



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN
PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA GALERÍA 435 A CARGO
DE LA CONSTRUCTORA E INVERSIONES U&H STAR S.A.C. EN
LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS - CIEMSA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARCO ANTONIO CACHI CHAMBILLA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Esta tesis dedico en especial a los seres que me dieron la vida, mi padre Raúl Cachi Mamani y madre Lidia Chambilla Limachi por su apoyo permanente durante mi vida, por el esfuerzo diario que realizan con la finalidad de que yo sea un Ingeniero de Minas.

Por otra parte, dedico a mis hermanas Marielena y Milagros Fiorela por su apoyo incondicional y su motivación para concluir mis estudios universitarios.

Marco Antonio.



AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por facilitar los ambientes de infraestructura de calidad para así recibir las sesiones de aprendizaje durante mis estudios universitarios.

Así mismo a la Facultad de Ingeniería de Minas y al cuerpo de docentes por haber brindado sus conocimientos, orientaciones y experiencias de mina, que son la base de mi formación como profesional en Ingeniería de Minas.

Por otra parte, agradecer a los miembros del jurado calificador así mismo al asesor de mi tesis Mtro. Anibal Sucari León que, con sus orientaciones, paciencia y su tiempo se pudo concluir la presente investigación.

Por otra parte, el agradecimiento a la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. por haberme permitido realizar la investigación con fines de concluir mi tesis.

Marco Antonio.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 13

1.2.1. Problema general..... 13

1.2.2. Problemas específicos 13

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 14

1.3.1. Hipótesis general..... 14

1.3.2. Hipótesis específicas 14

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 14

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

1.5.1. Objetivo general 15

1.5.2. Objetivos específicos 15

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.2. MARCO TEÓRICO	19
2.2.1. Costos.....	19
2.2.2. Tipos de costos.....	20
2.2.3. Perforación	20
2.2.4. Características de las rocas que afecta en la perforación	21
2.2.5. Malla de perforación	25
2.2.6. Explosivos	25
2.2.7. Voladura.....	26
2.2.8. Altos explosivos sensibles al detonador.....	26
2.2.9. Agentes de voladura, no sensibles al detonador.....	29
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	32

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	33
3.1.1 Accesibilidad.....	33
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	33
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	33
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	34
3.4.1. Población.....	34
3.4.2. Muestra.....	34
3.4.3. Muestreo.....	34
3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO Y METODOLÓGICO	34
3.5.1. Enfoque de la investigación	34
3.5.2. Tipo de investigación	34



3.5.3. Diseño de la investigación	35
3.6. PROCEDIMIENTO	35
3.7 VARIABLES	35
3.7.1. Variable independiente.....	35
3.7.2. Variable dependiente.....	35
3.8. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
4.2. DISCUSIÓN	47
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. RECOMENDACIONES	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	53

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Análisis de costos mineros y comercialización de minerales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de julio del 2022



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de según la escala de Mohs.....	21
Tabla 2. Clasificación de las rocas según a la resistencia a la compresión	22
Tabla 3. Explosivos comerciales y principales componentes	31
Tabla 4. Factores que influyen en la performance de los explosivos	32
Tabla 5. Rutas de ingreso a la mina las Águilas	33
Tabla 6. Operacionalización de variables.	36
Tabla 7. Costo de la malla de perforación anterior en galería 435	38
Tabla 8. Costo de la malla de perforación nueva en la galería 435	39
Tabla 9. Comparación de costos en la perforación en la galería 435	39
Tabla 10. Carga explosiva según la malla de perforación anterior en la galería 435	41
Tabla 11. Costo en explosivo según la malla de perforación anterior en la galería 435 41	
Tabla 12. Carga explosiva según la malla de perforación nueva en la galería 435	42
Tabla 13. Costo en explosivo según la malla de perforación nueva en la galería 435 ..	42
Tabla 14. Comparación de costos de explosivos y accesorios en la galería 435	42
Tabla 15. Optimización de la malla de perforación en la galería 435	44
Tabla 16. Costos operativos en perforación y voladura en la galería 435	44
Tabla 17. Estadística descriptiva de los costos operativos	46
Tabla 18. Prueba “t” de student para los costos operativos	46



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de tensión -deformación de diferentes tipos de rocas	23
Figura 2. Ubicación del arranque.....	25
Figura 3. Malla de perforación anterior en galería 435	37
Figura 4. Malla de perforación nueva e la galería 435	38
Figura 5. Comparación de costos en la perforación de la galería 435	40
Figura 6. Comparación de costos en explosivos y accesorios en la galería 435	43
Figura 7. Optimización de la malla de perforación en la galería 435	44
Figura 8. Costos operativos en perforación y voladura en la galería 435.....	45



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pintado de la malla de perforación.....	53
Anexo 2. Carga explosiva para realizar la voladura.....	54
Anexo 3. Galería 435 listo para realizar la voladura	55
Anexo 4. Precio unitario para galerías de una sección de 1,80m x2,10m	56



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.A.C.	: Sociedad Anónima cerrada
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
S.A.	: Sociedad anónima
NW	: Nor oeste
NE	: Nor este
SW	: Sur oeste
ANFO	: Ammonium Nitrate - Fuel Oil
CIEMSA	: Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.



RESUMEN

La Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. estuvo ejecutando la galería 435 en el cual cada perforista aplica diferente tipo de arraqué y un diferente consumo de explosivo ya que no está estandarizado la malla de perforación, según el análisis se tiene un promedio de 37 taladros perforados y 33 taladros cargados por disparo llegando a un costo operativo de perforación y voladura 353,99\$/disparo. El objetivo fue optimizar la malla de perforación para reducir los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA. Se siguió los pasos de una metodología científica con un enfoque cuantitativo, tipo de investigación experimental y un diseño pre experimental ya que las observaciones se realizaron en una sola labor midiendo los resultados antes y después de la optimización de la malla de perforación. Mostrando como resultado más relevante que la optimización de los costos operativos en perforación y voladura es en 34,3\$/disparo reduciendo 6,88\$/disparo en la perforación y 27,42\$/disparo en la voladura. Llegando a la conclusión que se logró optimizar la malla de perforación y voladura y así se logró reducir los costos operativos en el área de perforación y voladura en la galería 435 ya que se redujo la cantidad de taladros cargados de 33 a 30 taladros/disparo, que fue ejecutado por la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C.

Palabras clave: Costos operativos, explosivos, galería, perforación, voladura.



ABSTRACT

The Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. was executing the 435 gallery in which each driller applies different type of drilling and a different consumption of explosive since the drilling mesh is not standardized, according to the analysis there is an average of 37 drills drilled and 33 drills loaded per shot reaching an operating cost of drilling and blasting \$ 353.99 / shot. The objective was to optimize the drilling mesh to reduce the drilling and blasting operating costs in gallery 435 in charge of Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. in Las Águilas Mining Unit - CIEMSA. It followed the steps of a scientific methodology with a quantitative approach, experimental research type and a pre-experimental design since the observations were made in a single work measuring the results before and after the optimization of the drilling mesh. Showing as the most relevant result that the optimization of operating costs in drilling and blasting is in 34.3\$/trigger reducing 6.88\$/trigger in drilling and 27.42\$/trigger in blasting. It was concluded that the drilling and blasting mesh was optimized and thus it was possible to reduce the operating costs in the area of drilling and blasting in gallery 435 since the number of loaded drills was reduced from 33 to 30 drills/shoot, which was executed by Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C.

Keywords: Operating costs, explosives, gallery, drilling, blasting.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Constructora e Inversiones U&H Satr S.A.C. viene desarrollando el avance de la galería 435 de una sección de 1,80mX2,10m que tiene un proyecto de avance de 120m, donde se detectó una diferencia entre las 03 guardias que realizan diferente cantidad de taladros y diferente consumo de explosivo, todo esto repercute en los costos de perforación y voladura a falta de un estándar en la malla de perforación y en la cantidad de explosivo.

Se analizó el consumo de explosivos en el cual solo se utiliza el emulnor de 3000 y evita utilizar el emulnor de 5000, por otra parte, no utilizan el escariador para generar mayor diámetro en los taladros de alivio, El promedio del costo en perforación y voladura en la galería 435 está en 353,99\$/disparo, y el promedio en la cantidad de taladros perforados en dicha galería está en 37 taladros.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo optimizar los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo optimizar los costos operativos de perforación en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA?



¿Cómo optimizar los costos operativos de voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

La optimización de la malla de perforación reduce los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Un nuevo diseño de malla de perforación optimiza los costos operativos de perforación en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.
- Una nueva distribución de carga explosiva optimiza los costos operativos de voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se realiza **porque** en la actualidad los perforistas tienen diferente malla de perforación, además existe diferencia en la cantidad de los taladros y en el consumo de explosivo para realizar el avance respectivo en la galería 435 que tiene la sección de 1,80x2,10m, todo esto repercute en el costo elevado de perforación y voladura, lo cual se demuestra la ineficiencia de los perforistas y de la empresa contratista en los controles operativos, con el presente proyecto se busca estandarizar la malla de perforación y tener mejor control respecto al consumo de la carga explosiva.

Este proyecto de investigación se propone **para** poder reducir los costos de perforación y voladura así mismo estandarizar la malla de perforación con su respectiva



distribución de carga explosiva, este objetivo es beneficioso para la empresa minera.

