



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



## OPTIMIZACIÓN DE AVANCE LINEAL CON REDISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN EN EL FRENTE DE LAS LABORES SUBTERRÁNEAS DE LA EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. – AREQUIPA

TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. JHON ELMER CONDORI ESTOFANERO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**OPTIMIZACIÓN DE AVANCE LINEAL CON REDISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN EN EL FRENTE DE LAS LABORES SUBTERRÁNEAS DE LA EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. - AREQUIPA**

AUTOR

**JHON ELMER CONDORI ESTOFANERO**

RECuento de PALABRAS

**18002 Words**

RECuento de CARACTERES

**87796 Characters**

RECuento de PÁGINAS

**100 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 6, 2023 11:00 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 6, 2023 11:02 AM GMT-5**

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



  
**Ing. David Velazquez Medina**  
DOCENTE F.I.M. - UAP

Resumen



## DEDICATORIA

*A la memoria de mi abuelo, Genaro Estofanero Pari, quien fue mi motivación, al cumplimiento de mis metas.*

*A mis distinguidos padres, Santos Condori Apaza y Delia Estofanero Pari, quienes me apoyaron para concluir mi carrera estudiantil hasta lograr mis objetivos profesionales.*

*A mis hermanas, Lisbeth, Noelia y Lizeth por su apoyo moral en cada una de las etapas de mi vida estudiantil.*

*A mis mejores amigos, Lazy, Rambo, Rances, Simón, Alvin y Teodoro por acompañarme en esta etapa de mi vida.*

**Jhon Elmer.**



## AGRADECIMIENTOS

*Primero a Dios, por su amor infinito y por concederme la vida, así mismo brindarme la oportunidad ejercer mi carrera profesional.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, y a mi querida Facultad de Ingeniería de Minas por haberme albergado en sus aulas del saber.*

**Jhon Elmer.**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 17**

1.2.1 Pregunta general ..... 17

1.2.2 Preguntas específicas..... 18

**1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS ..... 18**

1.3.1 Hipótesis general ..... 18

1.3.2 Hipótesis específicas ..... 18

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

1.4.1 Objetivo general ..... 18

1.4.2 Objetivos específicos..... 18



<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
--	-----------

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
---	-----------

<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
---------------------------------	-----------

2.2.1 La perforación .....	22
----------------------------	----

2.2.2 La malla de perforación.....	22
------------------------------------	----

2.2.3 La voladura.....	23
------------------------	----

2.2.4 Características de las rocas .....	25
--	----

2.2.5 Malla de perforación y cálculo de carga .....	27
---	----

2.2.6 Control de desviaciones de la perforación .....	29
---	----

2.2.7 Desviación de los taladros en la perforación.....	29
---	----

2.2.8 Parámetros de la roca que afectan a la perforación .....	30
--	----

2.2.9 Mecánica de la fractura de rocas .....	31
--	----

2.2.10 Errores en la perforación .....	32
--	----

2.2.11 Arranque de los taladros paralelos .....	33
---	----

2.2.12 Accesorios de voladura .....	35
-------------------------------------	----

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>36</b>
-----------------------------	-----------

<b>3.2. ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>37</b>
---------------------------------	-----------

<b>3.3. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>38</b>
---------------------------------------	-----------

3.3.1 Tipo de investigación .....	38
-----------------------------------	----



3.3.2 Enfoque de la investigación .....	38
3.3.3 Diseño de investigación.....	39
3.3.4 Recolección de datos por objetivos específicos .....	39
<b>3.4. POBLACIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5. MUESTRA .....</b>	<b>40</b>
<b>3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>40</b>
3.6.1 Variable independiente.....	40
3.6.2 Variable dependiente.....	41
<b>3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>41</b>
3.7.1 Instrumentos de recolección de datos.....	41
3.7.2 Técnicas para el procesamiento de la información .....	42
<b>3.8. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>42</b>
3.8.1. Rediseño de la malla de perforación .....	42
3.8.2. Factor de carga explosiva necesaria para el incremento del avance lineal .	44

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2. PERFORACION EN LA GALERIA SAN MIGUEL .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>46</b>
4.3.1 Malla de perforación anterior .....	47
4.3.2 Tiempos de perforación anterior .....	48
4.3.3 Rediseño de la malla de perforación .....	49
4.3.4 Tiempo de perforación optimizada.....	56



<b>4.4. RESULTADOS DE VOLADURA.....</b>	<b>59</b>
4.4.1 Voladura anterior en la Galería San Miguel.....	59
4.4.2 Voladura optimizada en la Galería San Miguel .....	64
<b>4.5. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA .....</b>	<b>69</b>
<b>4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES .....</b>	<b>71</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

**Área:** Ingeniería de Minas

**Tema:** análisis de costos mineros y comercialización de minerales

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 13 de diciembre del 2023





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Dureza y coeficiente de roca.....	29
<b>Tabla 2.</b> Las coordenadas U.T.M. del sistema WGS84 de ubicación de la Empresa Minera Arapa S.A.C.....	36
<b>Tabla 3.</b> Accesibilidad a la Empresa Minera Arapa S.A.C.....	37
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de variables .....	41
<b>Tabla 5.</b> Distribución de taladros en la perforación anterior. ....	47
<b>Tabla 6.</b> Tiempos de perforación malla anterior.....	48
<b>Tabla 7.</b> Resultados en la perforación anterior. ....	49
<b>Tabla 8.</b> Taladros de la malla optimizada. ....	55
<b>Tabla 9.</b> Control de tiempos en la optimización. ....	56
<b>Tabla 10.</b> Resultados en la optimización. ....	59
<b>Tabla 11.</b> Explosivos Semexa 65% en la voladura anterior.....	60
<b>Tabla 12.</b> Explosivos y accesorios en la voladura anterior.....	60
<b>Tabla 13.</b> Resultados en la voladura anterior.....	62
<b>Tabla 14.</b> Control de avance lineal en la perforación y voladura anterior.....	63
<b>Tabla 15.</b> Explosivos requeridos en la voladura optimizada. ....	65
<b>Tabla 16.</b> Explosivos y accesorios en la voladura optimizada.....	65
<b>Tabla 17.</b> Resumen de resultados en la voladura optimizada. ....	67
<b>Tabla 18.</b> Control de avance lineal en la perforación y voladura optimizada.....	68
<b>Tabla 19.</b> Resultados de perforación y voladura.....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diseño de malla de perforación.....	23
<b>Figura 2.</b> Desviación de los taladros.....	31
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo para la selección adecuada de perforación. ....	32
<b>Figura 4.</b> Tipos de corte quemado. ....	34
<b>Figura 5.</b> Distancia del taladro cargado hacia el taladro vacío. ....	35
<b>Figura 6.</b> Ubicación de la Empresa Minera Arapa SAC.....	37
<b>Figura 7.</b> Accesibilidad a la empresa minera Arapa S.A.C. ....	38
<b>Figura 8.</b> Distribución de taladros en la perforación anterior. ....	47
<b>Figura 9.</b> Tiempos de perforación malla anterior. ....	48
<b>Figura 10.</b> Diseño de los taladros según los cuadrantes. ....	54
<b>Figura 11.</b> Diseño de los taladros de arranque.....	54
<b>Figura 12.</b> Distribución de taladros de la malla optimizada. ....	56
<b>Figura 13.</b> Tiempos de perforación en la optimización. ....	57
<b>Figura 14.</b> Control de avance lineal en la perforación y voladura anterior. ....	64
<b>Figura 15.</b> Control de avance lineal en la perforación y voladura optimizada. ....	69
<b>Figura 16.</b> Cuadros comparativos de resultados .....	70



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> Ubicación de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.....	79
<b>ANEXO 2.</b> Galería San Miguel.....	80
<b>ANEXO 3.</b> Malla de perforación anterior .....	81
<b>ANEXO 4.</b> Malla de perforación optimizada.....	82
<b>ANEXO 5.</b> Tabla de control de avance lineal con la malla anterior .....	83
<b>ANEXO 6.</b> Liquidación mensual de explosivos y accesorios, malla anterior.....	84
<b>ANEXO 7.</b> Tabla de control de avance lineal con la malla rediseñada .....	85
<b>ANEXO 8.</b> Liquidación mensual de explosivos y accesorios, malla optimizada .....	86
<b>ANEXO 9.</b> Equipo de perforación en el frente de la galería San Miguel .....	87
<b>ANEXO 10.</b> Iniciación de la voladura en el frente de la galería San Miguel .....	88
<b>ANEXO 11.</b> Control de la eficiencia de perforación en el frente de la galería San Miguel .....	89
<b>ANEXO 12.</b> Verificación del frente de la galería San Miguel.....	90
<b>ANEXO 13.</b> Verificación del polvorín de la empresa minera Arapa S.A.C. ....	91
<b>ANEXO 14.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura.....	92
<b>ANEXO 15.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 03/09/2021 .....	92
<b>ANEXO 16.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 05/09/2021 .....	93
<b>ANEXO 17.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 07/09/2021 .....	93



<b>ANEXO 18.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 10/09/2021 .....	94
<b>ANEXO 19.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 12/09/2021 .....	94
<b>ANEXO 20.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 13/09/2021 .....	95
<b>ANEXO 21.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 15/09/2021 .....	95
<b>ANEXO 22.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 17/09/2021 .....	96
<b>ANEXO 23.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 19/09/2021 .....	96
<b>ANEXO 24.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 01/10/2021 .....	97
<b>ANEXO 25.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 03/10/2021 .....	97
<b>ANEXO 26.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 05/10/2021 .....	98
<b>ANEXO 27.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 07/10/2021 .....	98
<b>ANEXO 28.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 09/10/2021 .....	99
<b>ANEXO 29.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 11/10/2021 .....	99



<b>ANEXO 30.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 12/10/2021 .....	100
<b>ANEXO 31.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 14/10/2021 .....	100
<b>ANEXO 32.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 16/10/2021 .....	101
<b>ANEXO 33.</b> Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 19/10/2021 .....	101



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.R.L.	:	Sociedad de Responsabilidad Limitada
U.T.M	:	<i>Universal Transversal Mercator</i>
m.s.n.m.	:	metros sobre el nivel del mar
S.O.	:	sur oeste
Tm	:	tonelada métrica
Kg	:	kilógramo
m	:	metro
mm	:	milímetro
m <sup>2</sup>	:	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	:	metro cúbico
Mpa	:	mega pascales
RMR	:	<i>Rock Mass Rating</i>



## RESUMEN

La Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa, explota el yacimiento mineral mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional, y para recuperar el mineral desarrolló la Galería San Miguel de 3,00 m x 2,80 m de sección y una longitud de 365 metros lineales y al evaluar cada disparo realizado, se detectaron problemas de avance lineal en un promedio de 1,30 m y un factor de carga explosiva de 1,36 kg/m<sup>3</sup>. El objetivo del estudio de investigación fue optimizar el avance lineal con un rediseño de malla y el factor de carga adecuada. Al optimizar el avance lineal permitirá concluir el desarrollo de la galería en un menor tiempo de ejecución lo cual beneficiará económicamente a la Empresa Minera. El procedimiento para llevar a cabo el estudio de investigación consistió en evaluar los disparos realizados en cada turno, luego se realizó la medición del avance lineal en la perforación anterior de la Galería San Miguel, en la evaluación se consideró el avance lineal en cada turno, el trazo de perforación, cantidad de taladros y la cantidad de explosivos. En el estudio, se rediseñó la malla de perforación y el cálculo de carga explosiva, se consideró la cantidad de taladros, tipo de trazo, burden, espaciamiento y el factor de carga explosiva. Los datos registraron en los formatos. Al final se llegó a los siguientes resultados, mediante el rediseño de malla de perforación y el factor de carga explosiva requerida se optimizó el avance lineal de 1,30 metros a 1,40 metros obteniendo un adicional de 0,10 metros por cada disparo realizado en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

**Palabras clave:** avance, optimización, galería, malla, perforación, rediseño, voladura.



## ABSTRACT

The Arapa Mining Company S.A.C. – Arequipa, exploits the mineral deposit using the Conventional Ascending Cut and Fill method, and to recover the mineral developed the San Miguel Gallery with a section of 3.00 m x 2.80 m and a length of 365 linear meters and by evaluating each shot. Once completed, linear advance problems were detected at an average of 1.30 m and an explosive load factor of 1.36 kg/m<sup>3</sup>. The objective of the research study was to optimize the linear feed with a mesh redesign and the appropriate load factor. By optimizing the linear advance, it will allow the development of the gallery to be completed in a shorter execution time, which will economically benefit the Mining Company. The procedure to carry out the research study consisted of evaluating the shots fired in each shift, then measuring the linear advance in the previous drilling of the San Miguel Gallery, in the evaluation the linear advance in the anterior perforation. In each turn the drilling stroke, number of drills and the amount of explosives. In the study, the drilling mesh and the explosive load calculation were redesigned, and the number of drills, type of stroke, load, spacing and the explosive load factor were demonstrated. The data was recorded in the forms. In the end, the following results were reached: by redesigning the drilling mesh and the required explosive load factor, the linear advance was optimized from 1.30 meters to 1.40 meters, obtaining an additional 0.10 meters for each shot fired, in the San Miguel Gallery of the Arapa Mining Company S.A.C. –Arequipa.

**Keywords:** advance, optimization, gallery, mesh, drilling, redesign, blasting.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Empresa Minera Arapa S.A.C. extrae el yacimiento mineral utilizando el método de corte y relleno ascendente convencional y desarrolló la Galería San Miguel, para recuperar el mineral económico mediante el tajeo de la veta principal de la Unidad Minera. La galería San Miguel se desarrolló con 3,00 m x 2,80 m de sección y una longitud de 365 metros, después de tomar los datos de campo en los disparos realizados en cada turno, con un total de 20 controles, se encontraron problemas de avance lineal resultando un promedio de 1,30 metros, también en la eficiencia de voladura resultando en tan solo el 89,6 %, así como una mala distribución de los taladros (cuyo burden y espaciamiento no son los más eficientes) y un factor de carga explosiva de 1,36 kg/m<sup>3</sup> el cual resulta inadecuado. Si estos problemas persisten tendrán un efecto negativo en la ejecución de galerías y en los costos operativos de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

El desarrollo de las labores mineras subterráneas fue de suma importancia el rediseño de la malla de perforación y el cálculo del factor de carga explosiva necesaria según el tipo de roca la galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1 Pregunta general

¿Cómo optimizar el avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa?



### **1.2.2 Preguntas específicas**

¿Cuál es el rediseño de malla de perforación para incrementar el avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C.

– Arequipa?

¿Cuál es el factor de carga explosiva necesaria para incrementar el avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C.

– Arequipa?

## **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis general**

Mediante el rediseño de la malla de perforación y factor de carga explosiva necesaria es posible optimizar el avance lineal en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**

Con el rediseño de la malla de perforación se incrementa el avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Mediante un factor de carga explosiva adecuada se incrementa el avance lineal, en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C.

– Arequipa.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Optimizar el avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Rediseñar la malla de perforación para el incremento del avance lineal en el



desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Determinar el factor de carga explosiva necesaria para el incremento del avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio de investigación se centró en el desarrollo de la galería San Miguel, perteneciente a la empresa minera Arapa S.A.C., con la finalidad de dar optimización al avance lineal de la galería en mención, con las dimensiones de sección 3,00m x 2,80m y una longitud de 365,00 ml. Se justifica la solución al principal problema en la ejecución de la Galería San Miguel (acceso principal), el cual presenta una eficiencia de voladura de tan solo el 89,6 %, siendo esta; muy por debajo del mínimo requerido, generando un avance lineal de tan solo 1,30 metros para un barreno de 5 pies de longitud considerándose ineficiente, por tal motivo se plantea aplicar un nuevo diseño de malla de perforación y un factor de carga adecuado, que permite tener un mayor avance lineal, reduciendo el consumo de explosivos, así como también el desgaste de los aceros de perforación; al optimizar el avance lineal permitirá concluir el desarrollo de la galería en un menor tiempo de ejecución., lo cual; representa un ahorro económico para la empresa minera Arapa S.A.C. – Arequipa.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Mamani (2020) en su estudio mediante la evaluación de las actividades de perforación y voladura. La metodología empleada se basó en un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo. Se llevó a cabo la recolección de datos en campo y posteriormente se realizó un análisis de los mismos. Concluyó que, diseñando una nueva malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva adecuada según las características de la roca, el avance lineal se optimizó de 1,32 metros a 1,39 metros con un resultado favorable de 0,07 metros en la Galería N12 de la Empresa Minera SOTRAMI S.A. – Ayacucho.

