



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



# MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON REDISEÑO DE MALLA Y FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA – AREQUIPA.

TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. RAMIRO ARHUATA SILVA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON REDISEÑO DE MALLA Y FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA E**

AUTOR

**RAMIRO ARHUATA SILVA**

RECuento DE PALABRAS

**15939 Words**

RECuento DE CARACTERES

**78907 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**101 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 9, 2023 1:35 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 9, 2023 1:37 PM GMT-5**

### ● 16% de similitud general


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

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

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



  
**Ing. David Velasquez Medina**  
**DOCENTE F.I.M. - UNA**

Resumen



## DEDICATORIA

*A mis distinguidos padres Sergio y Plácida por su esfuerzo y apoyo incondicional hacia mi persona para continuar mi carrera profesional en el área de Ingeniería de Minas.*

*A mis apreciados hermanos Wilson, Alex Melani, Nora y Beatriz quienes me dieron fuerza y competencia durante todo el proceso de mi vida estudiantil hasta la meta final.*

**Ramiro.**



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradecer a Dios creador del planeta tierra y la vida, por su amor infinito para desarrollar mis conocimientos para la existencia en beneficio de mi persona y familiares.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, mi alma mater, por permitir las aulas del saber universitario hasta lograr mi título profesional como Ingeniero de Minas.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, a su plana docente por impartir los conocimientos inherentes a mi formación profesional en el área de la Ingeniería de Minas.*

**Ramiro.**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 16**

1.2.1. Problema general..... 16

1.2.2. Problema específico ..... 16

**1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN..... 16**

1.3.1. Hipótesis general ..... 16

1.3.2. Hipótesis específica..... 17

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17**

1.4.1. Objetivo general ..... 17

1.4.2. Objetivo específico..... 17

**1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 17**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 20**



<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.2.1. Perforación .....	25
2.2.2. Trazos de perforación.....	27
2.2.3. Explosivos .....	29
2.2.4. Propiedades de los explosivos.....	31
2.2.5. Voladura.....	33
2.2.6. Mecánica de fragmentación de la roca.....	34
2.2.7. Malla de perforación y voladura .....	37
2.2.8. Cálculo y distribución de la carga explosiva.....	39
2.2.9. Costos y gastos .....	43
<b>2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....</b>	<b>46</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>
<b>3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>51</b>
<b>3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>52</b>
<b>3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>53</b>
<b>3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>54</b>

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. REDUCIR EL COSTO DE PERFORACIÓN CON REDISEÑO DE MALLA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA DE LA CIA. MINERA CARAVELÍ S.A.C. ....</b>	<b>55</b>
--	-----------



4.1.1.	Diseño de malla de perforación empírica en el crucero San Miguel .....	55
4.1.2.	Costos de perforación de la malla empírica .....	57
4.1.3.	Rediseño de la malla de perforación del crucero San Miguel.....	60
4.1.4.	Costos de perforación de la nueva malla en el crucero San Miguel .....	67
<b>4.2.</b>	<b>MINIMIZAR EL COSTO VOLADURA CON EL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA DETERMINADA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA DE LA COMPAÑÍA MINERA CARAVELÍ S.A.C. – AREQUIPA. ....</b>	<b>72</b>
4.2.1.	Análisis de la voladura con malla empírica en el crucero San Miguel ...	72
4.2.2.	Análisis de la voladura con rediseño de malla en el crucero San Miguel	76
4.2.3.	Costos de la voladura con malla empírica en el crucero San Miguel .....	79
4.2.4.	Costos de la voladura con rediseño de malla de perforación en el crucero San Miguel .....	80
4.2.5.	Prueba de hipótesis.....	81
<b>4.3</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>83</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>91</b>

**Área:** Ingeniería de minas

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

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 12 de diciembre del 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Distancia entre taladros.....	39
<b>Tabla 2</b>	Factor de la roca.....	39
<b>Tabla 3</b>	Accesibilidad a la Unidad Minera Capitana – Caravelí S.A.C. - Arequipa.	50
<b>Tabla 4</b>	Operacionalización de variables .....	52
<b>Tabla 5</b>	Taladros de la malla empírica en el crucero San Miguel.....	56
<b>Tabla 6</b>	Costos de mano de obra .....	57
<b>Tabla 7</b>	Costos con máquina perforadora.....	57
<b>Tabla 8</b>	Costos de aceros de perforación.....	58
<b>Tabla 9</b>	Costos de accesorios de perforación .....	58
<b>Tabla 10</b>	Costos de herramientas y otros materiales.....	59
<b>Tabla 11</b>	Costos de implementos de seguridad.....	60
<b>Tabla 12</b>	Parámetros para el rediseño de la malla de perforación .....	61
<b>Tabla 13</b>	Cálculo de taladros según tipo de roca.....	61
<b>Tabla 14</b>	Costos de mano de obra con rediseño de malla .....	67
<b>Tabla 15</b>	Costos con máquina perforadora.....	68
<b>Tabla 16</b>	Costos de aceros de perforación.....	68
<b>Tabla 17</b>	Costos de accesorios de perforación .....	69
<b>Tabla 18</b>	Costos de herramientas y otros materiales.....	69
<b>Tabla 19</b>	Costos de implementos de seguridad.....	70
<b>Tabla 20</b>	Resumen de los Resultados de perforación.....	71
<b>Tabla 21</b>	Resumen de costos de perforación.....	72
<b>Tabla 22</b>	Consumo promedio de explosivos semexsa 65 % en la voladura empírica.	73
<b>Tabla 23</b>	Resultados obtenidos en la voladura emperica .....	75





<b>Tabla 24</b>	Consumo de explosivos semexsa 65% en la voladura con rediseño de malla .....	76
<b>Tabla 25</b>	Resultados obtenidos en la voladura empírica.....	78
<b>Tabla 26</b>	Resumen de los resultados del análisis de la voladura.....	78
<b>Tabla 27</b>	Costos de explosivos y materiales en la voladura con malla de perforación empírica.....	80
<b>Tabla 28</b>	Costos de explosivos y materiales en la voladura con rediseño de malla de perforación.....	80
<b>Tabla 29</b>	Resumen de costos de voladura para el crucero San Miguel.....	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de corte quemado.....	28
<b>Figura 2</b>	Ubicación de la Unidad Minera Capitana .....	49
<b>Figura 3</b>	Tipo de arranque empírica .....	56



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b>	Diseño de la malla de perforación empírica.....	92
<b>ANEXO 2.</b>	Diseño de la malla de perforación optimizado.....	93
<b>ANEXO 3.</b>	Control de explosivos y avance lineal malla empírica.....	94
<b>ANEXO 4.</b>	Control de explosivos y avance lineal del rediseño de malla.....	95
<b>ANEXO 5.</b>	Datos para Prueba de Hipótesis.....	96
<b>ANEXO 6.</b>	Marcado de galería principal Crucero San miguel.....	97
<b>ANEXO 7.</b>	Perforación de frente galería Crucero San Miguel.....	98
<b>ANEXO 8.</b>	Galería esmeralda de la unidad minera capitana.....	99
<b>ANEXO 9.</b>	Declaración jurada de autenticidad de Tesis.....	100
<b>ANEXO 10.</b>	Autorización para el deposito de tesis en el Repositorio Institucional ...	101



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>A</b>	: Área
<b>Be</b>	: Burden equivalente
<b>B<sub>1</sub></b>	: Burden cuadrantes
<b>cm</b>	: Centímetro
<b>D</b>	: Diámetro
<b>DTH</b>	: Diámetro tiro hueco
<b>g</b>	: Gramos
<b>kg</b>	: Kilogramos
<b>m</b>	: Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metros cuadrados
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metros cúbicos
<b>mm</b>	: Milímetros
<b>msnm</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>P</b>	: Perímetro
<b>S/.</b>	: Soles
<b>SAC</b>	: Sociedad anónima cerrada
<b>t</b>	: Toneladas
<b>tal.</b>	: Taladros
<b>US\$</b>	: Dólares americanos
<b>V</b>	: Volumen
<b>W<sub>1</sub></b>	: Espaciamiento



## RESUMEN

La unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C. – Arequipa, desarrolló el crucero San Miguel de una sección de 2,60 m x 2,70 m. y una longitud de 285 metros lineales, al realizar la evaluación a partir del tramo inicial de 60 metros de avance, se encontró problemas de elevados costos de perforación y voladura en la labor. El objetivo de la investigación fue minimizar los costos de perforación y voladura en el desarrollo del crucero San Miguel de la Unidad Minera Capitana. Cuya metodología de investigación fue cuantitativa con diseño experimental y de tipo longitudinal. La investigación, consistió en evaluar los costos de perforación y voladura de la malla empírica del crucero. Posterior a ello, se rediseñó una malla de perforación aplicando teorías de voladura. Los resultados obtenidos con el rediseño de malla y el factor de carga explosiva estimada, los costos se minimizaron de 282,43 US\$/m a 258,31 US\$/m, obteniendo un beneficio de 24,12 US\$/m. Finalmente, se concluye que los costos de perforación y voladura se minimizaron en un 8,66 % en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

**Palabras clave:** Costos, explosivos, minimizar, perforación, rediseño, voladura.



## ABSTRACT

La unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C. – Arequipa, desarrolló el crucero San Miguel de una sección de 2,60 m x 2,70 m. y una longitud de 285 metros lineales, al realizar la evaluación a partir del tramo inicial de 60 metros de avance, se encontró problemas de elevados costos de perforación y voladura en la labor. El objetivo de la investigación fue minimizar los costos de perforación y voladura en el desarrollo del crucero San Miguel de la Unidad Minera Capitana. Cuya metodología de investigación fue cuantitativa con diseño experimental y de tipo longitudinal. La investigación, consistió en evaluar los costos de perforación y voladura de la malla empírica del crucero. Posterior a ello, se rediseñó una malla de perforación aplicando teorías de voladura. Los resultados obtenidos con el rediseño de malla y el factor de carga explosiva estimada, los costos se minimizaron de 282,43 US\$/m a 258,31 US\$/m, obteniendo un beneficio de 24,12 US\$/m. Finalmente, se concluye que los costos de perforación y voladura se minimizaron en un 8,66 % en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

**Keyword:** Costs, explosives, minimize, drilling, redesign, blasting.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En minería subterránea los costos generalmente son más costosas y riesgosas. Además, existen factores que afectan los costos de operación como son los equipos y maquinarias, métodos de explotación, planeamiento y diseño, mano de obra, materiales y entre ellos tenemos los costos de perforación y voladura en las operaciones mineras. Y es la razón que las empresas mineras vienen adoptando medidas para enfrentar los altos costos unitarios en sus operaciones mineras que a corto, mediano y largo plazo reflejen impactos importantes de reducción y/o minimización de costos.

En la Compañía Minera Caravelí S.A.C., en su unidad minera Capitana se viene realizando la explotación minera a través del método de Corte y Relleno Ascendente Convencional. Para el minado subterráneo previamente se realizan labores de desarrollo y preparación (Galerías, Piques, Chimeneas, Subniveles, Cruceros, etc.); cuyas magnitudes y diseños dependen de la ubicación del yacimiento. Uno de los ciclos típicos de minado subterráneo es la perforación y voladura, cuyo costo unitario es de 282,91 US\$/m. La Minera, desarrolló el crucero San Miguel de 2,60 m x 2,70 m de sección y una longitud de 285 metros, al realizar la evaluación a partir del tramo inicial de 60 metros de avance, se encontró mayor consumo de explosivos en un promedio de 17,92 kg y mayor número de taladros en la malla de perforación, un total de 34 taladros que son perforados a criterio y experiencia del perforista. Y es la razón que se encontró elevados costos tanto en perforación y voladura.



El presente trabajo de investigación busca minimizar los costos de perforación y voladura con un rediseño de malla y factor de carga explosiva en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana con la finalidad estandarizar los procesos en los ciclos de minado y cumplir con los objetivos y metas programadas al más bajo costo posible.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo se minimiza los costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.?

### **1.2.2. Problema específico**

¿Cómo se reduce el costo de perforación con el rediseño de malla en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.?

¿Cómo se minimiza de costo de voladura con el factor la carga explosiva determinada en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.?

## **1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Hipótesis general**

Con el rediseño de malla, y el factor de carga explosiva determinada, se minimiza los costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.





### **1.3.2. Hipótesis específica**

Mediante el rediseño de malla, se reduce el costo de perforación en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

Con el factor de carga explosiva determinada se minimiza el costo de voladura en el crucero San Miguel de la unidad minera capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

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

### **1.4.1. Objetivo general**

Minimizar los costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

### **1.4.2. Objetivo específico**

Reducir el costo de perforación con rediseño de malla en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

Minimizar el costo voladura con el factor de carga explosiva determinada en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

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

La unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C., extrae el yacimiento aurífero filoniano a través del método de Corte y Relleno Ascendente Convencional y como una labor de importancia desarrolló el crucero San Miguel de una longitud de 285 metros lineales y una sección de 2,60 m x 2,70 m, para interceptar a las



vetas Alicia y Esmeralda y preparar labores de producción para la minera, y al evaluar los costos a partir de una distancia de 60 metros se detectó elevados costos de perforación y voladura con un factor de carga de  $1,50 \text{ Kg/m}^3$ , para superar este problema se planteó como alternativa de rediseñar la malla de perforación aplicando teorías de voladura y reducir el factor de carga explosiva según las características del macizo rocoso del crucero San Miguel.

El presente estudio de investigación fue de mucha importancia para la Empresa Minera, porque permitió la explotación de la veta Alicia y Esmeralda, lo cual generó mejores resultados económicos al minimizar los costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel y también los resultados se utilizaron en otras labores subterráneas de la unidad minera Capitana.

La investigación se realizó con el propósito de aportar al conocimiento existente referente a la minimización de costos de perforación y voladura con rediseño de malla y factor de carga explosiva en una labor subterránea y para lo cual se requirió de conceptos y teorías utilizadas por diferentes autores del área de ingeniería de minas en donde se analizó los costos de perforación y voladura empírica, con la finalidad de reducir los costos, mediante el rediseño de una nueva malla de perforación y factor de carga explosiva coherente a las características del macizo rocoso, lo cual fue y es de mucha importancia para la ejecución de labores mineras subterráneas con una adecuada determinación de la malla de perforación y carga explosiva, lo cual generó mejores beneficios económicos para la Compañía Minera Caraveli S.A.C.

