolló el diseño de la nueva malla de perforación reduciendo la cantidad de taladros

de 32 taladros a 28 y con ello se reduce los costos operativos en 14.10 US\$/m”.

(Melo, 2013), concluye que “a través de la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, se logró la reducción del costo unitario total de mina en 1.51 \$/TM es decir un reducción del 7% en comparación con lo que se venía obteniendo. Representado esto una reducción en costos operativos de Mina de 1359 \$ al año”.

En este contexto resulta importante la investigación científica en el tema de optimización de operaciones unitarias de perforación y voladura debido a que en la minería convencional es muy importante el control de operaciones como el paralelismo de los taladros, la longitud de perforación, consumo de aceros, llevando mejor control en el consumo de explosivos y por ende se llega a una reducción de costos (Ito-Sullo, 2019)

Alvaro (2019), En su tesis: “Diseño de malla de perforación para optimizar del proceso operativo de perforación y voladura en la zona Chino II de la Compañía Minera Caraveli SAC 2015”, concluye que “se llegó a reducir la cantidad de material explosivo, debido a que se redujo 65 pies de perforación, por lo cual hay un ahorro de 0.86 US\$/TM en el caso de la perforación y en la voladura 1.20 US\$/TM”.

(Chipana, 2015), En su tesis: “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.”, concluye que con “el nuevo diseño de malla adecuada de perforación, se ha reducido los costos de perforación de US\$ 98.48 a US\$ 87.25. Implicando a estandarizar los burdenes y espaciamientos en el frente de la galería Progreso en la contrata Minera Cavilquis”.

(Quispe-Centeno, 2019), En su tesis: “Diseño de mallas de perforación y voladura y su incidencia en los costos unitarios en la Unidad Minera Chalhuane”, concluye que “se logró una malla de perforación y voladura que incidió en los costos unitarios de operación en Minería Chalhuane.; cuyo resultado obtenido es 11.00 US\$/TM, menor al costo antes del trabajo que era de 14.87 US\$/TM, en cuanto al costo por avance se redujo en 59.03 US\$/m”.

(Paucar, 2012); su tesis: “Diseño de malla de perforación y voladura en frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la CIA. Minera Castrovirreyna S.A.”, concluye que el nuevo diseño de malla de perforación se ha mejorado la eficiencia de los disparos, ya que el promedio de los disparos en el mes de Enero fue de 2.80, comparado con la eficiencia de 3.15 como resultado del nuevo diseño de malla de perforación, notamos un incremento de un 84.85% inicial a un 95.45% final.

II. Objetivos

Objetivo general

Optimizar las operaciones unitarias de perforación y voladura en el frente de crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa

Objetivos específicos

- Optimizar el tiempo de perforación con la finalidad de aumentar la vida útil de barrenos y brocas en el frente de crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.
- Optimizar la voladura con el consumo adecuado del explosivo en el frente de crucero

890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

III. Materiales y métodos

El área de estudio que ocupara la Unidad Minera Esperanza, se encuentra ubicada en la franja costanera de la cordillera occidental de los Andes de Región Arequipa, provincia de Caravelí, distrito Ático, a una altura promedio de 1940 m.s.n.m.. Así mismo, se encuentra ubicada dentro de la Carta Nacional del IGN denominada 32-O (Chaparra). Los derechos mineros comprenden una extensión de 1200 hectáreas.

Tabla 1: Ruta de acceso a la Mina Esperanza

Vía	Km	Tiempo h
Puno – Arequipa	220	5
Arequipa – Ático	413	6
Ático – Km 40	40	1
Km 40 – Mina Esperanza	34	1
Total	707	13

Fuente: Unidad Minera Esperanza.



Figura 1: Vista panorámica de la Unidad Minera Esperanza
Fuente: Propio del autor

La metodología de investigación es de tipo comparativo y experimental, ya que por medio de la observación consiste en manipular, controlar y manipular algunas variables, esta operación unitaria se ha realizado durante una semana de trabajo en donde ha consistido en su primera fase evaluar el desarrollo de perforación y voladura anterior del crucero 890, en dicho proceso se ha tomado en cuenta la malla de perforación, número de taladros, burden, espaciamiento, tipo de trazo y cantidad de explosivos utilizados.