Larijo (2019) en su estudio de investigación mediante el desarrollo y aplicación de una nueva malla de perforación, buscaba reducir los costos. Concluyó que, mediante la aplicación de la nueva malla de perforación, y la carga explosiva adecuada, los costos de perforación y voladura en el frente del crucero 627 disminuyeron en 27,09 US\$/metro, pasando de 242,92 US\$/metro a 215,83 US\$/metro.

Villasante (2016) en su trabajo de investigación buscaba reducir los costos de perforación y voladura. Usando la metodología de investigación descriptiva y aplicando el nuevo diseño de la malla de perforación del frente de la galería Esperanza y la carga explosiva adecuada. Se redujeron los costos de perforación de 126,32 US\$/m a 117,23 US\$/m, o 9,09 US\$/m, y los de voladura de 107,15 US\$/m a 84,23 US\$/m, o 22,92 US\$/m.

Chipana (2015) en su tesis, el propósito principal fue disminuir los gastos en la zona de la galería Progreso a través de la reconfiguración de la malla de perforación y la aplicación adecuada de explosivos. La metodología empleada en la investigación fue de



naturaleza descriptiva y aplicativa, centrada en analizar las relaciones de causa y efecto al manipular los datos y aplicar cambios para evaluar su impacto en los costos. Deduce que el número de perforaciones disminuyó de 45 a 42, los costos de perforación disminuyeron de 98,48 dólares a 87,25 dólares y la carga explosiva disminuyó de 196,46 dólares a 148,39 dólares como resultado de la determinación de la malla de perforación y la carga explosiva.

Mamani (2015) tenía como propósito principal mejorar la eficiencia de los costos en perforación y voladura mediante el diseño y aplicación de una nueva malla de perforación con una carga explosiva adecuada. Empleó una metodología experimental y descriptiva, ya que se realizaron cambios en las variables para evaluar su impacto en los costos. Concluye que, mediante el nuevo diseño de la malla de perforación y la carga explosiva adecuada, el avance lineal de 1,35 metros de la perforación anterior, se ha optimizado a 1,42 metros con una diferencia de 0,07 metros por cada disparo realizado.

Sancho (2015) en su trabajo de investigación analizando los costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la galería Anaconda. Haciendo uso de la metodología del rediseño de malla de perforación y usando la metodología de investigación descriptiva. Concluyó que, utilizando el nuevo diseño de malla en la Galería Anaconda, se logró optimizar el avance lineal de 1,32 metros a 1,40 metros obteniendo una diferencia de 0,08 metros por disparo realizado en cada turno.

Tapia (2015) en su estudio tenía como objetivo principal es mejorar la eficiencia en el progreso y la producción a través del diseño de técnicas de perforación y voladura. Para lograrlo, empleó una metodología descriptiva-aplicada que implica la recopilación de datos seguida de su aplicación práctica con el fin de evaluar cómo afecta a la reducción de los costos. Llega a la conclusión de que la carga explosiva se redujo al utilizar la nueva malla de perforación y voladura, lo que dio lugar a un total de 41 taladros en lugar de 45.



El costo de la perforación y voladura se redujo de 10,25 \$ por TM a 9,46 \$ por TM.

Chahuares (2012) en su estudio tuvo como objetivo principal desarrollar y aplicar una nueva configuración de malla de perforación con el propósito de mejorar los procesos de perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo. Utilizó una metodología de investigación experimental con un enfoque descriptivo, dado que rediseñar y aplicar una nueva malla de perforación, este tendrá un impacto directo en la variable dependiente. Llego a la conclusión de que, con el nuevo diseño de malla se redujo de 41 a 36 taladros, cuya longitud de los taladros fue de 1,45 metros, además, la cantidad de explosivos utilizados para la voladura se redujo de 12,41 kg/m a 10,69 kg/m, lo que supuso un beneficio de 1,72 kg/m y un avance lineal promedio de 1,40 metros.

Jáuregui (2011) en su tesis, indica que la reducción de costos operativos en una empresa minera, los estándares óptimos se logran con un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones y se sintetizan en la supervisión y capacitación continua. La reducción de costos de perforación y voladura en un tajeo de producción, se obtiene reduciendo el número de taladros y el uso del explosivo adecuado. Los costos de perforación y voladura se calculan en US\$/Tm.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

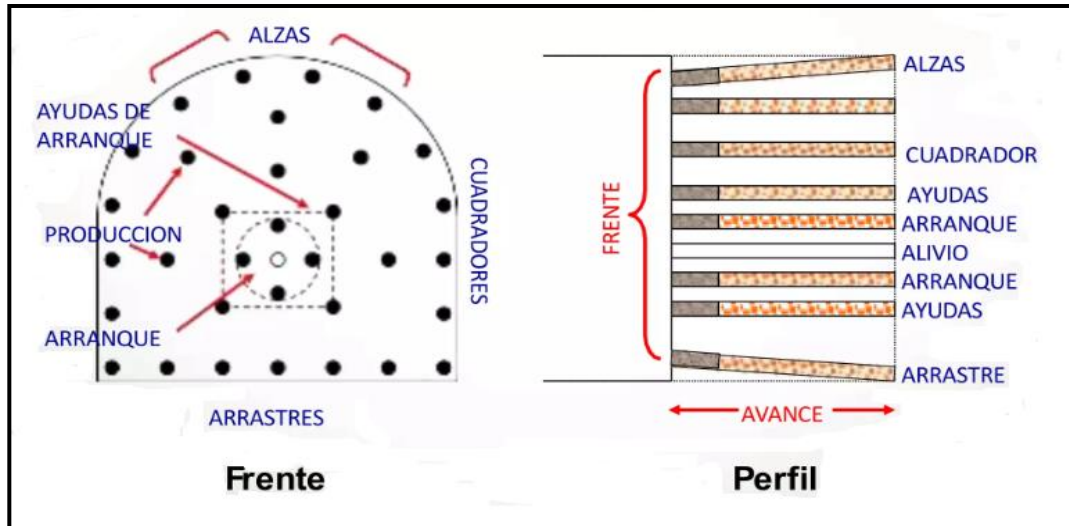
### **2.2.1 La perforación**

La perforación es la etapa inicial en la preparación de una actividad de voladura, cuyo propósito es crear cavidades cilíndricas en la roca para albergar el explosivo y sus componentes, estos son conocidos como barrenos, taladros u hoyos (Cámac, T. 2015).

### **2.2.2 La malla de perforación**

Según Sucari (2018) se le denomina así distribución de los taladros en una voladura, refiriéndose exactamente a la disposición de estos, teniendo en cuenta

factores como la relación entre la cara libre (burden) y la distancia entre taladros (espaciamiento), así como su orientación en relación con la profundidad de los mismos.



**Figura 1** Diseño de malla de perforación.

Fuente: Manual práctico perforación y voladura (EXSA, 2019).

### 2.2.3 La voladura

Se trata de un proceso en tres dimensiones en el que los explosivos contenidos en taladros perforados en la roca generan presiones que resultan en una intensa concentración de energía, dando lugar a efectos dinámicos como la fragmentación y el desplazamiento de la roca, como lo explica (Sucari, A. 2018).

#### a) Dinamitas

EXSA (2019) indica que las dinamitas son altos explosivos, están compuestos principalmente a partir de la combinación de un agente sensibilizador, como la nitroglicerina o un éster estabilizado con nitrocelulosa, mezclado con nitratos que actúan como portadores de oxígeno, así como materiales no explosivos como la harina de madera. También incluyen aditivos para controlar la higroscopicidad de los nitratos, todos en



las proporciones adecuadas para mantener un equilibrio apropiado de oxígeno en la reacción de detonación. En estos explosivos, todos los componentes contribuyen energéticamente a la detonación. En los explosivos modernos, que también se conocen como gel de dinamita, el porcentaje de nitroglicerina-nitrocelulosa generalmente oscila entre el 30% y el 35%. La elección de este porcentaje se basa en consideraciones de consistencia, facilidad de manejo y resistencia al agua del explosivo. En términos generales, cuanto menor es el porcentaje, menos plástico y menos resistente al agua es el explosivo, y puede denominarse semi gelatina o polvo.

#### **b) Gelatinas**

Este tipo de explosivos poseen un gran poder de detonación y son muy resistentes al agua, están diseñados para trabajos en roca dura con alta presencia de agua (EXSA, 2019).

#### **c) Semi gelatinas**

Su consistencia es granular, también denominados pulverulentos, son adecuados para rocas semiduras con presencia de agua (EXSA, 2019).

#### **d) Slurries o Hidrogel**

Los hidrogeles no presentan una reacción explosiva con los explosivos y, por lo tanto, se clasifican como "explosivos de hidrogel, lodos o suspensiones de voladura". Estos explosivos requieren iniciadores avanzados o dispositivos de encendido adicionales para estabilizar la velocidad de detonación una vez que ingresan a un estado explosivo. De lo contrario, no detonarán o lo harán a una velocidad muy baja con un inicio transitorio, lo que resultará en un rendimiento energético deficiente. Es por esto que originalmente se les conocía también como explosivos de seguridad y se les





llama comúnmente hidrogeles (EXSA, 2019).

**e) Emulsiones**

Asimismo, los detonadores de emulsión no contienen elementos explosivos, en sí mismos; ya que están sensibilizados con microesferas, lo que requiere su detonación mediante un iniciador que posea una alta presión de detonación. Están diseñados principalmente para su uso en pozos de diámetro mediano y grande en operaciones de minería a cielo abierto, ya sea como carga de suelo de alta densidad o como carga de columna (ya sea completa o en segmentos separados). También se utilizan en estratos montañosos o para la perforación en rocas altamente resistentes (EXSA, 2019).

**f) El ANFO**

Por lo general, estos explosivos están compuestos de nitrato de amonio que ha sido sensibilizado mediante la adición de materiales orgánicos en forma líquida o sólida, y no se consideran explosivos en sí mismos. Para que estos explosivos sean efectivos, es necesario que los nitratos tengan un aspecto nacarado y que sean lo suficientemente porosos para absorber y retener los aditivos del combustible.

#### **2.2.4 Características de las rocas**

**a) Dureza**

La dureza se puede definir como la capacidad de una capa superficial para resistir la penetración de un objeto más resistente.

**b) Resistencia**

La resistencia mecánica de una roca se refiere a su capacidad para resistir la destrucción cuando se le somete a una carga externa, ya sea estática o dinámica. Esta resistencia está influenciada por la composición mineralógica



de la roca, y cabe destacar que la resistencia de los minerales tiende a disminuir a medida que aumenta el tamaño de sus cristales (EXSA, 2019).

**c) La elasticidad**

La mayoría de los minerales que forman parte de la composición de la roca exhiben un comportamiento elástico - frágil, lo que significa que se rompen cuando las tensiones aplicadas superan su límite de elasticidad (EXSA, 2019).

**d) La plasticidad**

En ciertos tipos de rocas, la deformación plástica se inicia después de que la tensión en la roca supera su punto de elasticidad. La capacidad de experimentar plasticidad está relacionada con la composición mineral de la roca y tiende a disminuir a medida que aumenta la proporción de minerales como cuarzo y feldespato, que son más resistentes. Sin embargo, algunas rocas homogéneas y arcillas húmedas pueden mostrar una alta plasticidad (EXSA, 2019).

**e) Abrasividad**

EXSA (2019) indica que la abrasividad se refiere a la capacidad de las rocas para desgastar su superficie de contacto cuando interactúan con otro cuerpo más duro o con herramientas durante el proceso de fricción. Algunos factores que aumentan la capacidad abrasiva de las rocas incluyen:

- La resistencia de los granos individuales que conforman la roca, donde las rocas que incluyen granos de cuarzo tienden a ser más duras.
- La configuración de los granos, siendo los granos angulares más abrasivos que los granos redondeados.
- El tamaño de los granos en la roca.



- La presencia de porosidad en la roca, que puede dar lugar a superficies de contacto rugosas y concentraciones de tensiones locales.
- La heterogeneidad de la roca, especialmente en rocas que contienen múltiples minerales. Aunque estos minerales tengan una dureza similar, la roca resultante tiende a ser más abrasiva debido a la presencia de superficies ásperas y granos duros.

#### f) Textura

La textura de una roca se refiere a la disposición y características de los granos minerales que la componen. Esto engloba aspectos como el tamaño de los granos, su forma, la porosidad y otros factores que pueden influir en la eficiencia de la perforación (EXSA, 2019).

### 2.2.5 Malla de perforación y cálculo de carga

#### a) Avance del disparo

Está limitado por el diámetro del taladro vacío y la desviación de los taladros de carga que debe mantenerse por debajo del 2%, los avances promedios y deben llegar al 95% de la profundidad del taladro L, esto es: (EXSA, 2006).

$$L = 0,15 + 34,1 * D_2 - 39,4 * D_2^2$$

$$D_2 = 0,95 * L$$

Donde:

L = Longitud del taladro (m)

D<sub>2</sub> = Diámetro del taladro vacío (m)

Para que la ecuación anterior se cumpla cuando se parte de muchos taladros vacíos en lugar de uno solo, deben cumplirse las siguientes condiciones:

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



Donde:

$D_2$  = Diámetro de taladro vacío equivalente

$n$  = Cantidad de taladros vacíos

$D_1$  = Diámetro del taladro a cargar

Eficiencia de voladura del 95 %

### **b) Algoritmo de Holmberg**

$$I = 0.95 * H$$

Donde:

$I$  = Avance de la voladura (metros)

$H$  = Profundidad de los taladros a perforarse (metros)

### **c) Cantidad de taladros**

La cantidad de taladros necesarios para una voladura subterránea depende de la calidad de masa rocosa, confinamiento del explosivo y de la granulometría requerida o que se desea obtener, también influye el diámetro de la broca para perforar, son factores importantes para reducir o aumentar la cantidad de taladros que se calculó. en carpera. Se puede calcular el número de taladros en forma aproximada mediante la siguiente fórmula empírica (EXSA, 2006).

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

Donde:

$A$  = Ancho de labor

$H$  = Altura de labor

En forma más precisa con la relación:

$$N^{\circ} \text{ Tal} = (P/dt) + (K \times S)$$

Donde:



N° Tal = Número de taladros

P = Perímetro de la sección de labor, se calcula con la fórmula:

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

dt = Distancia entre los taladros

K = Coeficiente de roca

S = Sección de labor

**Tabla 1.** Dureza y coeficiente de roca.

Dureza de roca	Coeficiente de roca “K” (m)
Roca dura	2,00
Roca intermedia	1,50
Roca suave	1,00

Fuente: Manual práctico de voladura (EXSA, 2006).

### 2.2.6 Control de desviaciones de la perforación

Según Rincón & Molina, (2017) la perforación desempeña un papel fundamental en la ejecución exitosa de la voladura. Se estima que la perforación contribuye en un 70% al proceso de voladura, mientras que el porcentaje restante se relaciona con la adecuada carga de explosivos, considerando aspectos como el tipo de roca y factores geomecánicos.

### 2.2.7 Desviación de los taladros en la perforación

La desviación de taladros se refiere a la discrepancia entre la ubicación prevista y la ubicación real de perforación. Para (Singh, 1998) una perforación de buena calidad permite una voladura efectiva, mientras que una perforación deficiente conlleva a una voladura de baja calidad. En consecuencia, es fundamental garantizar que la perforación se realice de manera precisa y de alta calidad. Los componentes principales de un sistema de perforación de calidad son:



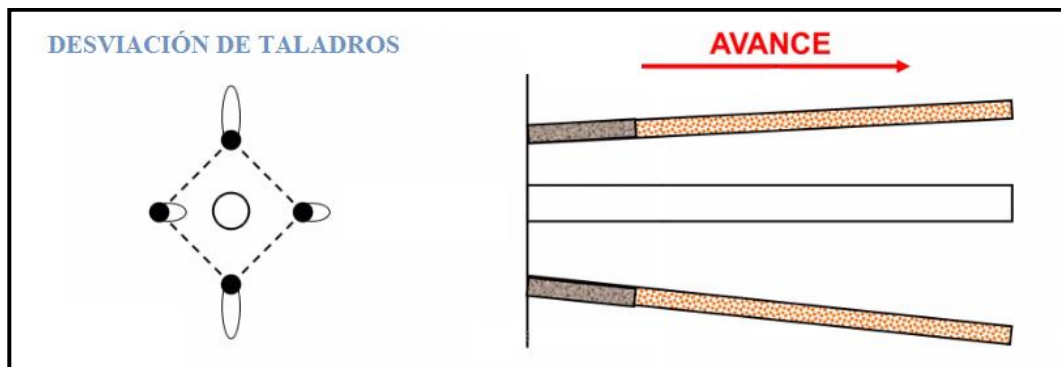
- **La perforadora:** es la fuente que genera la energía y asea neumática, hidráulica o mecánica.
- **Las barras:** es el medio de transmisión de la energía generada por la perforadora.
- **La broca:** es quien ejerce dicha energía como tal sobre la roca.
- **Fluido de barrido:** bien puede ser mediante agua o aire, éste efectúa la limpieza y evacuación del detritus producido.