Asimismo, existió la necesidad de mejorar y reducir los costos de perforación y voladura, porque al realizar la evaluación de los costos, se encontró elevados costos en el proceso de perforación y voladura, debido a las deficiencias de la malla de



perforación con la experiencia del maestro perforista, el mismo que no se diseñó según las características del macizo rocoso, lo cual afectó al presupuesto de ejecución de la labor minera y generó pérdidas económicas a la unidad minera y como una alternativa de solución se planteó rediseñar la malla de perforación acorde a las características geomecánicas de la masa rocosa circundante al yacimiento mineral.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Anchapuri (2021) en su estudio de Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la Galería 819E - Mina Yanaquihua – Arequipa. El objetivo de la investigación fue reducir los costos de unitarios mediante la optimización de perforación y voladura. Finalmente concluye que en la ejecución del estudio de investigación se mejoró el diseño de la malla de perforación y se redujo la cantidad de taladros, en el frente de la Galería 819E, se redujeron los costos unitarios de perforación y voladura de US\$ 212,93/m a US\$ 166,67/m, logrando un beneficio de US\$ 46,26/m.

Ramírez y Sandoval (2020) el trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea. Metodología fue de tipo cuantitativa y aplicativo porque se realizó la optimización de la perforación y voladura con la finalidad de reducir los costos. Donde se diseñó una nueva malla de perforación con los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse. cuya conclusión fue que se determinó el número de taladros óptimos para la galería reduciendo de 46 a 37, y la carga explosiva se redujo de 21.58 kg/disparo a 17.95 kg/disparo, teniendo una reducción en los costos de 20%.

Mamani (2020) en su estudio de Optimización de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la Galería N12 de la Empresa Minera Sotrami S.A. – Ayacucho. El objetivo de la investigación fue optimizar los costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y



voladura. La metodología utilizada fue el rediseño de la malla de perforación y la determinación de la carga explosiva adecuada según las características de la roca encajonante. finalmente concluyó que, mediante el diseño de la nueva malla, y la carga explosiva determinada, el costo de perforación se minimizó de 158,54 US \$/m a 141,88 US \$/m, obteniendo un beneficio de 16,66 US\$/m, y el costo de voladura se redujo de 123,39 US \$/m a 97,73 US \$/m, con un beneficio de 25,66 US\$/m.

Larijo (2019) en su estudio de Minimización de costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del Crucero 627 de la Minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa. El objetivo fue minimizar los costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del Crucero 627 de la Minera Yanaquihua S.A.C. La metodología utilizada fue el diseño de la nueva malla de perforación y la carga explosiva necesaria según las características de la roca encajonante. Concluyó que, diseñando la nueva malla, y calculando la carga explosiva necesaria los costos de perforación y voladura se redujeron de 242,92 US\$/m a 215,83 US\$/m, con una diferencia de 27,09 US\$/m.

Ortiz (2019) en su estudio de Minimización de costos de perforación y voladura con rediseño de malla en la galería 435 NE de la Unidad Minera Las Águilas. El objetivo fue minimizar los costos de perforación y voladura con rediseño de malla y carga explosiva , para lo cual utilizó la metodología del rediseño de la malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva adecuada según las características de la masa rocosa en donde concluye que, con el rediseño de malla, el costo de perforación se minimizó de 150,74 US\$/m a 140,77 US\$/m, con un beneficio de 9,97 US\$/m, y el costo de voladura se minimizó de 102,47 US\$/m a 82,83 US\$/m, con un beneficio de 19,64 US\$/m.



Pino (2019) en su trabajo de Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa. El objetivo fue optimizar el avance lineal con nuevo diseño de malla, la metodología utilizada fue el diseño de una nueva malla de perforación y concluyó que, con el nuevo diseño de malla y la selección de la carga explosiva necesaria, el avance lineal se optimizó de 1,30 metros a 1,40 metros con un incremento de 0,10 metros por cada disparo realizado en la galería San Jorge de la Minera Aurífera.

Ccapa (2019) en su estudio de Reducción de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones unitarias en la minera Yslay de la Empresa Chungar S.A.C. – Cerro de Pasco. El objetivo fue reducir los costos de producción con la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la galería Esmeralda 360 NW de la Minera Yslay. La metodología utilizada fue el diseño de la nueva malla de perforación y la determinación de la carga explosiva. Finalmente, concluyó que, mediante el diseño de la nueva malla y la carga explosiva adecuada, el costo de perforación se redujo de 66,87 US\$/m a 61,04 US\$/m, con una diferencia de 5,84 US\$/m, y el costo de voladura se redujo de 64,28 US\$/m a 53,11 US\$/m, con una diferencia de 11,17 US\$/m en la Galería Esmeralda 360 NW de la minera Islay.

Quispe (2017) en su estudio de Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el frente del Crucero 340 NW de la Empresa Minera Yansur S.A.C. – Rinconada. El objetivo fue reducir los costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla y la metodología utilizada fue el nuevo diseño de la malla y el cálculo de la carga explosiva necesaria según las características de la roca y concluye que, diseñando una nueva malla y la determinación del factor de carga explosiva los costos de perforación y voladura se redujeron de 491,80 US\$/m a 464,82 US\$/m, con un beneficio de 26,98 US\$/m en el Crucero 340 NW.



Villasante (2016) en su investigación de Reducción de costos de explotación en las operaciones unitarias de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa. El objetivo fue reducir los costos de explotación en las operaciones unitarias de perforación y voladura en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. La metodología utilizada fue el diseño de la malla y la determinación de la carga explosiva necesaria según las características de la masa rocosa. Finalmente concluyó que, mediante el nuevo diseño de malla y la carga explosiva adecuada los costos de perforación y voladura se redujeron de 233,47 US\$/m a 201,46 US\$/m, con un beneficio de 32,01 US\$/m en la Galería Esperanza 570, de la minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.

Sancho (2015) en su estudio de Análisis de costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la Galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska-Ananea. El objetivo del estudio de investigación fue analizar los costos de perforación y voladura para optimizar el desarrollo de la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska. La metodología utilizada fue el diseño de la malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva requerida según las características de la masa rocosa. Concluye que, diseñando la nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se redujeron de 275,38 US\$/m a 239,37 US\$/m en la galería Anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska.

Tapia (2015) en su estudio de 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. El objetivo fue optimizar la producción y avance con un diseño adecuado de malla de perforación y voladura en la Rampa 650 de la Empresa Especializada IESA S.A. la metodología utilizada fue el diseño de la nueva malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva adecuada. Finalmente, concluye que, con



la nueva malla de perforación, los costos de perforación y voladura se redujeron de 10,25 US\$/Tm a 9,46 U\$/Tm.

Mamani (2015) en su estudio de Optimización de costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea. El objetivo fue optimizar los costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla y carga explosiva. La metodología utilizada fue el diseño de la malla y la determinación de la carga explosiva adecuada según las características del macizo rocoso.y finalmente concluyó que, con la aplicación del nuevo diseño de malla, los costos de perforación y voladura se redujeron de 9,88 US\$/Tm a 8,38 U\$/Tm.

Chipana (2015) en su estudio de investigación del Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería Progreso de la Contrata Minera Cavilques- Corporación Minera Ananea S.A. El objetivo fue reducir los costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla de perforación y la carga explosiva. La metodología que utilizó fue el diseño de la nueva malla y la determinación de la carga explosiva según las características del macizo rocoso y los costos de perforación se redujeron de 136,48 US \$/m a 124,25 US \$/m y los costos de voladura se redujeron de 126,46 US\$/m a 118,39 US\$/m en la galería Progreso de la Contrata Minera Cavilques – La Rinconada.

Chahuares (2012) en su estudio de Nuevo diseño de malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo Mina El Cofre - Puno. El objetivo fue determinar el nuevo diseño de malla para mejorar la perforación y voladura en la explotación y desarrollo de la Mina El Cofre. La metodología que utilizó fue el diseño de la nueva malla y el cálculo de la carga explosiva. Finalmente concluyó que con el nuevo diseño de malla de perforación se redujo de 41 taladros a 36 taladros,





y la profundidad del taladro fue de 1,45 metros y en la voladura el consumo de explosivos se redujo de 12,41 Kg/m a 7,94 Kg/m y los costos de explosivos se redujo de 39,92 US\$/m a 34,55 US\$/m.

Jáuregui (2009) en su estudio de Reducción de costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura. El objetivo fue reducir los costos operativos mediante la optimización de los estándares de las operaciones de perforación y voladura. Finalmente concluye que, a través de la optimización de los estándares de las operaciones de perforación y voladura, se logró la reducción del costo unitario total de mina en 1,51 US\$/Tm, lo cual fue una reducción del 7%. Lo cual representó una reducción de 1,359.000 US\$ al año en costos operativos de mina y la reducción de costo operativo en perforación fue de 0,37 \$/Tm, que significa el 21,76% de la reducción total, y en voladura fue de 0,28 \$/Tm, lo cual representó el 16,47% de la reducción total  $\geq 20\%$ .

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Perforación**

Para la fractura de roca se realiza dos operaciones básicas: la penetración y la fragmentación de la roca. La primera se realiza a través de un orificio o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos, con la finalidad de introducir explosivos dentro de los mismos u otros propósitos, lograr la apertura de un túnel, galería o pozo, para extraer un mineral de tamaño y forma específicamente deseado, la segunda busca aflojar y fragmentar grandes masas de material, convencionalmente mediante energía química e hidráulica (Contreras, 2009).



En el diseño de la voladura en la explotación es necesario desarrollar los conceptos de perforación de las rocas para comprender los mecanismos que se llevan a cabo. Hay varios sistemas de perforación de las rocas, los mismos que se clasifican de diferentes maneras en función de las características. Según los parámetros de los equipos de perforación, dimensión de los barrenos, sistemas de montaje del equipo de perforación y fuente de energía. Los sistemas de perforación que más se utilizan en la minería subterránea, están dentro del ataque mecánico, lo cual se basa en la utilización de energía mecánica a la roca a través de dos esquemas básicos, acción percusiva y la acción rotativa. También pueden ser combinando los dos métodos, tales como, la roto-percusión (López, 2005).

El principio de perforación depende del efecto mecánico de percusión o rotación donde sus efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca (EXSA, 2019). Los más utilizados se clasifican de la siguiente manera:

- Percusión. Son efectos de golpe y corte, generados como las de un cincel o martillo.
- Percusión-Rotación. Son productos de golpe, corte y giro.
- Rotación. Son productos de corte por fricción para material de dureza fuerte; la roca se desgasta sin ningún tipo de golpe.
- Fusión. Es a acusa donde se genera llama y funde la roca y el mineral que son muy duros; como son los yacimientos de hierro.



### 2.2.2. Trazos de perforación

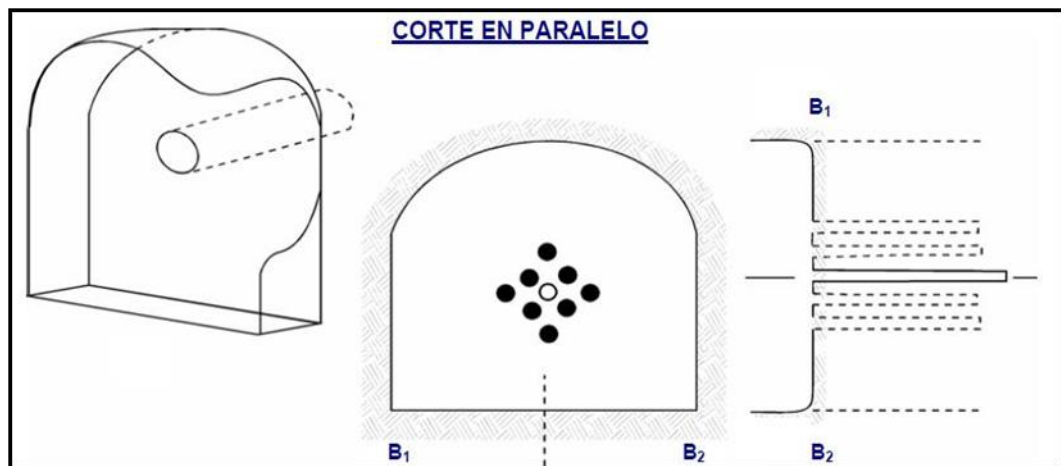
Es un conjunto de taladros que se perforan en un frente y que tienen una ubicación, dirección, inclinación y profundidad determinados. Lo cual presenta numerosas alternativas de acuerdo al tipo de roca, al equipo de perforación, al tamaño de la sección a disparar.

El trazo se hace con el objeto de:

- Distribuir los taladros
  - Determinar el orden de la salida de los taladros
  - Reducir los gastos de perforación y cantidad de explosivo.
  - Obtener un buen avance.
  - Mantener el tamaño o la sección de la labor uniforme.
- a. Corte quemado.** Este corte radica en perforar 3 o más taladros que deben ser paralelos, en lo posible cerca al uno del otro y al centro del frente; normalmente se utiliza para terrenos duros, dejando uno o algunos taladros vacíos con el fin de generar la cara libre. Las causas frecuentes de falla son:
- Carga explosiva insuficiente o dinamita de baja potencia.
  - Los taladros perforados muy lejos uno del otro o que no sean paralelos.
  - Espacio vacío insuficiente, o sea, cuando no se dejan suficientes huecos sin cargar, a fin de que la roca quebrada pueda expandirse

## Figura 1

### Esquema de corte quemado



Fuente: (EXSA, 2019)

De acuerdo a Camac, (2020) lo define las partes del trazo de la siguiente manera:

- b. Arranque o Corte.** Son taladros que se perforan en lo general en el centro de la sección, su función es aperturar o agregar el número de caras libres del frente; siendo fundamental para cada voladura, es así que el éxito de la voladura de los taladros del corte depende el éxito de la voladura del frente.
- c. Ayudas.** Son taladros que se utilizan para ampliar la cara libre formada por el corte, por lo general son taladros paralelos.
- d. Cuadradores.** Son taladros que se conforman para dar la forma lateral a la labor. el número de taladros depende del tipo de roca y de la sección de la labor.
- e. Alzas.** Son taladros distribuidos en la parte de la corona de la sección y los cuales son perforados ligeramente dirigidos hacia el techo, para mantener la sección.



- f. Arrastres.** Son taladros que van en el piso y tienen la finalidad de darle un acabado al piso de la labor, de acuerdo a la gradiente que se lleva.

### **2.2.3. Explosivos**

Son sustancias líquidas o sólidas o también puede ser una mezcla de sustancias combustibles y oxidantes), que se inician a través de un estímulo adecuado a una porción pequeña de la masa explosiva, y luego se convierten en un tiempo muy corto en sustancias totalmente gaseosas, con producción de calor, alta presión y alta temperatura. En el mercado hay una gran variedad de explosivos, los cuales, tienen una composición específica, con características y propiedades diferentes, los mismos que para su uso se hará una adecuada elección. El material explosivo, deriva la mayor cantidad de su fuerza destructiva de la rápida conversión de la sustancia en gases con alta temperatura que ocupan varias veces el volumen original y ejercer presión sobre sus alrededores, los cuales, se expanden rápidamente como ondas de choque suficientemente grandes para vencer fuerzas confinadas de la roca circundante (Cámac, 2020).