El proyecto de investigación es importante para la empresa Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. donde se demostrará la optimización de la malla de perforación y la carga explosiva, así tomar como ejemplo en el resto de labores y mejorar la liquidación mensual respecto a los avances de las labores horizontales en la unidad minera las Águilas – CIEMSA.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Optimizar la malla de perforación para reducir los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

1.5.2. Objetivos específicos

- Optimizar los costos operativos de perforación en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.
- Optimizar los costos operativos de voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Aplicando la cámara de aire y reduciendo la sobre perforación se lograría reducir el costo por metro de 19,58 US\$/m a 18,48 US\$/m, generando así un ahorro de 1,10 US\$/m y un ahorro por proyecto de 711,57 US\$. Optimizaríamos la utilización de los equipos de perforación en cada proyecto, ahorro de combustible por perforadora, más vida útil de los aceros, mayor índice de perforación, disminución de factor de potencia. Aplicando la cámara de aire y reduciendo la sobre perforación se lograría reducir el costo de voladura 19679,37 US\$ a 18927,79 US\$ teniendo un ahorro por proyecto de 751,58 US\$ (Jayro-Axelmir, 2020).

Las consecuencias de un diseño deficiente de malla de perforación y voladura en un frente de avance lineal generan pérdidas económicas para una empresa siendo considerado un factor crítico en la perforación y voladura. El desarrollo una nueva malla de perforación, fue necesario para alcanzar optimizar la perforación, reduciendo de 43 taladros perforados a 39 taladros perforados con la condición cambiar la broca escariadora de 38 mm a 50,80 mm para los taladros de Alivio; esto trajo una mejora en la producción y reducción de costos aumentando una eficiencia de voladura simulado en software JKSimblast de 77,8% al 87,7%, mejorando un avance lineal efectiva de 1,4metros a 1,5metros por disparo (Reyes-Marroquin, 2019).

Con el rediseño de la malla de perforación los costos de perforación y voladura se han reducido de 213,15 US\$/m a 183,86 US\$/m, haciendo una diferencia de 29,29 US\$/m, por otra parte, con la voladura optimizada el consumo de explosivo Emulnor 3000 y 5000, se ha reducido de 22,21 kg/metro a 18,15 kg/metro, con una diferencia es



4,06 kg/metro, en el frente de la Galería San Francisco de la Unidad Minera Pallancata – IESA S.A. – Ayacucho (Soncco-Castro, 2019).

Es necesario identificar claramente el tipo de explosivo que tiene más energía que el resto de explosivos, por lo que radica en la mayor fragmentación de la roca fracturada por la mayor energía liberada, lo que ayuda a solucionar problemas. El problema de la continuidad en el material debido al gran tamaño. Porque hay piedras muy fiables. Sin embargo, los comentarios sobre los costos relacionados con la variable explosiva, se descubrió que tienen ganancias económicas y "ofertas experimentales" y sugerencias, aunque hay factores explosivos más altos en el mercado. La escuela crea un mercado principalmente alto en energía. Estos costos son los que presentan gran diferencia entre las pruebas en comparación a los demás, sin embargo, el tema aún más relevante son las cargas redireccionadas, que influyeron de manera significativa en el flujo de caja generando la rentabilidad buscada (Abril-Barahona, 2018).

Para reducir los costos de perforación y tronadura propuso planes de mejora en el área de la perforación: realizar un diseño de malla de perforación según los resultados del RMR y hacer controles en la longitud de perforación, simetría de los taladros y paralelismo. El Costo de explotación anteriormente fue de 17,67 \$/m³ y con la mejora de 13,99 \$/m³, obteniéndose un ahorro de 3,88 \$/m³ (Gómez-Roca, 2017).

Los parámetros de perforación analizados actualmente son: estructura geológica, desajuste en el diseño de la red de perforación y defectos en la línea de perforación, los parámetros de voladura analizados son: roca, explosivo, sistema, sistema de arranque, carga explosiva, fragmentación y vibración. El plan de mejoramiento de pozos es el siguiente: paralelismo y simetría de pozos, control de longitud de pozos y diseño de red de pozos. El plan de mejora de la detonación es: la obligatoriedad del uso de pads, el cambio de accesorios explosivos y materiales de partida, la cantidad de explosivos y



materiales de partida. El costo por metro lineal de rampa es de 4,5 x 4,0 m. Del tramo anterior era de 627,17 \$/m y con la mejora obtenida era de 582,16 \$/m. Ahorre \$ 45,01 / mes (Sosa-Ore, 2016).

Con los nuevos estándares actualizados se logró disminuir en un 10%, respecto a los costos unitarios de perforación y voladura, monto significativo que permitirá a la empresa ahorrar para gastos de capital, donde la actualización de los estándares, de 6 pies a 8 pies, en la operación unitaria de perforación y voladura influyó positivamente para la disminución de 348 a 311 US\$/ML en frente de avance (Pacahuala-Aguirre, 2015).

La reducción de los costos de perforación de US\$ 98,48 a US\$ 87,25 es el resultado de un nuevo diseño de malla de perforación. Orientado en estandarizar las dimensiones de burden y espaciamientos en la malla de perforación de la Galería Progreso ejecutada por la contrata minera Cavilquis. Con la determinación de la carga explosiva se ha reducido los costos de voladura de US\$ 196,42 a US\$ 148,39 (Chipanaito, 2015).

La minimización de los costos operativos tiene efecto positivo en los costos de las operaciones unitarias de mina ya que genera un ahorro y por otra parte disminuye la voladura secundaria, incrementando la vida útil de los aceros de perforación el cual ascienden a 3'925,570.00 US\$ al año. La mayor reducción de costo operativo se obtuvo en la operación unitaria de sostenimiento 2,35 US \$/TM (56,08% de la reducción total), seguido por la Perforación 1.10 US\$/TM (26,25% de la reducción total), Voladura 0,42 US\$/TM (10,02% de la reducción total) y la limpieza-acarreo 0,32 US\$/TM (7,64% de la reducción total) (Garrido-Llosa, 2015).

Se logró una reducción respecto al costo unitario total en 1,51\$/TM esto quiere decir una minimización de 7%, gracias a que se optimizó los estándares de las



operaciones mineras en perforación y voladura respecto a lo habitual que realizaba la empresa. Representando esto una reducción en costos operativos de Mina de 108 720 \$ al año (Umaña-Tancaillo, 2014).

Al seleccionar adecuadamente la columna de perforación se logra reducir TDC. Para nuestro caso la propuesta A genera un menor costo en terrenos secos y competentes reduciendo así el costo de perforación de 6,75 US\$/m a 6,68 US\$/m (Llamocca-Hinostroza, 2014).

En el planeamiento de perforación y voladura se calculó del tiempo operativo y resulto 4,5 horas por jornada y con ello se obtuvo 905 disparos/mes respecto a lo anterior que fue 345 disparos/mes, además se minimizó los costos de S/. 1177 por metro a S/. 998,97 por metro lineal (Ramos-Bustincio, 2013).

Al optimizar los estándares de las unidades de perforación y las operaciones de voladura, el costo unitario total de la mina se redujo en \$1,51/ton, una disminución del 7 % de lo que se logró. El costo real era US\$/t 22,69 y el costo optimizado es de US\$/t 21,18 (Gómez-Canchihuamán, 2012).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Costos

Son los gastos que se realizan durante la ejecución del trabajo, el mismo debe ser controlado con exactitud y oportunamente, para tomar las correcciones que fueran necesarias (Iriarte, 2012).

2.2.1.1. Objetivos de los costos

Según (Taddey Diez, 2004) planteo los objetivos de los costos en las operaciones mineras.

- Proporcionar información para medir los ingresos y evaluar el inventario



- Ofrecer información para el control administrativo de las operaciones y actividades
- Suministrar la información sobre la cual se basa la administración para el planeamiento y la toma de decisiones.

2.2.2. Tipos de costos

2.2.2.1. Según la actividad

- **Costo variable:** Los costos variables son variables porque solo se incurren en ellos cuando se les necesita así mismo cambian con la producción (Iriarte, 2012).
- **Costo fijo:** Los costos fijos son fijos porque se incurren en ellos así no se les necesite así mismo no cambian con la producción (Iriarte, 2012).

2.2.2.2. Según su asignación

- **Costos directos:** Se define como los gastos que se pueden identificar directamente con una producción o servicio. Ejemplo: insumos, salarios de los obreros directos a la producción, etc.(Durant Broden, 2017).
- **Costos indirectos:** Están formados por los gastos que no se identifican con una producción o servicio dado, relacionándose con éstos en forma indirecta. Ejemplo: reparación y mantenimiento (Durant Broden, 2017).

2.2.3. Perforación

(Sucari-León, 2018) manifiesta que es la primera operación en la preparación de una voladura. Su objetivo es el de generar en la roca huecos de forma cilíndrica denominados taladros destinados a alojar una carga explosiva y sus accesorios iniciadores o blast hole.

Jumbo: Máquina de perforación electro hidráulico especialmente diseñado para perforar taladros verticales ascendentes y descendentes.

- **Aceros de perforación:** son elementos que sirven para transmitir la energía mecánica a la roca.
- **Taladro de rotura:** Es un orificio generado para colocar explosivo
- **Paralelismo:** Es la distancia entre taladros en toda su longitud que tiene la finalidad de asegurar la simetría y mantener el burden entre los taladros.