### 2.2.8 Parámetros de la roca que afectan a la perforación

Para Singh, (1998) la desviación de los taladros se relaciona con la interacción entre la broca y la formación rocosa, lo que implica cómo se comporta la broca en diferentes tipos de roca y en relación con la barra de perforación. Esto se debe a las trayectorias que la broca y la barra pueden seguir debido a las características geológicas de la roca, y no a errores del operador durante la perforación. La desviación de los taladros es causada por la distribución asimétrica de las fuerzas que actúan sobre la broca y la barra de perforación. Es importante destacar que las perforaciones largas y con inclinación tienen más probabilidades de desviarse en comparación con las perforaciones cortas, al igual que los diámetros de perforación más pequeños tienen más tendencia a desviarse que los diámetros más grandes.

Las características geológicas de la roca juegan un papel crucial en las desviaciones de los taladros. La resistencia de la roca tiene un impacto significativo en la desviación de los taladros perforados. En rocas de menor resistencia, las desviaciones ocurren a una velocidad mayor, ya que la flexión de la barra provoca un incremento en la fricción entre la barra, la broca y la pared del taladro, lo que resulta en una expansión del diámetro que se cargará con explosivos. La desviación

es más notable a velocidades de rotación más elevadas, debido a la mayor fuerza centrífuga involucrada. Esto explica por qué se observa una mayor desviación en rocas más blandas en comparación con rocas más duras. En rocas duras, siempre que no se supere su resistencia, no se ejercerá ninguna fuerza sobre la broca y la barra que provoque desviaciones. Además, la desviación se incrementa cuando la tasa de penetración supera el valor característico de la roca. También, la anisotropía de la roca puede ser una causa subyacente de desviaciones durante la perforación, debido a las distintas fuerzas de resistencia que la roca puede presentar en diversas direcciones (Rincón & Molina, 2017).



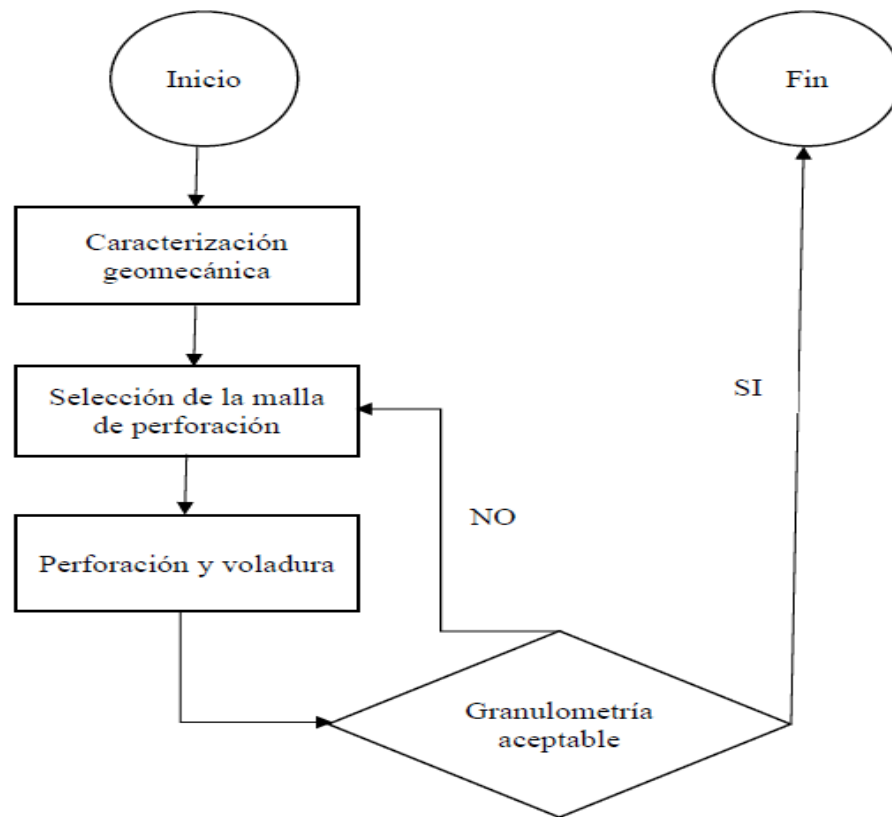
**Figura 2.** Desviación de los taladros.

Fuente: Manual práctico perforación y voladura (EXSA, 2019).

### 2.2.9 Mecánica de la fractura de rocas

Ortega *et al.* (2016) hacen mención que al examinar la tabla geomecánica, es evidente que las rocas de menor calidad pueden funcionar con espaciamientos más amplios. Además del espaciamiento, existen ciertos factores que pueden influir en la eficacia de las voladuras, como las variaciones en la cantidad de explosivos en los taladros y la secuencia de detonación. Estos parámetros también pueden tener un impacto en la granulometría, causar menores daños a la roca encajonante y generar ahorros en costos, entre otros beneficios. Es esencial llevar a cabo pruebas de voladuras con diferentes configuraciones de mallas de perforación y en distintos

tipos de roca. El primer paso consiste en realizar la caracterización geomecánica de la roca utilizando la tabla GSI para calcular el valor del RQD.



**Figura 3.** Diagrama de flujo para la selección adecuada de perforación.

Fuente: Ortega *et al.* (2016).

### 2.2.10 Errores en la perforación

Según EXSA, (2019) en el ámbito laboral se pueden presentar muchos factores que influyen a cometer errores en la perforación partiendo desde el error humano, técnico hasta a las mismas características de la roca; estos factores afectan directamente a la eficiencia de la perforación.

- a) **Desviación de los taladros:** la desviación puede surgir debido a una manipulación deficiente durante la perforación, entre otros factores. Si no se logra mantener un paralelismo adecuado, la sección del frente de avance no será uniforme.





- b) **Espaciamientos irregulares entre taladros:** los espaciamientos irregulares en los taladros pueden provocar una voladura deficiente y una fragmentación inadecuada en la roca, lo que aumenta el riesgo de que la voladura no sea efectiva.
- c) **Longitud irregular de los taladros:** la longitud uniforme de los taladros es de muy importante ya que este garantiza una cara libre uniforme para la siguiente voladura, caso contrario afecta directamente el avance.
- d) **Cantidad excesiva de taladros:** sin un frente de voladura posee una cantidad exagerada de taladros el consumo de explosivo será mayor, así como también se generará sobre rotura en las paredes de la galería.

#### **2.2.11 Arranque de los taladros paralelos**

Para el estudio solo se consideró los arranques de los taladros paralelos, por su mayor flexibilidad de utilización. El método de corte en paralelo se distingue por la uniformidad en la profundidad de los taladros, ya que es necesario mantener una cara uniforme para poder abrir el siguiente corte de manera regular. Para lograr esta uniformidad, se emplean equipos como el jumbo, que cuenta con brazos que aseguran el paralelismo y la profundidad constante de los taladros (EXSA, 2019).

##### **a) Corte en paralelo**

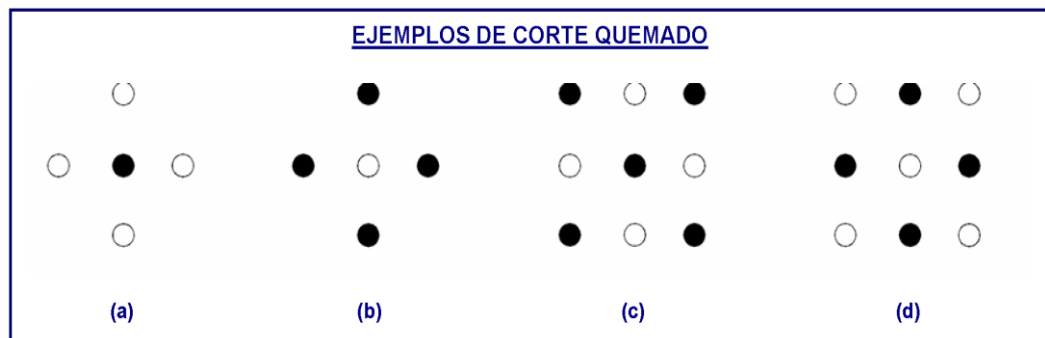
El diámetro del barrenos vacío de alivio se representa como  $DH$ . En el caso de utilizar múltiples barrenos vacíos, se debe calcular el diámetro equivalente de un solo barrenos vacío que contenga el mismo volumen que todos los barrenos vacíos juntos (Konya, 2010).

##### **b) Corte quemado**

Son taladros perforados paralelamente con el mismo diámetro algunos se cargan con explosivos mientras que otros se dejan vacíos como cara libre

y por la elevada concentración de carga, la roca fragmentada se sintetiza en la parte profunda, no dándose las condiciones óptimas para la salida de la explosión como ocurre con los cueles cilíndricos, los avances son reducidos y no van más allá de los 2,5 metros (López, C. 2005).

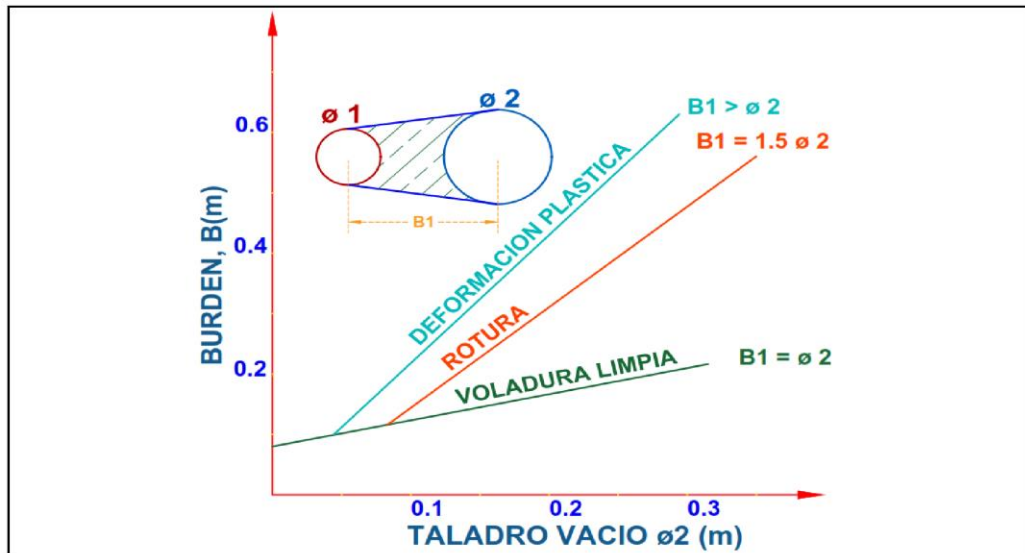
Se perfora en la cara libre de la labor, varios taladros paralelos con espaciamiento reducido entre ellos para crear una cavidad central, algunos taladros huecos, se dejan sin carga explosiva, y serán como cara libre, y para que ayuden al esponjamiento del material fragmentado. Estas ranuras se utilizan en túneles de dimensiones pequeñas a medianas, hasta 5,5 m. de diámetro debido a la concentración de pozos en el área de la ranura, la longitud total perforada para un avance dado es, por lo general, mayor que una ranura en cuña. (Enaex, 2014).



**Figura 4.** Tipos de corte quemado.

Fuente: Manual práctico de voladura (EXSA, 2006).

En la Figura 4. Se muestra el corte quemado con diferente número de taladros que se utilizan en una voladura subterránea.



**Figura 5.** Distancia del taladro cargado hacia el taladro vacío.

Fuente: Manual de perforación y voladura (López, C. 2005).

En la Figura 5, Se muestran los resultados de las pruebas para varias longitudes de taladro cargado al taladro vacío, lo que facilita el cálculo del diseño teniendo en cuenta estos resultados de las pruebas para determinar el burden adecuado y con un diámetro para el taladro vacío designado para la voladura durante la puesta en marcha. Se explica que si la el burden es igual al diámetro equivalente, tendremos una voladura limpia sin problemas.

### 2.2.12 Accesorios de voladura

Entre los accesorios de voladura se tiene:

- Mecha de seguridad.
- Mecha rápida.
- Fulminante común.
- Conector para mecha rápida.
- Carmex.
- Máquina fijadora del fulminante y conector para mecha rápida.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

La Empresa Minera Arapa SAC. - Arequipa, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes, políticamente en la jurisdicción de:

**Distrito** : Mariano Nicolás Valcárcel.

**Provincia** : Camaná.

**Departamento** : Arequipa.

La zona de estudio está en el cuadrángulo de Caravelí de la Hoja 32-P, y Zona 18S.

Las coordenadas U.T.M. del sistema WGS84, son:

**Tabla 2.** Las coordenadas U.T.M. del sistema WGS84 de ubicación de la Empresa Minera Arapa S.A.C.

N° de vértice	Este	Norte
1	694,631,909	8,233,619,918
2	694,631,909	8,232,621,781
3	693,632,860	8,232,621,781
4	693,632,860	8,233,619,918



**Figura 6.** Ubicación de la Empresa Minera Arapa SAC

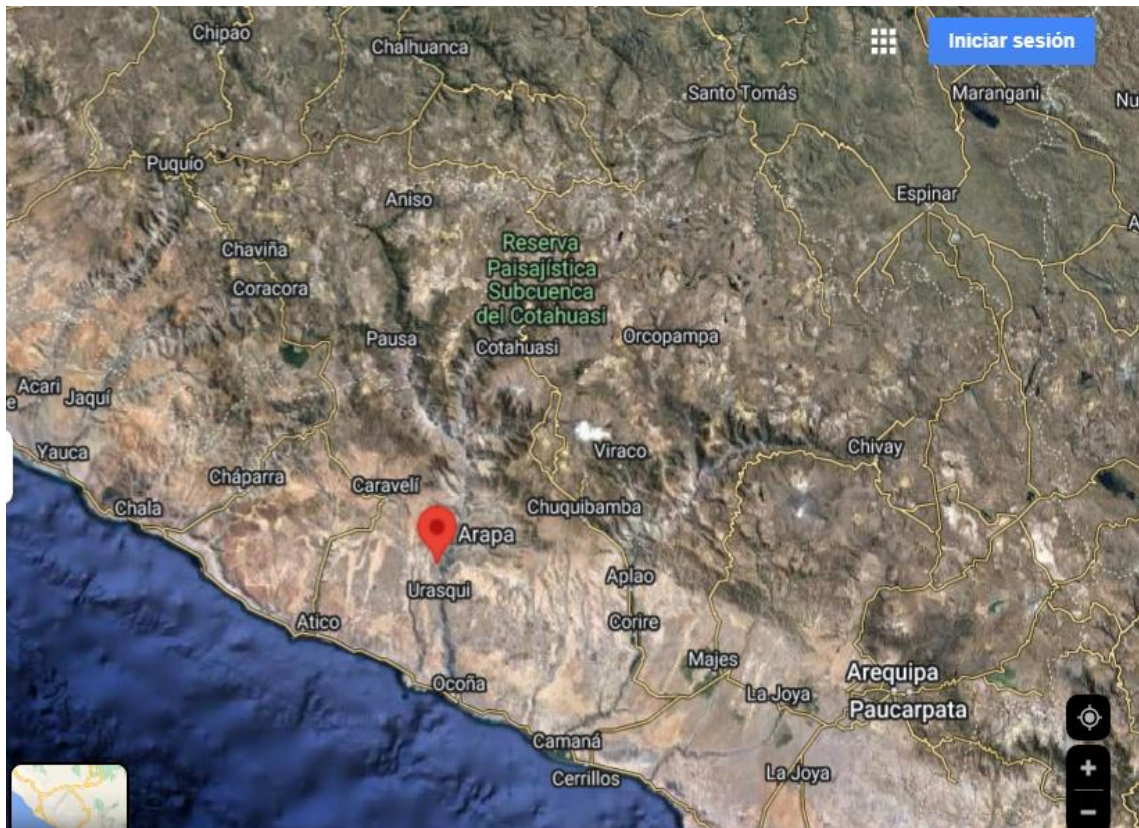
### 3.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad al yacimiento minero es por la carretera Panamericana Sur asfaltada, a una distancia de 234 km, desde Arequipa hasta Ocoña y 52 km. de carretera afirmada hasta el margen izquierdo adyacente al Río Ocoña y 2.5 km de trocha carrozable, que llega hasta la Mina.

**Tabla 3.** Accesibilidad a la Empresa Minera Arapa S.A.C.

Descripción	Distancia (km)	Tipo de vía	Tiempo (horas)
Arequipa – Camaná	173	Asfaltada	3,10 horas
Camaná – Cruce Ocoña	61	Asfaltada	1,20 horas
Cruce Ocoña-Cruce río Ocoña	52	Afirmada	0,60 horas
Cruce río Ocoña – Mina	2,5	Trocha	0,25 horas
<b>Total</b>	<b>288,5</b>		<b>5,15 horas</b>

La accesibilidad por vía terrestre a la Empresa Minera Arapa S.A.C., se realiza por vía terrestre con un total de 288,5 km. El viaje toma alrededor de 5,15 horas.