#### **a) Explosivos químicos.**

Son composiciones químicas de alta velocidad de detonación, estos explosivos se utilizan para la voladura de rocas en minería subterránea. Estos explosivos están conformados por componentes combustibles y oxidantes. Los explosivos usan el oxígeno como elemento oxidante. En los explosivos el nitrógeno es un componente que se encuentra en forma líquida o sólida, pero al reaccionar forma nitrógeno gaseoso. Al mezclar dos ingredientes, que puede ser el nitrato



de amonio y el diésel y al agregar a la mezcla el diésel en exceso, entonces la reacción explosiva posee el balance de oxígeno negativo, lo que indica que no hay suficiente oxígeno para combinar en totalidad el carbón con el hidrógeno y formar los productos finales deseados. El resultado final es que la reacción ocurrirá a una temperatura más baja. La presión del gas se reduce si la temperatura de la reacción disminuye (EXSA, 2019).

**b) Dinamita Famesa pulverulenta**

Esta dinamita se emplea en todo tipo de trabajos de voladura en minería subterránea, y obras civiles utilizándose con éxito en rocas suaves a intermedias donde por su baja velocidad de detonación y buena simpatía, es posible usar en voladuras controladas utilizando espaciadores para disminuir la concentración de carga (FAMESA, 2019).

**c) Dinamita Famesa semigelatina**

Son explosivos a base de nitroglicerina, sensibles al fulminante N° 8, presentan un alto poder rompedor y posee buena resistencia al agua. Se utiliza en todo tipo de trabajos de voladura en la minería subterránea, superficial y obras civiles, se utiliza con éxito en rocas de dureza intermedia a dura, proporciona mejores resultados en lo referente a la fragmentación. Puede utilizarse como iniciadores de columnas de nitrocarbonatos, en taladros de diámetros pequeños o intermedios (FAMESA, 2019).



#### **2.2.4. Propiedades de los explosivos.**

Cada uno de los explosivos tienen características específicas y propiedades, referente al proceso de detonación de un explosivo, así como las propiedades más importantes de los mismos y como son medidas. Según EXSA, (2019) se menciona las siguientes propiedades:

##### **a) Velocidad de detonación.**

Es la rapidez con la cual viaja la onda explosiva a través de una columna de explosivos, y constituye como una de las variables más importantes para calcular la presión de detonación de un explosivo. La velocidad de detonación, afectan muchos factores, de los cuales los más importantes son el diámetro, confinamiento, temperatura y el cebado. El confinamiento de un explosivo es muy importante porque aumenta la velocidad de detonación y reduce el diámetro crítico; según el tipo de explosivo.

##### **b) Densidad.**

Es una propiedad más importante de los explosivos que se debe considerar en el momento de realizar el diseño de una voladura; cuyo conocimiento es necesario para el cálculo de taladros de cualquier tamaño con el factor de carga óptimo y distribución de taladros. El aumento excesivo de la densidad de un explosivo puede ocasionar que este no detone esta medida de densidad se denomina normalmente como densidad crítica, y es muy común en los explosivos pulverulentos utilizados en huecos muy profundos o con la presión hidrostática es por



ello que a grandes profundidades con fines geofísicos o de exploración, se empleen explosivos en envases especiales.

**c) Sensibilidad.**

Es la propiedad que poseen los explosivos para expandir la reacción a lo largo de toda la carga explosiva y se mide al determinar el diámetro crítico del explosivo. Los compuestos explosivos poseen un diámetro crítico, varían según la dependencia del compuesto de 1 a 100 mm. La sensibilidad también se puede definir como la habilidad del explosivo para expandir la reacción del explosivo a explosivo, teniendo en cuenta que el diámetro es superior al crítico y se expresa como la distancia máxima de separación en centímetros entre un explosivo cebado (iniciador) y uno sin cebar (receptor), donde la transferencia de la detonación ocurrirá.

**d) Emanación de gases.**

La emanación de gases que es producto de la detonación de los explosivos y agentes de voladura, no son tóxicos en su mayoría, así tenemos el bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua; sin embargo, se generan también en menor cantidad, gases que son altamente tóxicos, así tenemos el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. La emanación de gases tóxicos en una reacción explosiva es una limitante para utilizar en la minería subterránea, cuya emanación puede causar envenenamiento para todo el personal que trabaja en labores subterráneas.





### e) **Inflamabilidad.**

Es la facilidad de un explosivo que puede encender por la acción del calor, chispa, y fuego; por lo que es importante para su almacenamiento, transportación y uso. Los explosivos comerciales pueden ser afectados en su desempeño si se almacenan bajo temperaturas extremas arriba de 32,2 grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), muchos compuestos se descomponen lentamente o cambian sus propiedades y la vida de anaquel disminuye.

#### 2.2.5. **Voladura**

Bernaola et al. (2013) menciona que “las voladuras en obras subterráneas tienen en común que las voladuras son mucho más confinadas que en voladuras a cielo abierto, ya que la cara libre de la misma es mucho menor y el movimiento y fragmentación de la roca se tiene que realizar de una forma mucho más restringida, lo que implica que el consumo específico de la misma sea más elevado que en voladuras a cielo abierto”. Asimismo, los autores introducen a la definición varios conceptos como son:

- Disposición de barrenos: ubicación de los barrenos en la voladura.
- Carga de explosivo: cantidad de agentes explosivos por barreno.
- Secuencia: orden de detonación de los barrenos
- Fragmentación: distribución de tamaños de la pila de roca volada.
- Desplazamiento: movimiento de la pila de roca volada.

Por otro lado, existen diferentes factores que pueden intervenir ya sea en forma directa o indirecta en una voladura de rocas que pueden ser mutuamente



dependientes o estar relacionados uno con el otro; algunos se pueden controlar y otros no son controlables así por ejemplo el diseño de perforación y la carga explosiva son variables controlables mientras la geología y las características de la roca. no se puede modificar o variar (Contreras, 2009).

Según la mecánica de rotura de rocas, la voladura es un proceso tridimensional, en donde la presión generada por los explosivos confinados dentro de los taladros perforados en la masa rocosa, origina la concentración de energía para producir dos efectos dinámicos, que son la fragmentación y el desplazamiento del material volado. La fragmentación se refiere al tamaño de los fragmentos generados por la explosión y los porcentajes por tamaños y el desplazamiento se refiere al movimiento de la roca triturada producto de la explosión (ISEE, 2008).

#### **2.2.6. Mecánica de fragmentación de la roca.**

Según EXSA, (2019) la fragmentación de rocas por voladura comprende lo siguiente:

##### **a) Proceso de fracturamiento**

La fragmentación de rocas mediante la voladura es un proceso que se realiza mediante la acción de una carga explosiva previamente depositada y confinada en los taladros perforados y su posterior explosión y la consecuente respuesta de la masa rocosa circundante que está involucrado de los factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros factores mediante rápido y complejo mecanismo de interacción.



## b) Descripción del proceso.

El volumen de los gases que se liberan y en su expansión penetran en las grietas iniciales que se amplían por acción de cuña y creando otras nuevas, con los cuales se producen la fragmentación efectiva de las rocas. Cuando la distancia entre el taladro y la cara libre son calculadas en forma correcta entonces la roca entre ambos puntos cederá, y los gases que sobran son desplazadas de forma rápida la masa del material triturado hacia adelante, hasta perder su fuerza por enfriamiento y por aumento de volumen de la actividad formada en la roca, en ese momento los fragmentos caen y se acumulan para formar la pila de escombros. En esta etapa se produce fragmentación adicional por el impacto de los trozos de roca en el aire. La reacción del explosivo dentro del taladro es rápida y su trabajo efectivo se considera completado cuando el volumen de la masa se ha expandido a 10 veces el volumen orinal lo que requiere aproximadamente 5 a 10 milisegundos El trabajo de fragmentación son eficientes en las rocas compactas y homogéneas que, en las naturalmente muy fisuradas, ya que en ellas los gases tenderán a escapar por las fisuradas disminuyendo su energía útil. Teóricamente la detonación tiene un efecto de expansión esférica pero como normalmente los explosivos se cargan en taladros o huecos cilíndricos, la detonación tiene expansión cilíndrica, como consecuencia de la dilatación del taladro en un entorno rígido, se crea un proceso de fisura miento radial, que da lugar a la formación de planos de rotura verticales concordantes con el eje del taladro.

La rotura de rocas requiere condiciones fundamentales como:



- **Confinamiento del explosivo en el taladro.** Para lograr el mejor acoplamiento con la pared interior que permita transferir la onda de choque a la roca. Explosivo suelto, presencia de vacíos o desacoplamiento disminuyen enormemente este efecto.
- **Cara libre.** Es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión reflejadas que provocan la fragmentación. Si la cara libre es inadecuada la voladura será deficiente y si no hay cara libre las ondas de compresión viajarán libremente sin reflejarse, difundiéndose a la distancia solo como ondas sísmicas.
- **Distancia del taladro a la cara libre.** Es la línea de menor resistencia, esta distancia se debe adecuar según el diámetro de taladro. Si la distancia es muy larga entonces la reflexión de ondas serán mínimas, y puede ser nula y la fragmentación se limita en el collar del taladro. Si las condiciones son adecuadas, el empuje de los gases sobre la masa de la roca en trituración provocará la formación de planos de rotura horizontales, a partir de la cara libre como resultado de los esfuerzos de tensión producidos cuando la roca llega a su límite de deformación elástica y a la deformación convexa de la cara libre, donde se forman grietas de plegamiento, de donde nacen los planos de rotura horizontales. Este proceso se denomina rotura flexural y el material triturado y proyectado se acumulará formando la pila de escombros, que se extiende al pie de la nueva cara libre, en una distancia mayor que el burden original, denominada desplazamiento, debiendo considerar que el volumen del material



roto es mayor que el que termina in situ, lo que se denomina esponjamiento. Este aspecto es importante para calcular el volumen de roca a transportar con los equipos de acarreo y se estima basándose en el factor de esponjamiento de los diferentes tipos de rocas y a las dimensiones del corte efectuado con la voladura.

- **Fisuramiento cilíndrico radial.** Una carga explosiva puntual, la relación Longitud/Diámetro debe ser máximo 6/1, es decir no debe ser mayor a 6 veces el equivalente del diámetro del taladro. Cabe mencionar, en las pruebas de voladura siempre se espera tener una fragmentación requerida, un buen rendimiento en los avances, por lo que se debe considerar tipo de explosivo a utilizar y conocer el macizo rocoso a volar.

### 2.2.7. Malla de perforación y voladura

Para el rediseño de la malla de perforación y voladura se ha trabajado con las teorías de voladura de R. Ash, P. Mosanto y R. Holmberg (López, 2013).

- **Longitud de perforación.** Se estima mediante el criterio de R. Holmberg.

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

Donde:

H = Longitud en (m)

DTH = Diámetro de perforación



Cabe mencionar que la longitud efectiva se estima mediante la multiplicación del porcentaje de disparo, que en nuestro caso es de 95% para fines de cálculo.

- **Numero de taladros.** De acuerdo a EXSA, (2019) “El número de taladros requerido para una voladura subterránea depende del tipo de roca a volar, del grado de confinamiento del frente, del grado de fragmentación que se desea obtener y del diámetro de las brocas de perforación disponibles; factores que individualmente pueden obligar a reducir o ampliar la malla de perforación y por consiguiente aumentar o disminuir el número de taladros calculados teóricamente. Influyen también la clase de explosivo y el método de iniciación a emplear”.

Se estima el número de taladros mediante la siguiente fórmula empírica:

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

Donde:

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

$$P = \sqrt{(A \times 4)}$$

dt = distancia entre los taladros de la circunferencia o periféricos que usualmente es de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Distancia entre taladros*

<b>Dureza de la Roca</b>	<b>Distancia entre Taladros (m)</b>
Tenaz	0.50 a 0.55
Intermedia	0.60 a 0.65
Fiable	0.70 a 0.75

Fuente: (EXSA, 2019)

c = coeficiente o factor de roca, usualmente de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Factor de la roca*

<b>Dureza de la Roca</b>	<b>Coeficiente de la Roca (m)</b>
Tenaz	2.0
Intermedia	1.5
Fiable	1.0

Fuente: (EXSA, 2019)

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

### 2.2.8. Cálculo y distribución de la carga explosiva

- **Columna explosiva**

Según López, (2003) “Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada longitud de carga donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca”. Asimismo, el autor menciona que 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada. De esta forma se utiliza cargas en el fondo, cargas en media



columna, cargas a columna completa o cargas segmentadas. La columna continua regularmente destinada para rocas débiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras tanto para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: La carga de fondo (CF) y la carga de columna (CC).

- **Carga de fondo.** Corresponde a la carga explosiva con una mayor densidad y potencia requerida en el fondo del taladro para arrancar la parte más confinada y garantizar la el rompimiento del piso. Así mantener la rasante, de formaciones de resaltos o lomos y también evitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones (López, 2003).

$$CF = 1,3 \times B.$$

Donde:

CF = Carga de fondo.

B = Burden.

Las unidades se expresan en kg/m o lb/pie de explosivo. Si se toma en consideración la resistencia de la roca y el diámetro de la carga, la longitud de la carga de fondo variará entre  $30 \varnothing$  para roca fácil a  $45 \varnothing$  para muy dura.

- **Carga de columna.** Se localiza encima de la carga de fondo y estos pueden ser de menor densidad, potencia o concentración. En otras palabras, el confinamiento de la roca en este en esta área del taladro es menor (López, 2003). La altura de la carga de columna se calcula por la siguiente expresión matemática.





$$CC = L - (CF + T)$$

Dónde:

CC = Carga de columna.

L = Longitud del taladro.

CF = Carga de fondo

T = Taco

- **Estimación de cargas.** Se expresa de la siguiente manera:

Volumen a romper por taladro = Malla por la longitud del taladro (López, 2003).

$$V = (B \times E \times L) \dots\dots \text{ por taladro.}$$

Donde:

V = Volumen a romper por taladro.

B = Burden.

E = Espaciamiento.

L = Longitud del taladro.

Por consiguiente, el Tonelaje será estimado: volumen por densidad de la roca o mineral.

- **Volumen de explosivo.** Expresado por el diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva o también por la sumatoria de las cargas segmentadas (López, 2003).

$$Ve = (\emptyset \times Ce)$$

Donde:

Ve = Volumen de explosivo.



$\emptyset$  = Diámetro del taladro.

Ce = Columna explosiva.