Materiales y equipos que se consideraron una picota de geólogo, flexometro, formato de apunte, reporte diario de operaciones, cámara digital y computadora personal.

Los datos se han recolectado en fichas de control en donde se ha considerado, número de taladros perforados, control de tiempos, avance lineal, consumo de accesorios y explosivos.

La perforación se aplicó en el presente trabajo de investigación empleando 3 taladros de alivio y 3 taladros cargados con retardos de 7 pies, en dos etapas lo primordial para lograr buen resultado es lograr el paralelismo en los taladros perforados, el paralelismo debe mantener con respecto al primer taladro perforado y mover el guiador a medida que se va avanzando la perforación teniendo los tres guiadores como mínimo solo de esa manera se controla el paralelismo.

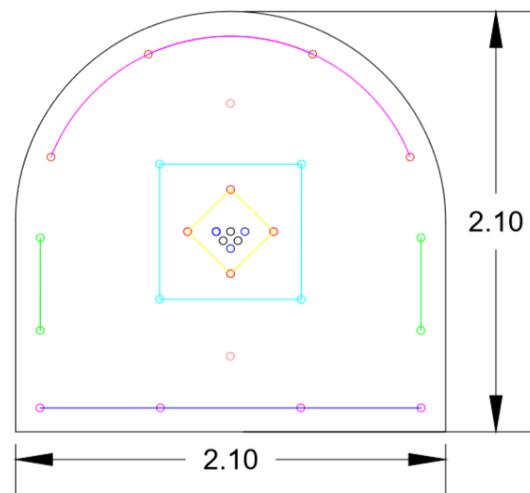


Figura 2: Distribución del nuevo diseño de malla de perforación de sección 7 x 7.

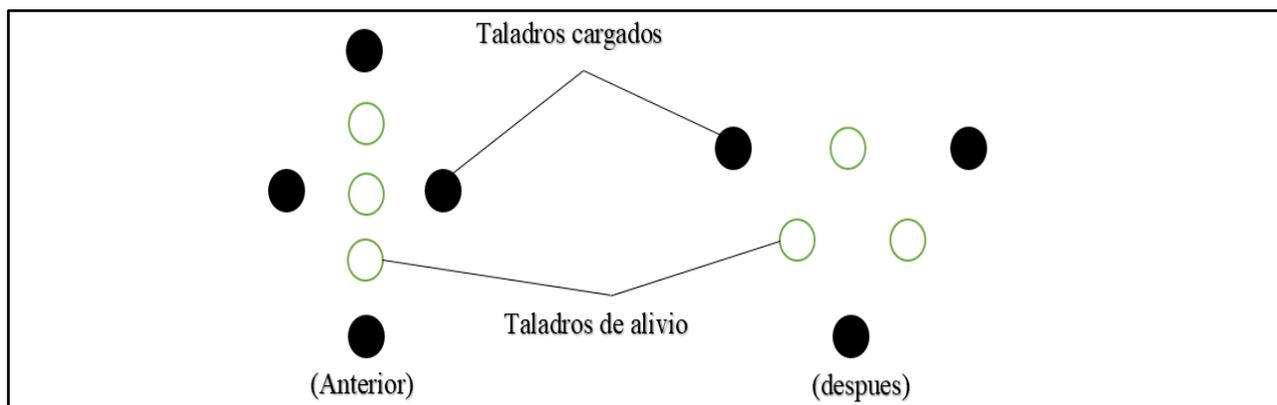
Fuente: Propio del autor

IV. Resultados y discusión

Los resultados de optimización de operaciones unitarias de perforación y voladura se realizan el análisis comparativo y experimental con el estudio realizado en campo, anterior y después en donde se tenía en la anterior 31 taladros perforados en el frente crucero 890 con 7 taladros de arranque, 4 taladros cargados y 3 de alivio. Para la optimización se cambia el diseño de malla de perforación con arranque de 6 taladros, 3 cargados y 3 taladros de alivio reduciéndose 1 taladro en arranque y 2 ayudas del piso en total la reducción suma 3 taladros.

Los resultados de voladura del anterior 28 taladros cargados con explosivo y la voladura optimizada con 25 taladros cargados de explosivo.

Figura 3: Diseño de arranque anterior y después



Fuente: Propio del autor

a) Resultados de voladura anterior crucero 890 NV 1665

En el crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa, anteriormente al diseñar la malla de perforación no se ha considerado las características de la roca, se ha

realizado según la experiencia del perforista en donde se tiene 31 taladros perforados y cantidad de explosivos utilizados 160 unidades de cartucho. (Ver Tabla 2). Y los resultados de los cálculos obtenidos de volumen roto, toneladas, factor de carga, factor de potencia y factor de carga lineal. (Ver Tabla 3).

Tabla 2: Consumo de explosivos en la voladura anterior

Descripción	N° de taladros	N° de cart./tal.	Total de cartuchos	Peso del cart (kg)	Peso total (kg)
Alivio	3	0	0		
Arranque	4	6	24	0.081	1.94
Ayuda arranque	4	6	24	0.081	1.94
Cuadradores	4	6	24	0.081	1.94
1° ayuda de arranque	4	6	24	0.081	1.94
Ayuda de arrastre	3	5	15	0.081	1.21
Alza o corona	5	5	25	0.081	2.03
Arrastre	4	6	24	0.081	1.94
TOTAL	31		160		12.94

Fuente: Unidad Minera Esperanza.

Volumen roto

$$V=b*h*Lp \text{ (EXSA, 2009)}$$

Donde:

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

$$B= \text{Ancho del crucero (m)}$$

H= Altura del crucero

Lp= Longitud de perforación (m)

$$V= 2.10*1.20*1.33$$

$$V= 5.86 \text{ m}^3$$

Tonelaje roto

$$TM=V*dr \text{ (EXSA, 2009)}$$

Donde:

$$TM = \text{Tonelada métrica}$$

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

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

$$TM = 5.86*2.70$$

$$TM = 15.8 \text{ TM}$$

Factor de carga

$$Fc = \text{Kg-explosivo/ Volumen}$$

$$Fc = 12.94 \text{ kg}/5.86 \text{ m}^3$$

$$Fc = 2.20 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$Fc = \text{Kg-explosivo}/\text{metro lineal}$$

$$Fc = \text{factor de carga lineal}$$

$$Fc = 12.94 \text{ kg}/1.33 \text{ m}$$

$$Fc = 9.73 \text{ kg}/\text{m}$$

Factor de Potencia

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

$$Fp = 12.94 \text{ kg}/15.8 \text{ TM}$$

$$Fp = 0.82 \text{ kg}/\text{TM}$$

Tabla 3: Parámetros obtenidos de la voladura anterior

Parámetros	Dinamita Famesa 65%
kg/m	12.94 kg
Volumen	5.86 m ³
Toneladas	15.8 TM
Factor de carga	2,20 kg/m ³
Factor de potencia	0.82 kg/TM
Factor de carga lineal	9.73 kg/m

Fuente: Elaboración propia

b) Costos de perforación y voladura anterior en el crucero 890 NV1665

El costo de mano de obra en la unidad minera esperanza, era superior a los costos planeados por el área de planeamiento como se

observa en la Tabla 4. El costo de mano de obra directa haciendo a los 122 US\$ en cada frente de perforación. El costo de la máquina perforadora es 6.39 US\$/disp, ver la Tabla 5.

Tabla 4: Mano de obra

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo US\$/disparo
Capataz de mina	1	70	21.21
perforista	1	70	21.21
Ayudante perforista	1	60	15.91
Bodeguero	1	60	15.91
Sub Total			74.24
Leyes Sociales	65%		48.26
Total	US\$		122.50

Fuente: Unidad Minera Esperanza

Tabla 5: Máquina perforadora

Descripción	P.U.\$	V. Útil pies/perf.	US\$/pie	Pies/perf.	US\$/disp.
Maquina perf.	4950	120.000	0.041	155	6.39

Fuente: Unidad Minera Esperanza

La perforación en el frente de crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza - Arequipa se realiza con la barra de 5 pies (1.52m), en donde el barreno tiene una

duración de 155 pies y costo haciendo a 12.40 US\$/disp. Y utilizan una broca de 38 mm, tiene una vida útil de 400 ver la Tabla 6.

Tabla 6: Materiales de perforación

Descripción	Cant.	Precio US\$/unid	V. Útil	Pies perforado	US\$/pie p.	US\$/disp.
Barra cónica 5 pies	1	90.00	1200 pp	155	0.08	12.40
Broca de 38 mm	1	26.00	400 pp	155	0.07	10.85
Total						23.25

Fuente: Unidad Minera Esperanza

Mangueras y accesorio	Unidad	Cant.	Costo US\$/m	V. Util p.p.	US\$/disp.
Manguera de 1/2 pulgd.	Metros	30	1.50	150	0.30
Manguera de 1 pulgada	Metros	30	3.50	120	0.88
Aceite de perforación	Galones	0.25	11.00	1	2.75
Total					3.93

Fuente: Unidad Minera Esperanza

En la unidad minera esperanza el valor más valioso es el recurso humano, donde tiene un compromiso de velar por la seguridad de cada personal, las tareas que se realiza en la empresa son: perforación, limpieza, sostenimiento y otros. Necesariamente requieren EPPs adecuados para realizar las diferentes tareas. Los trabajos de alto riesgo requieren utilizar EPPs adecuados para ejecutar la tarea en donde

la seguridad del personal es responsabilidad de la empresa, dar EPPs nuevos y que se encuentren con una certificación de calidad.

El desgaste de los EPPs, se observa que personal que realiza trabajos en el área de perforación tiende un desgaste muy rápido de sus EPPs. La vida útil de los EPPs se detalla en la tabla 7.

Tabla 7: Implementos de seguridad

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio US\$/unid.	V. Util (días)	US\$/disp.
Protector	Pza.	1	12.80	300	0.04
Guantes de cuero	Par	1	4.72	25	0.19
Correa porta lámpara	Pza.	1	4.50	300	0.02
Botas de jebe	Par	1	21.10	180	0.12
Mameluco	Pza.	1	25.00	180	0.14
Respirador 3M	Pza.	1	22.50	180	0.13
Filtro de respirador	Pza.	1	5.60	15	0.37
Tapón de oídos	Par	1	2.40	120	0.02
Lentes de seguridad	Pza.	1	31.55	120	0.26
Línea de vida	Pza.	1	10.42	120	0.09
Lámpara de batería	Pza.	1	115.20	120	0.96
Total					2.33

Fuente: Unidad Minera Esperanza

Para ejecutar la perforación y voladura en el frente de crucero 890 NV 1665, la empresa cuenta con herramientas adecuadas que tienen

una vida útil. Ver los costos de herramientas en la tabla 8.

Tabla 8: Herramientas y otros materiales

Materiales	Unidad	Cant.	Precio US\$/unid.	V. Util	US\$/disp.
Lampas	unidad	1	12.48	120	0.10
Picos	unidad	1	12.57	120	0.10
Llave Styilson 14 pulg.	unidad	1	14.50	360	0.04
Alambre de amarre	Kg.	0.25	1.38	1	0.35
Barretillas	unidad	1	10.34	60	0.17
Atacador de madera	unidad	1	2.55	60	0.04
Total					0.81

Fuente: Unidad Minera Esperanza

Para realizar la voladura en el frente crucero 890 – nivel 1665, se utilizaba dinamitas de fama 65% de efecto rompedor, que tiene un precio unitario de 0.52 US\$. Y también se utilizan como detonar primario (fulminante N° 8), para poder iniciar la voladura en el

frente crucero, con un costo unitario de 0.40 US\$. Y se utilizaba la mecha de seguridad para ejecutar la voladura que tenía un costo de 0.42 US\$/m. los detonantes y accesorio se observa en la tabla 9.