**Figura 7.** Accesibilidad a la empresa minera Arapa S.A.C.

### 3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.3.1 Tipo de investigación

El presente estudio de investigación se clasifica como un estudio experimental debido a que se ha manipulado la variable independiente con el propósito de incrementar el avance lineal en la galería San Miguel. Según, Hernández *et al.* (2014) indica que en los experimentos se alteran deliberadamente tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones para analizar cómo afectan a otras variables en una situación controlada.

#### 3.3.2 Enfoque de la investigación

Este estudio se enfoca en el análisis cuantitativo y utiliza un enfoque estadístico no probabilístico, dado que se recolectan datos en forma de mediciones numéricas. Hernández *et al.* (2014) afirma que el enfoque cuantitativo involucra



una serie de procesos que deben seguirse de manera secuencial y rigurosa, en general; no se pueden omitir pasos, aunque en ciertos casos se puede considerar la redefinición de alguna fase.

### **3.3.3 Diseño de investigación**

La investigación se enmarca en un diseño pre-experimental de tipo longitudinal-comparativo, ya que se quiere ver la incidencia del avance lineal comparado con la aplicación del diseño de la malla anterior y el implementado, se llevaron a cabo mediciones antes y después de la implementación del nuevo diseño de la malla de perforación en un solo grupo, en cual corresponde a la Galería San Miguel. Además, según Hernández *et al.* (2014), los pre-experimentos se caracterizan por tener un nivel de control mínimo, ya que implican la administración de un estímulo o tratamiento a un grupo y la posterior medición de una o más variables para evaluar el impacto en dicho grupo.

### **3.3.4 Recolección de datos por objetivos específicos**

#### **a) Revisión bibliográfica**

Se realizó una búsqueda de información en textos, artículos científicos, tesis de investigación y material obtenido en el repositorio universitario, Dialnet, Scielo, Alicia, entre otros.

#### **b) Información de la base de datos**

Se recolectaron datos, en oficina de operación mina (reportes diarios), así mismo se realizó la evaluación en interior mina (insitu), referentes a la perforación y voladura, para ello se utilizaron libretas de campo, flexómetro, brújula, planos topográficos, martillo de geólogo, y otros.



### **c) Procesamiento de la información**

Para el procesamiento de información de los datos recolectados, se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel, Word y Autocad..

### **d) Presentación de los resultados obtenidos**

En efecto se analizó los datos recolectados para los resultados del estudio de investigación.

## **3.4. POBLACIÓN**

La población para el trabajo de investigación está constituida por las galerías San Miguel, San Ignacio, San Bartolomé, desarrollados en roca semidura a dura del yacimiento aurífero de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa. Según Hernández *et al.* (2014) la población se define como el conjunto de todos los casos que cumplen con ciertas especificaciones o características particulares.

## **3.5. MUESTRA**

Para el presente estudio de investigación la muestra fue constituida por la Galería San Miguel con una sección 3,00 m x 2,80 m. y una longitud de 365 m, desarrollado en roca semidura de una densidad promedio de 2,65 t/m<sup>3</sup> de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa. Según Sampieri *et al.* (2014) la muestra se puede describir como un subgrupo perteneciente a la población, es decir, es un conjunto más pequeño de elementos que forman parte de la población general previamente definida.

## **3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **3.6.1 Variable independiente**

Rediseño de la malla de perforación y el factor de carga explosiva en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.



### 3.6.2 Variable dependiente

Optimización del avance lineal en el frente de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

**Tabla 4.** Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable independiente:</b>		
Rediseño de la malla de perforación y el factor de carga explosiva en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.	- Número de taladros	- Pies perforados
	- Burden	- Metros
	- Espaciamiento	- Metros
	- Sección de la Galería	- Metros
	- Factor de carga	- kg/m <sup>3</sup>
<b>Variable dependiente:</b>		
Optimización del avance lineal en el frente de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.	- Metros de avance	- Metros

## 3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos utilizados fueron la medición de avance lineal en el disparo realizado en cada turno, inspección y observación, revisión documental del área de operación, reporte del control operacional.

### 3.7.1 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron la liquidación mensual, el reporte diario, reporte mensual, equipos utilizados, libretas de campo, formatos de control.



**a) Reporte diario de operación.**

- Avance lineal por cada disparo realizado
- Cantidad de explosivos utilizados
- Fragmentación obtenida
- Cantidad de taladros requeridos

**b) Reporte mensual de operación**

- Cantidad de explosivo utilizados
- Cantidad de taladros disparados
- Total, de avances lineal
- Promedio de granulometría obtenida

**3.7.2 Técnicas para el procesamiento de la información**

Distribución de los datos de campo para determinar el avance lineal en cada disparo realizado y obtener los datos promedio, con ello se diseñó la malla de perforación y el factor de carga explosiva. Para el procesamiento de datos se utilizó el software Excel y otros.

**3.8. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**3.8.1. Rediseño de la malla de perforación**

Utilizando el modelo matemático de (EXSA, 2006), primero se determina la longitud de la perforación. El avance por disparo está limitado por el diámetro de la perforación vacía y la desviación de la perforación de carga, que debe mantenerse por debajo del 2% para alcanzar el 95% de la profundidad “L” de la perforación, para lo cual se tiene lo siguiente:

$$L = 0,15 + 34,1 * D_2 - 39,4 * D_2^2$$

$$D_2 = 0,95 * L$$



Donde:

$L$  = Longitud del taladro (m)

$D_2$  = Diámetro del taladro vacío (m)

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

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

Donde:

$D_2$  = Diámetro de taladro vacío equivalente

$n$  = Cantidad de taladros vacíos

$D_1$  = Diámetro del taladro a cargar

Eficiencia de voladura del 95 %

En segunda etapa se halla el avance de la voladura mediante el algoritmo de Holmberg, donde se entiende, para que el avance de la voladura sea eficiente, debe ser mínimo el 95% de la profundidad de taladros a perforarse, por lo tanto, se tiene la siguiente formula:

$$I = 0.95 * H$$

Donde:

$I$  = Avance de la voladura (metros)

$H$  = Profundidad de los taladros a perforarse (metros)

En tercera etapa mediante un adecuado burden y espaciamiento se calcula la cantidad de taladros para una voladura subterránea, mediante los modelos matemáticos de (EXSA, 2006).

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

Donde:



A = Ancho de labor

H = Altura de labor

En forma más precisa con la relación:

$$N^{\circ} \text{ Tal} = (P/dt) + (K \times S)$$

Donde:

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

P = Perímetro de la sección de labor, se calcula con la fórmula:

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

dt = Distancia entre los taladros

K = Coeficiente de roca

S = Sección de labor

Por lo tanto, para el rediseño de malla de perforación se aplicaron las fórmulas mencionadas, por motivos que son muy efectivas, así mismo los datos que se requieren para este caso son más accesibles.

### **3.8.2. Factor de carga explosiva necesaria para el incremento del avance lineal**

Primero, se tiene en cuenta el número total de taladros, número total de taladros a cargar, peso del cartucho (0,081 kg), para lo cual según el tipo de taladro se hace cálculo de la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad explosivo/disparo} = \text{Cartuchos/taladro} * \text{Peso cartucho} * N^{\circ} \text{ de taladros.}$$

Segundo, se tiene el avance efectivo por disparo, según la longitud de barreno, eficiencia de perforación, eficiencia de voladura y longitud del taladro, por lo tanto, se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Avance/disparo} = \text{Longitud taladro} * \text{Eficiencia voladura}$$

O también la siguiente fórmula:

$$\text{Avance/disparo} = \text{Longitud barreno} * \text{Eficiencia perforación} * \text{Eficiencia de}$$



voladura.

Así mismo se debe tener en cuenta el Volumen real roto, Tonelaje roto, Factor de carga, Factor de potencia, Factor de carga lineal, los cuales son las siguientes formulas:

Volumen real roto

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

Donde:

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

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

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

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

$$Fw = \text{Factor de esponjamiento}$$

Tonelaje roto

$$Tm = V \times dr$$

Donde:

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

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

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

Factor de carga

$$Fc = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Volumen Roto})$$

Factor de potencia

$$Fp = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Tonelaje roto})$$

Factor de carga lineal

$$Fcl = (\text{kg-explosivo}) / (\text{metro lineal})$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados del trabajo de investigación se realizó en el frente de la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Para la perforación de la Galería San Miguel se utilizó perforadoras tipo Jack Leg marca Atlas Copco y RNP y para la voladura de rocas, explosivos Semexsa 65%, Carmex (7 pies) y mecha rápida.

El control de las mediciones de avance lineal se realizó después de cada disparo realizado. Los datos recolectados en 20 turnos fueron procesados mediante almacenamiento en base de datos, y posteriormente haciendo uso del Excel. Los cálculos se realizaron para poder determinar el avance lineal de la perforación, voladura anterior y el optimizado. Y posteriormente realizar una comparativa para poder determinar si es que con la implementación de la nueva malla de perforación se pudo incrementar o no el avance lineal en la Galería San Miguel.

#### 4.2. PERFORACION EN LA GALERIA SAN MIGUEL

La perforación se realizó en la Galería San Miguel con una sección de 3,00 m x 2,80 m y una longitud proyectada de 365 m, desarrollado en un tipo de roca buena. La longitud de las barras de perforación fue de 5 pies con brocas de 38 mm de diámetro.

#### 4.3. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

##### OBJETIVO ESPECÍFICO I

Rediseñar la malla de perforación para el incremento del avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel en la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

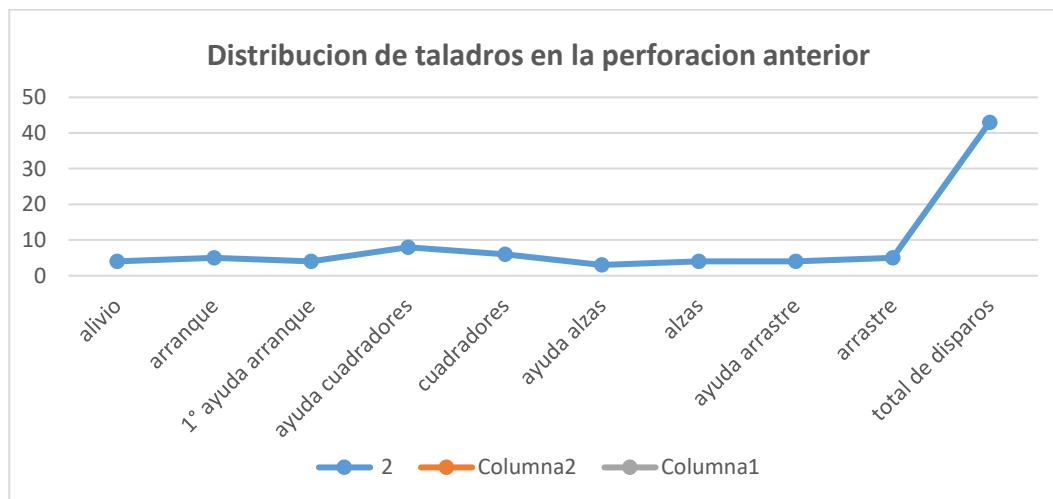
### 4.3.1 Malla de perforación anterior

El macizo rocoso de la Galería San Miguel, presentó variaciones diversas en su comportamiento, en consecuencia, la malla de perforación anterior presentó deficiencias en su aplicación en el frente de la galería.

**Tabla 5.** *Distribución de taladros en la perforación anterior.*

Nomenclatura de taladros	Cantidad de Taladros
Alivio	4
Arranque	5
1° Ayuda arranque	4
Ayuda cuadradores	8
Cuadradores	6
Ayuda alzas	3
Alzas	4
Ayuda arrastre	4
Arrastre	5
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>

Según la Tabla 5, la cantidad de taladros en la malla anterior es de 43, lo cual este resultado es el promedio de las muestras controladas.



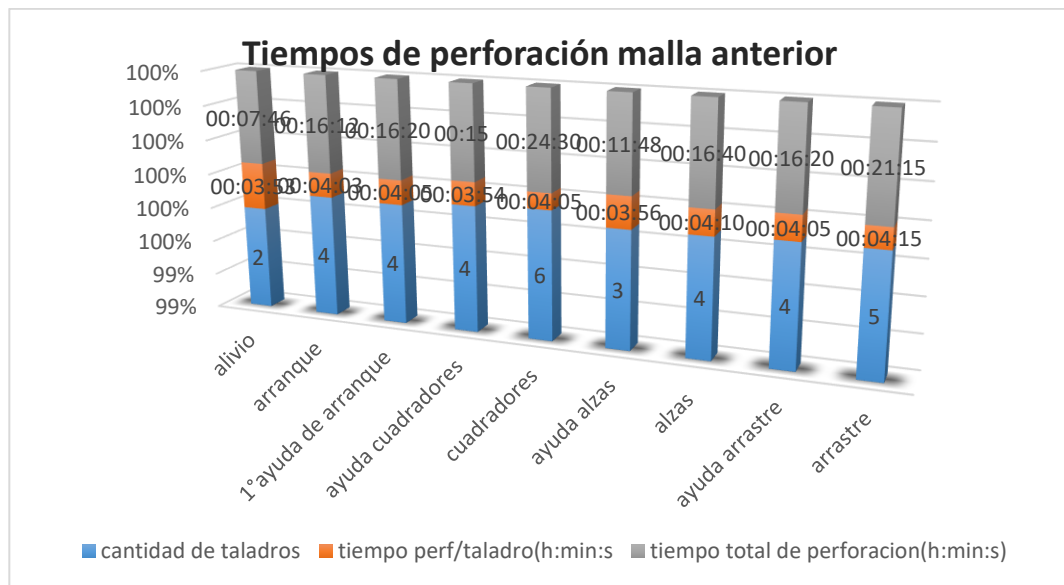
**Figura 8.** Distribución de taladros en la perforación anterior.

### 4.3.2 Tiempos de perforación anterior

**Tabla 6.** *Tiempos de perforación malla anterior.*

Nomenclatura	Cantidad de Taladros	Tiempo perf/tal. (h:min:s)	Tiempo total de perforación (h:min:s)
Alivio	4	0:03:53	0:15:53
Arranque	5	0:04:03	0:20:12
1° Ayuda arranque	4	0:04:05	0:16:20
Ayuda cuadradores	8	0:03:54	0:31:12
Cuadradores	6	0:04:05	0:24:30
Ayuda alzas	3	0:03:56	0:11:48
Alzas	4	0:04:10	0:16:40
Ayuda arrastre	4	0:04:05	0:16:20
Arrastre	5	0:04:15	0:21:15
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>	<b>0:04:05</b>	<b>02:52:05</b>

Según la tabla 6, se muestra el promedio del tiempo de perforación, lo cual se da en el área de trabajo del equipo de perforación; así mismo no se está considerando el tiempo muerto.



**Figura 9.** *Tiempos de perforación malla anterior.*





**Tabla 7. Resultados en la perforación anterior.**

<b>Resultados obtenidos</b>		
Tiempo de perforación del frente	02:52:05	Hora:Minuto:Segundos
Longitud de perforación	1,45	Metros
N° de taladros perforados	43	Taladros
Longitud total perforados	62,35	Metros
Tiempo promedio de perforación/taladro	00:04:05	Hora:Minuto:Segundos
<b>Promedio total, avance lineal</b>	<b>1,30</b>	<b>Metros</b>

Según los datos de la tabla 7, muestra los resultados obtenidos y no son muy favorables, por lo tanto, con un rediseño de malla se puede mejorar.

#### **4.3.3 Rediseño de la malla de perforación**

Según el análisis de la malla de perforación anterior, se encontró deficiencias en su aplicación, y como alternativa se rediseñó la malla de perforación considerando los parámetros geomecánicos de la masa rocosa en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

##### **a) Datos a considerar**

- Densidad de la roca : 2,65 t/m<sup>3</sup>
- Coficiente o factor de roca : 1,5
- Sección de la galería : 3,00 m x 2,80 m
- Ancho : 3,00 m.
- Altura : 2,80 m.
- Diámetros de los taladros : 38 mm.
- Longitud de barreno de perforación : 5 pies = 1,524 m.