- **Factor de carga.** Se define como la relación del peso de explosivo utilizado por el volumen de material roto (López, 2003). Se expresa de la siguiente manera:

$$FC = (We/V)$$

Donde:

FC = Factor de carga.

We = Peso del explosivo

V = Volumen del material roto.

- **Tonelaje roto.** Expresado como el volumen del material roto por la densidad del material (López, 2003).

$$\text{Tonelaje roto} = (V \times p)$$

Donde:

V = Volumen del material roto

p = Densidad del material

- **Cálculo general para carga de taladro.** Se expresa de la siguiente manera:

$$0.34 \times \emptyset^2 \times pe$$

Dónde:

0,34: Factor.

$\emptyset$  = Diámetro del taladro, en pulgadas.

pe = Densidad del explosivo a usar en g/cm



- **Densidad de carga**

$$DC = 0.57 \times pe \times \emptyset^2 \times (L-T)$$

Dónde:

DC = Densidad de carga, en kg/tal.

0.57 = Factor.

$\emptyset$  = Diámetro del taladro

pe = Densidad del explosivo a usar.

L = Longitud de perforación.

T = Taco

### 2.2.9. Costos y gastos

- a) Costos de perforación y voladura.** Estos son los gastos directamente relacionados con la creación de perforaciones en el interior de la mina y la posterior voladura de roca para facilitar la extracción de minerales. Los costos de perforación y voladura pueden incluir los costos de mano de obra, costos de equipos, costos de materiales, costos de energía y costos de seguridad (Duran, 2014).
- b) Gastos de perforación y voladura:** Los gastos se refieren a los desembolsos realizados para llevar a cabo estas actividades en la mina subterránea. Los gastos pueden incluir todos los costos mencionados anteriormente, así como otros costos indirectos relacionados con la gestión y supervisión de las operaciones de perforación y voladura. También pueden incluir impuestos y otros cargos gubernamentales relacionados con la minería (Duran, 2014).

En el contexto de la perforación y voladura en minería



subterránea, es común distinguir entre costos directos e indirectos para tener un mejor control y comprensión de los gastos asociados a estas operaciones:

c) **Costos Directos.**

Según Duran, (2014) tenemos lo siguiente:

- **Mano de obra directa.** Estos son los salarios y beneficios de los trabajadores directamente involucrados en la perforación y voladura, como operadores de equipos de perforación, técnicos de voladura y personal de campo.
- **Equipos y materiales directos.** Incluyen los costos de adquisición, operación y mantenimiento de los equipos de perforación, los explosivos, barrenos, brocas y otros suministros específicos utilizados en las operaciones de perforación y voladura.
- **Energía directa.** Se refiere a los costos de electricidad, combustible u otras fuentes de energía necesarias para alimentar los equipos de perforación y voladura mientras están en funcionamiento.
- **Explosivos.** Los gastos directos asociados con la adquisición de explosivos específicos utilizados en las voladuras.
- **Seguridad directa.** Los costos relacionados con medidas de seguridad específicas para las operaciones de perforación y voladura, como la capacitación en seguridad, equipos de



protección personal y sistemas de monitoreo de seguridad.

#### d) **Costos Indirectos**

Según Duran, (2014) tenemos lo siguiente:

- **Gastos generales de la empresa:** Estos son los costos indirectos que no se pueden asignar directamente a una operación específica de perforación y voladura, como los costos administrativos, de gestión, contabilidad y otros gastos generales de la empresa.
- **Costos de supervisión:** Los gastos relacionados con la supervisión y gestión de las operaciones de perforación y voladura, incluyendo salarios y beneficios de supervisores y gerentes.
- **Costos de mantenimiento de instalaciones:** Los costos para mantener las instalaciones y talleres donde se almacenan y mantienen los equipos de perforación y voladura.
- **Costos de apoyo logístico:** Los gastos relacionados con la logística, como el transporte de explosivos y suministros, así como los costos de almacenamiento y manipulación de materiales.
- **Costos de seguros y regulaciones:** Los costos asociados con seguros, permisos y regulaciones gubernamentales relacionados con la seguridad y el medio ambiente en operaciones de minería.
- **Impuestos y cargos gubernamentales:** Los impuestos y tasas



que la empresa debe pagar al gobierno por sus operaciones de minería

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Perforación**

La perforación es la fuerza de impacto del barreno que al golpear a la roca produce un agujero para depositar la carga explosiva y posterior voladura de la roca insitu.

- **Malla de perforación**

Es la distribución de los taladros en el frente de una labor teniendo en cuenta el burden y espaciamiento con la finalidad de realizar la voladura para la fragmentación de la masa rocosa.

- **Explotación**

Son trabajos realizados en un yacimiento mineral para la extracción del mineral insitu y posterior concentración y comercialización del mineral. Para la explotación de un yacimiento mineral se requieren diferentes labores mineras que pueden ser horizontales o verticales.

- **Burden**

Es la distancia perpendicular medida desde el eje del taladro hacia el frente libre de la roca. Se denomina también como piedra o línea de menor resistencia a la cara libre.



- **Espaciamiento**

Es la distancia calculada entre los taladros cargados con explosivos de una fila y de una misma área de influencia que se distribuyen en una malla de perforación en el frente de una labor minera.

- **Explosivos**

Son sustancias químicas que poseen propiedades específicas y alto potencial de energía, que luego de iniciar la detonación mediante la acción de un iniciador produce una reacción de alta velocidad.

- **Factor de carga**

Es la cantidad de carga explosiva requerida para fragmentar el macizo rocoso, el mismo que se calcula en  $\text{kg/m}^3$ .

- **Voladura**

Es un proceso de reacción de la mezcla explosiva que luego de iniciar dicha carga explosiva produce la voladura de la roca insitu para su fragmentación.

- **Costos directos**

Se conoce también como costo variable, son los costos que se utilizan en una actividad minera en las operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares de una explotación minera, definiendo en los costos de personal de producción, materiales e insumos directos y equipos utilizados.



- **Costos indirectos**

Se conoce también como costo fijo, son gastos considerados independiente de la producción. Los costos indirectos varían en función del nivel de producción, pero no en forma directa con la producción obtenida.



## CAPÍTULO III

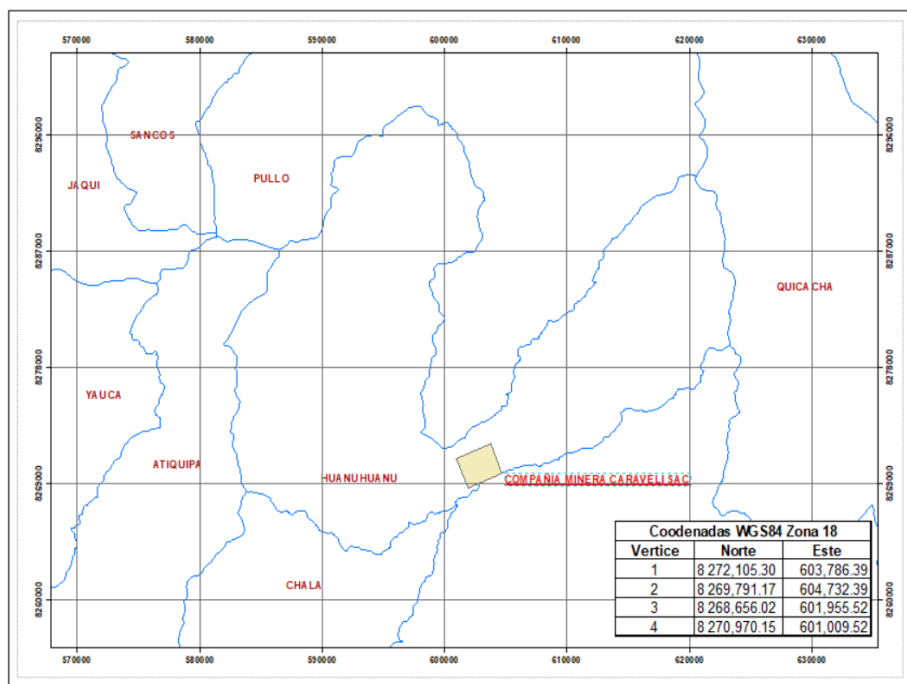
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La unidad minera Capitana de la CIA. Minera Caravelí S.A.C., políticamente está ubicada en el distrito de Huanuhuanu, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, a una altura aproximada de 2120 m.s.n.m. Ver figura 2.

**Figura 2**

*Ubicación de la Unidad Minera Capitana*



Los yacimientos mineros de la compañía, cuya explotación se remonta a la época prehispánica y colonial y sus concesiones mineras totalizan un área de 11.000 Has.

El acceso a la unidad minera se realiza desde la ciudad de Lima mediante el siguiente itinerario.

**Tabla 3**

*Accesibilidad a la Unidad Minera Capitana – Caravelí S.A.C. - Arequipa*

<b>Ruta</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Tiempo (Hr)</b>
Lima – Chala	607	Carretera asfaltada	07
Chala - Tocota	35	Carretera afirmada	01
Tocota – Mina Capitana	36	Carretera afirmada	01
<b>Total</b>			<b>09</b>

### **3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

Balestrini, (2006) menciona que “la metodología de investigación es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados”.

### **3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo experimental y nivel aplicativo, porque se manipuló la variable independiente al rediseñar la malla de perforación para minimizar los costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel. Al respecto Hernandez et al., (2014) indica que en los experimentos se manipulan los tratamientos o intervenciones para observar sus efectos sobre otras variables de una situación de control.

### **3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El trabajo de investigación de minimización de costos de perforación y voladura con rediseño de malla y factor de carga explosiva en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana se basa en lo general en el método científico y de forma más puntual es



el Cuantitativo-Experimental-Longitudinal. Por ejemplo Munch y Ángeles, (2009) mencionan que el método científico nos conducen al conocimiento nuevo mediante pasos sucesivos.

### 3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio de investigación, consistió en evaluar las operaciones de perforación y voladura del crucero San Miguel, en donde se verificó la malla de perforación, el número de taladros, burden, espaciamiento y la carga explosiva. Posterior a ello, se realizaron el rediseño de la malla de perforación según las características de la roca, número de taladros, la carga explosiva. Finalmente, con los resultados obtenidos se analizó los costos de perforación y voladura el antes y el actual en el desarrollo del crucero San Miguel.

Al respecto Balestrini, (2006) menciona que “el diseño de investigación es el plan o la estrategia global en el contexto del estudio propuesto, desde la recolección de datos hasta el análisis e interpretación de los mismos en función de los objetivos definido”. Esto quiere decir que, el trabajo de investigación se ha plasmado en la observación y recolocación de los datos directamente de la realidad objeto de estudio, en su ambiente cotidiano, para poder posteriormente analizar e interpretar los resultados de estas indagaciones, asimismo, es Longitudinal porque se recolectaron los datos en varios momentos. Además, la investigación se ha trabajado en dos etapas: Etapa de campo y etapa de gabinete.

### 3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

**La población** para el trabajo de investigación fue constituida por los cruceros San Miguel y San Ramón desarrollados en roca semidura con una densidad promedio de  $2,65 \text{ Tm/m}^3$  en la unidad minera Capitana. Según Hernández et al., (2014) la población

o universo es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

**La muestra** considerada para el estudio de investigación fue el crucero San Miguel con una sección 2,60 x 2,70 m. y una distancia de 285 metros, desarrollado en roca semidura con una densidad promedio de 2,65 Tm/m<sup>3</sup>, en la unidad minera Capitana. Al respecto Hernández et al., (2014) define que la muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características que se llama población.

### 3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **Variable dependiente.** Rediseño de malla de perforación y el factor de carga explosiva en el crucero San Miguel.
- **Variable independiente.** Costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel.

**Tabla 4**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Variable independiente:	Taladros perforados	N°
Rediseño de la malla y el factor de carga explosiva en el crucero San Miguel.	Burden	Metro
	Espaciamiento	Metro
	Factor de carga	Kg/m <sup>3</sup>
	Sección de labor	m <sup>2</sup>
	Tipo de roca	Mpa



<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Variable dependiente:	Costo de mano de obra	\$/m
Costos de perforación y voladura en el crucero San Miguel.	Costo de equipos	\$/m
	Costo de broca	\$/m
	Costo de barra	\$/m
	Costo de voladura	\$/m
	-Costo de explosivo	\$/m
	-Costo de accesorios	\$/m

### 3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### a. Técnicas

- **Etapa de campo**

Las técnicas para la recolección de datos del frente de trabajo han sido:

- Libreta de campo
- Fotografías.
- Reporte de guardia
- Número de taladros por disparo
- Cantidad de explosivo por disparo

- **Etapa de gabinete**

Se ha plasmado el trabajo de investigación tomando en cuenta las diferentes fuentes como son las tesis, libros, informes y reportes de la empresa.



## **b. Materiales, instrumentos y equipos**

- Dinamita (Semexsa 65)
- Mecha lenta
- Fulminante N°8
- Broca 36 mm
- Flexómetro
- Pintura
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Fichas de observación
- Planos
- Calculadora
- Brújula
- Martillo de geólogo

### **3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

En la presente investigación para el procesamiento de los datos se utilizó el software Excel y AutoCAD, por lo que, los datos fueron procesados, evaluado y analizados los costos de perforación y voladura para el rediseño de la malla del cruceo San Miguel en la unidad minera Capitana de Compañía Minera Caraveli S.A.C.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. REDUCIR EL COSTO DE PERFORACIÓN CON REDISEÑO DE MALLA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA DE LA CIA. MINERA CARAVELÍ S.A.C.**

Para el diseño de la malla de perforación se consideró los siguientes factores:

- El tipo de trazo o arranque
- La distribución de los taladros perforados
- El número de los taladros
- Longitud de los taladros perforados
- Tipo de roca
- Área de sección del crucero.

El crucero San Miguel, se desarrolló con una sección de 2,60 m x 2,70 m y una longitud de 285 metros lineales.

##### **4.1.1. Diseño de malla de perforación empírica en el crucero San Miguel**

La malla empírica ha sido desarrollada sin ninguna evaluación y diseño, por ejemplo, no se consideró las características geomecánicas de la masa rocosa, diagrama de perforación, malla de perforación utilizando algún modelo matemático, etc. La distribución de los taladros en el frente del crucero San Miguel se desarrollaba solo con la experiencia del maestro perforista. En la tabla 5 se puede observar el numero de taladros y son 41 taladros.