Tabla 9: Materiales de voladura

Insumos	Unidad	Precio US\$	Cantidad por disp.	US\$/disp.
Dinamita 65%	Cartuchos	0.52	160	83.20
Fulminante N° 8	Capsula	0.4	28	11.20
Mecha de seguridad	Metros	0.42	50.96	21.40
Total				115.80

Fuente: Unidad Minera Esperanza

Costo Total: US\$/m = Tabla 4 + Tabla 5 +
Tabla 6 + Tabla 7 + Tabla 8 + Tabla 9

Costo Total: US\$/m = 207.31 US\$

c) Nuevo diseño de la malla de perforación en el crucero 890 NV 1665

De acuerdo al análisis de la malla de perforación anterior se ha diseñado con mayor número de taladros, y la malla optimizada se

tiene 28 taladros perforados y la cantidad de explosivo utilizado es de 150 unidades de famesa 65%. (Ver Tabla 10). Y los resultados de los cálculos obtenidos de volumen roto, toneladas, factor de carga, factor de potencia y factor de carga lineal. (Ver Tabla 11).

Tabla 10: Consumo de explosivos en la voladura optimizada

Descripción	N° de taladros	N° de cart./taladro	Total de cartuchos	Peso del cart. (kg)	Peso total (kg)
Alivio	3	0	0		
Arranque	3	6	18	0.081	1.46
Ayuda arranque	4	6	24	0.081	1.94
Cuadradores	4	6	24	0.081	1.94
1°ayuda cuadradores	4	6	24	0.081	1.94
2° ayuda cuadradores	2	6	12	0.081	0.97
Alza o corona	4	6	24	0.081	1.94
Arrastre	4	6	24	0.081	1.94
TOTAL	28		150		12.03

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli.

a) Datos del campo:

- Densidad de roca: 2.70
- Selección de crucero: 2.10*2.10
- Diámetro taladros de producción: 0.038 m
- Diámetro del taladro de alivio: 0.038 m
- Longitud del barreno de perforación: 5 pies = 1.52m

Donde:

- H = Altura del crucero
- Lp = Longitud de perforación (m)
- V = Volumen roto (m³)
- B = Ancho del crucero (m)
- V = 2.10*1.20*1.36
- V = 6 m³

b) Volumen roto

$V=b*h*Lp$ (EXSA, 2009)

c) Tonelaje roto

$$TM = V * dr \text{ (EXSA, 2009)}$$

Donde:

Dr = Densidad de roca

TM = Tonelada métrica

V = Volumen roto

$$TM = 6 * 2.70$$

$$TM = 16.2TM$$

d) Factor de carga (Fc)

$$Fc = Kg\text{-explosivo} / \text{Volumen (EXSA, 2009)}$$

$$Fc = 12.03 \text{ kg} / 6m^3$$

$$Fc = 2 \text{ Kg} / m^3$$

$$Fc = \text{Kg-explosivo} / \text{metro lineal}$$

$$Fc = \text{factor de carga lineal}$$

$$Fc = 12.03 \text{ kg} / 1.36m$$

$$Fc = 8.85 \text{ kg} / m$$

e) Factor de Potencia

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

$$Fp = 12.03 \text{ kg} / 16.2 \text{ TM}$$

$$Fp = 0.74 \text{ kg} / \text{TM}$$

Tabla 11: Resumen de resultados en la voladura optimizada

Parámetros	Dinamita Famesa 65%
kg/m	12.03 kg
Volumen	6 m ³
Toneladas	15.8TM
Factor de carga	2 kg/m ³
Factor de potencia	0.74 kg/TM
Factor de carga lineal	8.85 kg/m

Fuente: Elaboración propia

d) Costo de perforación y voladura optimizada en el crucero 890 NV 1665

Para ejecutar el análisis de nuestro informe del costo de malla de perforación y voladura se aplicaron los modelos matemáticos que obtuvimos de diferentes autores y antecedentes de investigación que validan de la reducción de

costo de perforación y voladura. El costo de mano de obra se observa en la tabla 12. En una sección de la malla de 2.10 x 2.10 m, de tipo de roca semi-duro, donde se utilizó 25 taladros cargados, se ha determinado 3 taladros de alivio que nos dará un total de 28 taladros. En donde el costo de perforación del frente crucero 890 se tiene detallado en la tabla 13.

Tabla 12: Mano de obra

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo US\$/disparo
Capataz de mina	1	70	21.21
perforista	1	70	21.21
Ayudante perforista	1	60	15.91
Bodeguero	1	60	15.91
Sub Total			74.24
Leyes Sociales	65%		48.26
Total	US\$		122.50

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli.

Tabla 13: Máquina perforadora

Descripción	P.U.\$	V. Útil pies/perf.	US\$/pie	Pies/perf.	US\$/disp.
Maquina perf.	4950	120.000	0.041	140	5.78

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli

Con cálculos teóricos hemos obtenido el desgaste de la barra y broca, se detalla en la tabla 14, y observando el tipo de roca en el frente crucero 890 en la unidad Unidad Minera

Esperanza, se hizo una distribución de carga explosiva adecuada para la malla óptima de 2.10 x 2.10 m.

Tabla 14: Materiales de perforación

Descripción	Cant.	Precio US\$/unidad	V. Útil	Pies perforado	US\$/pie p.	US\$/disp.
Barra cónica 5 p.	1	90.00	1200	140	0.08	11.20
Broca de 38 mm	1	26.00	400	140	0.07	9.80
Total						21.00

Mangueras y accesorio	Unidad	Cant.	Costo US\$/m	V. Util p.p.	US\$/disp.
Manguera de 1/2 pulgd.	Metros	30	1.50	150	0.30
Manguera de 1 pulgada	Metros	30	3.50	120	0.88
Aceite de perforación	Galones	0.25	11.00	1	2.75
Total					3.93

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli,

En Unidad Minera Esperanza, se utiliza los EPPs adecuados para diferentes trabajos, El ultimo jerarquía de controles son los EPPs, para que se proteja y se prevenga ante algún daño que se pueda presentar el costo de los implementos de seguridad se muestra en la

tabla 15. Y los herramientas que se utilizan en cada frente de trabajo son inspeccionados por un personal competente para su posterior cambio y también evaluar su costo de cada herramienta que se muestra en la tabla 16.

Tabla 15: Implementos de seguridad

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio US\$/unid	V. Util (días)	US\$/disp.
Protector	Pza.	1	12.80	300	0.04
Guantes de cuero	Par	1	4.72	25	0.19
Correa porta lámpara	Pza.	1	4.50	300	0.02
Botas de jebe	Par	1	21.10	180	0.12
Mameluco	Pza.	1	25.00	180	0.14
Respirador 3M	Pza.	1	22.50	180	0.13
Filtro de respirador	Pza.	1	5.60	15	0.37
Tapón de oídos	Par	1	2.40	120	0.02
Lentes de seguridad	Pza.	1	31.55	120	0.26
Línea de vida	Pza.	1	10.42	120	0.09
Lámpara de batería	Pza.	1	115.20	120	0.96
Total					2.33

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli

Tabla 16: Herramientas y otros materiales

Materiales	Unidad	Cant.	Precio US\$/unid.	V. Util	US\$/disp.
Lampas	unidad	1	12.48	120	0.10
Picos	unidad	1	12.57	120	0.10
Llave Styilson 14 pulg.	unidad	1	14.50	360	0.04
Alambre de amarre	Kg.	0.25	1.38	1	0.35
Barretillas	unidad	1	10.34	60	0.17
Atacador de madera	unidad	1	2.55	60	0.04
Total					0.81

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli

Al optimar los materiales de voladura, se reduce a 150 unidades de cartucho para una sección de 2.10 x 2.10 m, y donde se optimiza la cantidad del detonador primario (fulminante N° 8) a 25 unidades, en donde la cantidad de mecha de seguridad se optimiza a 45.50

metros. Todo esta optimización se reduce a 25 taladros cargados y 3 taladros de alivios. Ver en la tabla 17. El costo de los explosivos para cada frente de crucero el costo por disparo es de 107.11 US\$/disp.

Tabla 17: Materiales de voladura.

Insumos	Unidad	Precio US\$	Cantidad por disp.	US\$/disp.
Dinamita F. 65%	Cartuchos	0.52	150	78.00
Fulminante N° 8	Capsula	0.4	25	10.00
Mecha de seguridad	Metros	0.42	45.50	19.11
Total				107.11

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli

Costo Total: US\$/m = Tabla 12 + Tabla 13 + Tabla 14 + Tabla 15 + Tabla 16 + Tabla 17

Costo Total: US\$/m = 193.72 US\$

e) **Discusión de resultados de perforación y voladura**

En el crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa, los resultados de perforación y voladura antes y después, se demuestra que hay una diferencia en los parámetros y costos de perforación y voladura. (Ver Tabla 18).

En la perforación anterior si tiene 31 taladros perforados, taladros cargados 28 y en la voladura anterior se ha utilizado el explosivo famesa 65% en total de 160 cartuchos, fulminante N° 8, 35 unidades, mecha de

seguridad 50.96 m, kg por disparo 12.94 kg, factor de carga 2.20 kg/m³, factor de potencia 0.82 kg/TM, factor de carga lineal 9.73 kg/m, con un avance de lineal de 1.33 metros.

En la perforación optimizada si tiene 28 taladros perforado, taladros cargados 25 y en la voladura optimizada se ha utilizado el explosivo famesa 65% en total 150 cartuchos, fulminante N°8, 25 unidades, mecha de seguridad 45.5 m, kg por disparo 12.03 kg, factor de carga 2kg/m³, factor de potencia 074 kg/TM, factor de carga lineal 8.85 kg/m con un avance lineal de 1.36 metros.

Tabla 18: Resumen de resultados comparativos de perforación anterior y optimizada.

Descripción	Antes	Después	Diferencia	Unidad medida
Taladros perforados	31	28	3	Tal
Taladros cargados	28	25	3	Tal
FAMESA 65%	160	150	10	Cart.
Fulminante N° 8	28	25	3	Pz
Mecha de seguridad	50.96	45.5	5.46	m
kg por disparo	12.94	12.03	0.91	kg
Factor de carga	2.20	2	0.20	kg/m ³
Factor de potencia	0.82	0.74	0.08	kg/TM
Factor de carga lineal	9.73	8.85	0.88	kg/m
Avance m/disparo	1.33	1.36	0.03	m

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se comparan con los resultados del proyecto de explotación subterráneo y desarrollo 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, (Larijo, 2019).

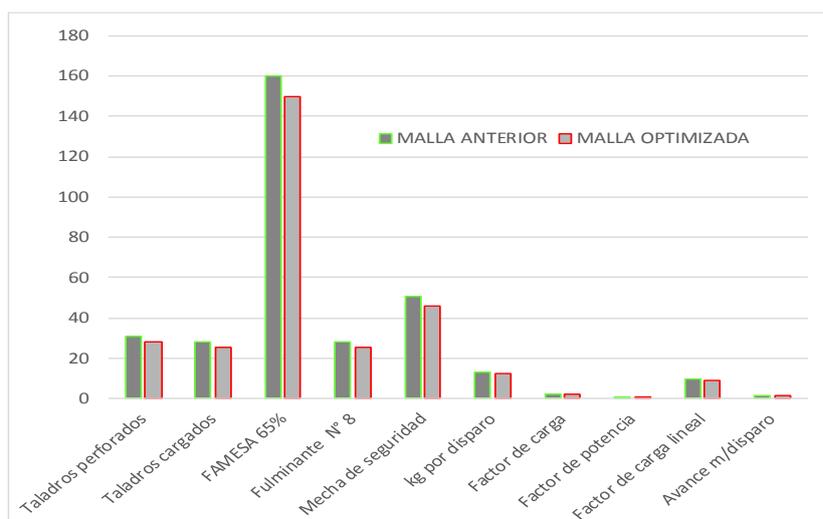


Figura 4: Resultados comparativos de perforación y voladura

Fuente: Elaboración propia

V. Conclusiones

Se desarrolló la optimización de la nueva malla de perforación en el crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa, reduciendo la cantidad de taladros de 31 taladros a 28 y con ello se reduce los costos operativos en 13.59 US\$/m.

Se logró reducir notablemente el tiempo de perforación en tres taladros optimizados por lo tanto un incremento en la vida útil de barrenos y brocas.

Se llegó a reducir el consumo de material explosivo de Famesa 65% de 12.44 kg a 12.03 kg haciendo una diferencia de 0.91 kg por disparo en el frente crucero 890 NV 1665 de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

VI. Bibliografías:

Alvaro, I. J. (2019). *Diseño de malla de perforacion para optimizacion del proceso operativo de perforacion y voladura en la zona Chino II de la Compañia Mienera Caraveli SAC 2015*. Retrieved from

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3317/T033_70143813_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bocangel, L. A. (2015). *Optimizacion de las operaciones y precios unitarios de minado para la reduccion de los costos operativos en E.E. J.C.B. S.A.C. Mina Paula*.

Cayllahua, P. (2018). *Evaluacion de costos operativos en galerias de exploracion para optimizar la perforacion y voladura en la Unidad las Aguilas-Ciemsas. 2006–2011*. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10669/Cayllahua_Mamani_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[andle/UNAP/10669/Cayllahua_Mamani_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10669/Cayllahua_Mamani_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chipana, R. M. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reduccion de costos en el frente de la galeria progreso de la contrata Minera Cavilquis- Corporación Minera Ananea S.A.* 144. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana_Tito_Rudy_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EXSA. (2009). Manual practico de voladura de rocas EXSA S.A. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ito-Sullo, H. W. (2019). *Analisis de costos unitarios, en mineria convencional en CIA minera Century Mining Peru SAC.- San Juan Operaciones*. 23(3), 2019. Retrieved from http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10669/Ito-Sullo_H_W.pdf?sequence=1&isAllowed=y

andle/UNSA/9447/Miitsuhw.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Larijo, R. J. (2019). *Minimizacion de costos de perforacion y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del crucero 627 de la Minera Yanaquihua S.A.C. - Arequipa*. 2006–2011. Retrieved from

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11171/Larijo_Quenaya_Roger_Jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Melo, F. V. (2013). *Reduccion de los costos operativos en mina, mediante la optimizacion de los estandares de las operaciones unitarias de perforacion y voladura en la compañía Minera Poderosa EJMAC S.A.C*. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3893/MImemefv010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortega, C. A., Jaramillo, A. F., & Molina, J. M. (2016). Modificación de las mallas de perforacion de voladuras a partir del indice de esfuerzo geologico (GSI). caso mina “La Maruja, Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (40), 32–38.

<https://doi.org/10.15446/rbct.n40.52199>

Paucar, M. R. (2012). *Diseño de malla de perforacion y voladura en frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la CIA Minera Castrovirreyña S.A.* Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3173/Paucar>

[Blanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3173/PaucarBlanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Quispe-Centeno, N. (2019). Diseño de mallas de perforacion y voladura y su incidencia en los costos unitarios en la Unidad Minera Chalhuane. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rincón-durán, J. D., & Molina-escobar, J. M. (2017). *Mejoramiento del arranque mediante el control de las desviaciones de perforación , caso mina “ El Roble ”, Colombia.* Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169552036004>