## b) Cantidad de taladros

Modelo matemático de EXSA

$$N^{\circ} \text{ Tal} = P/dt + S \times K_s$$

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

$$S = b \times h$$

Donde:

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

$P$  = Perímetro de la galería

$S$  = Sección de la galería

$dt$  = Distancia entre taladros

$K_s$  = Coeficiente del factor de roca

$b$  = Ancho de la galería

$h$  = Altura de la galería

## c) Factores del diseño de perforación

Al diseñar la malla de perforación, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Cantidad de taladros de alivio
- Número de taladros con carga explosiva
- Diámetro de los taladros
- Longitud de taladros
- Avance lineal
- Tipo de roca
- Equipo a utilizar
- Volumen de roca
- Área de la sección de la galería



**d) Cálculo del perímetro y número de taladros**

$$N^{\circ} Tal = \left(\frac{P}{dt}\right) + (S * Ks)$$

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

$$S = b \times h$$

$$N^{\circ} Tal = \left(\frac{11,6}{0,45}\right) + (8,4 * 1,50)$$

$$N^{\circ} Tal = 25,78 + 12,6 = 38,577 \text{ Taladros}$$

Ks = Coeficiente de factor de roca

dt = Distancia entre taladros

**e) Longitud de avance requerido por disparo “L”:**

$$L=0,95*H_{\text{longitud del barreno}}$$

$$L=0,95*1,524$$

$$L=1,45\text{m}$$

Según la longitud del barreno, se necesitan 1,45 metros de avance para cada disparo.

**f) Profundidad de los taladros a perforarse por el algoritmo de Holmberg:**

$$H=0,15+34,1\varnothing_1 - 39\varnothing_1^2$$

$$H=0,15+34,1*0,038 - 39,4* 0,038^2$$

$$H=1,38\text{m}$$

Este resultado nos da a conocer que, con 1 solo taladro de alivio de 0,0038m, solo podríamos alcanzar 1,38 m de avance, pero de acuerdo a la longitud del avance requerido es 1,45m, de acuerdo a lo calculado el taladro equivalente según la ecuación siguiente:

**g) Cálculo de diámetro equivalente de los taladros de alivio ( $\varnothing_2$ ).**

$$\varnothing_2 = \varnothing_1 * \sqrt{N}$$



$$\emptyset_2 = 0,038 * \sqrt{6}$$

Donde:

$$\emptyset_2 = 0,09 \text{ m}$$

$$\emptyset_1 = 0,038$$

N = 6 Taladros de alivio.

**h) Cálculo de la longitud del taladro según el diámetro equivalente “ $\emptyset_2$ ”**

$$H = 0,15 + 34,1\emptyset_2 - 39\emptyset_2^2$$

$$H = 0,15 + 34,1 * 0,09 - 39,4 * 0,09^2$$

Donde:

$$H = 2,89 \text{ m}$$

$$\emptyset_2 = 0,09 \text{ m}$$

Es más que suficiente para generar hasta 1,45 metros de avance en cada disparo con seis taladros de alivio.

**i) Cálculo de burden y espaciamiento:**

**Primer cuadrante:**

$$B_1 = 1,7 * \emptyset_2$$

$$B_1 = 1,7 * 0,09$$

Donde:

$$B_1 = 0,15$$

$$\emptyset_2 = 0,09 \text{ m}$$

**Primer espaciamiento:**

$$X_1 = \sqrt{2} * B_1$$

$$X_1 = \sqrt{2} * (0,15)$$

Donde:



$$X_1 = 0,21 \text{ m}$$

$$B_1 = 0,15 \text{ m}$$

**Segundo cuadrante:**

$$B_2 = \frac{\sqrt{2} * B_1 + 2X_1}{2}$$

$$B_2 = \frac{\sqrt{2} * 0,15 + 2 * (0,21)}{2}$$

Donde:

$$B_2 = 0,31 \text{ m}$$

$$X_1 = 0,21 \text{ m}$$

$$B_1 = 0,15 \text{ m}$$

Primer cuadrante basado en mediciones sobre el terreno: 0.30 m

**Segundo espaciamiento:**

$$X_2 = \sqrt{2} * B_2 * 1,5$$

$$X_2 = \sqrt{2} * 0,30 * 1,5$$

Donde:

$$X_2 = 0,63 \text{ m}$$

$$B_2 = 0,31 \text{ m}$$

**Tercer cuadrante:**

$$B_3 = \sqrt{2} * B_2 * 1,5$$

$$B_3 = \sqrt{2} * 0,30 * 1,5$$

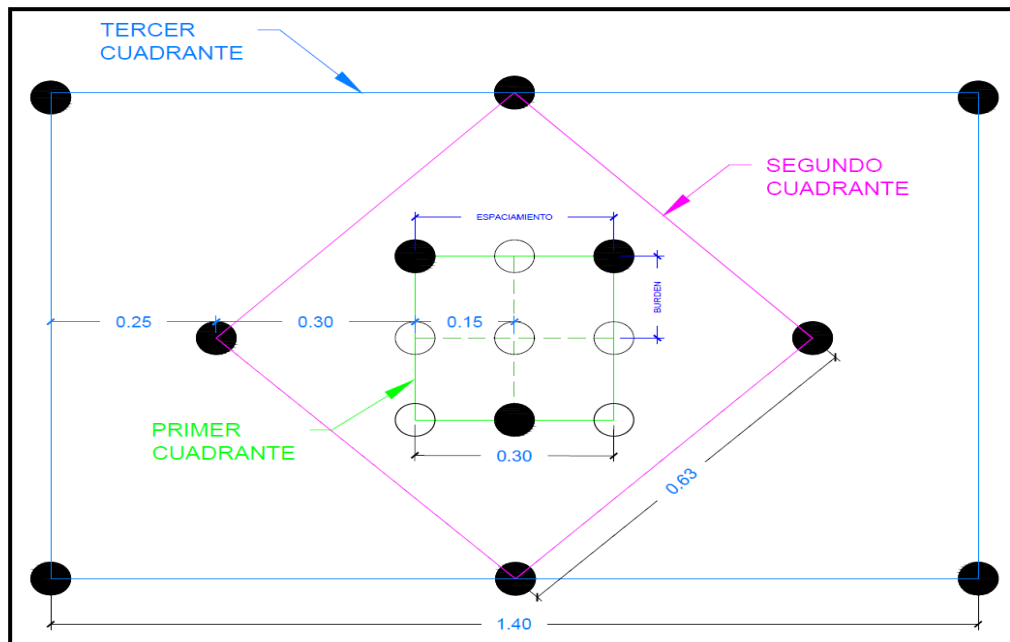
$$B_3 = 0,64$$

**Tercer espaciamiento:**

$$X_3 = \sqrt{2} * B_3 * 1,5$$

$$X_3 = \sqrt{2} * 0,64 * 1,5$$

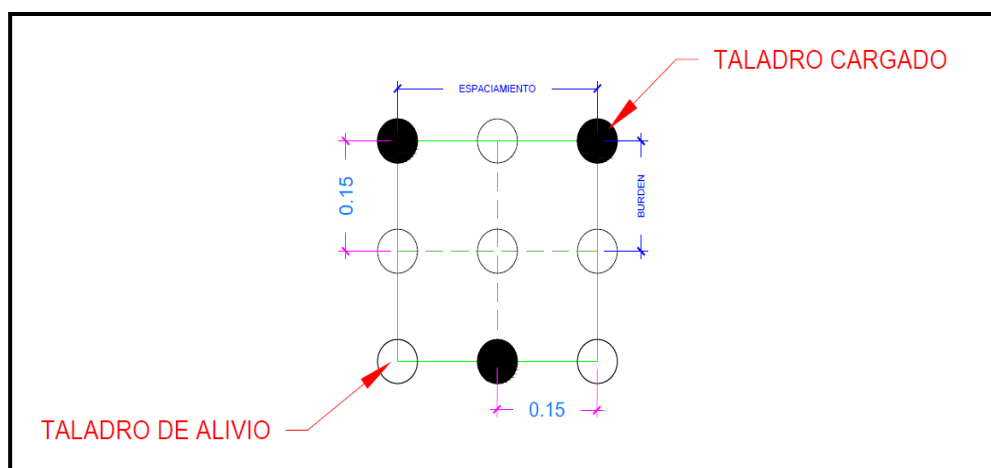
$$X_3 = 1,36 \approx 1,40$$



**Figura 10.** Diseño de los taladros según los cuadrantes.

**j) Tipo de corte**

**Corte Quemado.** - El corte consistió en perforar un total de 09 taladros paralelos de los cuales 06 fueron de alivio y 03 taladros cargados, la finalidad de los taladros vacíos es la de portarse como una cara libre a fin de que la roca triturada se expanda hacia el espacio libre.



**Figura 11.** Diseño de los taladros de arranque



### k) Cálculo de numero de cartuchos por taladro

Lo siguiente viene determinado por la relación entre la longitud de la carga y la longitud del taco en un taladro perforado:

$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \left( \frac{\frac{2}{3} * L}{Le * 0,85} \right)$$

Donde:

$N^{\circ}$  de cartuchos = Total de cartuchos por taladro

L = Longitud del taladro perforado (m)

Le = Longitud del cartucho (m)

0,85 = Factor de corrección por confinamiento.

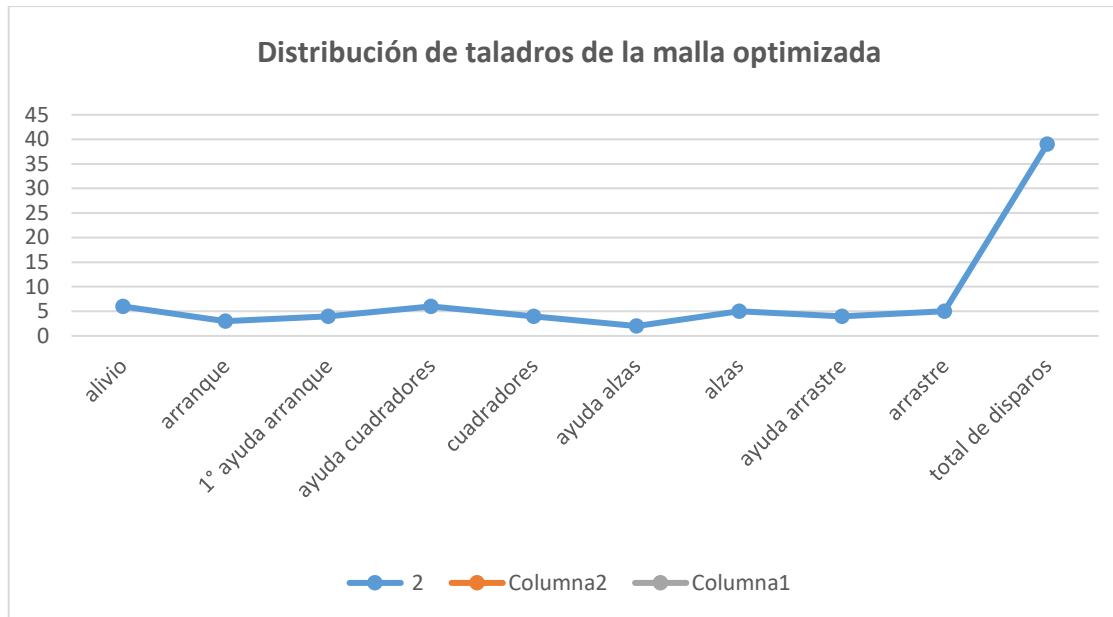
$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \left( \frac{\frac{2}{3} * 1,45}{7'' * 0,0254 * 0,85} \right)$$

$N^{\circ}$  de cartuchos = 6,39  $\approx$  6 cartucho/taladro

**Tabla 8.** Taladros de la malla optimizada.

Descripción	N° de Taladros
Alivio	6
Arranque	3
1° Ayuda arranque	4
Ayuda cuadradores	6
Cuadradores	4
Ayuda alzas	2
Alzas	5
Ayuda arrastre	4
Arrastre	5
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>

Según la Tabla 8, con el nuevo diseño de malla se minimizó a 39 taladros, este resultado es el promedio de los reportes. (Ver anexo N° 24).



**Figura 12.** Distribución de taladros de la malla optimizada.

#### 4.3.4 Tiempo de perforación optimizada

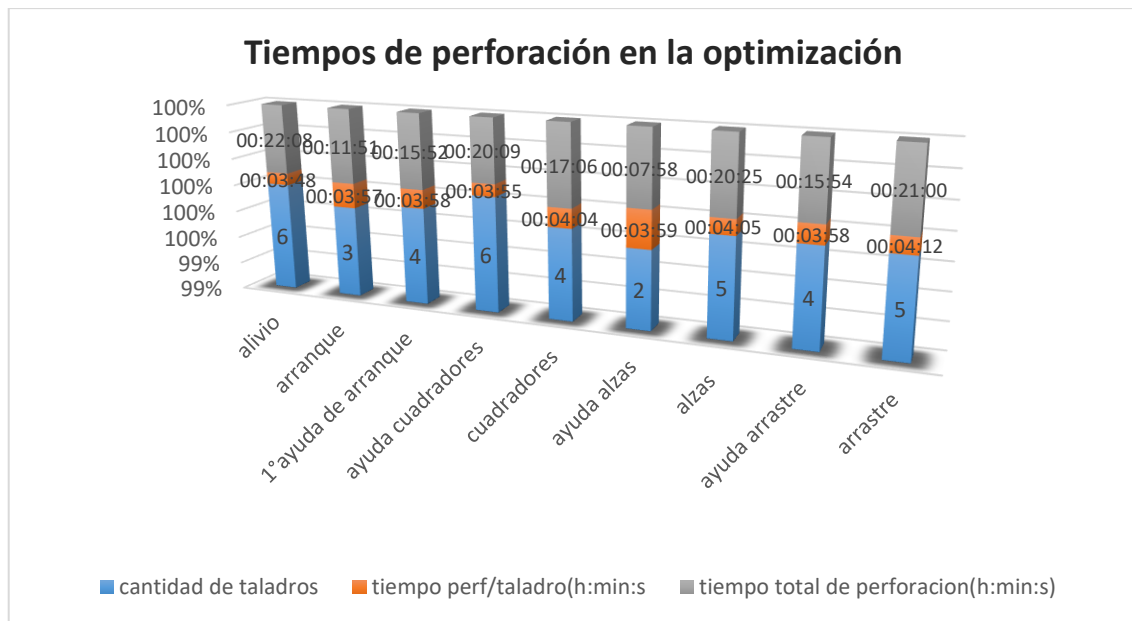
El control de tiempos se detalla en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Control de tiempos en la optimización.

Taladros	Nº de Taladros	Tiempo perf/talad. (h:min:s)	Tiempo total de perforación (h:min:s)
Alivio	6	00:03:48	00:22:08
Arranque	3	00:03:57	00:11:51
1° Ayuda arranque	4	00:03:58	00:15:52
Ayuda cuadradores	6	00:03:55	00:20:09
Cuadradores	4	00:04:04	00:17:06
Ayuda alzas	2	00:03:59	00:07:58
Alzas	5	00:04:05	00:20:25
Ayuda arrastre	4	00:03:58	00:15:54
Arrastre	5	00:04:12	00:21:00
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>	<b>00:03:58</b>	<b>02:32:03</b>

Según los datos de la tabla 9, se muestra el control de tiempo insitu, y no está incluido el tiempo muerto que es aproximadamente de 30min.





**Figura 13.** Tiempos de perforación en la optimización.

#### a) Cálculo de la velocidad de perforación

Es importante conocer la longitud del taladro y el tiempo de perforación, para lo cual se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{\text{Longitud del taladro}}{\text{Tiempo de perforación/taladro}}$$

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{1,45 \text{ m}}{3,58 \text{ min}}$$

$$\text{Velocidad de perforación} = 0.40 \text{ m/min}$$

#### b) Cálculo del tiempo total de perforación

Al tiempo de perforación, se le añade los tiempos muertos que es de 30 min aproximadamente, donde los perforistas hacen el respectivo boleo, instalación de equipo de perforación, etc.

$$\text{Tiempo total de perforación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de tal} * \text{long de tal}}{\text{Velocidad de perf.}} +$$

*Tiempo muerto*

$$\text{Tiempo total de perforación} = \frac{39 * 1,45}{0.40} + 30 \text{ min}$$



Tiempo total de perforación = 141,38 min + 30 min.

Tiempo total de perforación = 2h, 38 min + 30 min.

Tiempo total de perforación = 171.38 min.