**Tabla 5**

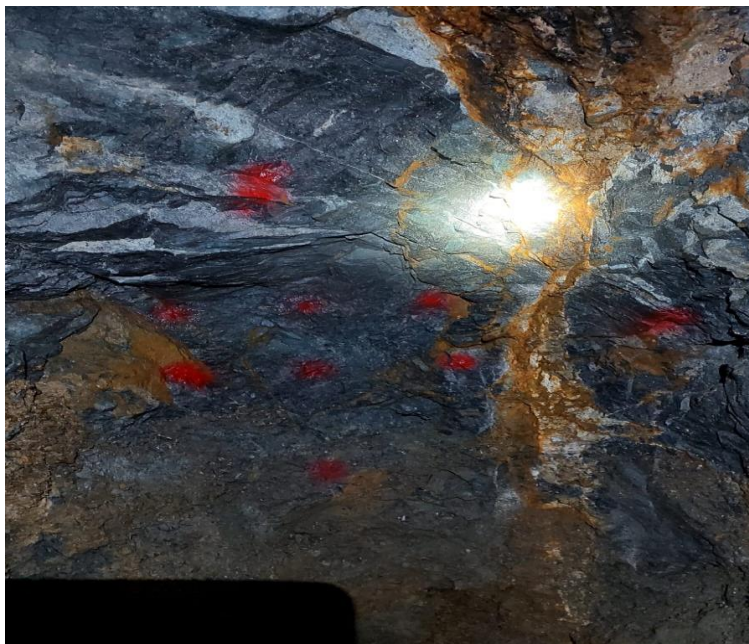
*Taladros de la malla empírica en el crucero San Miguel.*

<b>Nomenclatura de taladros</b>	<b>N° de taladros</b>
Alivio	3
Arranque	4
Ayuda arranque	4
Cuadradores	8
Ayuda cuadradores	4
Alzas	5
Ayuda alzas	4
Arrastre	5
Ayuda arrastre	4
<b>Total</b>	<b>41</b>

La figura 3 muestra un tipo de arranque de 6 taladros donde podemos visualizar el burden y espaciamiento a criterio del perforista en el frente de crucero San Miguel.

**Figura 3**

*Tipo de arranque empírica*





#### 4.1.2. Costos de perforación de la malla empírica

**Tabla 6**

*Costos de mano de obra*

	<b>Jornal</b>	<b>N°</b>				
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>S/.</b>	<b>Personal</b>	<b>Incidencia</b>	<b>BB.SS.</b>	<b>S/. tarea</b>	<b>S/. m</b>
Perforista	80	1	1,00	103,21%	162,57	
Ayudante Perforista	70	1	1,00	103,21%	142,25	
Bodeguero	65	1	0,10	103,21%	13,21	
<b>Sub total</b>			<b>2,10</b>		<b>318,03</b>	<b>244,64</b>
<b>Supervisión</b>	<b>Sueldo S/.</b>					
Ing. Residente	6,500	1	0,06	103,21%	21,39	
Ing. de Seguridad	5,200	1	0,06	103,21%	17,11	
Ing. Jefe de Guardia	4,000	1	0,11	103,21%	24,13	
Capataz	2,400	1	0,11	103,21%	14,48	
<b>Sub total</b>			<b>0,34</b>		<b>77,11</b>	<b>59,32</b>
<b>Costo total *</b>						<b>81,71</b>

\*Tipo de cambio 1US\$= 3,72.

En la Tabla 6, se indica los costos de mano obra directa requeridos en la perforación empírica, cuyo costo calculado fue de 81,71 US\$/m.

**Tabla 7**

*Costos con máquina perforadora*

<b>Equipo</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Pies</b>	<b>S/.x und</b>	<b>Costo</b>
	<b>Pies/perforados</b>	<b>perforados</b>		<b>US \$/m</b>
Máquina Perforadora	75 000	192,25	0,4092	<b>16,26</b>

En la Tabla 7, se ha considerado el costo de perforación con la máquina perforadora tipo Jack Leg, cuyo costo fue de 16,26 US\$/m.

**Tabla 8***Costos de aceros de perforación*

<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo US \$/unidad</b>	<b>Vida útil pp</b>	<b>Pies Perforado</b>	<b>S/.x und</b>	<b>Costo US \$/m</b>
Barra cónica 5'	1	134	750	48,06	1,05	10,51
Barra cónica 4'	1	102	750	96,06	0,97	19,24
Broca de 39 mm	1	24	250	48,036	1,22	12,19
Broca de 38mm	1	25	250	48,06	1,20	11,05
<b>Costo total</b>						<b>52,99</b>

En la Tabla 8, se especifica los costos de los aceros de perforación requeridos, y dichos costos ascienden a 52,99 US\$/m.

**Tabla 9***Costos de accesorios de perforación*

<b>Mangueras y accesorios</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>S/. unid.</b>	<b>S/. tarea</b>	<b>S/.m</b>	<b>Costo US \$/m</b>
Manguera de ½ pulgada	m	35	0,18	6,61	5,09	1,36
Manguera de 1 pulgada	m	35	0,14	4,93	3,80	1,02
Aceite de perforación	gln	01	35,71	8,93	6,87	1,84
<b>Costo total</b>						<b>4,24</b>

En la Tabla 9, se especifica los costos de los accesorios de perforación requeridos, dicho costo fue de 4,24 US\$/m.

**Tabla 10***Costos de herramientas y otros materiales*

Descripción	Unidad	Vida útil/día	Costo US\$	US\$/día	US\$/m
Atacador de madera	pza	30	1,40	0,05	0,034
Punzón de cobre	pza	180	8,50	0,05	0,035
Barretilla de 4'	pza	120	21,53	0,18	0,132
Barretilla de 6'	pza	120	26,56	0,22	0,163
Barretilla de aluminio 8'	pza	120	41,25	0,34	0,253
Combo de 8 lb	pza	120	12,44	0,10	0,076
Combo de 6 lb	pza	120	8,27	0,07	0,051
Cucharilla	pza	60	6,00	0,10	0,074
Escantillón	pza	180	20,00	0,11	0,082
Lampa Minera	pza	60	9,73	0,16	0,119
Llave francesa de 14"	pza	180	25,00	0,14	0,102
Llave Stilson de 14"	pza	180	18,40	0,10	0,075
Pico Minero	pza	60	8,50	0,14	0,104
Saca Barreno	pza	60	13,70	0,23	0,168
Pintura para marcado de frentes	Gln	30	10,11	0,34	0,248
Nivel Stanley	pza	90	4,46	0,05	0,036
Alambre negro n° 16	kg	10	1,05	0,10	0,077
Plataforma de perforación	pza	270	120	0,44	0,327
<b>Total</b>					<b>2,174</b>

En la Tabla 10, se detalla los costos de herramientas requeridas en la perforación empírica, cuyo costo calculado fue de 3,506 US\$/m.

**Tabla 11***Costos de implementos de seguridad*

Descripción	Unidad	Cantidad	S/. und	S/. tarea	S/. m	US\$/m
Ropa de jebe	jgo,	2,00	0,97	1,94	1,49	0,40
Guantes de neoprene	par	2,72	2,78	7,55	5,81	1,56
Botas de jebe	par	2,72	0,37	1,00	0,77	0,21
Mameluco	pza	2,72	0,49	1,34	1,03	0,28
Casco de seguridad	pza	2,72	0,12	0,32	0,24	0,06
Correa de porta lámpara	pza	2,72	0,09	0,24	0,18	0,05
Respirador contra polvo- 3M	pza	2,72	0,27	0,74	0,57	0,15
Filtro contra polvo-3M	par	2,72	1,49	4,05	3,11	0,84
Tapón Auditivo	pza	2,72	0,11	0,31	0,24	0,06
Anteojos de Seguridad	pza	2,72	0,08	0,22	0,17	0,05
Barbiquejo	pza	2,72	0,17	0,45	0,35	0,09
Lampara de bateria	pza	2,53	1,84	4,65	3,57	0,96
Cargador de lampara	pza	2,53	0,58	1,47	1,13	0,30
<b>Total</b>						<b>5,02</b>

En la Tabla 11, se especifica los costos de los implementos de seguridad necesarios para el personal de la mano obra directa, dicho costo fue de 5,02 US\$/m,

Costo total = Sumatoria de costos parciales calculados

Costo total = 81,71 + 16,26 + 52,99 + 4,24 + 2,174 + 5,02

Costo total de perforación anterior = **162,39 US\$/m**

#### 4.1.3. Rediseño de la malla de perforación del crucero San Miguel

Para el rediseño de la malla de perforación en el frente de avance del crucero San Miguel se consideró los siguientes factores:

**Tabla 12***Parámetros para el rediseño de la malla de perforación*

<b>Parámetros de campo</b>	
Tipo de roca	III regular
RMR	60
Densidad de roca	2,65 t/m <sup>3</sup>
Sección del crucero	2,60 m x 2,70 m
Diámetro broca taladros con carga	38 mm
Diámetro broca taladros de alivio	38 mm
Eficiencia de perforación	95%
Longitud del barreno	5 pies

En la tabla 12 se observa los parámetros que se consideraron para los cálculos respectivos, Los datos del RMR, densidad y tipo de roca fueron proporcionados por el área de geología y geotecnia de la unidad minera Capitana,

**a) Cálculo del número de taladros**

El número de taladros se calculó de acuerdo a la fórmula empírica de EXSA,

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

**Tabla 13***Cálculo de taladros según tipo de roca*

<b>Dureza de roca</b>			<b>Dura</b>	<b>Intermedia</b>	<b>Suave</b>
<b>Área (S)</b>	<b>7,02</b>	<b>dt</b>	0,50	0,60	0,70
<b>Factor</b>	<b>4</b>	<b>C</b>	2,0	1,5	1,0
<b>P</b>	<b>10,60</b>	<b>N° TAL</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>21</b>



De la tabla 13 deducimos que el área de la labor del crucero San Miguel es de  $7,02\text{m}^2$  con un perímetro de 10,60 m, Asimismo, se ha considera como un tipo de roca intermedia debido que nuestros datos son de un RMR de 66 y tipo II, Por lo tanto, tenemos una constante 0,50 y un factor de 2, finalmente, se ha calculado 36 taladros + 2 taladros considerados de alivio, Entonces en el crucero San Miguel se tiene 38 taladros en total,

### b) Cálculo avance por disparo

Se calcula según el diámetro de la broca y la longitud del barreno, Para dicho calculo utilizamos la siguiente ecuación (R, Holmberg):

$$L = 0,15 + 34,12 \times DTH - 39,4 \times DTH^2$$

Donde:

$$DTH = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

En la presenta investigación se ha plasmado 2 taladros de alivio, por ende, procedemos a calcular un diámetro equivalente:

$$DTH_{eq} = DTH \times \sqrt{n}$$

$$DTH_{eq} = 0,038 \times \sqrt{2}$$

$$DTH_{eq} = 0,053 \text{ m}$$

$$\text{Entonces: } L = 0,15 + 34,12(0,053) - 39,4(0,053)^2$$

$$L = 1,39 \text{ m}$$

Calculando la longitud de avance por disparo:

$$L = \text{Longitud del barreno} \times \text{Eficiencia de perforación}$$

$$L = 1,52 \times 0,95$$

$$L = 1,44 \text{ m}$$



Por otro lado, tenemos:

$$L_{max} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times D$$

Donde:

d: 38mm

D: densidad del explosivo (Semexsa 65%)

$$L_{max} = \frac{\pi \cdot (0.038m)^2}{4} \times 1112 \frac{kg}{m^3}$$

$$L_{max} = 1,26 \text{ kg/m}$$

Observando que H es menor que L, deducimos que la broca de 38mm cumple con lo planificado y requerido para la malla de perforación,

### c) Cálculo diseño de arranque y cuadrantes

Cálculo del burden máximo equivalente:

$$B_1 = 1,7 \times (DTH_{eq})$$

$$B_1 = 1,7 \times (0,053m)$$

$$B_1 = 0,099 \text{ m}$$

Cálculo del espaciamiento máximo equivalente:

$$W_1 = B_1 \times \sqrt{2}$$

$$W_1 = 0,099 \text{ m} \times \sqrt{2}$$

$$W_1 = 0,139 \text{ m}$$

Segundo cuadrante:

$$B_2 = \frac{\sqrt{2} \times B_1 + 2W_1}{2}$$

$$B_2 = 0,19 \text{ m}$$

$$W_2 = \sqrt{2} \times B_2 \times 1,5$$



$$W_2 = 0,41 \text{ m}$$

Tercer cuadrante:

$$B_3 = 0,7 \times W_2$$

$$B_3 = 0,29 \text{ m}$$

$$W_3 = (B_3 + 0,5 \times W_2) \times \sqrt{2}$$

$$W_3 = 0,70 \text{ m}$$

**d) Cálculo de las cajas, corona, zapatera y auxiliares**

$$E_{\max} = (K/50) \times D \sqrt{PD/RT}$$

Donde:

K: Factor de tronabilidad

- Rx difícil: 0,7
- Rx normal: 0,8
- Rx Facil: 1,0

D: diámetro de carga (cms)

PD: Presión de detonación del explosivo (Kg/cm<sup>2</sup>)

RT: Resistencia tensional mínima de la roca (Kg/cm<sup>2</sup>)

Cálculo del número de taladros Piso con un factor de corrección del E<sub>max</sub> de 0,70, Se ha utilizado explosivo Semexsa de 65%,

$$PD = 2,5 \times 10^{-6} \times (\text{Densidad de Explosivo Semexsa 65\%}) \times (\text{VOD})^2$$

$$PD = 2,5 \times 10^{-6} \times (1,12) \times (4200)^2$$

$$PD = 50,330 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{\max} = (1/50) \times 3,8 \sqrt{50330/128,9}$$

$$E_{\max} = 1,50 \text{ m}$$





$$E \text{ corregido} = E_{\max} \times \text{Factor de corrección}$$

$$E \text{ corregido} = 1,50 \times 0,70 = 1,1 \text{ m}$$

El número de espaciamiento es: Ancho de la labor / E corregido

$$N^{\circ} \text{ de espacios} = 2,60 \text{ m} / 1,1 \text{ m} = 2,36 = 3 \text{ espacios}$$

Por ende, en 3 espacios tenemos 4 taladros,

$$W_p = \text{Ancho de labor} / N^{\circ} \text{ de espacios}$$

$$W_p = 2,60 \text{ m} / 3 = 0,86 \text{ m}$$

$$B_p = 0,86 / 1,15 = 0,74 \text{ m}$$

Cálculo del número de taladros Caja con un factor de corrección

del E<sub>max</sub> de 0,80, Se ha utilizado explosivo Semexsa de 65%,

$$E_{\max} = (1/50) \times 3,8 \sqrt{50330/128,9}$$

$$E_{\max} = 1,50 \text{ m}$$

$$E \text{ corregido} = E_{\max} \times \text{Factor de corrección}$$

$$E \text{ corregido} = 1,50 \times 0,80 = 1,2 \text{ m}$$

El número de espaciamiento es: (Altura caja - B<sub>p</sub>) / E corregido

$$N^{\circ} \text{ de espacios} = (2,1 \text{ m} - 0,74) / 1,2 \text{ m} = 1,13 = 2 \text{ espacios}$$