2.2.4. Características de las rocas que afecta en la perforación

2.2.4.1. Dureza

La dureza se define a la resistencia de una capa superficial respecto a una penetración por un objeto de mayor resistencia. Las rocas se clasifican según la escala de Mohs.

Tabla 1. Clasificación de según la escala de Mohs

Clasificación	Dureza de Mohs	Resistencia a la compresión (Mpa)
Muy dura	+7	+ 200
Dura	6 – 7	120 – 200
Medio dura	4,5 – 6	60 – 120
Medio blanda	3 – 4,5	30 – 60
Blanda	2 – 3	10 – 30
Muy blanda	1 – 2	- 10

Fuente: (FAMESA, 2019)

2.2.4.2. Resistencia

(FAMESA, 2019) La resistencia mecánica de una roca es la propiedad de oponerse a su destrucción bajo la aplicación de una carga exterior, estática o dinámica. La resistencia de una roca depende de su composición mineralógica, por otra parte, la resistencia de los minerales disminuye conforme aumenta el tamaño de los cristales.

Las rocas generalmente oponen una resistencia máxima a la compresión, la resistencia a la tracción o pasa de 10% a un 15% de la resistencia a la compresión. Esto se debe a la fragilidad que presenta y a la cantidad de defectos locales e irregulares que presenta.

Tabla 2. Clasificación de las rocas según a la resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia de la roca
$120 = < \sigma_C$	Muy alta
$80 = < \sigma_C > 120$	Alta
$50 = < \sigma_C < 80$	Media
$20 = < \sigma_C < 50$	Baja
$\sigma_C < 20$	Muy baja

Fuente: (FAMESA, 2019)

$$I_s = \frac{F}{D^2}$$

Donde:

I_s = Resistencia bajo carga puntual

F = Carga

D = Diámetro del testigo

2.2.4.3. Elasticidad

(FAMESA, 2019) La mayoría de los minerales constituyentes de la roca tienen un comportamiento elástico – frágil que obedece a la ley de Hooke, y se destruyen cuando las tensiones superan el límite de elasticidad.

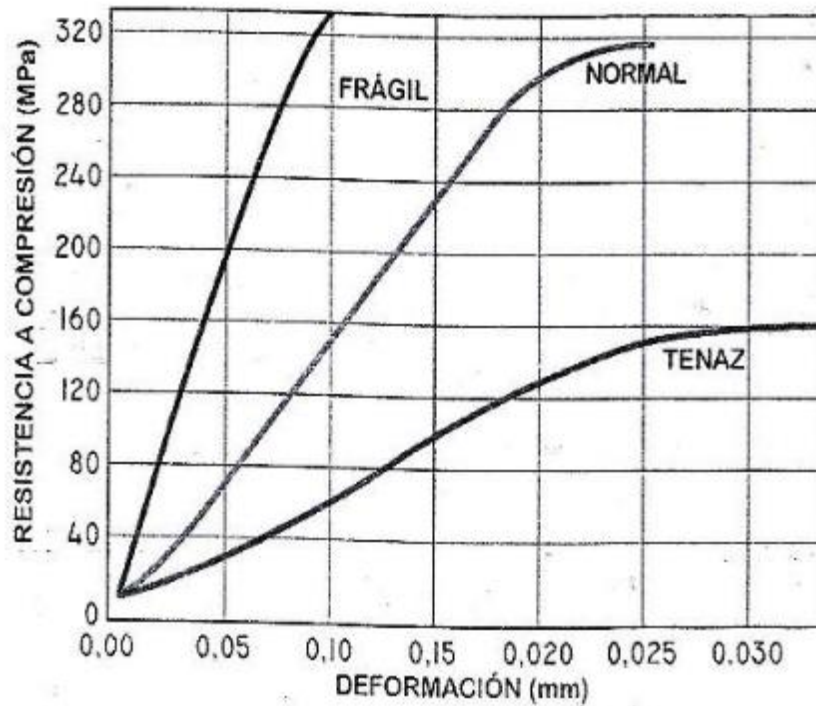


Figura 1. Curvas de tensión -deformación de diferentes tipos de rocas

Fuente: (FAMESA, 2019)

2.2.4.4. Plasticidad

En algunas rocas, la falla es precedida por una deformación plástica. Comienza tan pronto como la presión en la roca excede el límite elástico. La plasticidad depende de la composición mineral de la roca y disminuye con un mayor contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales resistentes. Las arcillas húmedas y algunas rocas homogéneas poseen altas propiedades plásticas (FAMESA, 2019).

2.2.4.5. Abrasividad

(FAMESA, 2019) La abrasividad se define como la capacidad de las rocas para desgastar su superficie de contacto de otro cuerpo más duro, o de herramientas útiles, en el proceso de rozamiento durante el movimiento. Algunos factores que incrementan la capacidad abrasiva de las rocas son:



- La dureza de los granos constituyentes de la roca, las rocas que contienen granos de cuarzo.
- La forma de granos: los más angulosos son más abrasivos que los redondeados.
- El tamaño de los graos
- La porosidad de la roca. Este factor da lugar a superficies de contacto rugosas como concentraciones de tensiones locales.
- La heterogeneidad. Las rocas poli minerales, aunque tengan la misma dureza, son más abrasivas, pues van dejando superficies ásperas con presencia de granos duros.

2.2.4.6. Textura

La textura de la roca está definida a la estructura de los graos de minerales que la constituyen. Se manifiesta en el tamaño de granos, la forma, la porosidad y entre otros aspectos los cuales influyen en el rendimiento de la perforación.

Diseño de corte

Es la apertura inicial, conocida como corte, arranque o cuele que tiene la finalidad de generar una segunda cara libre, respecto a la profundidad debe ser igual a la longitud de avance que se propone.

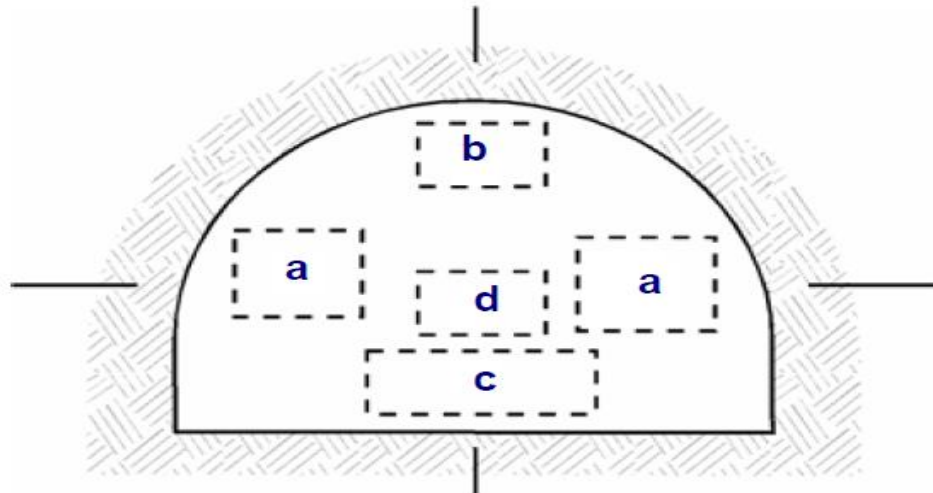


Figura 2. Ubicación del arranque

Fuente: (FAMESA, 2019).

2.2.5. Malla de perforación

(Sucari-León, 2018) 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 taladro.

2.2.6. Explosivos

Es un compuesto químico, mezcla de materiales donde su finalidad es funcionar por la explosión de un iniciador.

- **Factor de carga:** Es la cantidad de explosivo que se utiliza por una unidad de roca para realizar la detonación.
- **Densidad de carga:** Es el peso de un explosivo cargado por metro de taladro
- **Velocidad de detonación:** Velocidad a la cual progresa la detonación a través de un explosivo.
- **Retardos:** es la pausa de tiempo determinado entre detonaciones e impulso de detonación para permitir la iniciación de cargas explosivas separadamente.



2.2.7. Voladura

Es un proceso tridimensional, donde las presiones que se generan por los explosivos que se encuentran confinados en el taladro perforado en roca, originando una alta concentración de energía produciendo efectos dinámicos; fragmentación y desplazamiento de la roca lo menciona (Sucari-León, 2018).

2.2.8. Altos explosivos sensibles al detonador

2.2.8.1. Dinamitas

(EXSA, 2005) Altos explosivos mayormente compuestos por un elemento sensibilizador (nitroglicerina u otro éster estabilizado con nitrocelulosa), combinada con aditivos portadores de oxígeno (nitratos) y combustibles no explosivos (harina de madera) más algunos aditivos para corregir la higroscopicidad de los nitratos, todos en las proporciones adecuadas para mantener un correcto balance de oxígeno. En ellas todos sus componentes trabajan contribuyendo energéticamente en la reacción de detonación.

En las dinamitas modernas también denominadas gelatinas explosivas por su consistencia plástica, de fácil uso y manipulación, el porcentaje de nitroglicerina-nitrocelulosa se estima entre 30 y 35% correspondiendo el resto a los oxidantes y demás aditivos. Con menores porcentajes las dinamitas resultan menos plásticas y menos resistentes al agua, denominándose semigelatinas y pulverulentas.

Ventajas de la dinamita

- Sensibles al fulminante N° 6, 8 y otros iniciadores como el cordón detonante, directamente.
- Potencias elevadas, gran efecto triturador.



- Altas densidades, de 1,05 hasta 1,5 g/cm³
- Elevadas velocidades de detonación, entre 3 500 y 6 000 m/s.
- Gran resistencia al agua y estabilidad química.
- Es insustituible cuando se trabaja en condiciones de alta presión hidrostática, en condiciones donde los efectos de canal son importantes, donde es deseable difundir la inducción de un orificio a otro, cuando se trabaja en condiciones de altas temperaturas. Demasiado bajo y otros lugares donde otros explosivos no garantizan una reacción efectiva.
- Larga vida útil en almacenaje adecuado (shelf life: más de un año).
- Muy raras fallas por insensibilidad a la iniciación.
- Muy buena capacidad de transmisión de la detonación (simpatía) para carguío espaciado.
- Adaptables a casi toda condición de voladura existente y gran facilidad de carguío aun en taladros de condiciones difíciles como los de sobre cabeza.

Desventaja de la dinamita

- Su sensibilidad a estímulos subsónicos con riesgo de reacción al impacto o calor extremo y otros.
- Cefalea transitoria al inhalar su aroma o vapores (por la acción vaso dilatadora de la nitroglicerina, aunque sin efectos tóxicos) (EXSA, 2005).

Gelatinas

Gelatina Especial 75 y 75 BN; Gelatina Especial 90 y 90 BN; Gelignita y Gelatina Explosiva (con densidades de 1,3 a 1,5 g/cm³ y velocidades de 5 000 a 6 500 m/s) de consistencia plástica, elevado poder



tritrador para rocas duras y gran resistencia al agua para trabajos subacuáticos (EXSA, 2005).

Semigelatinas

Semexsa 45, Semexsa 60, Semexsa 65 y Semexsa 80 (con densidades de 1,08 a 1,2 g/cm³ y velocidades de 3 500 a 4 500 m/s), de consistencia granular o pulverulenta, adecuada para rocas semiduras y húmedas (EXSA, 2005).

Pulverulentas

Exadit 45, Exadit 60 y Exadit 65 con densidades de 1,00 a 1,05 g/cm³ y velocidades de 3 400 a 3 600 m/s), de consistencia granular fina, adecuada para rocas friables, blandas, en taladros secos (EXSA, 2005).

Dinamitas Especiales

Exsacorte para voladura controlada y Geodit para sísmica. Las gelignitas y gelatinas tienen alta capacidad de trituración y resistencia al agua, empleándose en rocas duras y en condiciones difíciles. Las semigelatinas son ampliamente usadas en rocas de condiciones intermedias; las pulverulentas en rocas relativamente suaves y secas; y las especiales en trabajos determinados como el precorte y en exploración para prospección sísmográfica de hidrocarburos (EXSA, 2005).

2.2.8.2. Explosivos permisibles

Especialmente preparados para uso de minas de carbón con ambiente inflamable, su principal característica es la baja temperatura de explosión, la que se obtiene con la adición de componentes o aditivos inhibidores de llama, como algunos cloruros (EXSA, 2005).

2.2.8.3. Explosivos acuosos

El hidrogel consta de una fase continua, que es una solución acuosa de sales oxidantes que se satura a temperatura ambiente y forma un gel soluble en agua; Con una fase dispersa de partículas sólidas, gotitas líquidas o ambas. En el caso de un líquido disperso, la composición pertenece simultáneamente al grupo de las emulsiones de tipo “aceite en agua” (EXSA, 2005).

2.2.8.4. Explosivos especiales

Se incluyen en este artículo los productos fabricados para un propósito específico o para uso en condiciones ambientales inusuales. Sus componentes primarios pueden ser explosivos, hidrogeles, explosivos moleculares como el TNT, mezclas de nitrato de amonio, etc., provistos de envases o embalajes adecuados a su función o uso.

2.2.9. Agentes de voladura, no sensibles al detonador

Agentes de voladura acuosos

- Hidrogeles o slurries

Los hidrogeles exentos de materia explosiva propia en su composición no reaccionan con el fulminante y se califican como “agentes de voladura hidrogel, slurries o papillas explosivas”, requiriendo de un cebo reforzado o primer-booster para arrancar a su régimen de detonación de velocidad estable; de lo contrario, no arrancan o lo hacen a bajo régimen con velocidades transientes dando bajo rendimiento energético, razón por la que en un principio también se les denominaba explosivos de seguridad. También son conocidos como water gels.

- Emulsiones



En forma similar, los agentes de voladura emulsión carecen de un elemento explosivo en su composición (eventualmente se sensibilizan con micro esferas) por lo que también requieren ser detonadas con un cebo reforzador de alta presión de detonación. Su aplicación también está dirigida a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, como carga de fondo de alta densidad o como carga de columna (total o espaciada) en taladros con agua, o perforados en roca muy competente.

– Agentes mixtos (emulsión/ANFO o ANFOs pesados):

Son mezclas de emulsión y ANFO en diferentes proporciones, que permiten:

1°. Bajar el costo y potencia de una emulsión pura, para voladura en rocas difíciles, secas o húmedas.

2°. Darle resistencia al agua al ANFO, al saturar con emulsión los espacios libres entre los prills o perlas del nitrato.

Estos ANFOs pesados se pueden preparar en diferentes relaciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y la presencia de agua, entre 10% a 90% de emulsión y la diferencia ANFO, siendo las ratios más difundidas 30 – 70, 50 – 50, 60 – 40 y 80 – 20.

Normalmente las mezclas con menos de 50 % de emulsión no son resistentes al agua, pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50 % emulsión son progresivamente más resistentes al agua.

Agentes de voladura NCN granulares, secos, ANFO y similares

En general, consiste en nitrato de amonio sensible a un compuesto orgánico, líquido o sólido, y generalmente no es explosivo. El nitrato debe

ser poroso y lo suficientemente poroso para asegurar que los agregados combustibles sean absorbidos y retenidos.

Tabla 3. Explosivos comerciales y principales componentes

Tipo	Oxidantes	Combustibles	Sensibilizador
Dinamitas	Sólidos	Sólidos	Líquido
	Nitrato de amonio y otras sales	de Materiales absorbentes, pulpa de madera, celulosa	Nitroglicerina y otros
ANFO y otros nitrocarbonitratos granulares	Sólidos	Sólido – Líquido	Aire
	Nitrato de amonio granulados	de Petróleo diesel, carbon y otros aceites.	Poros vacíos de aire en los prills de nitrato de amonio
Hidrogeles (slurry)	Sólido – líquido	– Sólido - Líquido	Sólido – líquido
Dispersión de aceite en agua	Nitrato de amonio y otras sales (soluciones salinas)	de Petróleo, aluminio, sensiilizantes orgánicos, gomas.	Nitrato de monometil, amina, mononitrato de etileno glicol, aluminio en polvo y otros gasificantes.
Emulsiones (dispersión en agua en aceite)	Líquido	Líquido	Gasificantes
	Soluciones de nitrato de amonio y otras sales	de aceites, emulsificantes, parafinas.	petróleo, Aire contenido en microesferas de vidrio y otros gasificantes.

Fuente: (EXSA, 2005)

Tabla 4. Factores que influyen en la performance de los explosivos

Explosivos	Tamaño de partículas (mm)	Estado	Velocidad de detonación (m/s)
ANFO	2,0	Sólido	3200
Dinamita	0,2	Sólido	4000
Hidrogel	0,2	Sólido – líquido	3300
Emulsión	0,001	Líquido	5000 a 6000

Fuente: (EXSA, 2005)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Perforación:** Es un proceso de generar un agujero en la roca producto de corte, empuje y rotación a base de una fuerza mecánica.
- **Taladro:** es el agujero generado en la roca producto de la perforación.
- **Malla de perforación:** Es la distribución de los taladros en un área determinado de perforación.
- **Voladura:** Es el proceso de liberación de los gases, producto de la explosión de una carga explosiva.
- **Explosivo:** Son composiciones químicas que tienen la capacidad de explosionar a causa de un iniciador.
- **Costo:** es el valor económico de un servicio, producto o bien.
- **Minería:** es un conjunto de actividades que se dedica a la explotación de un recurso minero ya sea metálico y no metálico.
- **Rampa:** es una labor minera que se ejecuta en desmonte o estéril, puede ser de forma inclinada positivo o negativo, esta labor sirve para ingreso de equipos, personas a interior mina.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La investigación se realizó en la Unidad Minera las Águilas – CIEMSA que se encuentra en los parajes denominado Koripua y Sequeña, ubicados en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa y departamento de Puno. Encontrándose a una altitud de 4300m.s.n.m. está delimitado por las siguientes coordenadas UTM del sistema WGS-84: Norte 8312041 – Este 309908.

3.1.1 Accesibilidad

Su accesibilidad está definida siguiendo la siguiente ruta:

Tabla 5. Rutas de ingreso a la mina las Águilas

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (h)	Tipo de vía
Juliaca - Ayaviri	104	1.5	Asfaltada
Ayaviri – Chuquibambilla	18	0.25	Asfaltada
Chuquibambilla – Llalli	25	0.5	Afirmada
Llalli – mina las Águilas	35	1	Afirmada
Total	182	3.25	

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación se desarrolló durante el segundo semestre del 2021.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

El material bibliográfico proviene de los diferentes repositorios digitales, y respecto a los datos se obtuvieron que recoger día a día de la galería 435 que estuvo ejecutando la Constructora e Inversiones U&H Star S.AC.



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por 4 galerías que se estuvieron desarrollando durante el 2021 en la mina las Águilas, Gal 215, Gal 435, Gal 350 y la Gal 100. En base en Herández et al., (2014) donde define a la población de estudio como un conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.

3.4.2. Muestra

La muestra de estudio para el trabajo de investigación fue la galería 435 de una sección de 1.80x2.10m. Así mismo señala Herández et al., (2014) que la muestra es un sub grupo de la población donde se recogen los datos y debe ser representativo de la población.

3.4.3. Muestreo

El muestreo fue de tipo no probabilístico según a las conveniencias del investigador debido a la autorización de la empresa minera.

3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO Y METODOLÓGICO

3.5.1. Enfoque de la investigación

El trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo ya que los datos que se recolectaron son numéricos así mismo los cálculos de los costos.

3.5.2. Tipo de investigación

La investigación está dentro del tipo de investigación experimental porque se manipuló la variable independiente con la finalidad de reducir los costos en perforación y voladura. Por otra parte, Herández et al., (2014) señala que los experimentos manipulan tratamientos, estímulos influencias o intervenciones para observar sus efectos sobre otras variables de una situación de control.



3.5.3. Diseño de la investigación

La investigación presenta un diseño de investigación preexperimental longitudinal-comparativo porque se realizó los controles en un solo grupo que es la Galería 435, antes del nuevo diseño de la malla de perforación y después de la implementación del nuevo diseño de la malla de perforación. Así mismo define Hernández et al., (2014) que los preexperimentos se llaman porque su grado de control es mínimo, ya que consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cuál es el nivel del grupo en éstas.

3.6. PROCEDIMIENTO

Los pasos que se siguieron en el trabajo de investigación fueron:

- Se analizó el costo en perforación en la galería, según la malla empírica que aplican los perforistas de las tres guardias.
- Se analizó la cantidad de la carga explosiva utilizada en la galería por guardia.
- Se diseñó una nueva malla de perforación y una nueva distribución de carga explosiva
- Se analizó el nuevo costo en perforación y voladura por disparo respecto a los costos anteriores.

3.7 VARIABLES

3.7.1. Variable independiente

Optimizar la malla de perforación de la galería 435

3.7.2. Variable dependiente

Costos operativos de perforación y voladura de la galería 435

Tabla 6. Operacionalización de variables.

Variables	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Optimizar la malla de perforación de la galería 435	<ul style="list-style-type: none">• Sección de la labor• Numero taladros• Burden• Espaciamiento• Factor de carga• Factor de potencia	<ul style="list-style-type: none">• m²• N°• cm• cm.• kg/m³kg/TM
Variable Dependiente: Costos operativos de perforación y voladura de la galería 435	<ul style="list-style-type: none">• Costo de perforación• Costo de Voladura	<ul style="list-style-type: none">• US\$/m• US\$/m.

3.8. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se tuvo que analizar el historial de perforación y voladura en la galería 435, por otra parte, una vez implementado el nuevo diseño de malla de perforación se continuó con el análisis de los costos de perforación y voladura.

Reporte diario de operación.

- Control de tiempos de perforación en la galería 435
- Costos de avances lineal en la galería 435
- N° de taladros perforados por disparo o guardia
- Consumo de explosivos y accesorios por disparo
- Tipo de explosivo por disparo

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estadístico que se utilizó es el t de student, debido a que tenemos un control antes y un control después, existe la necesidad de conocer la diferencia de medias entre dichos controles con el apoyo del software SPSS V 25.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Resultados para el primer objetivo específico:

Optimizar los costos operativos de perforación en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas -CIEMSA.

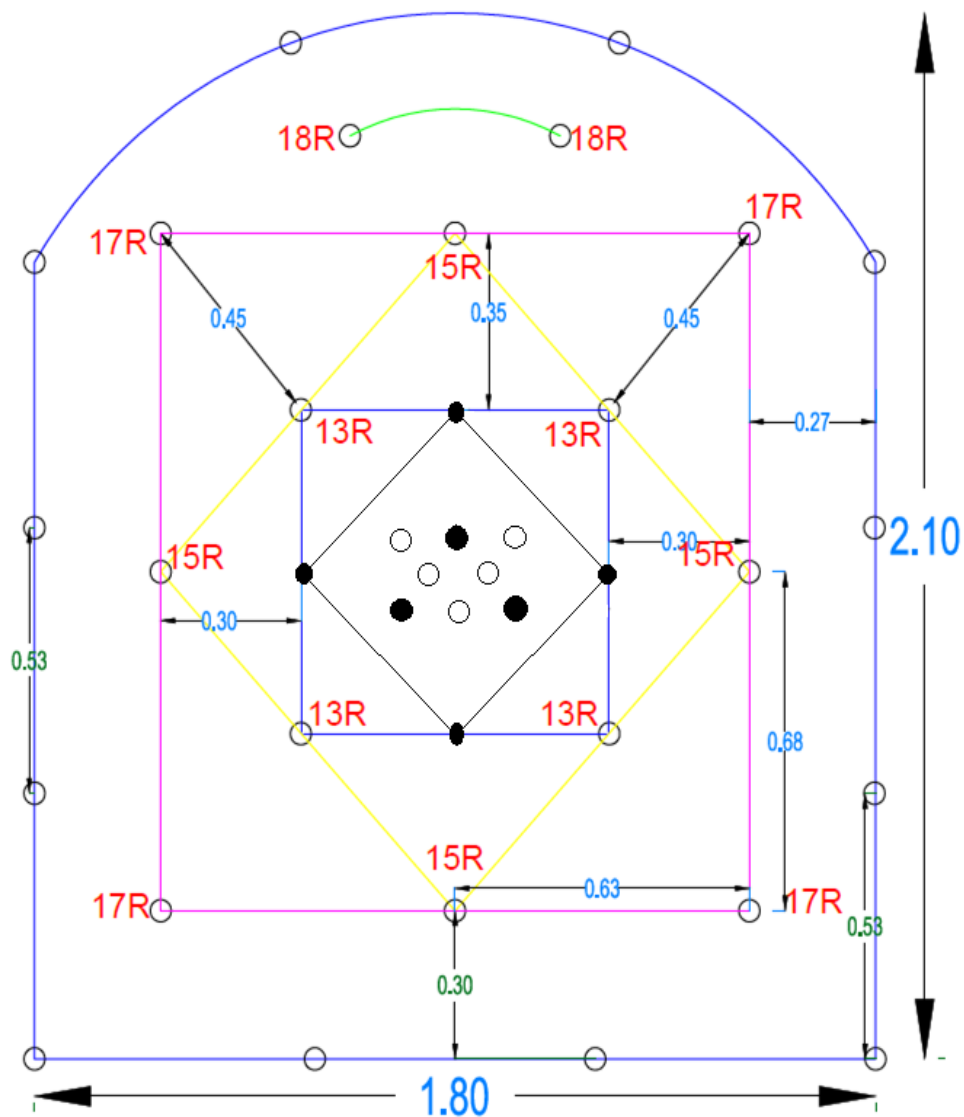


Figura 3. Malla de perforación anterior en galería 435

Tabla 8. Costo de la malla de perforación nueva en la galería 435

Perforación	Precio	V. util(pies)	\$/pie	pies perf	Costo (\$)
Máquina perforadora	5000	80000	0,06	194	12,11
Aceite para perforación (glns.)	15,5	350	0,04	194	8,58
Mantenimiento y repuestos (100%)					12,11
Barra cónica 6'	90	1000	0,09	194	17,44
Barra cónica 3'	50	1000	0,05	194	9,69
Brocas 41 mm	30	1000	0,03	194	5,81
Brocas 38 mm	30	600	0,05	194	9,69
Alambre N° 16					0,10
Manguera 1' (25 m)	87	10000	0,0087	194	1,69
Manguera 1/2' (25 m)	43,5	10000	0,0044	194	0,84
Total perforación					78,07

La tabla 8 muestra de forma detallada el costo en la perforación de la galería 435 después de aplicar la optimización, donde se tiene 78,07\$/disparo el costo de perforación.

Tabla 9. Comparación de costos en la perforación en la galería 435

Perforación	Costo anterior (\$)	Costo nuevo (\$)
Máquina perforadora	13,18	12,11
Aceite para perforación (glns.)	9,34	8,58
Mantenimiento y repuestos (100%)	13,18	12,11
Barra cónica 6'	18,98	17,44
Barra cónica 3'	10,55	9,69
Brocas 41 mm	6,33	5,81
Brocas 38 mm	10,55	9,69
Alambre N° 16	0,10	0,10
Manguera 1' (25 m)	1,83	1,69
Manguera 1/2' (25 m)	0,92	0,84
Total	84,95	78,07

La tabla 9 evidencia una comparación de los costos de la malla de perforación antes y después de aplicar la optimización, antes el costo de perforación fue 84,95\$/disparo y ahora se tiene 78,07\$/disparo ya que se tiene menos taladros en la perforación.

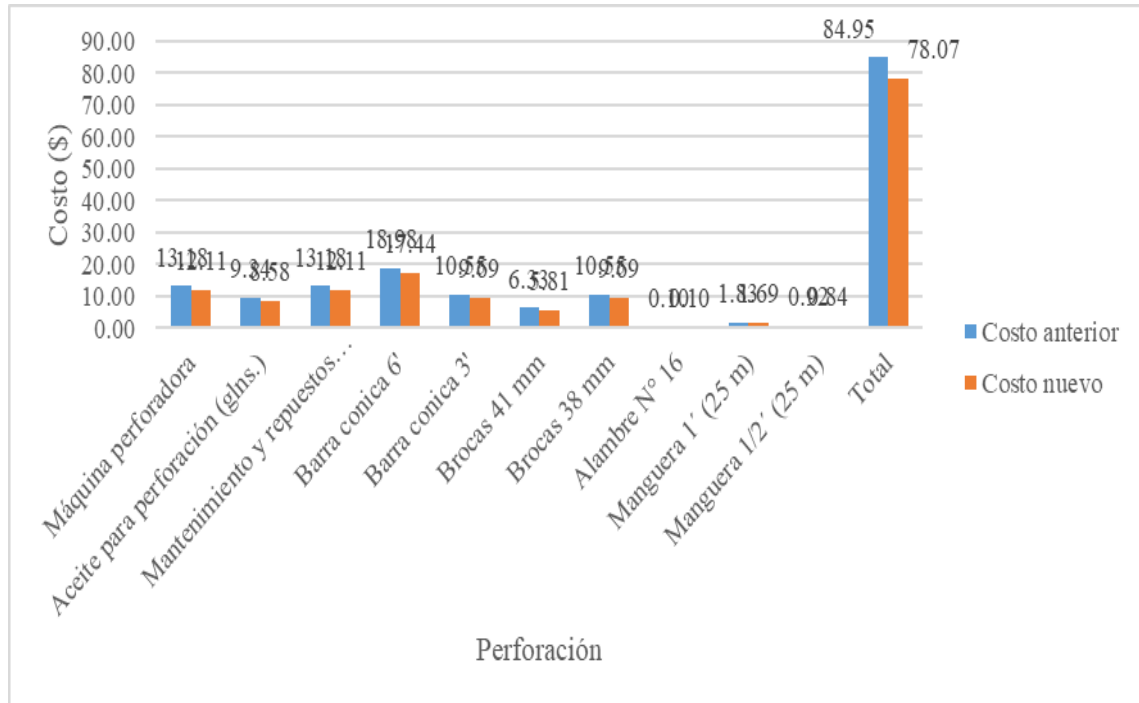


Figura 5. Comparación de costos en la perforación de la galería 435

La figura 5 evidencia una reducción en los costos de perforación en la galería 435, aplicando la optimización en la perforación se tiene un resultado favorable por disparo reduciendo de 84,95 \$ a 78,07\$.

4.1.2. Resultados para el segundo objetivo específico:

Optimizar los costos operativos de voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA.

Tabla 10. Carga explosiva según la malla de perforación anterior en la galería 435

Malla anterior	Cantidad	E-5000	E-3000	Carmex
Taladro de alivio	4	0	0	0
Taladro de arranque	7	0	35	7
Taladro de ayuda arranque	4	0	20	4
Taladro de producción	8	0	40	8
Taladro de ayuda de corona	2	0	10	2
Taladro de hastiales	4	0	20	4
Taladro de corona	4	0	20	4
Taladros de arrastre	4	0	20	4
Total de taladros perforados	37	0	0	0
Total de taladros disparados	33	0	165	33

La tabla 10 muestra de forma detallada la distribución de explosivo por taladro en el cual se tiene 33 taladros cargados por disparo.

Tabla 11. Costo en explosivo según la malla de perforación anterior en la galería 435

Explosivo	Cantidad	Precio (\$/)	Costo (\$)
Emulnor de 5000 (cartuchos)	0	0,08	0
Emulnor de 3000 (cartuchos)	165	1,14	188,1
Carmex (unidades)	33	2,24	73,92
Mecha rápida (metros)	6	1,17	7,02
Total			269,04

La tabla 11 se evidencia que no utilizan emulnor de 5000 en la voladura, solo se cargan los taladros con el emulnor de 3000, teniendo un costo total de 269,04\$/disparo respecto a la voladura en la galería 435.

Tabla 12. Carga explosiva según la malla de perforación nueva en la galería 435

Malla actual	Actual	E-5000	E-3000	Carmex
Taladro de alivio	4	0	0	0
Taladro de arranque	4	8	12	4
Taladro de ayuda arranque	4	8	12	4
Taladro de producción	8	16	24	8
Taladro de ayuda de corona	2	4	6	2
Taladro de hastiales	4	8	12	4
Taladro de corona	4	8	12	4
Taladros de arrastre	4	8	12	4
Total de taladros perforados	34	0	0	0
Total de taladros disparados	30	60	90	30

La tabla 12 muestra la cantidad actual de la carga explosiva por disparo en la galería 435 donde tiene 60 cartuchos de E-5000, 90 cartuchos de E-3000 y el total de taladros por disparo es igual a 30.

Tabla 13. Costo en explosivo según la malla de perforación nueva en la galería 435

Explosivo	Cantidad	Precio (\$/)	Costo (\$)
Emulnor de 5000 (cartuchos)	60	0,08	4,8
Emulnor de 3000 (cartuchos)	90	1,14	102,6
Carmex (unidades)	30	2,24	67,2
Mecha rápida (metros)	6	1,17	7,02
Total			181,62

La tabla 13 muestra el costo de voladura aplicando la optimización donde se tiene 181.62\$/disparo en la galería 435.

Tabla 14. Comparación de costos de explosivos y accesorios en la galería 435

Explosivo	Costo anterior (\$)	Costo nuevo (\$)
Emulnor de 5000 (cartuchos)	0	64,8
Emulnor de 3000 (cartuchos)	188,1	102,6
Carmex (unidades)	73,92	67,2
Mecha rápida (metros)	7,02	7,02
Total	269,04	241,62

La tabla 14 muestra la reducción de los costos de voladura en la galería 435, realizando la comparación respecto al consumo de explosivo con la malla anterior y la malla de perforación optimizada en el cual se redujo de 269,04 \$ a 241,62\$ por disparo.

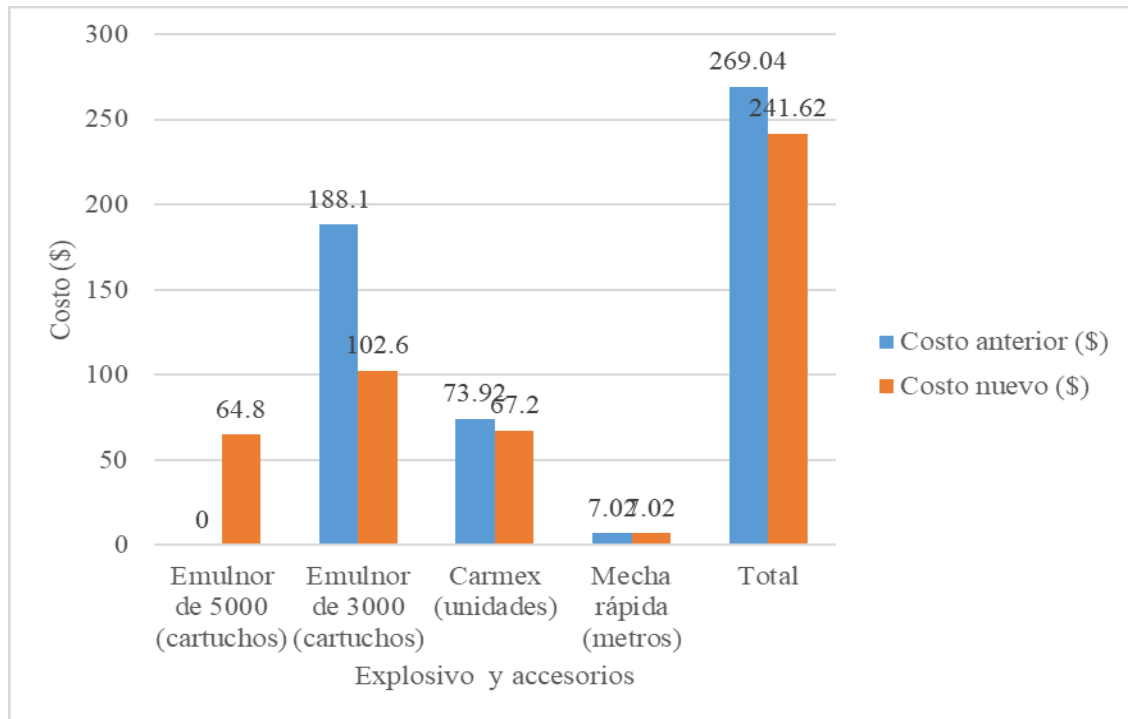


Figura 6. Comparación de costos en explosivos y accesorios en la galería 435

La figura 6 muestra la comparación respecto al costo en voladura, costo anterior y costo nuevo, así mismo se muestra la reducción en cada tipo de explosivo y accesorio.

4.1.3. Resultado para el objetivo general:

Optimizar la malla de perforación para reducir los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

Tabla 15. Optimización de la malla de perforación en la galería 435

Malla anterior	Anterior	Actual
Taladro de alivio	4	4
Taladro de arranque	7	4
Taladro de ayuda arranque	4	4
Taladro de producción	8	8
Taladro de ayuda de corona	2	2
Taladro de hastiales	4	4
Taladro de corona	4	4
Taladros de arrastre	4	4
Total de taladros perforados	37	34
Total de taladros disparados	33	30

La tabla 15 evidencia una clara reducción de taladros una vez aplicado la optimización de la perforación en la galería 435 anteriormente 33 taladros se cargaban con carga explosiva ahora solo 30 taladros tienen carga explosiva reduciendo 03 taladro/disparo.

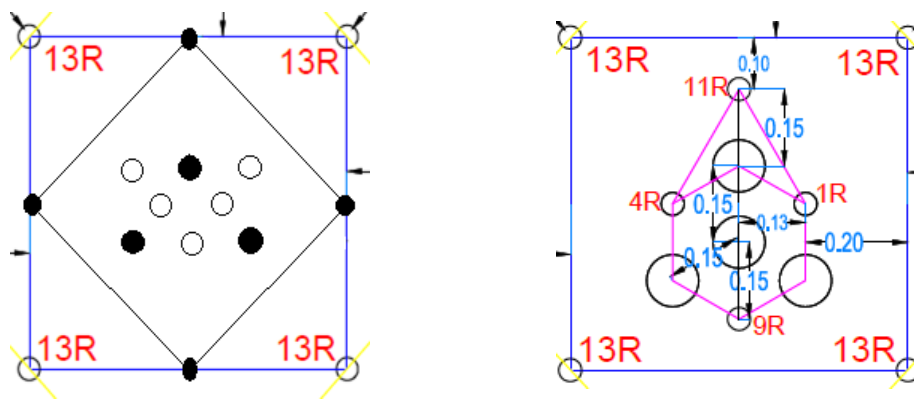


Figura 7. Optimización de la malla de perforación en la galería 435

Tabla 16. Costos operativos en perforación y voladura en la galería 435

Galería 435	Perforación (\$)	Explosivo (\$)	Costo total (\$)
Malla de perforación anterior	84,95	269,04	353,99
Malla de perforación nueva	78,07	241,62	319,69
Diferencia	6,88	27,42	34,3

La tabla 16 evidencia que la optimización de los costos operativos en perforación y voladura tiene una reducción de 34,3\$/disparo en total, reduciendo 6,88\$/disparo en la perforación y 27,42\$/disparo en el consumo de explosivos.

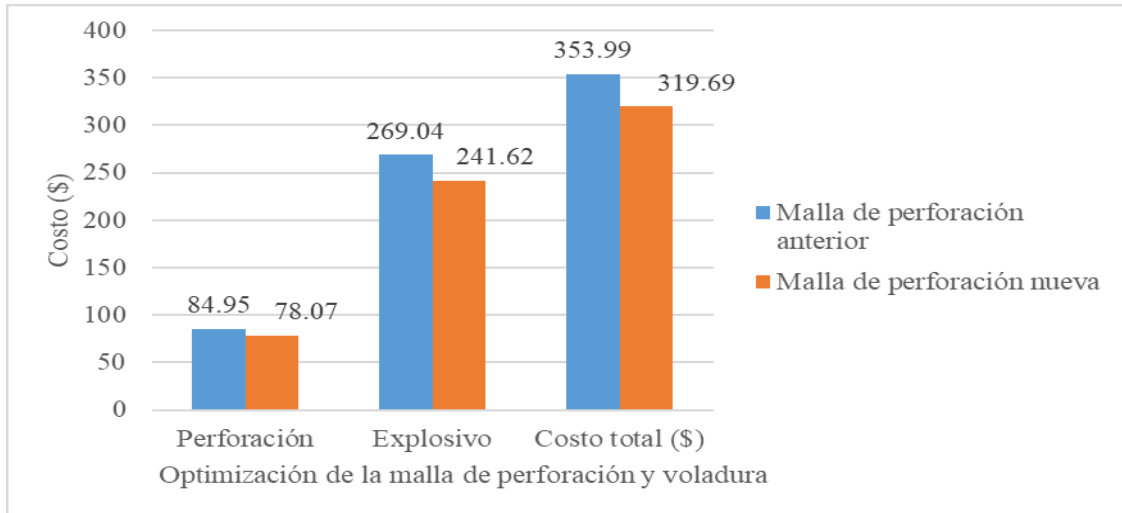


Figura 8. Costos operativos en perforación y voladura en la galería 435

En la figura 8 se puede evidenciar que una vez aplicado la optimización en la perforación y voladura en la galería 435 repercute en la reducción de los costos operativos de perforación y voladura tal como se muestra en las barras estadísticas ya sea en el costo de perforación y en el costo de explosivos, causando un efecto a nivel general.

4.1.4. Contraste de hipótesis

Para el contraste de la hipótesis se utilizó la prueba “t” de student con la finalidad de verificar si la optimización de la malla de perforación reduce los costos operativos en perforación y voladura especialmente en la galería 435, así demostrar estadísticamente con el apoyo del software SPSS V 25.

a) Planteamiento de la hipótesis estadística

H₀: La optimización de la malla de perforación no reduce los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la

Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

H₁: La optimización de la malla de perforación reduce los costos operativos de perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

b) Nivel de significancia

Alpha = 5% = 0,05

Intervalo de confianza = 95%

c) Criterio de decisión

Si (p-value) es < que Alpha en este caso se rechaza la H₀

Si (p-value) es > que Alpha en este caso se acepta la H₀

Tabla 17. Estadística descriptiva de los costos operativos

Costos operativos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Explosivo antes	4	67,2600	87,17688	43,58844
Explosivo después	4	60,4050	39,56372	19,78186
Perforación antes	10	8,4960	6,14600	1,94354
Perforación después	10	7,8060	5,64563	1,78530

La tabla 17 evidencia la parte descriptiva de los resultados respecto a los costos operativos en la perforación y en el consumo de explosivos, antes y después de la optimización de la malla de perforación.

Tabla 18. Prueba “t” de student para los costos operativos

Costos operativos	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
No se asumen varianzas iguales -Perforación	0,143	4,185	0,893	6,85500	47,86726
No se asumen varianzas iguales -Voladura	0,261	17,872	0,797	,69000	2,63906



d) Conclusión estadística

La tabla 18 evidencia que el p-value = 0,893 en la perforación y el p-value = 0,797 siendo estos dos valores $>$ a 0,050 por lo tanto se acepta la H_0 y se rechaza la H_1 , esto quiere decir que el resultado de la reducción en la perforación y voladura en la galería 435 estadísticamente no son muy significativos.

4.2. DISCUSIÓN

Los resultados a nivel general en la optimización de los costos operativos en perforación y voladura tienen una reducción de 34,3\$/disparo en total, reduciendo 6,88\$/disparo en la perforación y 27,42\$/disparo en el consumo de explosivos. Resultados muy similares a la de (Gómez-Canchihuamán, 2012) que con la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura logró una reducción del costo unitario de 22,69\$/t a 21,18\$/t. De forma muy similar (Reyes-Marroquin, 2019) generó una reducción de taladros perforados de 43 a 39 lo cual tiene un efecto positivo en los costos de perforación y voladura.

Existe una reducción en los costos de perforación en la galería 435, aplicando la optimización en la perforación se tiene un resultado favorable por disparo reduciendo de 84,95 \$ a 78,07\$, realizando la comparación de la malla de perforación anterior con 37 taladros perforados y 33 taladros disparados respecto a la nueva malla de perforación que consta con 34 taladros perforados y 30 taladros disparados. Dichos resultados son muy similares a la de (Soncco-Castro, 2019) que con un rediseño de malla de perforación redujo los costos en perforación y voladura de 213,15\$/m a 183,86\$/m. por otra parte (Gómez-Roca, 2017) propone un plan de mejora para disminuir los costos de perforación se debe mantener el paralelismo, control de la longitud de los taladros y un diseño de malla de perforación según el RMR de la labor.



La reducción de los costos de voladura en la galería 435, fue a partir de la nueva carga explosiva que se estandarizó en la malla de perforación, dicha reducción fue de 269,04 \$ a 241,62\$ por disparo. Resultado muy similar a la de (Sosa-Ore, 2016) señala que el plan de mejora en voladura fue la utilización de forma obligatoria el taco, un cambio de explosivo y accesorio de iniciación, cantidad de carga explosiva y encebado, generando un ahorro de 45,01\$/m. Por otra parte, (Chipana-tito, 2015) realizó un rediseño de la malla de perforación estandarizando el burden y espaciamiento se determinó una nueva carga explosiva reduciendo el costo en voladura de 196,42 \$ a 148,39\$.



V. CONCLUSIONES

Concluyendo a nivel general que se logró optimizar la malla de perforación reduciendo los costos operativos en perforación y voladura en la galería 435 que estuvo ejecutando la Constructora e Inversiones U&H Star S.A.C. en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA, dicha reducción es de 34,3\$/disparo, ya que se realizó menos taladros y una redistribución de carga explosiva según a la nueva malla de perforación.

Se concluye que se logró optimizar los costos operativos en perforación en la galería 435, ya que se redujo la cantidad de taladros perforados por disparo de 37 a 34 teniendo un reflejo en la reducción de costo de 84,95\$/disparo a 78,07\$/disparo, ya que se tuvo que perforar menos taladros.

Se concluye que se logró optimizar los costos operativos de voladura en la galería 435, ya que depende de la cantidad de taladros perforados la cantidad de explosivo a utilizar, se logró una reducción de 269,04\$/disparo a 241,62\$/por disparo, ya que se tuvo que realizar una nueva distribución de la carga explosiva e incluso un cambio de explosivo para tener los mismos resultados en el avance.



VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere probar y experimentar la voladura con diferentes mallas de perforación y con diferentes cargas explosivas ya que el macizo rocoso es cambiante en una galería de avance lineal.

Se sugiere cambiar la malla de perforación iniciando desde el arranque, cantidad de taladros de alivio y el diámetro de los taladros de alivio, ya que el punto de partida para una voladura exitosa es a partir de la cara libre.

Se sugiere evaluar y analizar cuando se cambia el tipo de explosiva a utilizar ya que dependerá de la malla de perforación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril-Barahona, E. H. (2018). *Optimización de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas de mina subterránea en la compañía minera Ares S.A.C.* [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5185>
- Chipana-tito, R. M. (2015). *Diseño de perforacion y voladura para la reduccion de costos en el frente de la galeria progreso de la contrata minera Cavilquis-Corporacion Ananea S.A.* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1937>
- Durant Broden, J. (2017). *Ingeniería de costos.*
- EXSA. (2005). *Manual práctico de voladura.*
- FAMESA, E. (2019). *Manual de perforación y voladura* (F. E. S.A.C. (ed.)).
- Garrido-Llosa, J. J. (2015). *Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animón* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2101>
- Gómez-Canchihumán, R. J. (2012). *Optimización de la perforación y voladura para la minimización de los costos operativos en la unidad El porvenir de la compañía minera Milpo S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Gómez-Roca, J. R. (2017). “Reducción de costos de explotación mediante la mejora de los parámetros de perforación y voladura en la mina Huancapeti.” [Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2198>
- Iriarte, L. (2012). *Gerencia estratégica de costos y presupuestos en Minería.* 1–23.
- Jayro-Axelmir, M. P. (2020). *Reducción de costos de perforación y voladura aplicando la técnica de cámaras de aire en mina Shougang, Nazca - Ica* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/5525>
- Llamocca-Hinostroza, R. (2014). *Reducción del costo de perforación DTH por selección de la columna de perforación y cuidado de aceros* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4581>



- Pacahuala-Aguirre, M. C. (2015). *Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S.R.L.* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2179>
- Ramos-Bustincio, M. (2013). *Planeamiento de perforación y voladura en minería subterránea y minimización de costos en disparos de mina Uchucchacua* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3919>
- Reyes-Marroquin, P. B. (2019). *Reducción de costos operativos por medio del control de indicadores en el proceso de perforación y voladura en Minera Yanaquihua S.A.C. - Estudio de caso.* Universidad Tecnológica del Perú.
- Soncco-Castro, D. (2019). *Minimización de costos de perforación y voladura en el frente de la galería San Francisco de la Unidad Minera Pallancata - IESA S.A. - Ayacucho* [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12002>
- Sosa-Ore, J. (2016). *Reducción de costos en la operaciones unitarias de perforación y voladura en la compañía Catalina Huanca sociedad Minera SAC* [Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]. [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1738/Tesis SIS32_Bor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1738/Tesis_SIS32_Bor.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sucari-León, A. (2018). *Perforación y voladura en minearía subterránea (Primera).* Corporación gráfica JESCO.
- Taddey Diez, L. (2004). *Clasificación de costos.*
- Umaña-Tancaillo, E. I. (2014). *"Reducción y optimizacion de costos operativos en perforacion y voladura minera Yanaquihua S.A.C.* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3940>

ANEXOS

Anexo 1. Pintado de la malla de perforación



Anexo 2. Carga explosiva para realizar la voladura



Anexo 3. Galería 435 listo para realizar la voladura





Anexo 4. Precio unitario para galerías de una sección de 1,80m x2,10m

CLIENTE:		CIEMSA		T. de Cambio		3.65	
PARTIDA:		Galería 1.80m x 2.10m		TIPO DE ROCA:		Semidura	
NUMERO DE TALADROS		34 Und.		LONG. EFECTIVA DE PERF:		1.74 m	
LONG. DE PERFORACION :		6 pies		AVANCE REAL		1.56 m.	
EFF. PERFORACION		95% %		F. DE CARGA		0.84 Kg/m3.	
EFF VOLADURA		90% %		VOLUMEN:		6.57 m3	
ITE	DESCRIPCION	Cantidad	Salario (S/.)	Incidencia (%)	Costo	Costo US\$/ML	
1.-	MANO DE OBRA						
	Maestro (Perforacion, y voladura)	1	80.00	100%	80.0		
	Ayudante de perforista	1	70.00	100%	70.0		
	Peón	1	60.00	100%	60.0		
	Operador compresora	1	70.00	20%	14.0		
					S/. 224.00		
	Leyes sociales			104.02%	233.00		
					S/. 457.00		
	TOTAL MANO DE OBRA				US\$ 125.21		80.07
2.-	SUPERVISION	Cantidad	Salario (S/.)	Incidencia(%)	Costo		
	Ing. Jefe de guardia	1	300	30.00%	90		
	Mecánico	1	70	10.00%	7		
					S/. 97.00		
	Leyes sociales			69.62%	67.53		
					S/. 164.53		
	TOTAL MANO DE OBRA S/.				45.08		28.83
3.-	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	Cant.(tareas)	Precio (\$)	Rend.(tareas)	Costo		
	Botas	3.60	19.76	150	0.47		
	Correa de Seguridad	3.60	4.50	300	0.05		
	Lentes de seguridad	3.60	3.95	120	0.12		
	Barbiquejo	3.60	0.68	150	0.02		
	Filtro para respiradores	3.60	3.40	26	0.47		
	Gautes de Cuero	3.60	5.08	26	0.70		
	Lámpara Minera	3.60	110.00	300	1.32		
	Mantenimiento de lámpara (30%)				0.40		
	Mameluco con Cinta Reflectiva	3.60	19.75	150	0.47		
	Pantalón de jebe	2.00	10.00	100	0.20		
	Protector con Portalampara	3.60	3.65	300	0.04		
	Respirador	3.60	12.23	300	0.15		
	Saco de jebe	2.00	9.27	100	0.19		
	Tafílete para protector	3.60	1.26	120	0.04		
	Tapón de oído	3.60	1.00	60	0.06		
	TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD				4.70		3.01
4.-	PERFORACIÓN	Precio	V. útil(pies)	\$/pie	pies perf	Costo	
	Máquina perforadora	5000.00	80000	0.06	194	12.11	
	Aceite para perforación (glns.)	15.50	350	0.04	194	8.58	
	Mantenimiento y repuestos (100%)					12.11	
	Barra conica 6'	90.00	1000	0.09	194	17.44	
	Barra conica 3'	50.00	1000	0.05	194	9.69	
	Brocas 41 mm	30.00	1000	0.03	194	5.81	
	Brocas 38 mm	30.00	600	0.05	194	9.69	
	Alambre N° 16					0.10	
	Manguera 1' (25 m)	87.00	10000	0.0087	194	1.69	
	Manguera 1/2' (25 m)	43.50	10000	0.0044	194	0.84	
	TOTAL PERFORACIÓN					78.07	49.93
5.-	VOLADURA	Cantidad	Precio			Costo	
	Emulor de 5000 1" X 8"	68	0.080			5.44	
	Emulnor de 3000 1" X 12"	90	1.140			102.60	
	Carmex	30	2.240			67.20	
	Mecha rápida	6	1.170			7.02	
	TOTAL VOLADURA					182.26	116.56
6.-	HERRAMIENTAS	Cantidad	Precio	Rend.(# disp)		Costo	
	Atacador	1.00	1.80	20.00		0.09	
	Comba de 6 lbs.	1.00	10.00	150.00		0.07	
	Flexómetro	1.00	3.00	90.00		0.03	
	Cucharilla	1.00	1.50	50.00		0.03	
	Juego de Barretillas	3.00	10.38	300.00		0.10	
	Corvina	1.00	60.00	300.00		0.20	
	Llave francesa de 24"	1.00	35.00	300.00		0.12	
	Llave stilson de 14"	1.00	15.00	150.00		0.10	
	Azuela	1.00	12.00	150.00		0.08	
	Pintura (Gal)	1.00	7.00	60.00		0.12	
	Punzon de Cebo (punta cu)	1.00	4.00	300.00		0.01	
	Mochila o morral	2.00	20.00	150.00		0.27	
	Ames de seguridad	2.00	55.00	150.00		0.73	
	Sacabarreno	1.00	5.00	100.00		0.05	
	TOTAL HERRAMIENTAS					2.00	1.28
7.-	COSTO DIRECTO						279.68
	Gastos Generales e imprevistos			20%			55.94
							335.62
	Utilidad			10%			33.56
	COSTO TOTAL (US\$/M-L)						369.18