Tiempo total de perforación = 2h, 51 min, 38 seg

**c) Avance efectivo por disparo**

Avance/disparo = (Long. del taladro \* Efic. Voladura)

Avance/disparo = (1,45 \* 0,965)

Avance/disparo = 1,40 ml

**d) Eficiencia de perforación**

Eficiencia de perforación =  $\frac{\text{Longitud del taladro}}{\text{Longitud del barreno}} * 100$

Eficiencia de perforación =  $\frac{1,45}{1,524} * 100$

Eficiencia de perforación = 95,14%

**e) Eficiencia de voladura**

Eficiencia de voladura =  $\frac{\text{Avance efectivo}}{\text{Longitud de taladro}} * 100$

Eficiencia de voladura =  $\frac{1,40}{1,45} * 100$

Eficiencia de voladura = 96.55%

**Tabla 10.** Resultados en la optimización.

<b>Parámetros de perforación</b>		
Tiempo de perforación del frente	02:32:03	Horas:Minutos:Segundos
Longitud de perforación	1,45	Metros
N° de taladros perforados	39	Taladros
Longitud total perforado	56,55	Metros
Tiempo promedio de perforación/taladro	00:03:58	Hora:Minuto:Segundo
<b>Promedio total, avance lineal</b>	<b>1,40</b>	<b>Metros</b>

En la Tabla 10, se muestra los resultados de la optimización.

## **OBJETIVO II**

Determinar el factor de carga explosiva necesaria para el incremento del avance lineal en el desarrollo de la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

### **4.4. RESULTADOS DE VOLADURA**

#### **4.4.1 Voladura anterior en la Galería San Miguel**

Debido a la estructura variada del macizo rocoso de la Galería San Miguel no se realizó la carga explosiva adecuada, por tanto, hubo mayor consumo de explosivo.

**Tabla 11.** *Explosivos Semexa 65% en la voladura anterior.*

Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4	0	0	0	0
Arranque	5	7	35	0,081	2,84
1° Ayuda arranque	4	6	24	0,081	1,94
Ayuda cuadradores	8	5	40	0,081	3,24
Cuadradores	6	6	36	0,081	2,92
Ayuda alzas	3	5	15	0,081	1,22
Alzas	4	5	20	0,081	1,62
Ayuda arrastre	4	5	20	0,081	1,62
Arrastre	5	6	30	0,081	2,43
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>

En la Tabla 11, se puede observar 43 taladros perforados, 220 cartuchos equivalente a 17,82 kg de explosivo utilizado en cada voladura, cuyo resultado es el promedio de cada reporte realizado. (Ver anexo N° 14).

**Tabla 12.** *Explosivos y accesorios en la voladura anterior.*

Descripción	Unidad de medida	Total
Semexa 65%	cartuchos	220
Carmex (7 pies)	unidades	39
Mecha rápida	metros	8

Según la Tabla 12, se observa 220 cartuchos utilizados, 39, unidades de Carmex (7 pies), 8 metros de Mecha rápida utilizados en la voladura anterior.

**a) Volumen real fragmentado**

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

Donde:

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



b = Ancho de la galería (m)

h = Altura de la galería (m)

Lp = Longitud perforado (m)

Fw = Factor de esponjamiento

$$V = 3,00 \times 2,80 \times 1,30 \times 1,2$$

$$V = 13,10 \text{ m}^3$$

#### b) Tonelaje fragmentado

$$Tm = V \times dr$$

Donde:

Tm = Tonelada métrica de material

V = Volumen fragmentado

dr = Densidad de roca

$$Tm = 13,10 \times 2,65$$

$$Tm = 34,72 \text{ Tm}$$

#### c) Factor de carga

Metros cúbicos

$$Fc = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Volumen Roto})$$

$$Fc = 17,82/13,10$$

$$Fc = 1,36 \text{ kg/m}^3$$

#### d) Factor de carga lineal

$$Fcl = (\text{kg-explosivo}) / (\text{metro lineal})$$

$$Fcl = 17,82/1,30$$

$$Fcl = 13,71 \text{ kg/m}$$

#### e) Factor de potencia

$$Fp = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Tonelaje roto})$$



$$F_p = 17,82/34,72$$

$$F_p = 0,51 \text{ kg/Tm}$$

**Tabla 13.** Resultados en la voladura anterior.

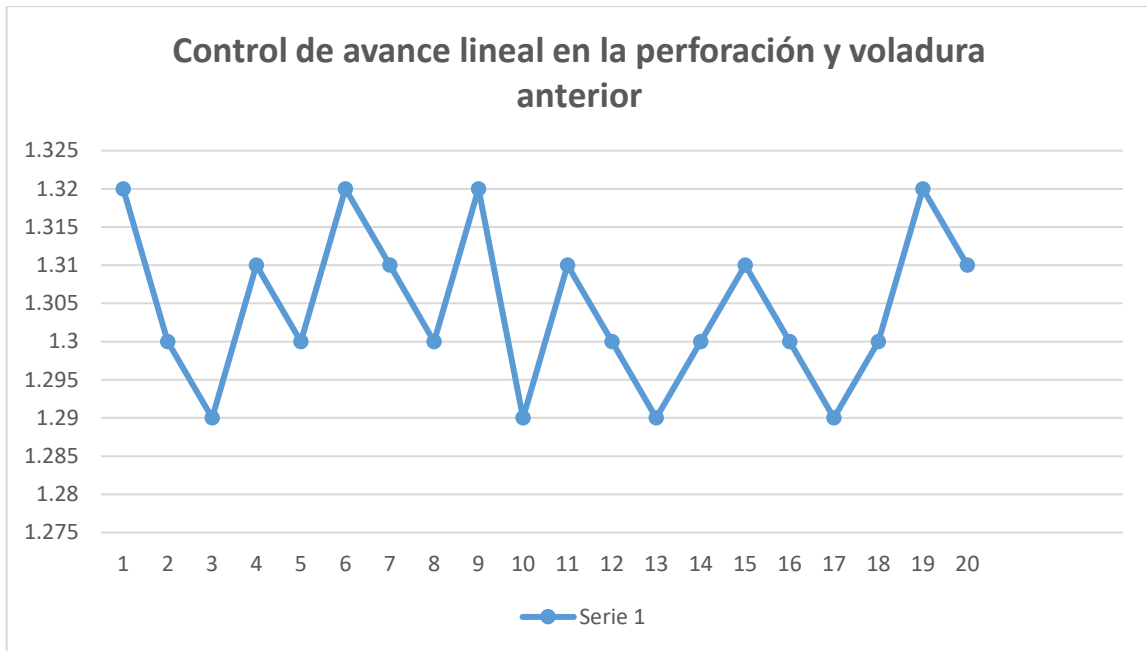
Descripción	Unidad de medida
kg/disparo	17,82 kg.
Volumen	13,10 m <sup>3</sup> .
Toneladas	34,72 Tm
Factor de carga	1,36 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0,51 kg/Tm
Factor de carga lineal	13,71 kg/m.

En la Tabla 13, según los resultados de la voladura anterior se puede observar que se utilizó 17,82 kg de explosivo en cada disparo, para hacer la voladura de 34, 72 Tm de roca, con un factor de carga de 1,36 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0,51 kg/Tm y un factor de carga lineal de 13, 71 kg/m.

**Tabla 14.** Control de avance lineal en la perforación y voladura anterior.

Total, controles mes Septiembre	Avance lineal (Metros)	Eficiencia de voladura (%)	Semexa 65% (cartuchos)	Consumo de explosivo (kg/disparo)
1	1,32	89,79	223	17,84
2	1,30	89,65	220	17,83
3	1,29	89,58	220	17,82
4	1,31	89,72	225	17,90
5	1,30	89,65	223	17,81
6	1,32	89,79	223	17,82
7	1,31	89,72	222	17,80
8	1,30	89,65	220	17,81
9	1,32	89,79	221	17,80
10	1,29	89,58	222	17,86
11	1,31	89,72	222	17,91
12	1,30	89,65	223	17,83
13	1,29	89,58	218	17,83
14	1,30	89,65	220	17,84
15	1,31	89,72	216	17,85
16	1,30	89,65	221	17,81
17	1,29	89,58	220	17,80
18	1,30	89,65	219	17,84
19	1,32	89,79	221	17,83
20	1,31	89,72	218	17,83
Promedio	1,30	89,65	220,0	17,82

En la Tabla 14, se muestra el Avance lineal, un promedio de los 20 turnos, con un avance de 1,30, Eficiencia de voladura de 89,65 %, 220 cartuchos, y por último de 17,82 kg de explosivo.



**Figura 14.** Control de avance lineal en la perforación y voladura anterior.

#### 4.4.2 Voladura optimizada en la Galería San Miguel

Para obtener una voladura eficiente en el frente de la Galería San Miguel, se consideró los parámetros geomecánicos de la masa rocosa y se seleccionó el explosivo Semexa 65% y también se tomó en cuenta el confinamiento del explosivo en el sistema de carguío a los taladros.



**Tabla 15.** *Explosivos requeridos en la voladura optimizada.*

Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6	0	0	0	0
Arranque	3	8	24	0,081	1,94
1° Ayuda arranque	4	6	24	0,081	1,94
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,081	2,43
Cuadradores	4	5	20	0,081	1,62
Ayuda alzas	2	5	10	0,081	0,81
Alzas	5	5	25	0,081	2,03
Ayuda Arrastres	4	5	20	0,081	1,62
Arrastre	5	6	30	0,081	2,43
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,82</b>

En la Tabla 15, se puede observar 39 taladros perforados, 183 cartuchos equivalente a 14,82 kg de explosivo utilizado en cada voladura con el rediseño de malla, cuyo resultado es el promedio de cada reporte realizado. (Ver anexo N° 24).

**Tabla 16.** *Explosivos y accesorios en la voladura optimizada.*

Descripción	Unidad de medida	Total
Semexa 65%	cartuchos	183
Carmex (7 pies)	unidades	33
Mecha rápida	metros	7,5

Según la Tabla 16, se observa 183 cartuchos utilizados, 33 unidades de Carmex (7 pies), 7,5 metros de Mecha rápida utilizados en la voladura optimizada.

**a) Datos a considerar**

Densidad de roca : 2,65 t/m<sup>3</sup>

Sección de la galería : 3,00 m x 2,80 m

Diámetro de los taladros : 38 mm

Longitud del barreno de perforación : 5 pies = 1,52 m



**b) Volumen real roto**

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

Donde:

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

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

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

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

Fw= Factor de esponjamiento

$$V = 3,00 \times 2,80 \times 1,40 \times 1,2$$

$$V = 14,11 \text{ m}^3$$

**c) Tonelaje roto**

$$Tm = V \times dr$$

Donde:

Tm = Tonelada métrica de material roto

V = Volumen roto

dr = Densidad de roca

$$Tm = 14,11 \times 2,65$$

$$Tm = 37,39 \text{ Tm}$$

**d) Factor de carga**

$$Fc = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Volumen Roto})$$

$$Fc = 14,82/14,11$$

$$Fc = 1,05 \text{ kg/m}^3$$

**e) Factor de potencia**

$$Fp = (\text{kg-explosivo}) / (\text{Tonelaje roto})$$

$$Fp = 14,82/37,39$$



$$Fp = 0,40 \text{ kg/Tm}$$

**f) Factor de carga lineal**

$$Fcl = (\text{kg-explosivo}) / (\text{metro lineal})$$

$$Fcl = 14,82/1,40$$

$$Fcl = 10,59 \text{ kg/m}$$

**Tabla 17.** Resumen de resultados en la voladura optimizada.

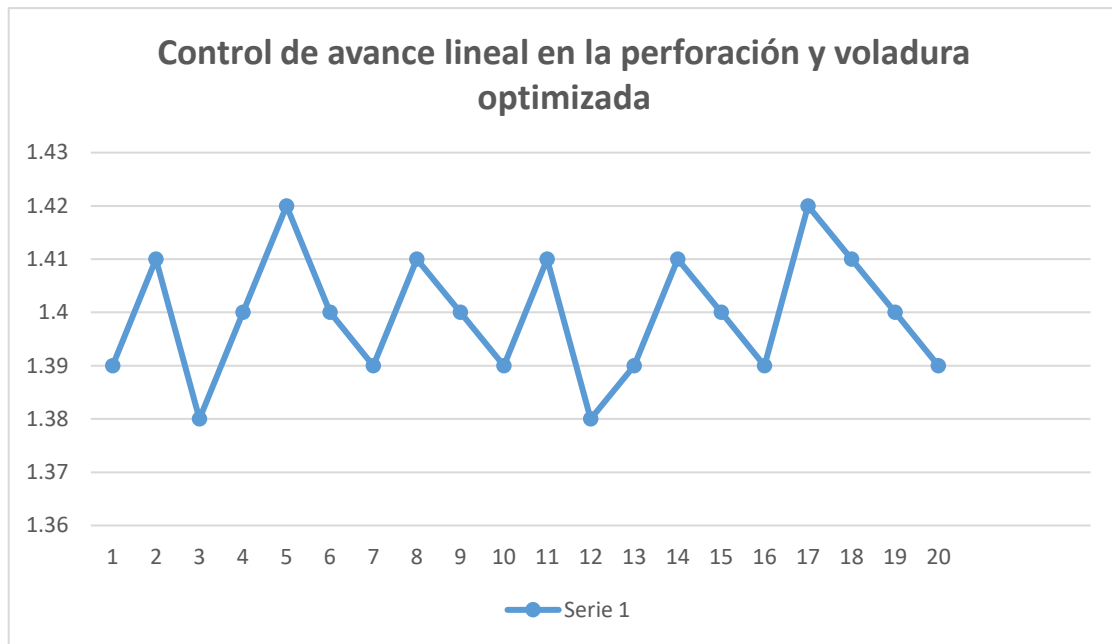
Parámetros obtenidos en la voladura optimizada	
Descripción	Unidad de medida
kg/ disparo	14,82 kg.
Volumen	14,11 m <sup>3</sup> .
Toneladas	37,39 Tm
Factor de carga	1,05 kg/m <sup>3</sup> .
Factor de potencia	0,40 kg/Tm
Factor de carga lineal	10,59 kg/m.

En la Tabla 17, según los resultados de la voladura optimizada se puede observar que se utilizó 14,82 kg de explosivo en cada disparo, para hacer la voladura de 37, 39 Tm de roca, con un factor de carga de 1,05 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0,40 kg/Tm y un factor de carga lineal de 10, 59 kg/m.

**Tabla 18.** Control de avance lineal en la perforación y voladura optimizada.

Total, controles mes Octubre	Avance lineal (Metros)	Eficiencia de voladura (%)	Semexa 65% (cartuchos)	Consumo de explosivo (kg/disparo)
1	1,39	96,52	185	14,83
2	1,41	96,57	185	14,84
3	1,38	96,50	183	14,79
4	1,40	96,55	182	14,86
5	1,42	96,60	183	14,85
6	1,40	96,55	185	14,86
7	1,39	96,52	182	14,87
8	1,41	96,57	183	14,81
9	1,40	96,55	184	14,75
10	1,39	96,52	179	14,79
11	1,41	96,57	185	14,78
12	1,38	96,50	184	14,81
13	1,39	96,52	183	14,83
14	1,41	96,57	180	14,80
15	1,40	96,55	180	14,82
16	1,39	96,52	181	14,83
17	1,42	96,60	182	14,80
18	1,41	96,57	183	14,83
19	1,40	96,55	181	14,84
20	1,39	96,52	183	14,81
<b>Promedio</b>	<b>1,40</b>	<b>96,55</b>	<b>183</b>	<b>14,82</b>

En la Tabla 18, se muestra el Avance lineal, un promedio de los 20 turnos, con un avance de 1,40, Eficiencia de voladura de 96,55 %, 183 cartuchos, y por último de 14,82 kg de explosivo.



**Figura 15.** Control de avance lineal en la perforación y voladura optimizada.

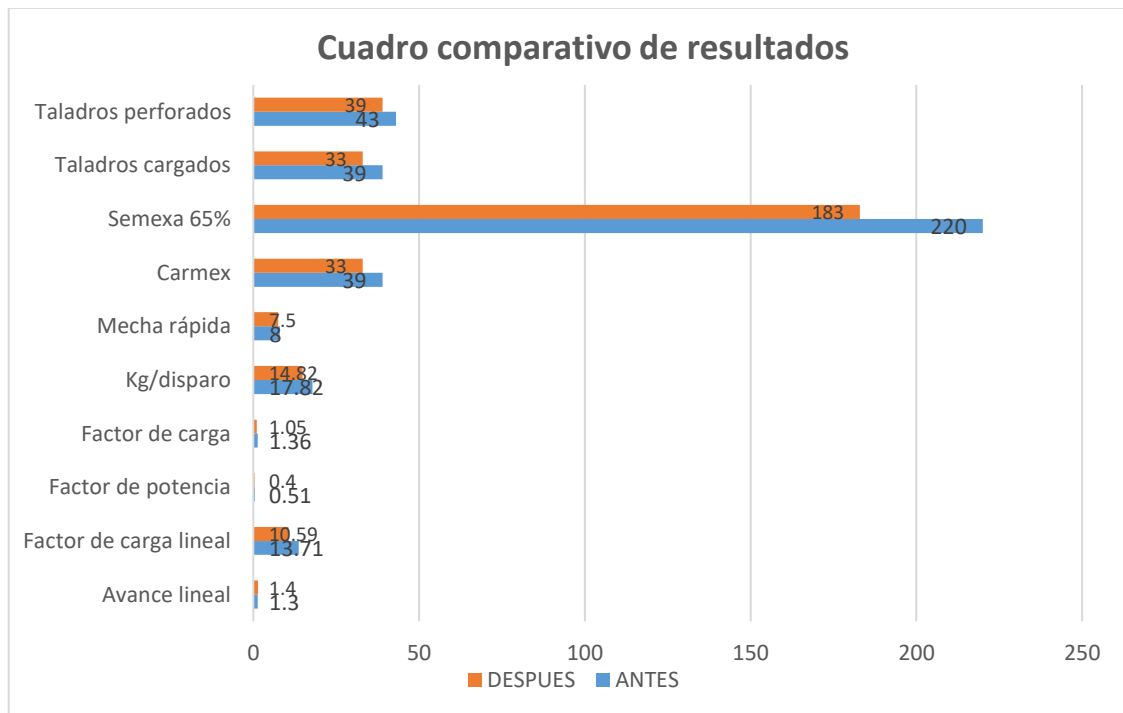
#### 4.5. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Según los cálculos y análisis de resultados de perforación y voladura antes y después de la optimización, se demostró las diferencias en los parámetros de perforación y voladura de la ejecución de la Galería San Miguel.