Por ende, en 2 espacios tenemos 3 taladros,

$$W_h = (\text{Altura de caja} - B_p) / N^{\circ} \text{ de espacios}$$

$$W_h = 1,36 \text{ m} / 3 = 0,68 \text{ m}$$

$$B_h = 0,68 / 1,15 = 0,59 \text{ m}$$

Cálculo del número de taladros corona con un factor de corrección del E<sub>max</sub> de 0,80, Se ha utilizado explosivo Semexsa de 65%,

$$E \text{ corregido} = 1,50 \times 0,80 = 1,2 \text{ m}$$

$$N^{\circ} \text{ de espacios} = \text{Longitud arco} / E \text{ corregido}$$



$N^{\circ}$  de espacios =  $2,95 / 1,2 = 2,45$  espacios = 3 espacios = 4 taladros

Por ende, en 3 espacios tenemos 4 taladros,

$$W_t = \text{Longitud arco} / N^{\circ} \text{ espacios}$$

$$W_t = 2,95 / 4 = 0,73 \text{ m}$$

$$B_t = W_t / 1,15$$

$$B_t = 0,64 \text{ m}$$

Cálculo del número de taladros auxiliares con un factor de corrección del Emax de 0,80, Se ha utilizado explosivo Semexsa de 65%,

$$\text{Espacio Disponible} = \text{Ancho Labor} - (\text{ancho cuele} + 2B_{\text{caja}})$$

$$\text{Espacio Disponible} = 2,6 - (0,58 + 2 * 0,59)$$

$$\text{Espacio Disponible} = 0,84 \text{ m}$$

$$E \text{ corregido} = 1,50 \times 0,80 = 1,2 \text{ m}$$

$$N^{\circ} \text{ de espacios} = \text{Altura caja} - B_p / E \text{ corregido}$$

$$N^{\circ} \text{ de espacios} = (2,10 - 0,74) / 1,2 = 1,55 \text{ espacios} = 2 \text{ espacios} = 3 \text{ taladros}$$

Por ende, en 2 espacios tenemos 3 taladros,

$$W_{\text{aux}} = 1,86 \text{ m} / 3$$

$$W_{\text{aux}} = 0,62 \text{ m}$$

$$B_{\text{aux}} = 0,62 \text{ m} / 1,15$$

$$B_{\text{aux}} = 0,54 \text{ m}$$

En resumen, tenemos un total de 36 taladros cargados y 2 de alivio en el crucero San Miguel de sección 2,6 m x 2,7 m,

- Taladros de alivio = 2
- Taladros de arranque y cuadrantes = 12



- Taladros de piso = 4
- Taladros en la caja = 6
- Taladros en la corona = 3
- Taladros Auxiliares en cajas = 6
- Taladros de relleno = 5

#### 4.1.4. Costos de perforación de la nueva malla en el crucero San Miguel

Con el rediseño de la malla, se minimizó los costos de perforación en la ejecución del crucero San Miguel de la unidad minera Capitana,

**Tabla 14**

*Costos de mano de obra con rediseño de malla*

Mano de obra	Jornal	N°	Incidencia	BB,SS,	S/, tarea	S/, m
	S/,	Personal				
Perforista	80	1	1,00	103,21%	162,57	
Ayudante Perforista	75	1	1,00	103,21%	142,25	
Bodeguero	65	1	0,10	103,21%	13,21	
<b>Sub total</b>			<b>2,10</b>		<b>318,03</b>	<b>220,85</b>
<b>Supervisión</b>	Sueldo S/,					
Ing, Residente	6,500	1	0,06	103,21%	21,39	
Ing, de Seguridad	5,200	1	0,06	103,21%	17,11	
Ing, Jefe de Guardia	4,000	1	0,11	103,21%	24,13	
Capataz	2,400	1	0,11	103,21%	14,48	
<b>Sub total</b>			<b>0,34</b>		<b>77,11</b>	<b>53,55</b>
<b>Costo total *</b>					<b>US\$/m</b>	<b>73,76</b>

\*Tipo de cambio 1US\$= 3,72,

En la Tabla 14, se indica los costos de mano obra directa requeridos en el rediseño de la malla de perforación, cuyo costo calculado fue de 73,76 US\$/m,



**Tabla 15**

*Costos con máquina perforadora*

<b>Equipo</b>	<b>Vida útil Pies/perforados</b>	<b>Pies perforados</b>	<b>S/,x und</b>	<b>Costo US \$/m</b>
Máquina Perforadora	75 000	192,12	0,409	<b>14,67</b>

En la Tabla 15, se ha considerado el costo de perforación con la máquina perforadora tipo Jack Leg, cuyo costo fue de 14,67 US\$/m,

**Tabla 16**

*Costos de aceros de perforación*

<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo US \$/unidad</b>	<b>Vida útil pp</b>	<b>Pies Perforado</b>	<b>S/,x und</b>	<b>Costo US \$/m</b>
Barra cónica 5'	1	134	750	48,03	1,05	17,52
Barra cónica 4'	1	102	750	96,06	0,97	9,48
Broca de 39 mm	1	24	250	48,03	1,22	11,02
Broca de 38mm	1	25	250	48,03	1,20	10,05
<b>Costo total</b>						<b>48,06</b>

En la Tabla 16, se especifica los costos de los aceros de perforación requeridos, y dichos costos ascienden a 48,06 US\$/m,



**Tabla 17**

*Costos de accesorios de perforación*

<b>Mangueras y accesorios</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>S/, unidad,</b>	<b>S/, tarea</b>	<b>S/,m</b>	<b>Costo US \$/m</b>
Manguera de ½ pulgada	m	35	0,18	6,61	4,59	0,92
Manguera de 1 pulgada	m	35	0,14	4,93	3,43	1,23
Aceite de perforación	gln	01	35,71	8,93	6,20	1,66
<b>Costo total</b>						<b>3,82</b>

En la Tabla 17, se especifica los costos de los accesorios de perforación requeridos, dicho costo fue de 3,82US\$/m,

**Tabla 18**

*Costos de herramientas y otros materiales*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Vida útil/día</b>	<b>Costo US\$</b>	<b>US\$/día</b>	<b>US\$/m</b>
Atacador de madera	pza	30	1,40	0,05	0,032
Punzón de cobre	pza	180	8,50	0,05	0,033
Barretilla de 4'	pza	120	21,53	0,18	0,125
Barretilla de 6'	pza	120	26,56	0,22	0,154
Barretilla de aluminio 8'	pza	120	41,25	0,34	0,239
Combo de 8 lb	pza	120	12,44	0,10	0,072
Combo de 6 lb	pza	120	8,27	0,07	0,048
Cucharilla	pza	60	6,00	0,10	0,069
Escantillón	pza	180	20,00	0,11	0,077
Lampa Minera	pza	60	9,73	0,16	0,113
Llave francesa de 14"	pza	180	25,00	0,14	0,096
Llave Stilson de 14"	pza	180	18,40	0,10	0,071
Pico Minero	pza	60	8,50	0,14	0,098



Descripción	Unidad	Vida útil/día	Costo US\$	US\$/día	US\$/m
Saca Barreno	pza	60	13,70	0,23	0,159
Pintura para marcado de frentes	Gln	30	10,11	0,34	0,234
Alambre negro nº 16	kg	10	1,05	0,10	0,073
Plataforma de perforación	pza	270	120	0,44	0,390
<b>Total</b>					<b>2,08</b>

En la Tabla 18, se detalla los costos de herramientas requeridas en la perforación del rediseño de malla, cuyo costo calculado fue de 2,08 US\$/m,

**Tabla 19**

*Costos de implementos de seguridad*

Descripción	Unidad	Cantidad	S/, und	S/, tarea	S/, m	US\$/m
Ropa de jebe	jgo,	2,00	0,97	1,94	1,35	0,36
Guantes de neoprene	par	2,72	2,78	7,55	5,24	1,41
Botas de jebe	par	2,72	0,37	1,00	0,70	0,19
Mameluco	pza	2,72	0,49	1,34	0,93	0,25
Casco de seguridad	pza	2,72	0,12	0,32	0,22	0,06
Correa de porta lámpara	pza	2,72	0,09	0,24	0,16	0,04
Respirador contra polvo-3M	pza	2,72	0,27	0,74	0,51	0,14
Filtro contra polvo-3M	par	2,72	1,49	4,05	2,81	0,76
Tapón Auditivo	pza	2,72	0,11	0,31	0,22	0,06
Anteojos de Seguridad	pza	2,72	0,08	0,22	0,16	0,04
Barbiquejo	pza	2,72	0,17	0,45	0,31	0,08
Lampara de bateria	pza	2,53	1,84	4,65	3,23	0,87
Cargador de lampara	pza	2,53	0,58	1,47	1,02	0,27
<b>Total</b>						<b>4,53</b>



En la Tabla 19, se especifica los costos de los implementos de seguridad necesarios para el personal de la mano obra directa, dicho costo fue de 4,53 US\$/m,

**Costo total = Sumatoria de costos parciales calculados**

**Costo total = 73,76 + 14,67 + 48,06 + 3,82 + 2,08 + 4,53**

**Costo total de la malla de perforación empírica = 148,67 US\$/m**

**Tabla 20**

*Resumen de los Resultados de perforación*

<b>Descripción</b>	<b>Malla empírica</b>	<b>Rediseño de la malla</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Unidad medida</b>
Taladros perforados	41	38	3	Taladros
Taladros cargados	38	36	2	Taladros
Avance lineal/disparo	1,36	1,44	0,08	Metros
Longitud total perforado	58,61	55,53	3,08	Metros

En la Tabla 20, se muestra los resultados de perforación de la malla empírica y del rediseño de malla para el cruce San Miguel con sección de labor 2,6 m x 2,7 m; teniendo una reducción de 3 taladros perforados, esto indica que se una optimización de 3,08 metros perforados.

**Tabla 21**

*Resumen de costos de perforación*

<b>Costo de perforación</b>	<b>Malla empírica US\$/m</b>	<b>Rediseño de la malla US\$/m</b>	<b>Diferencia US\$/m</b>
Mano de obra	81,71	73,76	7,95
Máquina de perforación	16,26	14,67	1,59
Aceros de perforación	52,99	48,06	4,93
Accesorios de perforación	4,24	3,82	0,42
Herramientas y otros materiales	2,17	2,08	0,09
Implementos de seguridad	5,02	6,28	0,49
<b>Costo/metro</b>	<b>162,39</b>	<b>148,67</b>	<b>15,47</b>

En la Tabla 21, se especifica los resultados de los costos de perforación con malla empírica y el rediseño de la malla de perforación, Obteniendo un costo de 162,39 US\$/m y costo de 148,67 US\$/m respectivamente, logrando un beneficio de 15,47 US\$/m en la labor crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

#### **4.2. MINIMIZAR EL COSTO VOLADURA CON EL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA DETERMINADA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA DE LA COMPAÑÍA MINERA CARAVELÍ S.A.C. – AREQUIPA.**

##### **4.2.1. Análisis de la voladura con malla empírica en el crucero San Miguel**

Para el análisis de la voladura, se han tomado en cuenta las cantidades de insumos de explosivos utilizados en la voladura en el crucero San Miguel en un disparo.



**Tabla 22***Consumo promedio de explosivos semexsa 65 % en la voladura empírica*

Descripción	N° de	N° de	Total de	Peso del	Peso total
	taladros	cart./taladro Unidades	cartuchos Unidades	cartucho kg	
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	6	36	0,080	2,88
Ayuda cuadradores	4	6	24	0,080	1,92
Alzas	5	6	18	0,080	1,44
Ayuda alzas	4	5	10	0,080	0,80
Arrastre	5	6	30	0,080	2,40
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>Total</b>	<b>38</b>		<b>224</b>		<b>17,92</b>

En la Tabla 22, se muestra el consumo promedio de explosivos en la voladura empírica, que fue de 17,92 kg/disparo, equivalente a 224 cartuchos de dinamita semexsa 65%, (Ver Anexo 4).

### 1) Volumen roto

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

Donde:

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

$$b = \text{Base del crucero (m)}$$

$$h = \text{Altura del crucero (m)}$$

$$Lp = \text{Longitud perforado (m)}$$

$$V = 2,60 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} \times 1,36 \text{ m}$$

$$V = 9,55 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de esponjamiento} = 25 \%$$



$$V_e = 9,55 \times 0,25 + V$$

$$V_e = 2,39 + 9,34$$

$$V_e = 11,93 \text{ m}^3$$

## 2) Tonelaje roto

$$T_m = V \times d_r$$

Donde:

$T_m$  = Tonelada métrica

$V_r$  = Volumen roto

$d_r$  = Densidad de roca

$$T_m = 11,93 \text{ m}^3 \times 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$T_m = 30,63 \text{ Tm}$$

## 3) Factor de carga

$$F_c = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{Volumen roto}}$$

$$F_c = 17,92 \text{ kg} / 11,93 \text{ m}^3$$

$$F_c = 1,50 \text{ kg/m}^3$$

$F_{c1}$  = Factor de carga lineal

$$F_c = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{metro lineal}}$$

$$F_{c1} = 17,92 \text{ kg} / 1,36 \text{ m}$$

$$F_{c1} = 13,18 \text{ kg/m}$$

## 4) Factor de potencia

$$F_p = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{Tonelaje roto}}$$



$$F_p = 17,92\text{kg}/30,63\text{Tm} \quad \frac{15,20 \text{ Kg}}{30,95 \text{ Tm}}$$

$$F_p = 0,58 \text{ kg/Tm}$$

### Tabla 23

*Resultados obtenidos en la voladura empirica*

Parámetros	Dinamita Semexsa 65%
kg/disparo	17,92 kg
Volumen	11,93 m <sup>3</sup>
Toneladas	30,63 Tm
Factor de carga	1,50 kg/m <sup>3</sup>
Factor de carga lineal	13,18 kg/m
Factor de potencia	0,58 kg/Tm

En la Tabla 22, se muestra los resultados obtenidos en la voladura empírica, en donde el volumen fragmentado fue 11,93 m<sup>3</sup>, con un factor de carga explosiva de 1,50 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2. Análisis de la voladura con rediseño de malla en el crucero San Miguel

**Tabla 24**

*Consumo de explosivos semexsa 65% en la voladura con rediseño de malla*

Descripción	N° de	N° de	Total, de	Peso del	Peso
	taladros	cart./taladro (Unidades)	cartuchos (Unidades)	cartucho (kg)	total (kg)
Arranque y cuadradores	12	6	72	0,080	1,44
Piso	4	6	24	0,080	1,92
Caja	6	6	36	0,080	2,88
Corona	3	5	15	0,080	1,60
Auxiliares caja	6	5	30	0,080	1,20
Relleno	5	5	25	0,080	0,80
<b>Total</b>	<b>36</b>		<b>202</b>		<b>16,16</b>

En la Tabla 24, se muestra el consumo promedio de explosivos en la voladura con rediseño de malla de perforación, lo cual fue de 16,16 kg/disparo, que es equivalente 202 cartuchos de dinamita semexsa 65%, (Ver Anexo N 5),

##### a) Volumen roto

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

Donde:

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

$$b = \text{Base del crucero (m)}$$

$$h = \text{Altura del crucero (m)}$$

$$Lp = \text{Longitud perforado (m)}$$

$$V = 2,60 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} \times 1,44 \text{ m}$$

$$V = 10,11 \text{ m}^3$$



Factor de esponjamiento = 25 %

$$V_e = 9,55 \times 0,25 + V$$

$$V_e = 2,53 + 10,11$$

$$V_e = 12,64 \text{ m}^3$$

**b) Tonelaje roto**

$$T_m = V \times d_r$$

Donde:

$T_m$  = Tonelada métrica

$V_r$  = Volumen roto

$d_r$  = Densidad de roca

$$T_m = 12,64 \text{ m}^3 \times 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$T_m = 33,49 \text{ Tm}$$

**c) Factor de carga**

$$F_c = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{Volumen roto}}$$

$$F_c = 16,16 \text{ kg} / 12,64 \text{ m}^3$$

$$F_c = 1,28 \text{ kg/m}^3$$

$F_{c1}$  = Factor de carga lineal

$$F_c = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{metro lineal}}$$

$$F_{c1} = 16,16 \text{ kg} / 1,44 \text{ m}$$

$$F_{c1} = 11,22 \text{ kg/m}$$

**d) Factor de potencia**

$$Fp = \frac{Kg-explosivo}{Tonelaje\ roto}$$

$$Fp = 16,16\text{ kg}/33,49\text{Tm}$$

$$Fp = 0,48\text{ kg/Tm}$$

**Tabla 25***Resultados obtenidos en la voladura empírica*

Parámetros	Dinamita Semexsa 65%
kg/disparo	16,16 kg
Volumen	12,64 m <sup>3</sup>
Toneladas	33,49 Tm
Factor de carga	1,28 kg/m <sup>3</sup>
Factor de carga lineal	11,22 kg/m
Factor de potencia	0,48 kg/Tm

En la Tabla 25, se muestra los resultados obtenidos en la voladura con rediseño de malla de perforación, en donde el volumen fragmentado fue 12,64 m<sup>3</sup>, con un factor de carga explosiva de 1,28 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 26***Resumen de los resultados del análisis de la voladura*

Descripción	Voladura con malla empírica	Voladura con rediseño de malla	Diferencia	Unidad medida
Semexa 65%	224	202	22	Cartuchos
Mecha de seguridad	79,80	75,60	4,2	m
Fulminante N° 8	38	36	2	Unidad
kg por disparo	17,92	16,16	1,76	kg



<b>Descripción</b>	<b>Voladura con malla empírica</b>	<b>Voladura con rediseño de malla</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Unidad medida</b>
Factor de carga	1,50	1,28	0,22	kg/m <sup>3</sup>
Factor de carga lineal	13,18	11,22	1,96	kg/m
Factor de potencia	0,58	0,48	0,10	kg/Tm
Avance, m/disparo	1,36	1,44	0,08	m

En la Tabla 26, se muestra los resultados de los parámetros de la voladura con malla de perforación empírica y con rediseño de malla de perforación para el crucero San Miguel para una sección de 2,6 m x 2,7 m, respecto a la cantidad de dinamita se tiene 22 cartuchos de diferencia, 4,2 m de mecha de seguridad, 2 fulminantes N° 18, además el factor de carga difiere en 0,22 kg/m<sup>3</sup> y un avance lineal por disparo de 0,08 de diferencia respectivamente.

#### **4.2.3. Costos de la voladura con malla empírica en el crucero San Miguel**

Los costos en la voladura con malla de perforación empírica fueron estimados de acuerdo al número de taladros cargados de explosivo Semexsa 65%,

**Tabla 27***Costos de explosivos y materiales en la voladura con malla de perforación empírica*

Insumos	Unidad	Precio US	Cantidad por disparo	US \$/m
		\$	Cartuchos	
Semexsa 65%	Cartucho	0,40	224	89,60
Fulminante N° 8	Cápsula	0,15	38	5,70
Mecha de seguridad	Metros	0,31	79,80	24,74
<b>Costo total</b>				<b>120,04</b>

En la Tabla 27, se muestra los costos de explosivos y materiales de la voladura anterior, cuyo costo fue de 146,22 US\$/m.

#### 4.2.4. Costos de la voladura con rediseño de malla de perforación en el crucero San Miguel

Según el rediseño de la malla de perforación fueron estimados los costos de la voladura de acuerdo al número de taladros cargados de explosivo Semexsa 65%.

**Tabla 28***Costos de explosivos y materiales en la voladura con rediseño de malla de perforación*

Insumos	Unidad	Precio US	Cantidad por disparo	US \$/m
		\$	Cartuchos	
Semexsa 65%	Cartucho	0,40	202	80,80
Fulminante N° 8	Cápsula	0,15	36	5,40
Mecha de seguridad	Metros	0,31	75,60	23,45
<b>Costo total</b>				<b>109,64</b>



En la Tabla 28, se muestra los costos de explosivos y materiales de la voladura con rediseño de la malla de perforación, cuyo costo fue de 109,64 US\$/m.

### Tabla 29

*Resumen de costos de voladura para el crucero San Miguel*

<b>Costo de voladura</b>	<b>Malla empírica</b>	<b>Rediseño de</b>	<b>Diferencia</b>
	<b>US\$</b>	<b>malla</b>	<b>US\$</b>
		<b>US\$</b>	
<b>Costo/metro</b>	<b>120,04</b>	<b>109,64</b>	<b>10,40</b>

En la Tabla 29, se especifica el resumen de los costos requeridos en la voladura con malla de perforación empírica y con el rediseño de la malla de perforación respectivamente, teniendo una diferencia de costo de US\$ 10,40 por metro para el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

#### 4.2.5. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis, se ha efectuado la F de Fisher. Donde se realizó la comparación de las varianzas con la finalidad de determinar si existe diferencias de las varianzas entre los costos de perforación y voladura con la malla empírica y el costo de perforación y voladura con la malla rediseñada minimizada en la cortada San Miguel.

H0: Hipótesis nula H1: Las varianzas de los costos de perforación y voladura de la cortada San Miguel son iguales.

Hipótesis alternativa H0: Las varianzas de los costos de perforación y voladura de la cortada San Miguel son diferentes.



Si el p-valué es menor que 0,05 se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

#### F test to compare two variances

```
data: datos$Costo_malla_empirica and datos$Costo_Rediseño_malla
F = 5.3214, num df = 19, denom df = 19, p-value = 0.0006342
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 2.106279 13.444281
sample estimates:
ratio of variances
      5.32141
```

Como podemos observar la prueba de las varianzas, tenemos un p-valué de 0,0006342 lo que significa que es menor a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, Esto quiere decir, que las varianzas son diferentes,

Conociendo lo anterior, se procedió a realizar la prueba de T de medias para comparar los costos de perforación y voladura de la malla empírica con el rediseño de malla.

H0: Hipótesis nula H1: La media de los costos de perforación y voladura de la cortada San Miguel son iguales.

Hipótesis alterna H0: La media de los costos de perforación y voladura de la cortada San Miguel son diferentes.

Si el p-valué es menor que 0,05 se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.



#### Welch Two Sample t-test

```
data: datos$Costo_malla_empirica and datos$Costo_Rediseño_malla
t = 201.81, df = 25.897, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 24.33647      Inf
sample estimates:
mean of x mean of y
 282.7900  258.2461
```

Se observa un p-valor de  $2,2e-16$  lo que significa que es menor a 0,05, Por lo tanto, se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$ , Resultados con un intervalo de confianza del 95%, Se concluye que mediante el rediseño de la malla de perforación y control del factor de carga explosiva en la cortada San Miguel de la Compañía Minera Caraveli S.A.C., se ha minimizado los costos de perforación y voladura en un 8,66 %.

### 4.3 DISCUSIÓN

En los resultados del presente estudio de investigación, realizado mediante la metodología del rediseño de malla, los costos de perforación y voladura se minimizaron de 282,79 US \$/m a 258,31 US \$/m, obteniendo un beneficio de 24,12 US\$/m, en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S,A,C, Similares valores de costos se obtuvieron en investigaciones realizados como por ejemplo: Mamani, (2020) mediante la metodología del nuevo diseño de malla, y la carga explosiva, los costos de perforación y voladura se minimizaron de 281,93 US \$/m a 239,61 US \$/m con un beneficio de 42,32US\$/m en la Empresa Minera Sotrami S.A., de igual manera Larijo, (2019) en su investigación diseño una nueva malla, y calculo la carga explosiva necesaria, los costos de perforación y voladura se minimizaron de 242,92 US\$/m a 215,83 US\$/m, con un beneficio de 27,09 US\$/m en Minera Yanaquihua S.A.C.



Con el rediseño de la malla de perforación, los costos se minimizaron de 162,39 US \$/m a 148,67 US\$/m, logrando un beneficio de 15,47 US\$/m, en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C. A ello, Ccapa, (2019) también minimizo sus costos de perforación de 66,87 US\$/m a 61,04 US\$/m, con una diferencia de 5,84 US\$/m, en la Galería Esmeralda 360 NW de la minera Islay.

Con el factor de carga explosiva determinada según las características de la masa rocosa, se minimizaron los costos de voladura de 120,04 US\$/m a 109,64 US\$/m, obteniendo un beneficio de 10,40 US\$/m en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C. Del mismo modo Ccapa (2019) ha reducido los costos de voladura de 64,28 US\$/m a 53,11 US\$/m, con una diferencia de 11,17 US\$/m en la Galería Esmeralda 360 NW de la minera Islay.



## V. CONCLUSIONES

En lo general los costos obtenidos con el rediseño de malla y el factor de carga explosiva estimada, se minimizaron de 282,43 US\$/m a 258,31 US\$/m, obteniendo un beneficio de 24,12 US\$/m, Finalmente, se concluye que los costos de perforación y voladura se minimizaron en un 8,66 %.

Con el rediseño de la malla de perforación, los costos se minimizaron de 162,39 US \$/m a 148,67 US\$/m, logrando un beneficio de 15,47 US\$/m, en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S,A,C, Resultados que se reflejan al aplicar las teorías de voladura para realizar un diseño de una malla de perforación y voladura.

Con el factor de carga explosiva determinada según las características de la masa rocosa, se minimizaron los costos de voladura de 120,04 US\$/m a 109,64 US\$/m, obteniendo un beneficio de 10,40 US\$/m en el crucero San Miguel de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar los diseños de malla de perforación y voladura, tomando en cuenta las distintas teorías de voladura para las labores subterráneas de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

Se recomienda investigar los costos de voladura empleando distintos agentes de voladura existentes en el mercado con la finalidad de reemplazar a la dinamita.

Se recomienda investigar los diseños de malla de perforación y voladura, en los tajos de producción de la unidad minera Capitana de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anchapuri Chique, L, A, (2021), Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la Galería 819E - Mina Yanaquihua – Arequipa, Universidad Nacional del Altiplano, <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20,500,14082/15229>
- Balestrini Acuña, M, (2006), *Como elaborar se elabora el proyecto de investigacion(para los Estudios Formulativos o Exploratorios, Descriptivos, Diagnósticos, Evaluativos, Formulación de Hipótesis Causales, Experimentales y los Proyectos Factibles)*, (7ma, ed,P),
- Bernaola, J,, Castilla, J,, & Herrera, J, (2013), Perforación y voladura de rocas en minería, In *Universidad Politécnica de Madrid*, <https://doi.org/10,20868/UPM,book,21848>
- EXSA, (2019), Manual práctico de voladura, In *Exasa Soluxiones exactas* (5ta, Edici), [file:///C:/Users/lucio/Downloads/Manual práctico de voladura EXSA \(1\).pdf](file:///C:/Users/lucio/Downloads/Manual%20pr%C3%A1ctico%20de%20voladura%20EXSA%20(1).pdf)
- Hernandez S, R,, Fernandez C, C,, & Baptista L, P, (2014), *Metodologia de la investigacion* (S, A, D, C, V, McGraw-Hill / Interamericana Editores (ed,); 6ta, Ediiic),
- ISEE, (2008), *Manual del especialista en voladura* (17a Edicio), <http://www,isse,org>
- Munch, L,, & Ángeles, E, (2009), Métodos y técnicas de investigación, In E, Trillas (Ed,), *Trillas* (4ta Edicio), <https://www,gestiopolis,com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Ramírez M,, W, S,, & Sandoval, J, R, (2020), Evaluación técnica de perforación y



- voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca – 2020 [Universidad Privada del Norte], In *Universidad Privada del Norte*, [https://repositorio,upn,edu,pe/handle/11537/24115](https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24115)
- Cámac, T, (2020), Perforación, tecnología de explosivos y voladura de Rocas, 2da, Edicion
- Ccapa, Q, (2019), Reducción de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones unitarias en la Minera Yslay de la Empresa Chungar S,A,C, – Cerro de Pasco, <http://repositorio,unap,edu,pe/handle/UNAP/11176>
- Contreras, (2009), Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones, Aplicación en minas Ares presentado a la Facultad de Ingeniería,
- Chahuares, S, (2012), Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo mina el Cofre - Puno,
- Chipana, N, (2015), Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería Progreso de la Contrata Minera Cavilques- Corporación Minera Ananea S,A,, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, <http://repositorio,unap,edu,pe/handle/20,500,14082/1937>
- Duran, B, (2014) Ingeniería de costos mineros, Texto guía Facultal de Ingeniería de Minas - Puno,
- Famesa Explosivos, (2019), Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea,
- Jáuregui, A, (2009), Reducción de los costos operativos en mina, mediante la





- optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura [Pontificia Universidad Católica del Perú], <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20,500,12404/696>
- Larijo Q, (2019), Minimización de costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del Crucero 627 de la Minera Yanaquihua S,A,C, – Arequipa, <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11171>
- López, Jimeno, (2005), Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero España, Edición 2005,
- Mamani, T, (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 S,A – Ayacucho [Universidad Nacional del Altiplano] <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3227043>
- Mamani, N, (2015), Optimización de costos de perforación y voladura en la mina Maribel de Oro A-Ananea, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20,500,14082/8225>
- 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,
- Pino, Ch, (2019), Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S,A, – Arequipa [Universidad Nacional del Altiplano],, <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3224157>
- Quispe, C, (2017), Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de



mallá en el frente del Crucero 340 NW de la Empresa Minera Yansur S,A,C, –  
Rinconada, Universidad Nacional del Altiplano-Puno,  
<http://repositorio,unap,edu,pe/handle/UNAP/7666>

Sancho, C, (2014), Análisis de costos de perforación y voladura para optimizar el  
desarrollo de la galería anaconda de la Unidad Minera Kori Chaska - Ananea  
[Universidad Nacional del Altiplano],,  
<https://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,  
[https://biblioteca,unap,edu,pe/opac\\_css/index,php?lvl=notice\\_display&id=86894](https://biblioteca,unap,edu,pe/opac_css/index,php?lvl=notice_display&id=86894)

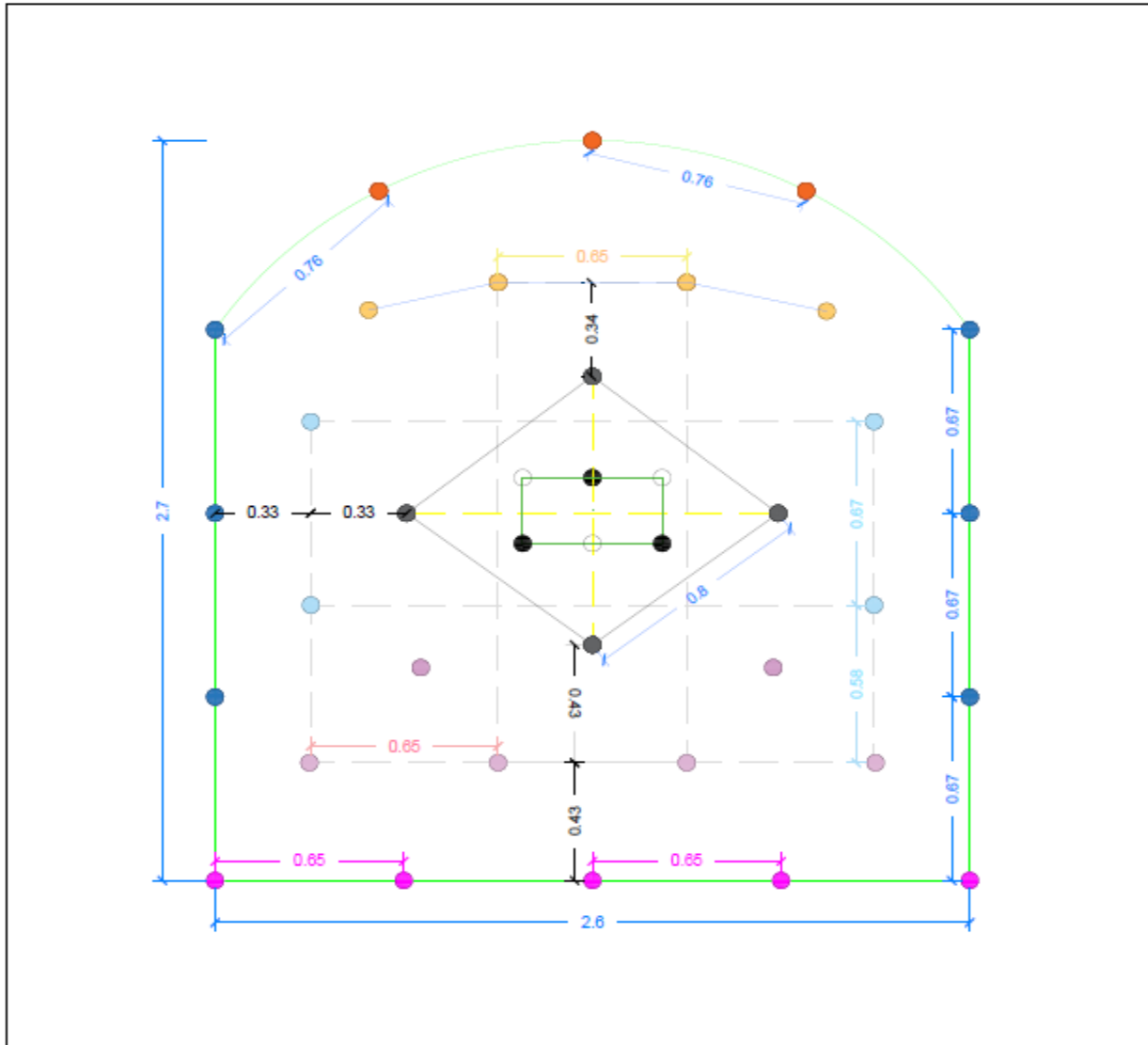
Villasante, I, (2016), Reducción de costos de explotación en las operaciones unitarias de  
la Minera Aurífera Cuatro de Enero S,A, – Arequipa,



## ANEXOS

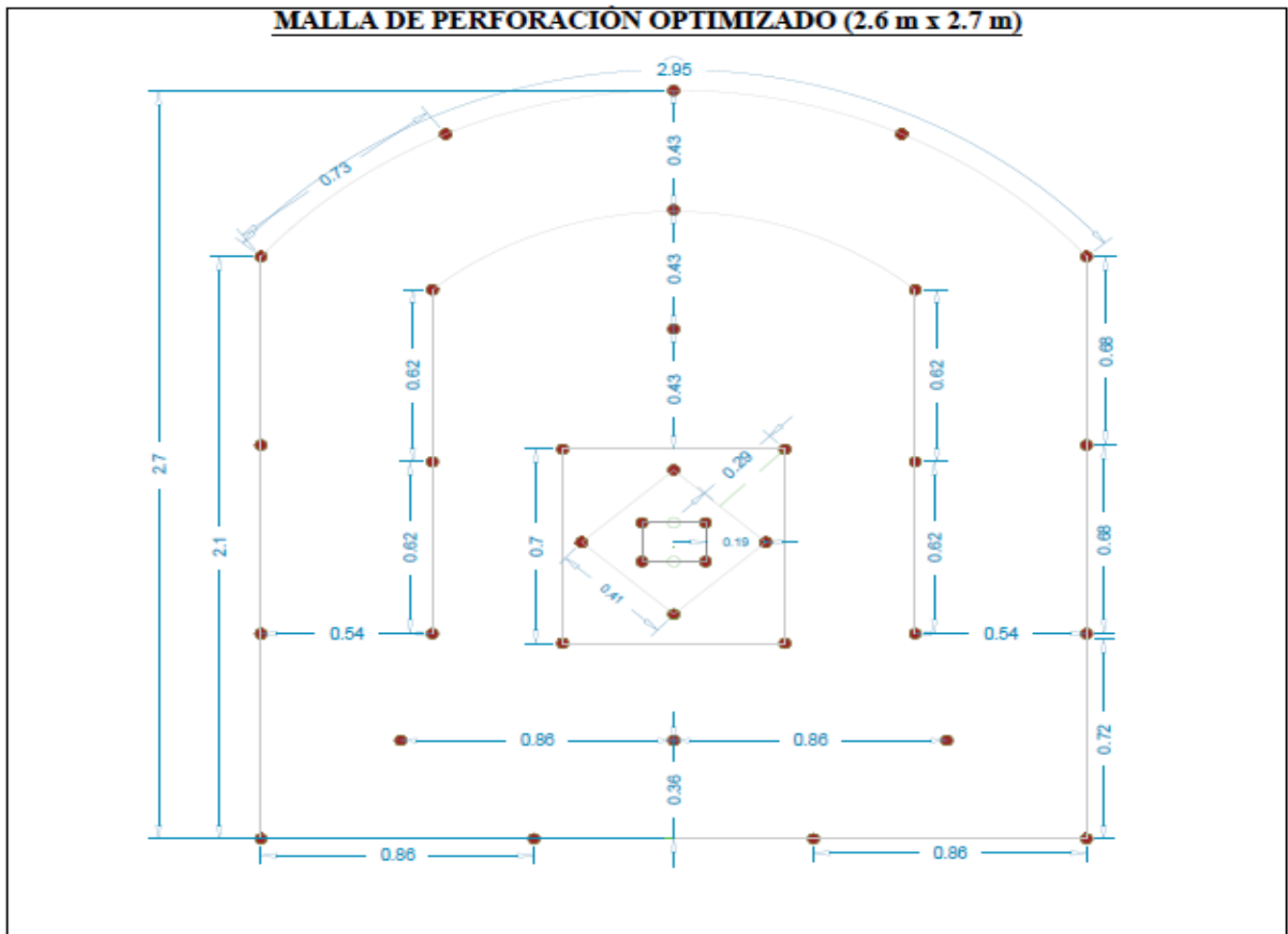
**ANEXO 1.** Diseño de la malla de perforación empírica

**MALLA DE PERFORACIÓN EMPÍRICA 2.60 x 2.70 m**



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS			Lamina:  <b>01</b>
	Empresa: COMPAÑIA MINERA CARAVELÍ S.A.C.		Fecha: Diciembre - 2022	
	Plano: Malla de Perforación Anterior		Formato: A4	
	Departamento: Arequipa	Provincia: Caravelí	Distrito: Huanu huanu	

## ANEXO 2. Diseño de la malla de perforación optimizado



Descripción	Nº de taladros
Alivio	2
Arranque y cuadradores	12
Piso	4
Caja	6
Corona	3
Auxiliares caja	6
Relleno	5
<b>Total</b>	<b>38</b>

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS</b>		
	EMPRESA: COMPAÑIA MINERA CARAVELÍ S.A.C.	AÑO: 2022	<b>LAMINA Nº:</b>  <b>2</b>
	PLANO: Malla de Perforación Optimizado	FORMATO: A4	
	Departamento: Arequipa	Provincia: Caravelí	Distrito: Huanu huanu



### ANEXO 3. Control de explosivos y avance lineal malla empírica

N°	Fecha	Cantidad de explosivos (Kg)	Cartuchos de explosivos	Avance lineal (m)
1	Lunes 02 agosto 2021	17,93	223	1,36
2	Martes 03 agosto 2021	17,91	221	1,35
3	Miércoles 04 agosto 2021	17,95	224	1,33
4	Jueves 05 agosto 2021	17,8	222	1,33
5	Viernes 06 agosto 2021	17,92	220	1,32
6	Sábado 07 agosto 2021	17,91	222	1,35
7	Lunes 09 agosto 2021	17,95	221	1,34
8	Martes 10 agosto 2021	17,94	224	1,37
9	Miércoles 11 agosto 2021	17,89	223	1,35
10	Jueves 12 agosto 2021	17,94	224	1,37
11	Viernes 13 agosto 2021	17,92	224	1,36
12	Sábado 14 agosto 2021	17,95	225	1,35
13	Lunes 16 agosto 2021	17,92	226	1,38
14	Martes 17 agosto 2021	17,91	225	1,35
15	Miércoles 18 agosto 2021	17,93	223	1,36
16	Jueves 19 agosto 2021	17,96	225	1,37
17	Viernes 20 agosto 2021	17,94	226	1,36
18	Sábado 21 agosto 2021	17,93	224	1,38
19	Lunes 23 agosto 2021	17,94	226	1,35
20	Martes 24 agosto 2021	17,92	224	1,37
<b>Promedio</b>		<b>17,92</b>	<b>224</b>	<b>1,36</b>



#### ANEXO 4. Control de explosivos y avance lineal del rediseño de malla

Nº	Fecha	Cantidad de explosivos (Kg)	Cartuchos de explosivos	Avance lineal (m)
1	Lunes 05 setiembre 2021	16,15	203	1,46
2	Martes 06 setiembre 2021	16,15	201	1,45
3	Miércoles 07 setiembre 2021	16,15	204	1,44
4	Jueves 08 setiembre 2021	16,17	202	1,44
5	Viernes 09 setiembre 2021	16,18	200	1,42
6	Sábado 10 setiembre 2021	16,16	202	1,45
7	Lunes 12 setiembre 2021	16,15	201	1,44
8	Martes 13 setiembre 2021	16,14	204	1,43
9	Miércoles 14 setiembre 2021	16,17	203	1,45
10	Jueves 15 setiembre 2021	16,14	201	1,47
11	Viernes 16 setiembre 2021	16,17	204	1,46
12	Sábado 17 setiembre 2021	16,15	201	1,45
13	Lunes 19 octubre 2021	16,16	203	1,42
14	Martes 20 setiembre 2021	16,14	202	1,45
15	Miércoles 21 setiembre 2021	16,17	203	1,45
16	Jueves 22 setiembre 2021	16,16	203	1,44
17	Viernes 23 setiembre 2021	16,14	201	1,46
18	Sábado 24 setiembre 2021	16,18	204	1,43
19	Lunes 26 setiembre 2021	16,14	203	1,45
20	Martes 27 setiembre 2021	16,15	204	1,42
<b>Promedio</b>		<b>16,16</b>	<b>202</b>	<b>1,44</b>



### ANEXO 5. Datos para Prueba de Hipótesis

<b>Base de datos para prueba de hipótesis</b>		
<b>Disparos</b>	<b>Costo Malla empírica</b>	<b>Rediseño de malla</b>
1	282,95	258,15
2	282,63	258,15
3	283,11	258,15
4	280,90	258,47
5	282,79	258,63
6	282,63	258,31
7	283,26	258,15
8	283,11	257,99
9	282,32	258,47
10	283,11	257,99
11	282,79	258,47
12	282,95	258,15
13	282,79	258,31
14	282,63	257,99
15	282,95	258,47
16	283,11	258,31
17	283,11	257,99
18	282,95	258,63
19	282,95	257,99
20	282,79	258,15





## ANEXO 6. Marcado de galería principal Crucero San miguel





## ANEXO 7. Perforación de frente galería Crucero San Miguel





## ANEXO 8. Galería esmeralda de la unidad minera capitana





## ANEXO 9. Declaración jurada de autenticidad de Tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RAMIRO ARHUATA SILVA  
identificado con DNI 77015738 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:  
“MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON REDISEÑO  
DE HALLA Y FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL  
DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA - AREQUIPA”

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 10 de NOVIEMBRE del 2023


FIRMA (obligatoria)




Huella




## ANEXO 10. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



VRI  
Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

---

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

Por el presente documento, Yo RAMIRO ARHUATA SILVA  
identificado con DNI 77015738 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:  
" MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON REDISEÑO DE MALLA Y FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA EN EL CRUCERO SAN MIGUEL DE LA UNIDAD MINERA CAPITANA - AREQUIPA "

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.

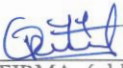
Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, 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 10 de NOVIEMBRE del 2023


---

FIRMA (obligatoria)

Huella