**Tabla 19.** Resultados de perforación y voladura.

Descripción	Unidad de Medida	Antes	Después	Diferencia
Taladros perforados	Taladro	43	39	04
Taladros cargados	Taladro	39	33	06
Semexsa 65%	Cartuchos	220	183	37
Carmex	Unidades	39	33	06
Mecha rápida	Metros	8	7,5	0,5
Kg/disparo	Kilogramo	17,82	14,82	3,00
Factor de carga	Kg/m <sup>3</sup>	1,36	1,05	0,31
Factor de potencia	Kg/Tm	0,51	0,40	0,11
Factor de carga lineal	Kg/m	13,71	10,59	3,12
Avance lineal	Metro	1,30	1,40	0,10
<b>Tiempo de perforación/disparo</b>	<b>H:min:s</b>	<b>02:52:05</b>	<b>02:32:03</b>	<b>00:20:02</b>

En la Tabla 19, se muestra los resultados anteriores de perforación y voladura y los resultados optimizados, lo cual hay una reducción, así mismo el avance lineal aumentó en 0,10 m.



**Figura 16.** Cuadros comparativos de resultados



#### 4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

El presente trabajo de investigación, mediante el nuevo diseño de malla y con la carga explosiva adecuada en el frente de la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa. Se optimizó el avance lineal de 1,30 m a 1,40 m con una diferencia de 0,10 m, por tanto, se concluye que, utilizando el nuevo diseño de malla y la carga explosiva adecuada según las características del macizo rocoso de la Galería San Miguel, si se optimiza el avance lineal en cada disparo realizado en la Empresa Minera. En contraste con Mamani (2015) con su metodología del nuevo diseño de malla y la carga explosiva adecuada, utilizando barrenos de 5 pies, optimizó el avance lineal de 1,35 m a 1,42 m, con una diferencia de 0,07 m en el frente de la Galería, en la Mina Maribel de Oro A, Ananea – Phoquera. En conclusión, en la investigación se tiene como resultado una mejor optimización de avance lineal.

En la voladura, el consumo de explosivos se redujo de 12,41 kg/m a 10,69 kg/m, con un beneficio de 1,72 kg/m y un avance lineal promedio de 1,40 metros. El nuevo diseño de la malla incluía 36 taladros en lugar de 41, con una longitud de taladro de 1,45 metros, donde Chahuares (2012) en su estudio utilizó una metodología de investigación experimental con un enfoque descriptivo, dado que rediseñar y aplicar una nueva malla de perforación, este tendrá un impacto directo en la variable dependiente. Llego a la conclusión que, estos datos concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo de investigación donde el número de taladros perforados se redujo de 43 a 39, el consumo de explosivos se redujo de 1,36 a 1,05 kg/m<sup>3</sup> y se logró obtener un avance lineal de 1,40 m.

Villalva (2023) El objetivo principal del proyecto era aumentar la rentabilidad de las perforaciones y voladuras desarrollando y utilizando una novedosa malla de perforación con una carga explosiva adecuada.. Concluye que, mediante el nuevo diseño



de la malla de perforación se reduce de 42 a 38 taladros y la carga explosiva adecuada reduce de 16,93 a 14,50 kg por disparo obteniendo un beneficio de 2,43 kg, el avance lineal de 1,32 metros de la perforación anterior, se ha optimizado a 1,40 metros con una diferencia de 0,08 metros por cada disparo realizado. En comparación con el presente trabajo de investigación utilizando la misma metodología se logró incrementar el avance lineal de 1,30 a 1,40 metros el avance lineal logrando un incremento de 0,10 metros por disparo.





## V. CONCLUSIONES

Al aplicar el nuevo diseño de malla de perforación se logró incrementar el avance lineal de 1,30 metros a 1,40 metros, obteniendo un adicional de 0,10 metros por disparo, realizado en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Mediante el rediseño de malla de perforación se logró reducir la cantidad de taladros perforados de 43 a 39, lográndose una diferencia de 04 taladros, todo esto en base a la distribución adecuada de los taladros y la carga explosiva en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

En base al análisis se pudo determinar la carga explosiva necesaria, que antes era de 17,82 kg/disparo y con la nueva malla fue de 14,82 kg/disparo, optimizándose así en 3,00 kg/disparo, y el factor de carga de 1,36 a 1,05 kg/m<sup>3</sup> en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio de análisis de los costos de perforación y voladura en la Galería San Miguel de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Se recomienda realizar un estudio geomecánico del macizo rocoso, y en base a estos resultados estandarizar las mallas de perforación para cada tipo de roca que se presenta en las labores subterráneas de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Se recomienda realizar un estudio de investigación que plantee, estandarizar las mallas de perforación de acuerdo a las secciones de las galerías y al tipo de roca que se presenta en estas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. (1973). *Clasificación del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR*.
- Calderón Mena, M. A. (2018). *Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María*. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8409>
- Cáceres Navarro, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa*. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4491>
- Cámac, T. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM-UNA. Puno.
- Cháhuares, F. (2012). *Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo. Mina El Cofre*.
- Deere et al. (1967). *Clasificación geomecánica de Deere. Índice RQD*.
- Durant, B. (2005). *Manual de ingeniería de costos*. Puno: FIM UNA.
- EXSA (2001). *Manual Práctico de Voladura, Edición Especial*. Perú.
- Frisancho, T. (2006). *Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea*.
- Hernández, Fernández & Baptista (2014). *Metodología de la Investigación*, McGraw - Hill Interamericana de Editores S.A. -México.
- Hoek & Brown, (2000). *Hoek-Brown failure criterion*.
- Iriarte, I. (2012). *Gerencia Estratégica de Costos y Presupuestos en Minería*.
- Jhony, B. (2013). *Costos de producción y la teoría de costos de operación en una mina subterránea*. PERU.
- Jáuregui Aquino, O. A. (2009). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*.



- Konya, C. (2010). *Manual de voladura konya. España.*
- López, J. (1994). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Instituto Geológico y Minero España – Madrid.*
- Marinos et al. (2005). *Rock mass properties.*
- Maldonado, Z. (2008). *Aplicaciones geomecánicas en Mina Chungar. Cerro de Pasco.*
- Mamani, P. (2015). *Optimización de Costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea.*
- Mamani Tinta, W. (2020). *Optimización de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la galería N12 de la empresa minera SOTRAMI SA–Ayacucho.* Disponible en:  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14004>
- New Concep Mining, (2023). <https://www.ncm.co.za/>
- Ozain, C. (2007). *Manejo de Costos y Producción, Perú.*
- Osinermin, (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas.*
- Ortiz Q. (2019). *Minimización de costos de perforación y voladura con rediseño de malla en la Galería 435 NE de la Unidad Minera Las Águilas de la Empresa Minera CIEMSA S.A. – Lampa.*
- Rincón, J. & Molina, J. (2017). *Improvement of the breakage through the drilling deviations control, case “El Roble” mine, Colombia, 42, 45-54.* Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Singh, P. (1998). *The effects of rock mass characteristics on blasthole deviation.*
- Sucari, A. (2018). *Perforación y voladura en minearías subterráneas. Corporación gráfica JESCO.*

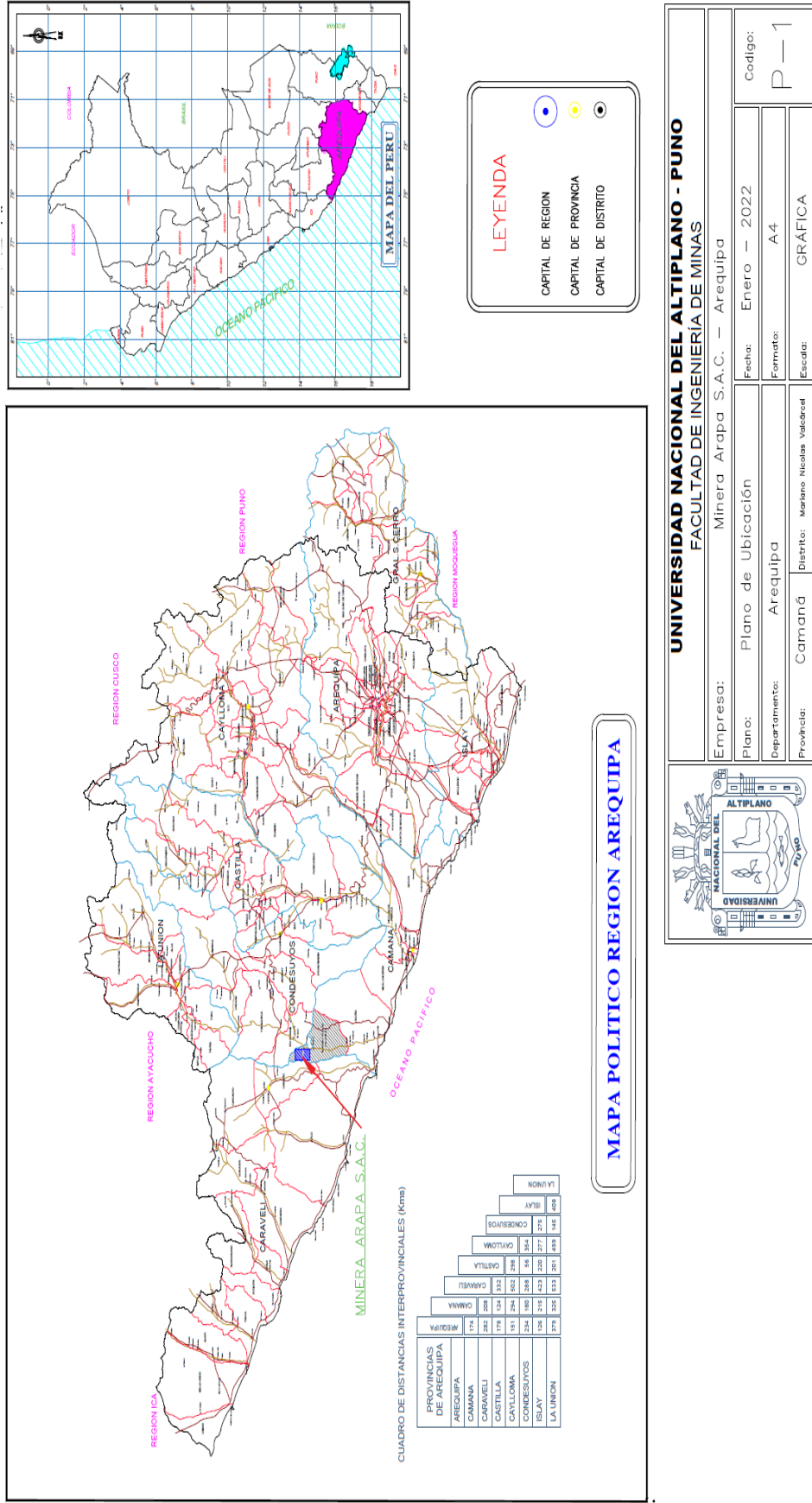


- Sancho, O. (2014). *Análisis de costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la galería anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska-Ananea* [Tesis, Universidad Nacional del Altiplano]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17823>
- Tapia C. (2015). *Optimización de la producción y avance mediante diseño de perforación y voladura en rampa 650 en la Empresa Especializada IESA S.A. CIA Minera ARES S.A.C.*
- Técnica, N. (2015). *Elementos para la determinación de costo horario de los equipos y maquinarias.* Ministerio de construcción.
- Villasante J. (2016). *Reducción de costos de explotación en las operaciones unitarias de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.*

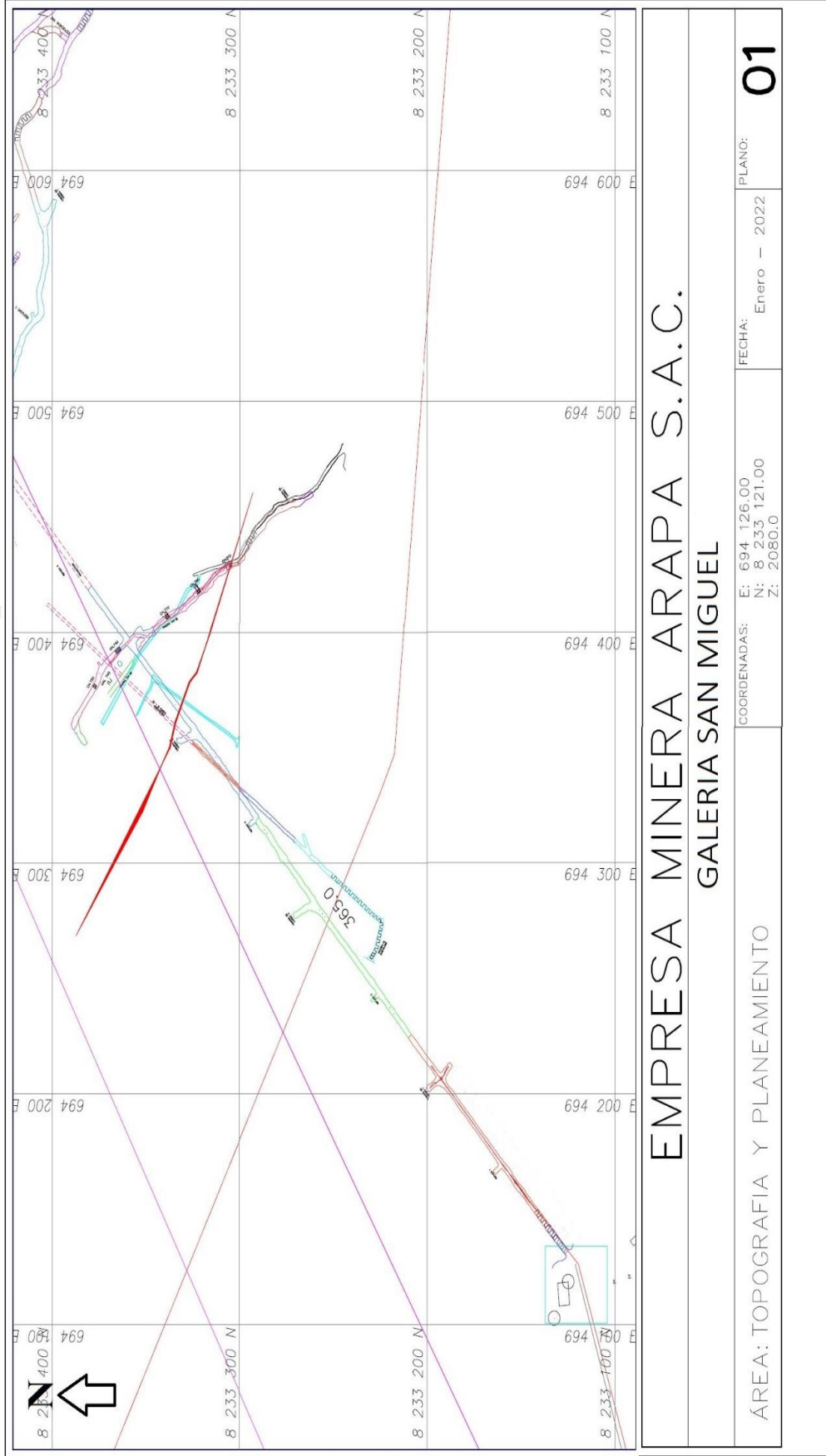


## ANEXOS

# ANEXO 1. Ubicación de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa

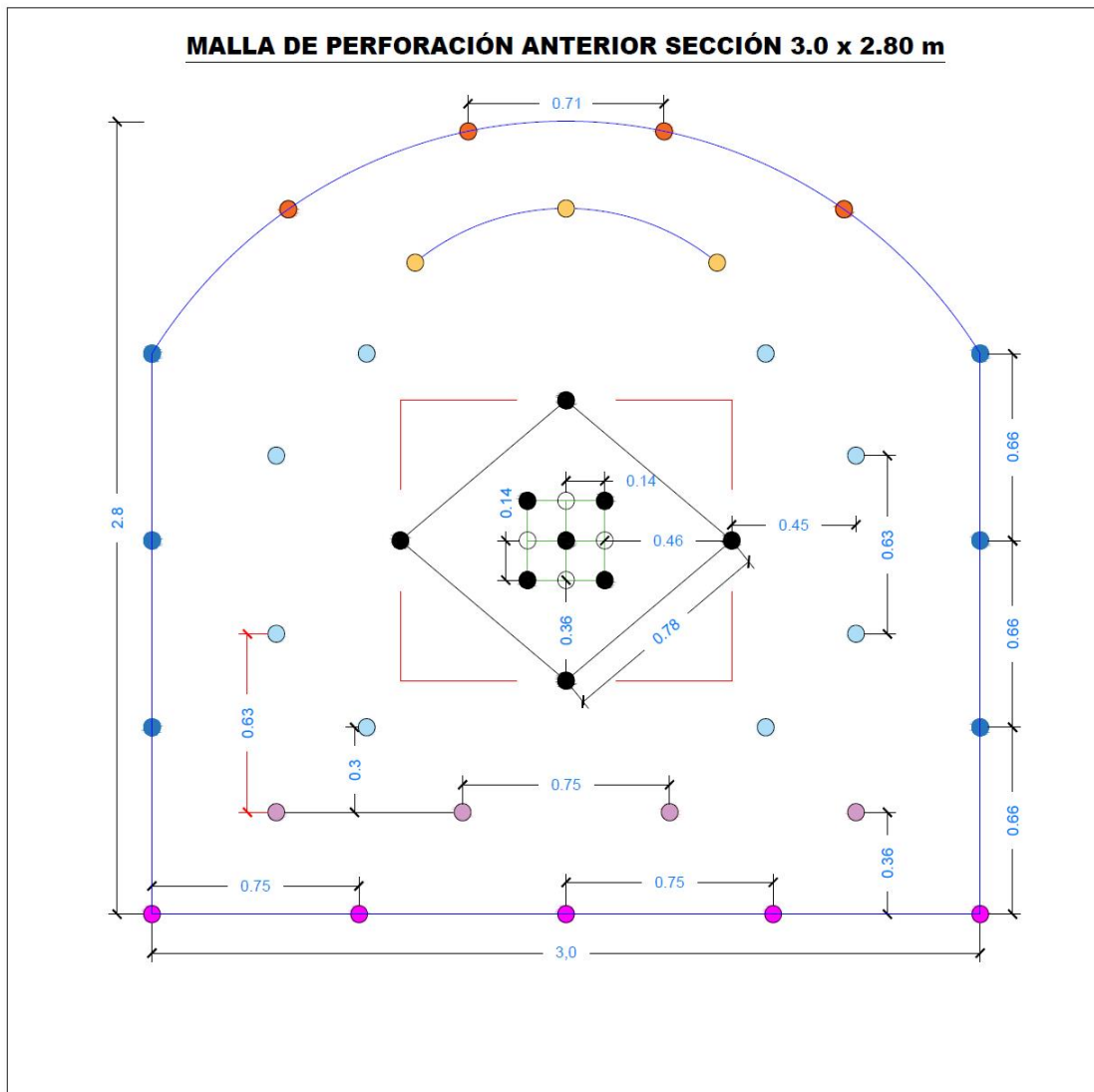


**ANEXO 2. Galería San Miguel**





### ANEXO 3. Malla de perforación anterior



<b>ÁREA DE TOPOGRAFÍA &amp; PLANEAMINETO</b>	<b>MALLA DE PERFORACIÓN:</b> SECCION 3.0 m x 2.80 m
	<b>TIPO DE ROCA:</b> BUENA, RMR: 61 - 80, <b>EXPLOSIVO:</b> Semexa 65% - Carmex - Mecha Rapida
	<b>NUMERO DE TALADROS:</b> 43 <b>TALADROS DE ALIVIO:</b> 04 <b>DIAMETRO DE TALADRO:</b> 38 mm <b>LONGITUD DE TALADRO:</b> 5 pies

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS			
	EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. - AREQUIPA		Fecha: Enero - 2022	
	Plano: Malla de Perforación Anterior		Formato: A4	
	Departamento: Arequipa	Provincia: Camaná	Distrito: Mariano Nicolás Valcarcel	
		Escala: 1:20	01	



**ANEXO 5.** Tabla de control de avance lineal con la malla anterior

<b>REPORTE OPERACIONAL SEPTIEMBRE - ARAPA SAC AREQUIPA</b>										
<b>LABOR</b>	<b>MES</b>	<b>FECHA</b>	<b>GUARDIA</b>	<b>TAL. PERFO.</b>	<b>TAL. CARG.</b>	<b>AVANCE LINEAL (m)</b>	<b>EFICIENCIA DE VOLADURA (%)</b>	<b>SEMEXA 65% UND</b>	<b>kg EXPLO.</b>	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	01/09/2021	B	43	39	1,32	89,79	223	17,84	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	02/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	220	17,83	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	03/09/2021	B	42	38	1,29	89,58	220	17,82	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	04/09/2021	B	43	39	1,31	89,72	225	17,90	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	05/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	223	17,81	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	06/09/2021	B	43	39	1,32	89,79	223	17,82	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	07/09/2021	B	43	39	1,31	89,72	222	17,80	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	08/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	220	17,81	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	09/09/2021	B	43	39	1,32	89,79	221	17,80	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	10/09/2021	B	42	38	1,29	89,58	222	17,86	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	11/09/2021	B	43	39	1,31	89,72	222	17,91	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	12/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	223	17,83	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	13/09/2021	B	42	38	1,29	89,58	218	17,83	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	14/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	220	17,84	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	15/09/2021	B	43	39	1,31	89,72	216	17,85	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	16/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	221	17,81	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	17/09/2021	B	42	38	1,29	89,58	220	17,80	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	18/09/2021	B	43	39	1,30	89,65	219	17,84	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	19/09/2021	B	43	39	1,32	89,79	221	17,83	
GAL. SAN MIGUEL	SEPTIEMBRE	20/09/2021	B	43	39	1,31	89,72	218	17,83	



### ANEXO 6. Liquidación mensual de explosivos y accesorios, malla anterior

MES	Septiembre	<b>RESULTADO TOTAL GUARDIA "B"</b>	
GUARDIA	"B"	LONG. BARRENO	1,52 m (5 pies)
TOTAL, GUARDIAS/MES	20	AVANCE ESTIMADO (95%)	28,88 m
GALERÍA	San Miguel	AVANCE TOTAL REAL (85%)	25,84 m
CLASIFICACIÓN	Confirmación/acceso	VOLUMEN TOTAL ROTO	262,0 m <sup>3</sup>
TIPO DE LABOR	Convencional	TONELADAS TOTALES ROTAS	694,4 Tm

COMPRA DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS PARA GUARDIA "B" – GALERIA SAN MIGUEL							
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO	CAJAS	CANTIDAD TOTAL	TOTAL, UTILIZADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
1	CARMEX® 2,10 m (7 pies)	(Caja x 300 Unidades)	03	900	780	0,69	538,2
2	MECHA RAPIDA (Z – 18)	(Caja 10 rollos x 150 metros)	01	1500	160	0,43	68,8
3	SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	(Caja x 308 Cartuchos)	15	4620	4400	1,06	4664,0
<b>TOTAL</b>							<b>5271,0</b>
I.G.V. 18%							948,78
<b>US\$</b>							<b>6219,78</b>

CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS, (MES SEPTIEMBRE)		
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Unidades	780
MECHA RAPIDA (Z – 18)	Metros	160
SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	Cartuchos	4400
<b>TOTAL, TALADROS PERFORADOS</b>	Talaros	860
<b>TOTAL, TALADROS CARGADOS</b>	Taladros	780
<b>SEMEXSA 65%</b>	Kg/mes	356,4

**ANEXO 7.** Tabla de control de avance lineal con la malla rediseñada

REPORTE OPERACIONAL OCTUBRE - ARAPA SAC AREQUIPA									
LABOR	MES	FECHA	GUARDIA	TAL. PERFO.	TAL. CARG.	AVANCE LINEAL (m)	EFICIENCIA DE VOLADURA (%)	SEMEXA 65% UND	kg EXPLO.
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	01/10/2021	B	39	33	1,39	96,52	185	14,83
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	02/10/2021	B	39	33	1,41	96,57	185	14,84
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	03/10/2021	B	38	32	1,38	96,50	183	14,79
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	04/10/2021	B	39	33	1,40	96,55	182	14,86
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	05/10/2021	B	39	33	1,42	96,60	183	14,85
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	06/10/2021	B	39	33	1,40	96,55	185	14,86
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	07/10/2021	B	38	32	1,39	96,52	182	14,87
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	08/10/2021	B	39	33	1,41	96,57	183	14,81
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	09/10/2021	B	39	33	1,40	96,55	184	14,75
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	10/10/2021	B	39	33	1,39	96,52	179	14,79
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	11/10/2021	B	39	33	1,41	96,57	185	14,78
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	12/10/2021	B	38	32	1,38	96,50	184	14,81
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	13/10/2021	B	39	33	1,39	96,52	183	14,83
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	14/10/2021	B	38	33	1,41	96,57	180	14,80
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	15/10/2021	B	39	33	1,40	96,55	180	14,82
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	16/10/2021	B	39	33	1,39	96,52	181	14,83
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	17/10/2021	B	39	33	1,42	96,60	182	14,80
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	18/10/2021	B	39	33	1,41	96,57	183	14,83
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	19/10/2021	B	39	33	1,40	96,55	181	14,84
GAL. SAN MIGUEL	OCTUBRE	20/10/2021	B	39	33	1,39	96,52	183	14,81



### ANEXO 8. Liquidación mensual de explosivos y accesorios, malla optimizada

MES	Octubre
GUARDIA	“B”
TOTAL, GUARDIAS/MES	20
GALERÍA	San Miguel
CLASIFICACIÓN	Confirmación/acceso
TIPO DE LABOR	Convencional

RESULTADO TOTAL GUARDIA “B”	
LONG. BARRENO	1,52 m (5 pies)
AVANCE ESTIMADO (95%)	28,88 m
AVANCE TOTAL REAL (93%)	28,27 m
VOLUMEN TOTAL ROTO	282,2 m <sup>3</sup>
TONELADAS TOTALES ROTAS	747,8 Tm

COMPRA DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS PARA GUARDIA “B” – GALERIA SAN MIGUEL							
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO	CAJAS	CANTIDAD TOTAL	TOTAL, UTILIZADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
1	CARMEX® 2,10 m (7 pies)	(Caja x 300 Unidades)	03	900	660	0,69	455,4
2	MECHA RAPIDA (Z – 18)	(Caja 10 rollos x 150 metros)	01	1500	150	0,43	64,5
3	SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	(Caja x 308 Cartuchos)	12	3696	3660	1,06	3879,6
<b>TOTAL</b>							<b>4399,5</b>
I.G.V. 18%							791,91
<b>US\$</b>							<b>5190,91</b>

CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS, (MES OCTUBRE)		
<b>CARMEX® 2,10 m (7 pies)</b>	Unidades	660
<b>MECHA RAPIDA (Z – 18)</b>	Metros	150
<b>SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)</b>	Cartuchos	3660
<b>TOTAL, TALADROS PERFORADOS</b>	Taladros	780
<b>TOTAL, TALADROS CARGADOS</b>	Taladros	660
<b>SEMEXSA 65%</b>	Kg/mes	296,4

## ANEXO 9. Equipo de perforación en el frente de la galería San Miguel





## ANEXO 10. Iniciación de la voladura en el frente de la galería San Miguel





## ANEXO 11. Control de la eficiencia de perforación en el frente de la galería San Miguel





## ANEXO 12. Verificación del frente de la galería San Miguel





**ANEXO 13.** Verificación del polvorín de la empresa minera Arapa S.A.C.





**ANEXO 14.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 01/09/2021

Martes 1 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>

**ANEXO 15.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 03/09/2021

Jueves 3 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>42</b>		<b>214</b>		<b>17,34</b>



**ANEXO 16.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 05/09/2021

Sábado 5 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>

**ANEXO 17.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 07/09/2021

Lunes 7 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>

**ANEXO 18.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 10/09/2021

Jueves 10 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>42</b>		<b>215</b>		<b>17,43</b>

**ANEXO 19.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 12/09/2021

Sabado 12 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>



**ANEXO 20.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 13/09/2021

Domingo 13 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>42</b>		<b>214</b>		<b>17,30</b>

**ANEXO 21.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 15/09/2021

Martes 15 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>



**ANEXO 22.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 17/09/2021

Jueves 17 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	7,0	5,0	35,0	0,0810	2,840
Cuadradores	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>42</b>		<b>215</b>		<b>16,94</b>

**ANEXO 23.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura anterior del 19/09/2021

Sábado 19 de septiembre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de cartucho/taladro	N° Total de cartuchos	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	4,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	5,0	7,0	35,0	0,0810	2,840
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	8,0	5,0	40,0	0,0810	3,240
Cuadradores	6,0	6,0	36,0	0,0810	2,920
Ayuda alzas	3,0	5,0	15,0	0,0810	1,220
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda arrastre	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>43</b>		<b>220</b>		<b>17,82</b>





**ANEXO 24.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 01/10/2021

Jueves 1 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>

**ANEXO 25.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 03/10/2021

Sábado 3 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>38</b>		<b>178</b>		<b>14,42</b>



**ANEXO 26.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 05/10/2021

Lunes 5 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>

**ANEXO 27.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 07/10/2021

Miércoles 7 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	25,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>38</b>		<b>178</b>		<b>14,42</b>



**ANEXO 28.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 09/10/2021

Viernes 9 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>

**ANEXO 29.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 11/10/2021

Domingo 11 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>



**ANEXO 30.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 12/10/2021

Lunes 12 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>38</b>		<b>178</b>		<b>14,41</b>

**ANEXO 31.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 14/10/2021

Miercoles 14 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>



**ANEXO 32.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 16/10/2021

Viernes 16 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>

**ANEXO 33.** Reporte de consumo de explosivos Semexsa 65% en la voladura optimizada del 19/10/2021

Lunes 19 de octubre del 2021					
Parámetros obtenidos					
Taladros	N° de Taladros	N° de Cartucho/ taladro	N° Total de cartucho	Peso del cartucho (kg)	Distribución de explosivos (kg)
Alivio	6,0	0,0	0,0	0,0000	0,000
Arranque	3,0	8,0	24,0	0,0810	1,940
1° Ayuda arranque	4,0	6,0	24,0	0,0810	1,940
Ayuda cuadradores	6,0	5,0	30,0	0,0810	2,430
Cuadradores	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Ayuda alzas	2,0	5,0	10,0	0,0810	0,810
Alzas	5,0	5,0	25,0	0,0810	2,030
Ayuda Arrastres	4,0	5,0	20,0	0,0810	1,620
Arrastre	5,0	6,0	30,0	0,0810	2,430
<b>Total/disparo</b>	<b>39</b>		<b>183</b>		<b>14,83</b>



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JHON ELNER CONDORI ESTOFANERO,  
identificado con DNI 70524339 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERÍA DE MINAS

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ OPTIMIZACIÓN DE AVANCE LINEAL CON REDISEÑO DE  
TOLLA DE PERFORACIÓN EN EL FRENTE DE LAS LABORES  
SUBTERRÁNEAS DE LA EMPRESA MINERA DEADA S.A.C. - AREQUIPO ”

Es un tema original.

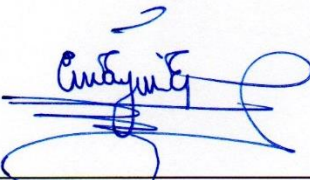
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

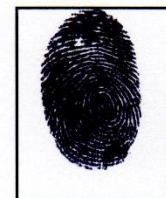
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 04 de DICIEMBRE del 20 23

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JHON ELNER CONDORI ESTOFANERO,  
identificado con DNI 70524339 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA DE MINAS

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ OPTIMIZACIÓN DE RINANCE LINEAL CON REDISEÑO DE  
ROLLO DE PERFORACIÓN EN EL FRENTE DE LAS LABORES  
SUBTERRÁNEAS DE LA EMPRESA MINERA DRAPA S.A.C. DREQUIPA ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de DICIEMBRE del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella