



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**MINIMIZACIÓN DE OPEX DE PERFORACIÓN Y VOLADURA  
CON UN REDISEÑO DE MALLA Y CARGA EXPLOSIVA EN LA  
GALERÍA SANTA TERESA DE LA UNIDAD MINERA CALPA –  
AREQUIPA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JOSÉ ENRIQUE FELIPE MAMANI CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

MINIMIZACIÓN DE OPEX DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON UN REDISEÑO DE MALLA Y CARGA EXPLOSIVA EN LA GA

AUTOR

JOSE ENRIQUE FELIPE MAMANI CONDO RI

RECUENTO DE PALABRAS

24882 Words

RECUENTO DE CARACTERES

119833 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

138 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.0MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 16, 2024 6:09 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 16, 2024 6:10 AM GMT-5

### ● 18% de similitud general

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% 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 19 palabras)

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



Recupero



## DEDICATORIA

A mis queridos padres Felipe Mamani y Gregoria Condori quienes me inculcaron buenos valores y hábitos, por enseñarme a crecer, por apoyarme y guiarme, por ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí, por ayudarme con los recursos necesarios en mi formación profesional.

**José Enrique Felipe Mamani Condori**



## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por impartir una formación profesional en sus aulas universitarias.

A la Escuela profesional de Ingeniería de Minas, a los docentes por haberme impartido sus sabias enseñanzas y experiencias para lograr mi título profesional.

**José Enrique Felipe Mamani Condori**



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Pregunta general.....	17
1.2.2. Preguntas específicas .....	17
<b>1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>17</b>
1.3.1. Hipótesis general.....	17
1.3.2. Hipótesis específicas .....	17
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos .....	18
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>
1.5.1. Justificación práctica.....	19



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.2.1.	Accesorios de perforación.....	26
2.2.2.	Condiciones de perforación.....	27
2.2.3.	Distribución y denominación de los taladros .....	28
2.2.4.	Diseño de arranque en minería subterránea .....	29
2.2.5.	Errores y defectos en la perforación.....	30
2.2.6.	Voladura de rocas.....	31
2.2.7.	Descripción del método de Holmberg para un diseño de voladura .....	31
2.2.8.	Modificación del modelo de corte de cuatro secciones para el diseño de voladura en la mina de carbón razi - norte de Irán.....	33
2.2.9.	Evaluación de la voladura .....	35
2.2.10.	Semexsa 65.....	37
2.2.11.	Características técnicas de los explosivos empleados.....	37
2.2.12.	Accesorios de voladura .....	41
2.2.13.	Clasificación de Bieniawski sistema RMR.....	43
2.2.14.	Sistema de clasificación según las características.....	44
2.2.15.	Mecánica de fragmentación de la roca.....	45
2.2.16.	Proceso de fracturamiento.....	46
2.2.17.	Condiciones para la fragmentación del macizo rocoso.....	48
2.2.18.	Cálculo para el diseño de perforación y voladura.....	50
2.2.19.	Minimización de costos de una empresa.....	55
2.2.20.	Costos y gastos.....	56



2.2.21. Costos operativos o de producción mina (OPEX) .....	58
<b>2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....</b>	<b>59</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2. ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>62</b>
3.3.1. Enfoque de la investigación .....	62
3.3.2. Diseño de la investigación .....	62
3.3.3. Tipo de investigación .....	63
3.3.4. Materiales y métodos según objetivos específicos.....	63
<b>3.4. POBLACIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>3.5. MUESTRA.....</b>	<b>64</b>
3.5.1. Tipo de muestra.....	64
<b>3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>65</b>
3.6.1. Variable independiente.....	65
3.6.2. Variable dependiente.....	65
<b>3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>65</b>
3.7.1. Técnicas para el procesamiento de datos .....	66
3.7.2. Instrumentos de recolección de datos .....	66

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2. CÁLCULO DE RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
4.2.1. Malla de perforación anterior.....	67



4.2.2. Rediseño de la malla de perforación .....	68
<b>4.3. LOS OPEX DE PERFORACIÓN EN LA GALERIA SANTA TERESA... 75</b>	
4.3.1. Opex de perforación anterior.....	75
4.3.2. Opex de perforación actual .....	79
<b>4.4. RESULTADOS DE LA VOLADURA .....</b>	<b>84</b>
4.4.1. Voladura anterior .....	84
4.4.2. Voladura optimizada .....	88
<b>4.5. RESULTADOS DE OPEX DE LA VOLADURA.....</b>	<b>91</b>
4.5.1. Opex de la voladura anterior .....	91
4.5.2. Opex de la voladura optimizada.....	92
<b>4.6. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA .....</b>	<b>93</b>
<b>4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>94</b>
<b>4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>96</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**TEMA:** Análisis de costos mineros

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 09 de mayo de 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Clasificación de tipo de roca según Bieniawski .....	44
<b>Tabla 2</b> Coordenadas UTM-WGS 84 que encierran a la Unidad .....	61
<b>Tabla 3</b> Acceso a la Unidad Minera Calpa. ....	62
<b>Tabla 4</b> Operacionalización de variables .....	65
<b>Tabla 5</b> Promedio de taladros perforados en malla anterior (20 guardias).. ....	68
<b>Tabla 6</b> Coeficiente del tipo de roca .....	69
<b>Tabla 7</b> Resumen de taladros perforados en la malla optimizada.....	75
<b>Tabla 8</b> Opex de mano de obra anterior.....	76
<b>Tabla 9</b> Opex del equipo de perforación anterior .....	76
<b>Tabla 10</b> Opex de los accesorios de perforación anterior .....	77
<b>Tabla 11</b> Opex de las Mangueras y Accesorios de perforación anterior .....	77
<b>Tabla 12</b> Opex de las herramientas y otros materiales anteriores.....	78
<b>Tabla 13</b> Opex de los implementos de seguridad anterior .....	79
<b>Tabla 14</b> Opex de mano de obra optimizada.....	80
<b>Tabla 15</b> Opex del equipo de perforación optimizada .....	80
<b>Tabla 16</b> Opex de los materiales de perforación optimizada .....	81
<b>Tabla 17</b> Opex de mangueras y accesorios de perforación optimizada .....	81
<b>Tabla 18</b> Opex de las herramientas y otros materiales optimizados .....	82
<b>Tabla 19</b> Opex de los implementos de seguridad optimizada.....	82
<b>Tabla 20</b> Promedio de explosivos Semexsa 65%, voladura anterior (20 guardias)....	84
<b>Tabla 21</b> Clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería Santa Teresa.....	85
<b>Tabla 22</b> Resultados de la voladura anterior .....	87



<b>Tabla 23</b>	Promedio de explosivos Semexsa 65%, voladura optimizada (20 guardias) .....	88
<b>Tabla 24</b>	Resultados de la voladura optimizada.....	91
<b>Tabla 25</b>	Opex de materiales de voladura anterior .....	91
<b>Tabla 26</b>	Opex de materiales de voladura optimizada .....	92
<b>Tabla 27</b>	Resultados de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa.....	93
<b>Tabla 28</b>	Opex de perforación y voladura.....	94
<b>Tabla 29</b>	Estadística descriptiva del costo en la Galería Santa Teresa .....	95
<b>Tabla 30</b>	Prueba “t” de student para los costos de la Galería Santa Teresa .....	96



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Designación de taladros.....	29
<b>Figura 2</b> Fulminate común N° 8.....	42
<b>Figura 3</b> Mecha de seguridad.....	43
<b>Figura 4</b> Efectos del proceso de detonación .....	48
<b>Figura 5</b> Diseño de los taladros según los cuadrantes.....	74
<b>Figura 6</b> Opex de Perforación en la Galería Santa Teresa. ....	83
<b>Figura 7</b> Opex de voladura en la Galería Santa Teresa.....	92



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Mapa de ubicación de la unidad minera Calpa.....	105
<b>ANEXO 2</b> Plano de la galería Santa Teresa.....	106
<b>ANEXO 3</b> Malla de perforación anterior en la galería Santa Teresa.....	107
<b>ANEXO 4</b> Malla de perforación optimizada en la galería Santa Teresa.....	108
<b>ANEXO 5</b> Bocamina de la unidad minera Calpa.....	109
<b>ANEXO 6</b> Galería Santa Teresa de la unidad Minera Calpa .....	110
<b>ANEXO 7</b> Mano de obra en la Galería Santa Teresa.....	111
<b>ANEXO 8</b> Perforación de la Galería Santa Teresa .....	112
<b>ANEXO 9</b> Controlando paralelismo en la Galería Santa Teresa .....	113
<b>ANEXO 10</b> Avance lineal, en las voladuras anteriores del mes de Julio 2021 .....	114
<b>ANEXO 11</b> Avance lineal, en las voladuras optimizadas del mes de Setiembre 2021 .....	115
<b>ANEXO 12</b> Reportes de las Voladuras anteriores con explosivos Semexsa 65% .....	116
<b>ANEXO 13</b> Reportes de las Voladuras optimizadas con explosivos Semexsa 65% .	126
<b>ANEXO 14</b> Base de datos para la prueba de hipótesis .....	136
<b>ANEXO 15</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis .....	137
<b>ANEXO 16</b> Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional...	138



## ACRÓNIMOS

S.A:	Sociedad Anónima
U.T.M.:	Universal Transversal Mercator
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar
Tm:	Tonelada métrica
Km:	Kilómetro
mm:	Milímetro
m:	Metros
m <sup>2</sup> :	Metro cuadrado
m <sup>3</sup> :	Metro cúbico
US\$:	Dólares
P:	Perímetro
V:	Volumen



## RESUMEN

La Unidad Minera Calpa de la Compañía Minera Intigold Mining S.A., explota el mineral aurífero, utilizando el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional, para recuperar el recurso mineral se desarrolló la Galería Santa Teresa de una longitud de 380 metros y una sección de 2,60 m x 2,70 m, la evaluación se realizó a partir del tramo inicial de 60 metros y se encontraron problemas de elevados Opex de perforación y voladura en el avance. El Opex unitario de perforación fue de 155,36 US\$/m y el Opex unitario de voladura fue de 132,43US\$/m. El objetivo del estudio fue minimizar los Opex de perforación y voladura en el desarrollo de la Galería Santa Teresa en la Unidad Minera Calpa - Arequipa. El método aplicado en la investigación fue cuantitativo y el tipo de investigación fue pre-experimental porque se manipuló la variable independiente para ver su efecto sobre la variable dependiente. En el desarrollo del estudio de investigación, se realizó en su primera etapa la evaluación de los Opex de perforación y voladura anterior en la Galería Santa Teresa, en donde se analizó el diseño de la malla de perforación anterior, cantidad de taladros, burden, los espaciamientos, el factor de carga explosiva estos datos se recopilaron en las fichas de control. Llegando a los siguientes resultados, con el rediseño de malla, los Opex de perforación se minimizo de 158,50 US\$/m a 143,40 US\$/m, obteniendo una diferencia de 15,10 US\$/m, y con la carga explosiva requerida, los Opex de voladura se minimizaron de 134,76 US\$/m a 106,30 US\$/m, con un beneficio de 28,46 US\$/m, en el avance lineal de la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

**Palabras clave:** Explosivos, Minimizar, Opex, Perforación, Rediseñar.



## ABSTRACT

The Calpa Mining Unit of the Compañía Minera Intigold Mining S.A., exploits the gold mineral, using the Conventional Ascending Cut and Fill method, to recover the mineral resource, the Santa Teresa Gallery was developed with a length of 380 meters and a section of 2.60 m x 2.70 m, the evaluation was carried out from the initial section of 60 meters and problems of high drilling and blasting Opex were found in the progress. The drilling unit Opex was 155.36 US\$/m and the blasting unit Opex was 132.43US\$/m. The objective of the study was to minimize drilling and blasting Opex in the development of the Santa Teresa Gallery in the Calpa - Arequipa Mining Unit. The method applied in the research was quantitative and the type of research was pre-experimental because the independent variable was manipulated to see its effect on the dependent variable. In the development of the research study, in its first stage the evaluation of the Opex of previous drilling and blasting in the Santa Teresa Gallery was carried out, where the design of the previous drilling mesh, number of drills, load, the spacings, the explosive load factor, these data were collected in the control sheets. Arriving at the following results, with the redesign of the drilling mesh, the drilling Opex is minimized from 158.50 US\$/m to 143.40 US\$/m, obtaining a profit of 15.10 US\$/m, and with the appropriate explosive charge, the blasting Opex was minimized from 134.76 US\$/m to 106.30 US\$/m, with a benefit of 28.46 US\$/m, in the linear advance of the Santa Teresa Gallery of the Calpa Mining Unit – Arequipa.

**Keywords:** Explosives, Minimize, Opex, Drilling, Redesign.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMÁTICA

La Unidad Minera Calpa - Arequipa, desarrolló la Galería Santa Teresa con una sección de 2,60 m x 2,70 m y 380 metros de longitud. Según la evaluación realizada a partir del tramo inicial de 60 metros, se encontraron problemas de elevados Opex de perforación y voladura debido al mal diseño de la malla de perforación anterior (Ver Anexo N° 3), ya que este contenía, un burden y espaciamiento inadecuados, en la mayoría de casos el criterio para el diseño de las mallas de perforación se quedan en manos de los maestros perforistas quienes por sus nociones empíricas y experiencia suelen distribuir los taladros basándose en la forma en la que se presentan las rocas en el frente de trabajo, en muchos casos estas acciones resultan contraproducentes y debido a esto son necesarios un mayor número de taladros perforados y de la misma manera tiene efecto directo en el consumo de explosivos generando elevados Opex de voladura en el frente de la galería. Para solucionar estos problemas suscitados se planteó como alternativa el rediseño de la malla de perforación con criterios más técnicos y el cálculo de la carga explosiva, considerando las características de la roca in situ, en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera.

La minimización del Opex de perforación y voladura fue muy importante porque mejoró la rentabilidad de la Unidad Minera y permitió concluir la Galería Santa Teresa con menor costo de ejecución.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cómo minimizar los Opex de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

a) ¿Cómo minimizar los Opex de perforación rediseñando la malla, en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa?

b) ¿Cómo minimizar los Opex de voladura con carga explosiva necesaria en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa?

## **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

Con el rediseño de malla y la carga explosiva, con el modelo matemático de EXSA se minimiza los Opex de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa

### **1.3.2. Hipótesis específicas**

a) Rediseñando la malla, con el modelo matemático de EXSA se minimiza los Opex de perforación en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa

b) Con la carga explosiva necesaria se minimiza los Opex de voladura en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa



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

### **1.4.1. Objetivo general**

Minimizar los Opex de perforación y voladura con el modelo matemático de EXSA en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

a) Minimizar los Opex de perforación, con el rediseño de malla en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

b) Minimizar los Opex de voladura, con la carga calculada en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

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

La Unidad Minera Calpa - Arequipa, desarrolló la Galería Santa Teresa, de una longitud de 380 metros y una sección de 2,60 m x 2,70 m; y al evaluar a partir del tramo inicial de 60 metros se encontró el problema de elevado Opex de perforación y voladura en el avance de la galería. El Opex de perforación fue de 158,50 US\$/m y el Opex de voladura fue de 134,76 US\$/m. Es decir, para desarrollar la Galería Santa Teresa fue necesario un costo de 293,26 US\$/m, cuyo costo fue elevado en referencia al costo unitario que fue de 287,79 US\$/m.

De continuar el problema, para culminar dicha galería hubiera requerido un costo de 111 438, 80 US\$. Para superar este problema se ha planteado como alternativa, minimizar el Opex de perforación y voladura, rediseñando la malla de perforación y cálculo de carga explosiva necesaria respectivamente en el frente de la galería Santa Teresa.



El estudio de investigación fue de mucha importancia porque su ejecución permitió obtener mejores resultados económicos para la Unidad Minera y también fue aplicativo para otras labores subterráneas similares de la Empresa Minera

### **1.5.1. Justificación práctica**

La presente investigación se realizó porque existió la necesidad de mejorar y minimizar los Opex de perforación y voladura, porque al evaluar los Opex, se detectó elevados Opex de perforación y voladura, debido a las deficiencias de la malla de perforación anterior, el mismo que no se diseñó según las características de la masa rocosa, lo cual afectó al presupuesto de ejecución de las labores mineras, generando una pérdida económica a la Unidad Minera y como una solución al problema se planteó el rediseño la malla de perforación según las propiedades geomecánicas del macizo rocoso de la labor minera.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Cachi (2022) en su trabajo de investigación tenía como objetivo optimizar la malla de perforación para de esta manera minimizar los costos de perforación y voladura en la galería 435. Tomando como punto de partida una metodología científica de un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación experimental, siguiendo un diseño preexperimental, en base a que las observaciones fueron realizadas en una sola labor antes y después de aplicar la optimización de la malla de perforación. Llega a la conclusión de que, se logró optimizar los costos operativos de la actividad de perforación, ya que se redujo la cantidad de taladros perforados de 37 a 34 teniendo una minimización de 84,95 US\$/disparo hasta 78,07 US\$/disparo, así como también se logró minimizar los costos operativos en la actividad de voladura de 269,04 US\$/disparo a 241,62 US\$/disparo.

Cuellar (2022) en su trabajo de investigación tenía como objetivo optimizar los índices de perforación y voladura en el avance de la Rampa Patrick IV para reducir los costos operacionales. Aplicando la metodología del uso de sismógrafos se ha realizado el análisis de las voladuras, con la nueva propuesta, lográndose optimizaciones del KPI de perforación y voladura. Concluye que, el factor de carga (Fc.) se disminuyó de 25 a 23,280 Kg/m, y se logró reducir el factor de potencia (Fp.) de 1,29 a 1,05 Kg/m<sup>3</sup>. A pesar de estos ajustes, no fue posible reducir la sobrerotura según lo planificado; de hecho, el indicador clave de rendimiento (KPI) de sobrerotura superó lo programado en un 9,41%. Queda pendiente la formulación de nuevas propuestas para implementar voladuras controladas mediante recorte, con el objetivo de lograr una reducción del 100% en la sobrerotura.



Chahua (2022) en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal reducir los costos unitarios de perforación y voladura mediante el rediseño de la malla de perforación en labores de preparación. Aplicando la metodología preexperimental se llevaron a cabo pruebas con el propósito de mejorar la malla de perforación previamente empleada. Estas mejoras estuvieron dirigidas a perfeccionar las operaciones de perforación y voladura, con el objetivo de alcanzar una eficiencia de voladura superior y cumplir con el avance programado. Llega a la conclusión de que, la configuración inicial de la malla de perforación incluía 30 taladros con explosivos y 3 taladros de alivio, y no se aplicaba la técnica de voladura controlada en hastiales y corona para reducir la sobrerotura en los contornos de la labor. Con la nueva estructura de la malla de perforación, se perforan únicamente 27 taladros con carga y 4 taladros de alivio, lo que resulta en una reducción de costos en explosivos, mano de obra, consumo de aceros y tiempo de carguío, al mismo tiempo que aumenta la eficiencia de los avances en un 90%.

De la Cruz (2022) en su estudio de investigación cuyo objetivo era optimizar el diseño de perforación y voladura para reducir el costo en el desarrollo de la galería 5361 de la empresa minera Vicus S.A.C. Mediante esta metodología llegó al siguiente resultado, la mejora en la perforación y voladura con una barra de 6 pies en la situación actual resulta en un costo total de S/ 1212,98 por unidad valorizada, es decir, el costo por metro lineal de avance. En una situación óptima, este costo se reduce a S/ 1044,84, con una disminución de S/ 168,14. En la configuración actual, el diseño de perforación y voladura con barra de 6 pies para un tramo de 200 metros lineales requiere 139 disparos entre día y noche. En una situación óptima, este número se reduce a 119 disparos, lo que implica una diferencia de 20 disparos. En cuanto al costo para el tramo de 200 metros lineales, en la situación actual es de S/ 168 448,09, mientras que, en la situación óptima, el costo es de S/ 124 201,05, logrando una reducción de S/ 44 247,04.



Sausedo & Zegarra (2022) quienes en su trabajo de investigación tenían como objetivo principal optimizar los costos de perforación y voladura aplicando una nueva malla de perforación en labores de preparación y desarrollo. La metodología aplicada es de naturaleza cuantitativa, ya que la recopilación de datos se llevó a cabo mediante mediciones numéricas a lo largo de un período de 7 días. El trabajo de investigación se estructura en dos fases distintas: la primera, en el campo, donde se recopiló las informaciones geológicas y geomecánicas de la roca, se determinó el tamaño de la galería, se establecieron los parámetros geométricos y se evaluó la fragmentación; la segunda, en el gabinete, se centró en diseñar la malla de perforación aplicando el modelo matemático desarrollado por Roger Holmberg. Los resultados obtenidos muestran una disminución en la cantidad de taladros, pasando de 45 a 40, y una minimización de los costos asociados a la perforación y voladura, desde 237,81 \$/disparo hasta 206,87 \$/disparo. En consecuencia, se puede concluir que la implementación de la nueva malla de perforación y voladura ha conducido a una optimización significativa de los costos operativos en las actividades de preparación y desarrollo de los niveles 19 y 20 de una Unidad Minera en la región de La Libertad.

Acero (2021) en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal, diseñar una malla de perforación y voladura analizando las variables medibles para determinar la relación con el avance lineal. Aplicando la metodología de recopilación de datos en la unidad de análisis examinada en la investigación proporcionó valores característicos, medibles y replicables relacionados con la disminución de la sobre rotura y el aumento de la fragmentación de la roca. Estos valores contribuyeron a mejorar los rendimientos de avance por disparo, alcanzando eficiencias superiores al 80%. Los resultados obtenidos en el estudio permiten el procesamiento y análisis de la malla de perforación y voladura de rocas con el objetivo de mejorar los procedimientos de las voladuras



existentes, así como fortalecer la estabilidad de las paredes de la sección y controlar el riesgo de caída de rocas. El impacto de diseñar una malla de perforación y voladura de rocas basada en la reducción de la sobre rotura de las paredes de la sección y en el aumento de la fragmentación de la roca ha contribuido al cumplimiento del ciclo de minado con menores costos y un rendimiento productivo mayor, expresado en metros lineales, metros cúbicos y toneladas por unidad de tiempo.

Del Carpio (2021) en su estudio de investigación tenía como objetivo principal reducir los costos de perforación y voladura en labores de avance mediante el rediseño de la malla de perforación y determinación de la carga explosiva. Mediante la metodología del diseño de malla adoptando un menor diámetro del taladro de perforación 45 mm. Los resultados que obtuvo, indican un aumento del 7% en el avance por disparo, una mejora del 21% en el factor de avance y una reducción del 14% en los costos de voladura. Todas las pruebas realizadas se llevaron a cabo con la aplicación de controles y una disciplina operativa estricta para prevenir tiros cortados y disparos soplados.

Flores (2020) en su trabajo de investigación tenía como el objetivo principal mejorar la eficiencia en los costos asociados con la perforación y voladura, mediante la modificación de la disposición de los taladros de perforación y el ajuste del factor de carga explosiva. La metodología aplicada fue la evaluación de todos los procedimientos previos de perforación y voladura. Durante este análisis, se examinaron la malla de perforación, así como la cantidad de explosivo utilizado. Llega a la conclusión de que, al mejorar la malla de perforación y el factor de carga explosiva, se optimizaron los costos de perforación y voladura de 253,19 USD/m a 223,60 USD/m con un beneficio de 29,59 USD/m.



Mamani (2020) en su trabajo de investigación tenía como objetivo optimizar los costos de producción mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura. La metodología de investigación ha implicado la evaluación exhaustiva de todos los procedimientos previos de perforación y voladura. Durante este proceso, analizó detenidamente el diseño de la malla anterior, tomando en consideración aspectos como la cantidad de taladros, burden, espaciamiento y carga explosiva. Concluyó que, mediante el diseño de malla, y la carga explosiva, los costos de perforación se redujeron de 158,54 US \$/m a 141,88 US \$/m, logrando una diferencia de 16,66 US\$/m, y los costos de voladura se redujeron de 123,39 US \$/m a 97,73 US \$/m, obteniendo una diferencia de 25,66 US\$/m.

Alcos (2019) en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal determinar y aplicar un nuevo diseño de malla de perforación para obtener la longitud de carga explosiva y de esta manera reducir los costos de perforación y voladura. Mediante la metodología de la evaluación del proceso de perforación y voladura anterior, se examinaron detalladamente los procedimientos de avance lineal en la perforación y voladura, este análisis se basó en las propiedades geomecánicas de la roca encajonante y en las características de los explosivos utilizados en la voladura. Tras evaluar el resultado de la nueva disposición de perforación y la distribución adecuada de la carga explosiva para minimizar los costos, se comprobó su eficacia en la definición del diseño de la malla. Obteniendo los siguientes resultados; se logró optimizar la cantidad de taladros, reduciéndolos de 46 a 41 esto generó una disminución en los costos por disparo de 26,98 US\$/m y se redujo a 0,27 kg/m<sup>3</sup> el factor de carga. Se sugiere mantener una supervisión continua tanto antes como después de la perforación y voladura, con el fin de realizar un seguimiento adecuado, observar el comportamiento de la roca y determinar el diseño de la malla y la carga explosiva más apropiados.



Barzola (2019) en su estudio de investigación tenía como objetivo principal, determinar en qué medida la optimización de los criterios de perforación y voladura incidió en la reducción de los costos operativos en la ejecución del crucero. Los métodos de investigación son método cuantitativo, tipo de aplicación, nivel de correlación de descripción y diseño experimental, finalmente concluye que, el costo operativo unitario se puede reducir en 871,93 S/ al optimizar el estándar de perforación y voladura. 756,31 S/. lo que supone una disminución del 13,26% respecto a los gastos anteriores.

Ortiz (2019) en su estudio de investigación tenía como objetivo principal, reducir los costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla. Haciendo uso de la metodología de la evaluación exhaustiva de todo el proceso de perforación y voladura anterior. El cual consistió en analizar detenidamente el diseño de la malla anterior, tomando en consideración aspectos como el burden, espaciamiento, número de taladros y factor de carga. el costo de perforación se minimizó de 150,74 US\$/m a 140,77 US\$/m, obteniendo un beneficio de 9,97 US\$/m, y el costo de voladura se redujo de 102,47 US\$/m a 82,83 US\$/m, con un beneficio de 19,64 US\$/m. La metodología utilizada para minimizar los costos de perforación y voladura fue el rediseño la malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva según las características del macizo rocoso.

Araca (2018) en su estudio de investigación tenía como objetivo principal optimizar los costos de producción mina, mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura. La metodología para desarrollar el presente estudio de investigación ha consistido Inicialmente, se llevó a cabo la supervisión de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la explotación previa. Durante este proceso, examinó elementos como la cantidad de taladros, burden, espaciamiento, la masa rocosa, equipos y la carga explosiva empleada. Todos estos detalles fueron debidamente registrados en las fichas de control correspondientes. El tipo de prospección utilizado en



el estudio fue cuantitativo y longitudinal, recopilando datos de campo en varios momentos. Llegó a la conclusión de que, este enfoque redujo los costos de perforación y voladura en 0,30 \$/t de 7,84 \$/t a 7,54 \$/t.

De la Cruz (2018) en su estudio de investigación tenía como objetivo estandarizar la malla de perforación para optimizar los costos de perforación y voladura. Mediante la metodología del diseño de una nueva malla de perforación aplicando el algoritmo de Holmberg para este fin. Llegó a la conclusión de que, diseñando la nueva malla se redujo el costo por metro lineal de S/. 746,66 a S/. 660,05, logrando un beneficio de S/. 86,61 que equivale a 11,59%.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Accesorios de perforación**

#### **a) Barras**

Son barras o tubos de acero acoplables que transmiten la fuerza de impacto del martillo al extremo puntiagudo o broca, fijado en un extremo, y las barras pueden ser tubulares, hexagonales, macizas, etc. y sus uniones roscadas, como rosca cónica, vástago normal. Finalmente, el grupo de varillas enterizas con culatas, dividido por la forma de la punta o broca y la forma de insertos, respectivamente, son varillas integrales, dispuestas en serie, cuyo diámetro el inserto de varilla disminuye a medida que aumenta. longitud de la misma. Los tipos principales son: broca tipo cincel, broca de inserción múltiple (López, 1994).

#### **b) Brocas**

Las brocas son dispositivos de corte, construidas de acero de alta resistencia, endurecidas en los bordes con insertos de un material resistente al desgaste que son aleaciones. Las brocas utilizadas en la percusión rotatoria, tienen



una serie de ranuras centrales y laterales a través de las cuales se inyecta líquido de barrido para eliminar los escombros o detritos y tienen ranuras para pasar las partículas de roca generadas (López, 1994).

### **2.2.2. Condiciones de perforación**

Para lograr una explosión o voladura efectiva, el proceso de perforación es de suma importancia y también la elección del explosivo, entonces este trabajo se debe realizar con bastante cuidado. En muchas minas, no se implementó completamente el monitoreo cuidadoso del proceso de perforación, lo que resultó en deficiencias en la calidad de trabajos (desviación de taladros, espaciado irregular, longitud irregular, etc.) y pérdida de eficiencia energética explosivos disponibles. La calidad del taladro a perforar suele estar determinada por cuatro condiciones: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad (Jáuregui, 2011).

El diámetro del taladro dependerá del tipo de aplicación que se utilizará. Como regla general, una estructura con el menor diámetro posible es el más conveniente y económica para su ejecución. La longitud afecta en gran medida la selección de los equipos de perforación y en los avances por disparo. El enderezado varía según la masa rocosa, el método de perforación y las características de los equipos de perforación deben tener la máxima rectitud y alineación para que los explosivos se entreguen correctamente distribuidos durante la mayoría de las operaciones de perforación. El paralelismo entre los taladros es importante para la interacción de las cargas explosivas durante la detonación o voladura (Jáuregui, 2011).



### **2.2.3. Distribución y denominación de los taladros**

La disposición de los taladros y distribución de su salida brindan múltiples alternativas, dependiendo de la naturaleza de las rocas y las características de los equipos de perforación, se vuelven muy complejos en algunos casos. Como el famoso grabado cuadrado y rómbico con encendido de punta de diamante, distribución de taladros y orden de salida (López, 1994).

#### **a) Taladros de arranque**

Su función de la salida es formar la primera cavidad, con la finalidad de generar una segunda cara libre para facilitar la salida de los demás taladros (Fernández, 2012).

#### **b) Taladros de ayuda**

Son taladros que rodean la abertura primaria y las salidas de la forma hacia la cavidad original, las cuales varían en número y distribución (EXSA, 2001).

#### **c) Taladros cuadradores**

Son los taladros que conforman los lados de la sección del túnel o galería (EXSA, 2001).

#### **d) Taladros de alza o techos**

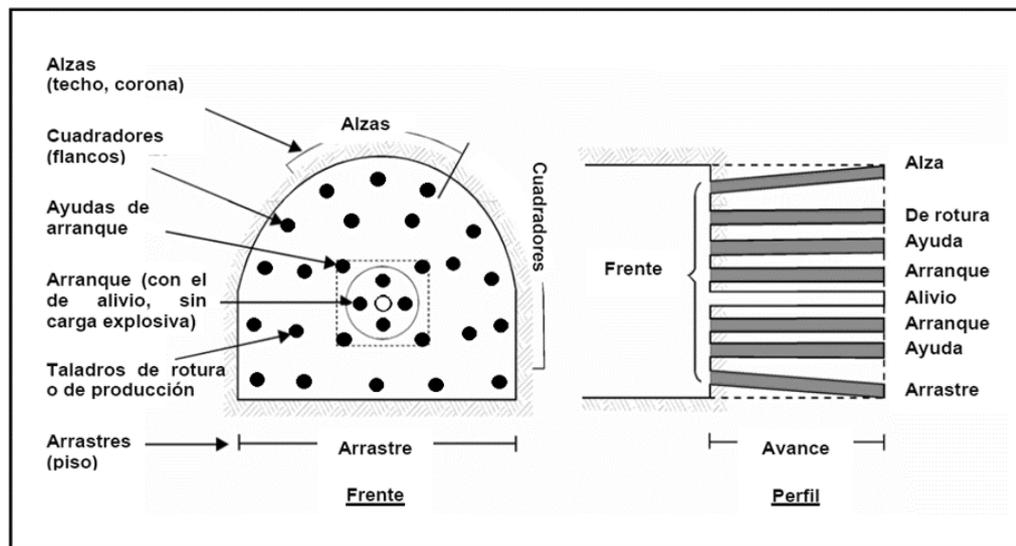
También se les conoce como taladros de corona. En el método de voladura de recorte o explosión suave, la superbarra y el cuadrado se juntan inmediatamente y al final de toda la ronda (Yucra, 2022).

#### **e) Taladros de arrastre**

Son los taladros que están dispuestos en la parte inferior de la galería, detonan al final de las voladuras (EXSA, 2001).

**Figura 1**

*Designación de taladros*



Nota: (EXSA, 2001)

#### 2.2.4. Diseño de arranque en minería subterránea

El principio de la voladura desde el túnel es abrir una cavidad primaria, llamada corte, cuele o arranque, para crear una segunda cara libre de la gran superficie para facilitar la trituración posterior. Según el resto de la sección, para que el testigo de perforación y la perforación circunferencial puedan trabajar por fracturamiento de la roca dirección hacia la cavidad. Cuando se forma la cavidad, el lado cerrado del túnel se convierte en un "banco anular", los factores de destrucción calculados son los mismos que los utilizados para el banco de superficie, pero, como se mencionó, se requiere una carga mucho mayor para para transportar material triturado. Dependiendo del tamaño del túnel y del diámetro de los taladros, el área del agujero puede variar inicialmente de 1 a 2 m<sup>2</sup>, generalmente efectiva para facilitar la salida de los taladros del núcleo hacia él, pero con taladros. con un diámetro mayor que el espacio requerido puede alcanzar los 4 m<sup>2</sup>. La profundidad de corte debe ser similar a la profundidad estimada antes



de disparar. La ubicación afecta la facilidad de caída del material triturado, el consumo de explosivos, la cantidad de taladros necesarios para el disparo (EXSA, 2001).

**a) Corte quemado (Burn cut)**

Consiste en un grupo de brocas del mismo diámetro perforadas próximas entre sí con diferentes líneas de distribución o formas, algunas sin carga explosiva dichos taladros actúan de caras libres para alimentar a los taladros con carga explosiva para cuando detone. El diseño más simple es un rombo con cinco taladros, con cuatro taladros en la parte superior y un taladro en el medio. Los esquemas con seis, nueve y múltiples taladros distribuidas al cuadrado también son populares, donde una mitad está cargada y la otra vacía, alternando diferentes formas, generalmente triángulos y vistas previas, esquemas más complejos, como la llamada corte sueca, tener la secuencia de salida espiral o caracol (López, 1994).

**2.2.5. Errores y defectos en la perforación**

El taladrado se realiza en menos tiempo posible y con un acabado de alta calidad para evitar que el mineral quede en la caja o se diluya por una mala perforación. El conocimiento necesario para mejorar su trabajo, los perforistas deben ser conscientes de su capacitación, quienes intentan convertirse en realizar múltiples trabajos y flexibilidad en el cambio permanente y la participación en grupos mejora continua. Finalmente, el perforista debe cumplir con órdenes de su jefe y tener un conocimiento ideal del proceso del trabajo seguro y identificando los peligros, evaluación y control de riesgos. Así mismo se muestran los errores de perforación, que es la razón de la mala calidad del trabajo (EXSA, 2001).



**a) Desviación en el paralelismo**

El burden no se mantiene homogéneo resulta más al fondo lo que afecta al fracturamiento y al avance. Este problema se determina en los arranques y en los techos de túneles y galerías (EXSA, 2001).

**b) Espaciamientos irregulares entre taladros**

Propician fragmentación gruesa o soplo del explosivo (EXSA, 2001).

**c) Irregular longitud de taladros**

Influye en el avance y determina una nueva cara muy irregular (EXSA, 2001).

**d) Intercepción de taladros**

Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de roca a romper (EXSA, 2001).

**2.2.6. Voladura de rocas**

Según los estándares de la mecánica de fragmentación, voladura es un proceso tridimensional en el que la presión ejercida por el explosivo se limita a los agujeros perforados en la roca, creando una región de energía altamente concentrada que produce dos efectos de respuesta dinámica: fragmentación y desplazamiento (EXSA, 2001).

**2.2.7. Descripción del método de Holmberg para un diseño de voladura**

Los cálculos de voladura tienen en cuenta el diseño del arranque, arrastre, cuadradores y alzas.



Dado que este tipo de excavación no tiene salida de voladura, como en los tajos abiertos, la salida debe realizarse a través de un cuele o arranque constituida por barrenos huecos, vacíos o de expansión, cuyo diseño podrá ser desde uno o más barrenos de diámetro variable (EXSA, 2001).

A continuación, se observa una interpretación del método de Holmberg para el diseño de voladura.

#### Diámetro Equivalente

Calculando el diámetro equivalente de un solo alivio el cual contenga el volumen de todos los taladros de alivio, bajo la siguiente ecuación:

$$\varnothing 2 = \varnothing 1 * \sqrt{N}$$

Donde:

$\varnothing 2$ : Diámetro equivalente. (m)

$\varnothing 1$ : Diámetro de alivio. (m)

N: Números de taladros de alivio

Profundidad del taladro a perforarse (H):

$$H=0.15+34.1\varnothing_1 - 39.4\varnothing_1^2$$

Donde:

$\varnothing_1$  = Diámetro de Producción

Avance requerido (L):

$$L = 0.95 * H$$



Donde:

H = Longitud de barreno

Calculo de error de perforación

$$E_p = (\alpha * L) + e$$

Donde:

$\alpha$  = Desviación angular (m/m)

e = Error de emboquillado (m)

Calculo de la primera sección de arranque o cuele

La distancia entre los taladros de perforación y el taladro vacío en el primer cuadrángulo no debe superar a 1,7 veces al diámetro del taladro vacío, si la voladura y la limpieza son satisfactorias en el lugar. Las condiciones de fracturamiento dependen del tipo de explosivo, estructuras de la masa rocosa, distancia entre taladros cargados y los taladros vacíos. Si la desviación máxima del taladro aceptado es de la magnitud de 0,5 % a 1 %, entonces el burden practico para el espaciamiento en el arranque debe ser menor que el burden máximo (Ayamamani, 2016).

#### **2.2.8. Modificación del modelo de corte de cuatro secciones para el diseño de voladura en la mina de carbón razi - norte de Irán**

El modelo sueco de cuatro secciones basado en taladros de corte paralelo, que comenzó con Langefors y Kihlstrom (1963) desarrollado más aun por Holmberg (1982), y posteriormente actualizado por Persson et al (2001), es aplicable para secciones transversales mayores de 10 m<sup>2</sup>, para túneles de secciones



pequeñas se precisa de algunas modificaciones para lograr la cantidad apropiada de los parámetros, como la eliminación del tercer cuadrante. En la mina de carbón razi de norte de Irán; se modifica el método de corte de cuatro secciones para el diseño de patrones para túneles de área de sección menores a  $10 \text{ m}^2$  (Hossaini y Poursaeed, 2019).

#### Cálculo de burden y espaciamiento

- Primer cuadrante:

$$B_1 = 1.7 * \phi_2$$

- Primer espaciamiento:

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

- Segundo cuadrante:

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

- Segundo espaciamiento:

$$X_2 = \sqrt{2} * B_2 * 1.5$$

- Burden de los cuadradores:

$$B_C = 0.012 (2P_c/p_r + 1.5) \phi_c - E$$

- Espaciamiento de los cuadrantes:

$$E_C = 2.3 * B_C$$

- Burden en la corona:

$$B_t = 0.012 (2\rho C/p_r + 1.5) \phi_c - E$$



- Espaciamiento en la corona:

$$Et = 1 * Bt$$

- Burden en los Hastiales:

$$Bp = 0.012 (2\rho C/\rho r + 1.5) \phi c - E$$

- Espaciamiento en los Hastiales:

$$Ep = 1 * Bp$$

- Burden en el Arrastre:

$$Ba = 0.012 ( 2\rho C/\rho r + 0.85) \phi c - E$$

- Espaciamiento en el Arrastre:

$$Ea = 1 * Ba$$

- Calculo de longitud de taco (Ltaco)

$$L_{taco} = 10 * \phi_1$$

$\phi_1$ : Diámetro de producción.

Calculo de longitud de carga

$$Lc = L - Ltaco$$

Donde:

L: Avance requerido

(Hossaini y Poursaeed, 2019).

### 2.2.9. Evaluación de la voladura



Una voladura se evalúa por los resultados obtenidos para calificarla se consideran los siguientes aspectos:

**a) Volumen de material roto**

La masa o tonelaje del material en movimiento debe ser igual o cercana a la masa teórica calculado previamente, calculada teniendo en cuenta el hinchamiento del material roto (EXSA, 2001).

**b) Avance del disparo**

Para voladuras de túneles, galerías o secciones transversales, el avance máximo es igual al ancho del túnel, por lo que el avance debe ser al menos igual a la profundidad del taladro. El perímetro del túnel debe ser igual a la longitud teóricamente esperada. Si es menor, requerirá extensiones adicionales (desquinche). Por otro lado, si excede los límites especificados genera problemas de costos (EXSA, 2001).

**c) Pisos**

En galerías y túneles, es fundamental mantener el nivel del piso para drenaje de agua, tránsito, transporte de equipos mineros y tendido de rieles en minas convencionales y movimiento con locomotora (EXSA, 2001).

**d) Fragmentación del material roto**

El grado de fragmentación del material granulado y el tamaño promedio de las piezas requeridas variarán según el trabajo utilizado, pero la fragmentación demasiado gruesa o demasiado fina suele ser una desventaja. Debe respetar la proporción de bloques grandes que disminuirán más adelante. La fragmentación está directamente relacionada con la facilidad y el costo de transportar con las scooptrams, palas neumáticas (EXSA, 2001).



#### **e) Perímetro de la sección**

La voladura de túneles y estructuras subterráneas debilita y agrieta las rocas que quedan a su alrededor, lo que afecta su profundidad y corre el riesgo de derrumbarse techos y paredes. Además de condiciones geológicas inciertas, estructuras débiles y de alto grado de fracturamiento, excesos de explosivos y/o carga activa se presentan momentáneamente o en muy poco tiempo entre perforaciones por el fuerte impacto que producen (EXSA, 2001).

#### **f) Desplazamiento y acumulación del material roto**

El movimiento y acumulación de material fragmentado debe ser suficiente para facilitar la manipulación y transporte del material. La forma acumulada proyectada depende del tipo de equipo utilizado para limpiar el disparo (EXSA, 2001).

#### **2.2.10. Semexsa 65**

Dinamita semigelatinosa muy versátil por sus características de detonación que pueden variar según las circunstancias, desde un alto efecto empujador hasta un alto poder rompedor, lo que permite su empleo en voladura de rocas intermedias a duras (EXSA, 2001).

Gracias a su gran rendimiento, adaptabilidad y seguro manipuleo, son usadas en minería subterránea, canteras, obras civiles (túneles, carreteras) generando también un excelente comportamiento en labores confinadas como rampas, chimeneas, piques y entre otros (EXSA, 2001).

#### **2.2.11. Características técnicas de los explosivos empleados**



Una voladura se evalúa por los resultados obtenidos para calificarla se consideran los siguientes aspectos:

**a) Estabilidad química**

Es la capacidad de un explosivo para permanecer químicamente sin cambios durante un período de tiempo. Es la estabilidad con la que el explosivo de la fábrica permanece sin ningún cambio en las condiciones de almacenamiento. Esto proporciona a los usuarios un producto completamente seguro y confiable para los trabajos de voladura. La inestabilidad explosiva es causada por almacenamiento excesivo o condiciones inadecuadas del sitio. Si se dañan los explosivos son pulverulentos con nitrato de amonio, perderá dinero, pero no se producirán accidentes (EXSA, 2001).

**b) Sensibilidad**

Es una propiedad que un explosivo tenga para una dispersión reactiva a lo largo de su carga, la cual se puede medir determinando el diámetro crítico del explosivo. Las composiciones explosivas tienen un diámetro crítico, que varía según la composición de 1 a 100 mm. Por otro lado, la sensibilidad se define también como una medida de la capacidad del explosivo para propagar la reacción de explosivo a explosivo, teniendo un diámetro más amplio que el diámetro crítico. Puede expresarse como la separación máxima en centímetros entre el explosivo cebado (iniciador) y uno sin cebar (receptor), a la que se produce la transferencia de la detonación (López, 1994).

La sensibilidad explosiva se define como la facilidad con la que debe explotar un explosivo. Por tanto, un explosivo es muy sensible si detona sin perturbar el detonador y las ondas explosivas generadas a su alrededor. Un



explosivo insensible es todo lo contrario. Los explosivos sensibles reducen los daños durante la perforación. Las insensibles, por otro lado, provocan más taladros fallido. En este sentido, los explosivos sensibles son mejores. Sin embargo, está mucho más cerca de causar una explosión accidental que un explosivo insensible con prácticamente cero posibilidades de accidente. En este sentido, las personas insensibles están más seguras que las sensibles (EXSA, 2001).

### **c) Velocidad de detonación**

La característica más importante de un explosivo es la velocidad de detonación, cuanto mayor sea la velocidad explosiva, mayor será su poder destructivo. Su característica más imprescindible de los explosivos es la velocidad de explosión, cuanto más rápida es la explosión, mayor es su poder destructivo. La detonación de un explosivo se entiende como una transformación casi instantánea de un sólido en gas. Esta transformación se produce a muy altas temperaturas con la liberación de una gran cantidad de gas, aproximadamente 10.000 veces su volumen. Para algunos trabajos, los explosivos lentos de baja potencia son atractivos. (en canteras ornamentales). Si quisiéramos una gran producción (sobre todo estéril), utilizaríamos explosivos con baja velocidad de explosión y baja potencia (EXSA, 2001).

### **d) Potencia explosiva**

La potencia se puede definir como la capacidad del explosivo para romper rocas y lanzarlas. Por otro lado, depende de los componentes del explosivo, aunque siempre es posible mejorar la fuerza con una técnica adecuada de voladura. Para medir la fuerza de los explosivos, existen diversas técnicas en el laboratorio, siendo la más utilizada el péndulo balístico. Mediante este



procedimiento, la fuerza explosiva se mide como porcentaje de un explosivo puro, según la convención, la fuerza explosiva es del 100% (EXSA, 2001).

#### **e) Densidad**

La densidad explosiva es una de las características más importantes a considerar cuando se diseña una voladura; Su conocimiento es necesario para calcular huecos de cualquier tamaño con un factor de carga óptimo y su distribución. La densidad del explosivo se expresa en gr/cc. La densidad de la mayoría de los explosivos comerciales oscila entre 0,8 gr/cc hasta 1,6 g/cc. Aumentar demasiado la densidad de los explosivos puede hacer que sean imposibles de detonar. Esta medida de densidad se suele denominar densidad crítica y es muy común en explosivos en polvo utilizados en taladros muy profundos o con presión hidrostática, por lo que a grandes profundidades con fines geofísicos o de exploración se utilizan explosivos en contenedores especiales (Artigas, 2017).

#### **f) Resistencia al agua**

Es la capacidad de soportar la exposición prolongada al agua sin perder sus propiedades explosivas, que se expresa en función del tiempo durante el cual el explosivo puede sumergirse en el agua y luego puede detonar en cualquier momento conservando la fuerza, velocidad, simpatía y la potencia deseada. Varía según la composición del explosivo y en general en el caso de las dinamitas y la gelatina se asocia a un mayor porcentaje de nitroglicerina o de los aditivos que la contienen, siendo esta última más resistente. El agua proporciona H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> adicionales, por lo que se requiere una temperatura adicional de vaporización. Si se usan explosivos en un taladro húmedo, se puede usar casi cualquier explosivo



siempre que el explosivo cargado se mantenga en el taladro por un tiempo breve o tenga una cubierta protectora (Cámac, 2005).

#### **g) Emanación de gases**

La presencia de gases tóxicos en la detonación es la limitación más importante de su uso en las minas subterráneas, porque presenta un gran riesgo de intoxicación para los trabajadores de las mismas. Para trabajar bajo tierra, la composición explosiva debe contener una conformidad suficiente de O<sub>2</sub> capaz de asegurar una combustión completa (EXSA, 2001).

#### **h) Diámetro crítico**

Para los nitruros explosivos, como el NO<sub>3</sub> NH<sub>4</sub>, pueden alcanzar valores de hasta 10 pulgadas, y pueden ser despreciables para la pentrita y el nitruro de plomo, que se utilizan en los cordones detonadores. Hay que decir que el diámetro crítico se ve afectado por la densidad y confinamiento del explosivo en los taladros (EXSA, 2001).

### **2.2.12. Accesorios de voladura**

Una voladura se evalúa por los resultados obtenidos para calificarla se consideran los siguientes aspectos

#### **a) Fulminante**

Los fulminantes constan de una capa de aluminio en la que se colocan la carga explosiva en donde la primera asegura la captura de la flama emitida por la mecha de seguridad, y la segunda es la carga primaria que transforma el proceso de combustión durante la detonación y el encendido. El tercer extremo activo, la carga inicial que provoca la fuerte explosión, respectivamente, el último es la diferencia entre los números 6, 8 y 12, correspondiente al gramo de la explosión

de mercurio que contiene el fulminante. Dado que la imprimación está expuesta en el extremo abierto de la tapa, los fulminantes no deben modificarse ni ser maltratados de ninguna manera; ya que esto puede hacer que fulminante explote prematuramente y provoque un accidente (Yucra, 2022).

## Figura 2

*Fulminate común N° 8*



Nota: (Famesa Explosivos)

### b) Mecha de seguridad

Es un accesorio de voladura del sistema convencional de iniciación. Se caracterizan por ser flexibles y poseen un núcleo central de pólvora, el cual transmite el fuego hasta el fulminante, con una velocidad uniforme. Están recubiertas por capas de diversos materiales que garantizan la continuidad de la combustión y compactación. Los componentes se encuentran protegidos por un recubrimiento de material plástico. El conjunto asegura que la mecha, tenga una excelente impermeabilidad, resistente a la humedad, a la abrasión, a esfuerzos mecánicos, a las condiciones más exigentes; y evita que el fuego se transmita de uno a otro tramo de la Mecha de Seguridad cuando están cerca, minimizando la producción de chispas laterales. Se usa para iniciar el Fulminante (Famesa, 2008).

### Figura 3

#### *Mecha de seguridad*



Nota:(Famesa Explosivos)

#### **2.2.13. Clasificación de Bieniawski sistema RMR**

La clasificación geomecánica RMR posibilita la obtención de un indicador de la calidad del macizo rocoso, considerando la resistencia de la roca en su estado íntegro, el grado de fracturación y diaclasado de las discontinuidades presentes en el macizo, la presencia de agua, así como la orientación de dichas discontinuidades con respecto al elemento de estudio, ya sea un túnel, un talud o una cimentación (Bieniawski, 1989).

Se emplean ciertas caracterizaciones geomecánicas para establecer el rango del índice RMR en el macizo rocoso in situ, tanto en excavaciones subterráneas como en la descripción del estado de la roca (Bieniawski, 1989).

**Tabla 1**

*Clasificación de tipo de roca según Bieniawski*

<b>RMR</b>	<b>Tipo</b>	<b>Definición</b>
0 - 20	I	Muy mala
20 - 40	II	Mala
40 - 60	III	Regular
60 - 80	IV	Buena
80 - 100	V	Muy buena

Nota: Bieniawski (1989).

#### **2.2.14. Sistema de clasificación según las características**

##### **a) Resistencia a la compresión uniaxial**

La medición se realiza mediante la prueba de rotura por compresión simple de muestras de rocas o mediante el ensayo de carga puntual. La puntuación oscila entre 0 y 15 puntos, en función de la resistencia de la roca (Bieniawski, 1989).

##### **b) Rock Quality Design “RQD”**

Evalúa la fracturación del macizo utilizando el ampliamente reconocido RQD, asignando una puntuación que va desde 3 puntos cuando el valor de RQD es menor al 25%, hasta 20 puntos cuando el valor de RQD supera el 90% (Bieniawski, 1989).

##### **c) Separación entre diaclasas**

De acuerdo con la instrucción, asigna puntuación al espacio entre discontinuidades, otorgando 20 puntos cuando las diaclasas están separadas por más de 2 metros y un valor mínimo de 5 cuando el espaciado es inferior a 6 centímetros (Bieniawski, 1989).

##### **d) Estado de las diaclasas**

Permite puntuar el estado de las diaclasas a través de persistencia o longitud de las discontinuidades, abertura, rugosidad, presencia de relleno y

alteración de las juntas el valor máximo es de 20 puntos mientras que el mínimo es de 0 puntos (Bieniawski, 1989).

**e) Presencia de agua**

Mide la filtración de agua en la masa rocosa, el flujo de agua y la humedad que se presenta en las discontinuidades. La puntuación alcanza un valor de 15 para un macizo rocoso seco y un valor de 0 para cuando el agua está fluyendo (Bieniawski, 1989).

**f) Corrección de orientaciones**

Permite corregir el índice RMR mediante la orientación de las principales discontinuidades en el macizo respecto a la orientación de la excavación la valoración de este parámetro se desliza desde orientaciones (Bieniawski, 1989).

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

Durante la detonación de un explosivo podrían diferenciarse dos fases:

**a) Primera fase**

Está representado por presencia de una onda de detonación más rápida o de menor velocidad, propiedad que explica en mayor medida el poder rompedor del explosivo (López, 1994).

**b) Segunda fase**

Consiste en la formación de un gran volumen de gases a alta temperatura. Cuando el explosivo queda atrapado dentro de un taladro y se detona, se generan ondas de detonación que se propagan a través de las rocas circundantes. En un punto cercano al taladro, esta onda explosiva crea un efecto de compresión al llegar a él, pero al pasar a través de él, el esfuerzo se convierte en esfuerzo de tracción (Cámac, 2005).



Esta transición de compresión a tracción, en el caso de un taladro perforado en un macizo sin caras libres. La resistencia a la tracción de la roca es de 10 a 100 veces menor que la resistencia a la compresión. Por lo tanto, será más fácil romperlo por un efecto a tracción (Cámac, 2005).

#### **2.2.16. Proceso de fracturamiento**

La fragmentación dinámica de rocas incluye una reacción explosiva e importante de las masas rocosas circundantes, relacionadas con factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecanismos de rocas y otros mecanismos, en el mecanismo de interacción rápido y complejo. Este mecanismo no se ha determinado completamente, ya que hay algunas teorías que está tratando de explicar, en las que mencionamos a:

- Teoría de reflexión.
- Teoría de expansión de gases.
- Teoría de ruptura flexural.
- Teoría de torque o de cizallamiento.
- Teoría de craterización.
- Teoría de energía de los frentes de ondas de compresión y tensión.
- Teoría de liberación súbita de cargas.
- Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Estas teorías se basan en los parámetros de distribución de energía, el efecto de la tensión-compresión, la deliberación de la onda de choque en la cara libre, el corte y los efectos de corte debido al movimiento de torsión entre los taladros, a partir de la presión de los gases. Los gases trabajan sobre las rocas y desde la liberación de cargas, rotura de material por flexión, integración o



nucleación de microfisuras en fisuras y fallas, colisión de escombros aerotransportados y similares, que se sostienen sobre la base de especulaciones (Cámac, 2005).

#### **a) Descripción del proceso**

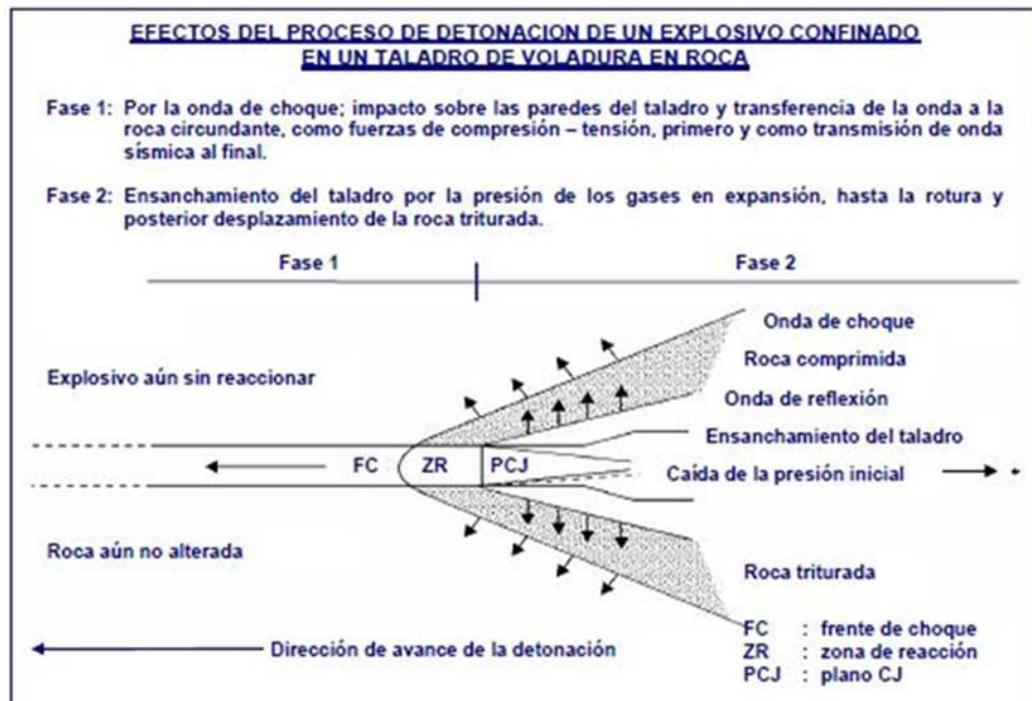
Inmediatamente después de la detonación, el impacto de la onda de choque y los gases que se expanden rápidamente en la pared del taladro, se transmite a la roca circundante, propagándose a través de ella como una onda o fuerza de presión, causando solo deformación elástica, ya que la roca tiene resistencia a la compresión muy alta. Cuando estas ondas alcanzan la cara libre de la cara de impacto, provocan tensiones de tracción en el macizo rocoso, entre la cara libre y el taladro. Si se excede la resistencia a la tracción de la roca fracturada en el área de la línea de carga mínima (burden), la onda reflejada en este caso es la onda de presión que regresa al origen creando grietas y hendiduras por tensión natural. Niveles de debilidades y vulnerabilidades existentes, el impacto de la fractura profunda (EXSA, 2001).

Se debe calcular correctamente la distancia entre el taladro y la cara libre, la roca entre los dos puntos cederá y los gases restantes desplazarán rápidamente la masa de material fragmentado hacia adelante, hasta que pierda su resistencia por enfriamiento. En este punto se produce una mayor fragmentación debido al impacto de los fragmentos de roca en el aire. La respuesta del explosivo en el taladro es muy rápida, y su acción efectiva se considera completa cuando el volumen de la masa se expande a 10 veces el volumen original, lo que demora entre 5 y 10 milisegundos. En general, el fracturamiento es más efectivo en rocas densas y homogéneas que en rocas naturalmente fracturadas, ya que estas últimas los gases tienden a escaparse por grietas, reduciendo energía y utilidad.

Teóricamente, la detonación tiene un efecto de expansión esférica, pero debido a que el explosivo generalmente se carga en taladros u orificios cilíndricos, la detonación tiene expansión cilíndrica, como consecuencia de la dilatación del taladro en un entorno rígido, provocando un proceso de agrietamiento radial, lo que resulta en la formación de planos de grieta longitudinal consistente con el eje del taladro (López, 1994).

#### Figura 4

*Efectos del proceso de detonación*



Nota: (EXSA, 2009)

#### 2.2.17. Condiciones para la fragmentación del macizo rocoso

##### a) Confinamiento del explosivo en el taladro

Para un buen acoplamiento a la pared interior permite la transmisión de ondas de choque a la roca. Los explosivos sueltos, la presencia de huecos o la separación reducen significativamente este efecto (EXSA, 2001).



### **b) Cara libre**

Es necesario para formar y retorno de las ondas de presión reflejadas que provocan la fragmentación. Si la cara libre es inadecuada la voladura será deficiente y si no hay cara libre y si no hay superficie libre, la onda de presión viajará libremente sin reflexión, y solo viajará a la distancia como onda sísmica (EXSA, 2001).

### **c) Distancia del taladro a la cara libre**

También se conoce como la línea de menor resistencia o burden. Debe adaptarse a cada diámetro de taladro. Si es demasiado larga, la reflexión de la onda es muy pequeña e incluso nula y la fragmentación se limita a la boca del taladro como caracterización. Si estas condiciones son las convenientes, la repulsión de los gases sobre la masa de roca triturada provocará también la formación de niveles de fractura transversal, partiendo desde la cara libre, bajo la acción de los esfuerzos de tracción generados cuando se tritura la roca hasta sus límites rocosos. Deformación elástica y deformación convexa de la cara libre, en las que se forman grietas de plegamiento, de las que surgen los planos de falla transversal antes mencionados. El material fracturado y vertido se acumula formando montones de escombros o detritus, extendiéndose hasta la base de la nueva cara libre, a una distancia superior al burden original, conocida como desfase o fallamiento. La cual se llama esponjamiento. Este aspecto es muy necesario para el cálculo del volumen de rocas transportadas con equipos de acarreo y se estima en función del coeficiente de expansión de las distintas rocas y del tamaño de las piezas del corte realizadas en las voladuras (EXSA, 2001).

#### **d) Fisuramiento cilíndrico radial**

Punto de carga explosiva (relación máxima longitud/diámetro: 6/1, no más de 6 veces el diámetro equivalente del taladro), generalmente creando un agujero de perforación o un agujero en forma de copa de profundidad limitada, mientras que un taladro convencional (más de 6 diámetros) tiene una expansión cilíndrica que se extiende radialmente a lo largo de toda su longitud. Esta distribución del grado de destrucción y alcance máximo de la detonación son importantes para calcular la distancia entre los taladros. Si se completa, habrá una buena fragmentación debido a la interacción entre ellos si es demasiado largo solo provocará una caracterización en el taladro, dejando una gran cantidad de residuos entre ellos, o peor aún, el taladro solo soplará aire sin causar una ruptura entre ellos. Si el cebo iniciador está en el fondo del taladro como es habitual, la prolongación no será cilíndrica, sino que toma la figura de una gota, lo que complica la interpretación y representación gráfica del proceso. Los conceptos de fracturación de rocas se aplican a todos los tipos de taladros superficial y subterránea. Las condiciones geológicas circundantes también deben tenerse en cuenta para derivar los resultados. Así, por ejemplo, diaclasas o grietas de otro tipo paralelas al eje del agujero incidirán en la formación de grietas radiales sellándolas; Por otro lado, este tipo de cortadores permitirán que se escape gases, reduciendo la energía e incluso afectando a otros taladros cercanos (López, 1994).

#### **2.2.18. Cálculo para el diseño de perforación y voladura**

##### **a) Cálculo y distribución de la carga explosiva columna explosiva**

Es la parte activa del taladro, también conocida como "longitud de carga", donde se produce reacción explosiva y la presión inicial de los gases sobre la pared del taladro. La repartición de explosivos en el taladro es muy importante



dependiendo de las condiciones o condiciones de la roca. Por lo general, consta de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continuo o segmentado. Por lo tanto, solo se podría emplear la carga al fondo, la carga de medio eje, la carga de eje completo o la carga parcial (espaciada o alterna) se pueden usar de acuerdo con los requisitos incluso para cada taladro de una voladura. La columna continua se usa más comúnmente para roca quebradiza o de bajo grado que suele ser el mismo tipo de explosivo, mientras que para roca dura, tenaces y competentes se divide en dos partes: carga de fondo (CF) y carga de fondo de columna (CC) ( EXSA, 2001).

$$V = S * L$$

Donde:

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

$$S = \text{Dimensión de la sección (m}^2\text{)}$$

$$L = \text{Longitud de taladros (m)}$$

Si se desearíamos expresarlo en toneladas de material in situ se multiplicaría por la densidad promedio de la roca o el material que se pretende volarse.

$$\text{Ton (t)} = V * \rho$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad de roca (kg /m}^3\text{)}$$

$$(Qt) = V \times \text{kg/m}^3$$



Donde:

$Q_t$  = Cantidad de carga

$V$  = volumen estimado ( $m^3$ )

$Kg/m^3$  = Carga por  $m^3$

## b) Cálculo de número de taladros

La cantidad de taladros necesarios para una voladura subterránea depende del tipo de roca que se explote, el grado de confinamiento del frente, el grado de fracturamiento deseado y el diámetro de las brocas de perforación disponibles; los factores individuales que pueden hacer necesario reducir o expandir la malla de disparos y por lo tanto aumentar o disminuir el número de taladros calculados teóricamente también afectan la clase de explosivo y el método de arranque utilizado. Los factores individuales que pueden hacer necesario minimizar o expandir la malla de perforación de esa manera aumentar o reducir el número de taladros calculados teóricamente también afectan el tipo de explosivo y el método de arranque utilizado. El número de taladros se puede aproximar usando la siguiente fórmula empírica, o más precisamente con su relación (López, 1994).

Según la fórmula de EXSA.

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \frac{P}{Dt} + S \times Ks$$

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

Donde:

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



$P$  = Perímetro de la sección del túnel (m).

$S$  = Sección de la galería ( $m^2$ ).

$D_t$  = Distancia entre taladros (m).

$K_s$  = Constante de roca

La sección de la galería se da por la siguiente ecuación:

$$S = b \times h$$

Donde:

$b$  = Ancho del túnel

$h$  = Altura del túnel

### c) Distancia entre taladros

Se determina según la cantidad de taladros y el área del frente de la labor. Oscila entre 15 y 30 cm entre los arranques, entre 60 y 90 cm entre las ayudas y entre 50 y 70 cm los cuadradores. Como regla general, calcule que la distancia sea de 2 pies (60 cm) por pulgada de diámetro de perforación. Los taladros de los extremos (alzas y cuadradores) deben perforarse a 20-30 cm de los límites de la pared del túnel para facilitar la perforación y evitar roturas excesivas. Por lo general, se perforan desviándose ligeramente del eje del túnel para que sus topes puedan mantener el mismo ancho de sección en la nueva cara libre recién formada (López, 1994).

### d) Longitud de taladros

Estará determinada en parte por el ancho de la sección útil, el método elegido para iniciar el corte y las características del equipo de perforación. Con



corte quemado se puede perforar a una profundidad de 2 m y 3 m, mientras que con corte en "V" se pueden perforar solo de 1 a 2 metros en túneles de pequeñas secciones (EXSA, 2001).

**e) Cantidad de carga**

Depende de la dureza de la roca y del tamaño del frente de voladura, que se ve afectado por: el número de taladros, su diámetro y profundidad; El tipo de explosivo y material iniciador a utilizar. Cabe señalar que la cantidad de explosivo detonado por metro cuadrado se reduce aún más debido a la gran sección transversal de la labor (EXSA, 2001).

**f) Factor de carga**

El factor de carga es la medida de explosivo en kilogramos por metro cúbico de roca. Este factor es el indicador económico más importante a la hora de diseñar un modelo de voladura. A menudo se utiliza como indicador de la eficiencia de la detonación

$$F. C. = \text{kg de explosivo total} / \text{volumen roto}$$

Donde:

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

(EXSA, 2001).

**g) Factor de carga lineal**

$$F. C. L. = \text{kg de explosivo total} / \text{Metrol lineal de avance.}$$

(EXSA, 2001).



#### **h) Factor de potencia**

Es la cantidad de explosivo en kilos por tonelada métrica de roca.

$$F. P. = \text{kg de explosivo total} / \text{tonelaje roto}$$

Donde:

V = volumen roto

(EXSA, 2001).

#### **2.2.19. Minimización de costos de una empresa**

Es el proceso que llevan a cabo diversas empresas con la intención de minimizar sus gastos e incrementar sus ganancias. Este concepto comprende el análisis continuo de todas las actividades empresariales para tomar decisiones oportunas y aplicar una serie de acciones con las que se logre aumentar la competitividad mediante la mejora de procesos, productos, servicios y costos (Gonzales, 2022).

Cuando se aplica una estrategia de minimización de costos se busca elevar la rentabilidad de la empresa y por ende, la productividad. En palabras más simples, se pretende hacer más por menos, producir más con el presupuesto y los recursos que se tienen o bien, producir la misma cantidad con menores gastos; cualquiera de los dos casos el objetivo es reducir los costos. Una óptima reducción de costos conduce a tener una mayor flexibilidad y apertura para aprovechar las oportunidades del mercado. Por ello, es indispensable saber manejar las ventajas que ofrece esta iniciativa que, para algunas empresas sigue siendo un gran reto que trae consigo. Algunas técnicas para minimizar los costos de una empresa son (Gonzales, 2022).



### **a) Ingeniería de valor**

Este es un sistema que ayuda a analizar e implementar medidas correctivas a un servicio o producto, con él se busca sacar el máximo provecho de todos los recursos y disminuir los costos de producción para mantener o en medida de lo posible, aumentar la productividad y la calidad (Gonzales, 2022).

### **b) Consolidación de proveedores**

Los proveedores son quienes proporcionan los recursos que van directo a la cadena de producción. Por lo tanto, una buena estrategia puede ser consolidar nuevos abastecedores de los mismos bienes, pero con mejor precio de compra, de esta manera es posible abrir nuevas rutas de suministro. Otra posibilidad es negociar con los proveedores actuales con la intención de justificar la reducción de costos que a ambas partes les siga generando ingresos y por supuesto, les convenga a largo plazo (Gonzales, 2022).

### **c) Consolidación de componentes**

Este punto tiene relación con el anterior, ya que al igual que en el caso de los proveedores, se puede aplicar la misma estrategia en la adquisición de los componentes que ponen en marcha cada producción. Es decir, se pueden buscar nuevos recursos de menor costo que sean útiles para fabricar los productos o bien, innovar con el uso de otros bienes que se alineen al giro de la empresa (Gonzales, 2022).

### **2.2.20. Costos y gastos.**

El costo es el esfuerzo económico que se realiza para obtener un producto o servicio. Son objetivos los de carácter operativo, tales como: comprar materiales, fabricar un producto, venderlo, prestar servicios, obtener fondos para nuestro



financiamiento, administrar contratos, etc. Si no se logra el objetivo deseado, entonces decimos que tenemos una pérdida. Los costos forman la base para la fijación de precios del producto, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. El costo se define como el valor que se sacrifica para obtener un bien o servicio, expresado en pesos al reducir un activo o incurrir en un pasivo al momento de obtener el beneficio (Guzmán & Santos, 2000).

Al momento de la compra, se incurre en costos para obtener una ventaja presente o futura. Cuando se utilizan estos beneficios, los costos se convierten en gastos. Los gastos se definen como costos generadores de intereses que han expirado. Los costos no deseados que es probable que generen beneficios futuros se clasifican como activos. Los gastos se comparan con los ingresos para determinar la utilidad o la pérdida neta de un periodo (Guzmán & Santos, 2000).

#### **a) Costos directos**

Son cosas que pueden ser plenamente identificadas o asociadas a los productos y servicios que se procesan o realizan, así como aquellas de las que un área en particular se responsabiliza por su uso; con carácter general, podrán tener la consideración de tales los costes derivados del consumo de materiales, servicios recibidos y otras obligaciones que puedan estar específicamente relacionadas con la actividad desarrollada. Estos son costos que se asignan directamente a las actividades de producción. Usualmente se refieren a costos variables principalmente a los recursos aportados por el personal y los implementos utilizados (Guzmán & Santos, 2009).



## **b) Costos indirectos**

Registra que es el valor de los materiales indirectos, mano de obra indirecta y demás costos aplicables al proceso de elaboración o producción de bienes o la prestación de servicios (Sánchez & Villareal, 2008).

### **2.2.21. Costos operativos o de producción mina (OPEX)**

Los costos de operación se definen como aquéllos generados de forma continuada durante el funcionamiento de una operación, pudiendo subdividir en tres categorías como: costos directos, costos indirectos, gastos generales (Condori, 2019).

Los costos operativos son los costos que se realizan durante la operación mina para obtener un producto o servicio, está relacionado directamente con la producción. Existen varias clases de costos de operación, los principales son:

#### **a) Según áreas de mina**

- Costo de geología
- Costo de operación mina
- Costo de planta
- Costos administrativos

#### **b) Según el nivel de producción**

- Costos fijos
- Costos variables

#### **c) Según su asignación**

- Costos directos
- Costos indirectos



#### **d) Según su elemento de costo**

- Materiales directos.
- Mano de obra
- Costos indirectos

(Ponce, 2014).

### **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

#### **Arranque**

Son taladros que se perforan y se cargan con anterioridad a los demás taladros con la finalidad de generar una segunda cara libre en el frente de la labor.

#### **Malla de perforación**

Es la forma distribución de los taladros en el frente de una labor, en donde se considera la relación del burden y espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladros en el frente de la labor.

#### **Frente**

Es el lugar en donde el personal realiza las operaciones de perforación para realizar el avance de una labor minera ya sea subterránea o superficial.

#### **Espaciamiento**

Es la distancia entre taladros que se cargan con explosivos en una misma área de influencia en la malla de perforación.



### **Burden**

Es la distancia que se mide entre un taladro con explosivo a la carga libre de una malla de perforación, depende del diámetro de perforación, de las características de la masa rocosa y las propiedades de los explosivos a utilizar.

### **Opex**

Se refiere a los costos de operación de las actividades mineras.

### **Factor de carga**

El factor de carga para los explosivos es un parámetro muy importante, tanto para la operación, el diseño y el presupuesto este valor nos indica la cantidad de explosivo necesaria para fracturar una tonelada de roca.

### **Costos directos**

Conocidos como costos variables, son los costos primarios en la operación de la minera Calpa en los procesos productivos de perforación, voladura definiéndose estos en los costos de materiales e insumos, equipos.

### **Disparo soplado**

Hacen referencia a las voladuras que fueron ineficientes, ya que en ellas algunos de los taladros cargados no explotaron o ninguno de los taladros.

### **Explosivos**

Son sustancias químicas que en condiciones normales de temperatura y presión son inocuas, pero que por medio de un iniciador pasan violentamente al estado gaseoso, produciendo un gran aumento de volumen, alta temperatura y presión.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

El yacimiento de la Unidad Minera Calpa, se encuentra ubicado políticamente en la jurisdicción de.

Departamento : Arequipa

Provincia : Caravelí

Distrito : Atico

En una altitud de 2 300 a 2 750 m.s.n.m.

Dentro de las Coordenadas UTM, en el sistema WGS84 y son:

**Tabla 2**

*Coordenadas UTM-WGS 84 que encierran a la Unidad*

Item	Este	Norte
1	657 709,70	8 253 886,91
2	656 876,85	8 248 959,00
3	654 905,68	8 249 292,09
4	655 738,53	8 254 220,11

En estas Tabla 2, se muestran las coordenadas que encierran el área de actividad minera correspondiente de la Unidad Minera Calpa.

#### 3.2. ACCESIBILIDAD

Para la accesibilidad a la Unidad Minera Calpa, se realiza desde la ciudad de Arequipa, mediante el siguiente itinerario que se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3***Acceso a la Unidad Minera Calpa*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo de recorrido (Horas)</b>	<b>Tipo de vía</b>
Arequipa – Atico	306 km	06 h	Vía asfaltada
Atico - Desvío Caraveli	57 km	01 h	Vía afirmada
Desvío Caraveli – Campamento Mina	22 km	50 min	Vía afirmada
<b>TOTAL</b>	<b>306 km</b>	<b>07 h 50 min</b>	

### 3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, ya que los datos recopilados son datos numéricos por tanto cuantificables, utiliza mediciones y controles para la recopilación de los datos cuantitativos y en función a estos datos se realiza un análisis estadístico para obtener los resultados del trabajo de investigación. Para Hernández & Mendoza (2018) una investigación cuantitativa es un tipo de investigación que se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos. Este enfoque busca medir y cuantificar variables para establecer patrones, identificar correlaciones y realizar inferencias estadísticas.

#### 3.3.2. Diseño de la investigación

La investigación tiene un diseño preexperimental porque se manipuló la variable independiente para reducir los Opex de perforación y voladura, es decir se modificó el diseño de malla de perforación en el frente de la galería Santa Teresa. Al respecto Hernández & Mendoza, (2018) indican que los pre-experimentos son un tipo de diseño de investigación que se caracteriza por su simplicidad y limitaciones. Este diseño se utiliza cuando el investigador quiere



explorar el efecto de una variable independiente sobre una variable dependiente, pero sin el control riguroso que se encuentra en los diseños experimentales más robustos.

### **3.3.3. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo preexperimental porque se manipuló la variable independiente para minimizar los Opex de perforación y voladura, es decir se modificó el diseño de malla de perforación en el frente de la galería Santa Teresa. Al respecto Hernández & Mendoza, (2018) indican que los pre-experimentos son un tipo de diseño de investigación que se caracteriza por su simplicidad y limitaciones.

### **3.3.4. Materiales y métodos según objetivos específicos**

#### **a) Revisión bibliográfica**

Se buscó información en libros, artículos científicos, tesis de investigación y bibliotecas virtuales de varias universidades nacionales e internacionales.

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

Los datos fueron recopilados en la oficina de operación de la mina a través de reportes diarios, y se llevó a cabo una evaluación en interior de la mina, con respecto a la perforación y voladura. Para ello, se emplearon libretas de campo, y diferentes herramientas como flexómetro, brújula y otros.

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

Para procesar los datos recopilados, se utilizaron hojas de cálculo de herramientas técnicas como Microsoft Excel, Word y Autocad.



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

Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados para obtener los resultados del presente estudio de investigación.

### **3.4. POBLACIÓN**

La población para el trabajo de investigación fue constituida por las galerías Santa Teresa, Santa Bárbara y San Juan, desarrollados en roca dura de la Unidad Minera Calpa – Arequipa. Según Hernández *et al.* (2014) la población en el contexto de la investigación se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que comparten características específicas y que son el foco de interés del estudio. Esta población puede ser finita o infinita, dependiendo de la naturaleza de los elementos bajo consideración.

### **3.5. MUESTRA**

La muestra considerada para el estudio de investigación está constituida por la Galería Santa Teresa con una sección de 2,60 m x 2,70 m, y una longitud de 380 metros, desarrollados en roca dura con una densidad de 2,67 Tm/m<sup>3</sup> en la Unidad Minera Calpa – Arequipa. Según Sampieri *et al.* (2014) la muestra se puede describir como un subgrupo perteneciente a la población, es decir, es un conjunto más pequeño de elementos que forman parte de la población general previamente definida.

#### **3.5.1. Tipo de muestra**

El tipo de muestra para el estudio de investigación fue el tipo de muestra no probabilística o dirigida según el propósito del investigador, así mismo Hernández & Mendoza, (2018) define a la muestra no probabilística como un subgrupo de la población en donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación.



### 3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.6.1. Variable independiente

El rediseño de la malla de perforación y carga explosiva en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa.

**Tabla 4**

*Operacionalización de variables*

Variables	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente:</b> El rediseño de la malla de perforación y carga explosiva en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa.	Burden	m
	Espaciamiento	m
	Número de taladros	Pie
	Factor de carga	Kg/m <sup>3</sup>
	Sección de la labor	m <sup>2</sup>
<b>Variable dependiente:</b> Opex de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa en la Unidad Minera Calpa - Arequipa.	Explosivos	Kg
	Opex de equipos	US\$/m
	Opex de brocas	US\$/m
	Opex de barrenos	US\$/m
	Opex de voladura	US\$/m
	Opex de explosivos	US\$/m
	Opex de accesorios	US\$/m

#### 3.6.2. Variable dependiente

Opex de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa en la Unidad Minera Calpa - Arequipa.

### 3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La metodología de esta actividad consistió en la toma de datos, observaciones, mediciones, para determinar los resultados de la operación y voladura en la labor minera.



### **3.7.1. Técnicas para el procesamiento de datos**

Para el procesamiento y análisis del presente trabajo de investigación, se utilizó las siguientes herramientas: Microsoft Excel, Microsoft Word y AutoCAD.

### **3.7.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos utilizados para el estudio de investigación son:

#### **a) Formato diario de operación**

- Cantidad de taladros perforados.
- Cantidad de taladros cargados.
- Avance por día.
- Consumo de explosivos y accesorios.
- Metros lineales de avance por guardia.

#### **b) Reporte mensual de operación**

- Control de tiempo de perforación.
- Control de avance lineal.
- Control de toneladas fragmentadas.
- Cantidad total de taladros perforados.
- Cantidad total de explosivos y accesorios.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de los resultados obtenidos mediante el rediseño de malla de perforación y la carga explosiva requerida se realizó en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa.

#### 4.2. CÁLCULO DE RESULTADOS

En el cálculo de resultados de la perforación y voladura anterior y el optimizado, se realizó el análisis de las dos mallas de perforación y la carga explosiva requerida en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa.

##### OBJETIVO ESPECÍFICO I

Minimizar los Opex de perforación, mediante el rediseño de malla en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

##### 4.2.1. Malla de perforación anterior

En la malla de perforación anterior no se consideró el estudio geomecánico de la masa rocosa como tal se requirió un promedio de 40 taladros perforados en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - Arequipa. (Ver Anexo N° 03)

##### a) Datos requeridos

Densidad de roca : 2,67 t/m<sup>3</sup>

Sección de la galería : 2,60 m x 2,70 m



Diámetro de los taladros de producción	:	38 mm
Diámetro del taladro de alivio	:	39 mm
Longitud del barreno de perforación	:	5 pies

**Tabla 5**

*Promedio de taladros perforados en malla anterior (20 guardias)*

<b>Taladros</b>	<b>N° de taladros</b>
Alivio	2
Arranque	4
Ayuda arranque	4
Cuadradores	8
Ayuda cuadradores	6
Corona	4
Ayuda corona	3
Arrastre	5
Ayuda arrastre	4
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>

Según la Tabla 5, se especifica que en la malla anterior se utilizó 40 taladros, cuyo resultado es el promedio de las muestras controladas. (Ver Anexo N° 12)

#### **4.2.2. Rediseño de la malla de perforación**

El rediseño de la malla de perforación se realizó en función al análisis de la malla de perforación anterior y el estudio geomecánico de la masa rocosa de la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa. (Ver Anexo N° 04)

##### **a) Datos requeridos:**

Densidad de la roca	:	2,67 t/m <sup>3</sup>
Tipo de roca	:	Tipo IV, buena (dura)



RMR de la roca	:	60 - 80
Densidad de la roca	:	2,67 t/m <sup>3</sup>
Sección de la galería	:	2,60 m x 2,70 m
Diámetro de los taladros de producción	:	38 mm
Diámetro del taladro de alivio	:	39 mm
Longitud del barreno de perforación	:	5 pies

### b) Cálculo de número de taladros

Modelo matemático de EXSA.

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \frac{P}{dt} + S \times Ks$$

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

$$S = b \times h$$

Donde:

N° Tal = Número de taladros

P = Perímetro de la galería

S = Sección de la galería

dt = Densidad del tipo roca

Ks = Constante del tipo roca

b = Ancho de la galería

h = Altura de la galería

**Tabla 6**

*Coefficiente del tipo de roca*

Tipo de roca	dt	Ks
Blanda	0,7	1
Semidura	0,6	1,5
Dura	0,5	2

Nota: EXSA, 2009



**c) Sección de la galería:**

Datos:

$$S = b \times h$$

$$b = 2,60 \text{ m}$$

$$h = 2,70 \text{ m}$$

$$S = 2,60 \times 2,70$$

$$S = 7,02 \text{ m}^2$$

**d) Perímetro de la galería:**

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

$$P = 4(2,65)$$

$$P = 10,60 \text{ m.}$$

**e) Número de taladros:**

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \frac{P}{dt} + S \times Ks$$

$$dt = 0,5$$

$$Ks = 2$$

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \frac{10,60}{0,5} + 7,02 \times 2,0$$

$$N^{\circ} \text{ Tal} = 21,20 + 14,04$$

$$N^{\circ} \text{ Tal} = 35,24$$

**f) Parámetros de perforación y voladura optimizada**

**Velocidad de perforación**

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

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{1,52}{2,35}$$

$$\text{Velocidad de perforación} = 0,65 \frac{\text{m}}{\text{minuto}}$$

**Eficiencia de disparo**

$$L = 0,15 + 34,1 * D1 - 39,4 * D1^2$$

Donde:

L = Profundidad del taladro perforado (m).



$D1 =$  Diámetro del taladro de alivio (m), se debe cumplir  $0,05 \leq D1 \leq 0,25\text{m}$ .

$$L = 0,15 + 34,1 * 0,039 - 39,4 * 0,039^2$$

$$L = 0,15 + 1,33 - 0,06$$

$$L = 1,42 \text{ m.}$$

### **Eficiencia de perforación o eficiencia de voladura**

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

$$\text{Eficiencia de voladura} = \frac{1,44}{1,52} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de voladura} = 94,74 \%$$

### **g) Cálculo de burden y espaciamiento**

Cálculo del diámetro equivalente de alivio ( $\emptyset 2$ ):

$$\emptyset 2 = \emptyset 1 * \sqrt{N}$$

$$\emptyset 2 = 0,038 * \sqrt{3}$$

$$\emptyset 2 = 0,066 \text{ m.}$$

Donde:

$$\emptyset 2 = 0,066 \text{ m.}$$

$$\emptyset 1 = 0,038 \text{ m.}$$

$$N = 3 \text{ Unidades}$$

Cálculo del primer burden:

$$B_1 = 1,7 * \emptyset 2$$

$$B_1 = 1,7 * (0,066)$$

Donde:

$$B_1 = 0,11 \text{ m.}$$

$$\emptyset 2 = 0,066 \text{ m.}$$

Primer espaciamiento:

$$E_1 = B_1 * \sqrt{2}$$

$$E_1 = 0,11 * \sqrt{2}$$



Donde:

$$E_1 = 0,16 \text{ m.}$$

$$B_1 = 0,11 \text{ m.}$$

Cálculo del segundo Burden:

$$B_2 = \frac{\sqrt{2} * B_1 + 2E_1}{2}$$
$$B_2 = \frac{\sqrt{2} * 0,11 + 2(0,16)}{2}$$

Donde:

$$B_2 = 0,24 \text{ m.}$$

Cálculo para el segundo espaciamento:

$$E_2 = \sqrt{2} * B_2 * 1,5$$
$$E_2 = \sqrt{2} * 0,24 * 1,5$$

Donde:

$$E_2 = 0,51 \text{ m.}$$

Burden de las ayudas:

$$B_{ay} = 0,012 \left( \frac{2\rho_c}{\rho_r} + 1,5 \right) \phi_c - E$$
$$B_{ay} = 0,012 \left( \frac{2(1,16)}{2,67} + 1,5 \right) 22,225 - 0,02$$
$$B_{ay} = 0,61 \text{ m.}$$

Donde:

$$\rho_c = 1,16$$

$$\rho_r = 2,67$$

$$E = 0,02 \text{ m.}$$

Espaciamento de las ayudas:

$$E_{ay} = 1,1 * B_C$$

$$E_{ay} = 1,1 * 0,61$$

Donde:

$$E_{ay} = 0,67 \text{ m.}$$

$$B_{ay} = 0,61 \text{ m.}$$

Burden corona:

$$B_{co} = 0,012 \left( \frac{2\rho_c}{\rho_r} + 1,5 \right) \phi_c - E$$
$$B_{co} = 0,012 \left( \frac{2(1,16)}{2,67} + 1,5 \right) 22,225 - 0,02$$
$$B_{co} = 0,61 \text{ m.}$$



*Donde:*

$$\rho_c = 1,16$$

$$\rho_r = 2,67$$

$$E = 0,02 \text{ m.}$$

Espaciamiento en la corona:

$$E_{co} = 1 * B_{co}$$

$$E_{co} = 1 * 0,61$$

*Donde:*

$$E_{CO} = 0,61 \text{ m.}$$

Burden en los cuadradores:

$$B_c = 0,012 \left( \frac{2\rho_c}{\rho_r} + 1,5 \right) \phi_c - E$$

$$B_c = 0,012 \left( \frac{2(1,16)}{2,67} + 1,5 \right) 22,225 - 0,02$$

$$B_c = 0,61 \text{ m.}$$

*Donde:*

$$\rho_c = 1,16$$

$$\rho_r = 2,67$$

$$E = 0,02 \text{ m.}$$

Espaciamiento en los cuadradores:

$$E_c = 1 * B_{ha}$$

$$E_c = 1 * 0,61$$

*Donde:*

$$E_c = 0,61 \text{ m.}$$

**Burden en el arrastre:**

$$B_{ar} = 0,012 \left( \frac{2\rho_c}{\rho_r} + 1,5 \right) \phi_c - E$$

$$B_{ar} = 0,012 \left( \frac{2(1,16)}{2,67} + 1,5 \right) 22,225 - 0,02$$

$$B_{ar} = 0,61 \text{ m.}$$

*Donde:*

$$\rho_c = 1,16$$

$$\rho_r = 2,67$$

$$E = 0,02 \text{ m.}$$

Espaciamiento arrastre:

$$E_{ar} = 1 * B_{ar}$$

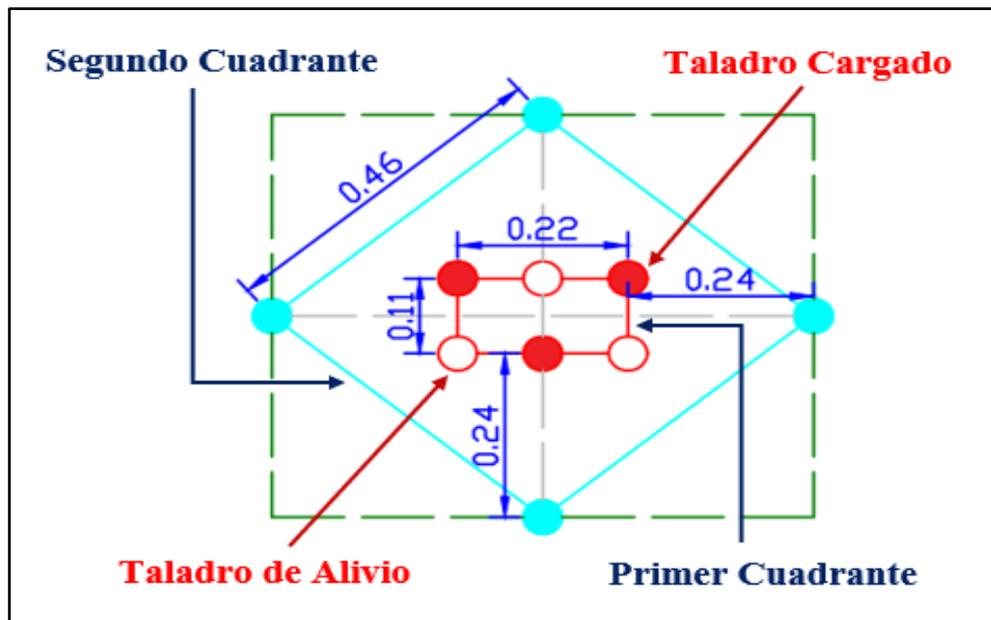
$$E_{ar} = 1 * 0,61$$

*Donde:*

$$E_{ar} = 0,61 \text{ m.}$$

**Figura 5**

*Diseño de los taladros según los cuadrantes*



**h) Número de cartuchos por taladro**

$$\text{Número de cartuchos} = \frac{\frac{2}{3} * L}{L_e * 0,8}$$

Donde.

L = Longitud de taladro

Le = Longitud del cartucho (m)

0,80 = 80 % Longitud de carga

$$\text{Número de cartuchos} = \frac{\frac{2}{3} * 1,52\text{m}}{0,20 * 0,8}$$

$$\text{Número de cartuchos} = 6 \frac{\text{cartuchos}}{\text{taladro}}$$

**Tabla 7**

*Resumen de taladros perforados en la malla optimizada*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>
Alivio	3
Arranque	3
Ayuda arranque	4
Cuadradores	6
Ayuda cuadradores	4
Corona	4
Ayuda corona	3
Arrastre	5
Ayuda arrastre	4
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>

Según la Tabla 7, se especifica que con el nuevo diseño de malla se optimizo a 36 taladros. (Ver anexo N°04).

### **4.3. LOS OPEX DE PERFORACIÓN EN LA GALERÍA SANTA TERESA**

#### **4.3.1. Opex de perforación anterior**

Los Opex de perforación anterior en la Galería Santa Teresa resultaron elevados debido a la malla de perforación con mayor número de taladros. Los costos se detallan en las Tablas 8 al 13.

***T.C. IUS\$ = S/. 3,68***

**Tabla 8***Opex de mano de obra anterior*

<b>Trabajadores</b>	<b>Número de trabajadores</b>	<b>Jornal (soles)</b>	<b>Incidencia</b>	<b>Costo US \$/metro</b>
Capataz de mina	01	80,00	20%	16,72
Supervisor	01	70,00	20%	14,63
Maestro Perforista	01	70,00	100%	14,63
Ayudante perforista	01	60,00	100%	12,54
Sub total				<b>58,52</b>
Leyes sociales	102,86%			<b>60,19</b>
<b>TOTAL</b>				<b>118,71</b>

En la Tabla 8, se observa que el costo de mano de obra directa en la perforación anterior fue de 118,71 US\$/metro.

**Tabla 9***Opex del equipo de perforación anterior*

<b>Equipo</b>	<b>Costo US \$</b>	<b>Vida útil Pies/perforados</b>	<b>US \$/pie</b>	<b>Pies perforados</b>	<b>US \$/metro</b>
Perforadora Jack Leg	4,985	120 000	0,04	180	5,54
<b>TOTAL</b>					<b>5,54</b>

En la Tabla 9, se observa que el costo de perforación de 180 pies perforados, asciende a 5,54 US\$/metro.

**Tabla 10***Opex de los accesorios de perforación anterior*

Accesorios	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pies perforados	US \$/m
Barra cónica 5'	1	90	1 200	180	0,08	11,08
Barra cónica 3'	1	70	1200	108	0,06	4,98
Broca de 38 mm	1	28	500	72	0,06	3,32
Broca de 39 mm.	1	32	500	108	0,06	4,98
TOTAL						24,36

**Tabla 11***Opex de las Mangueras y Accesorios de perforación anterior*

Accesorios	Cantidad	Costo US \$/m	Costo por galón US\$	Vida útil Pies/perf.	US \$/m
Manguera de 1 pulgada	31,00 m	3,46		32400	0,003
Manguera de ½ pulgada	31,00 m	1,94		32400	0,002
Aceite de perforación	0,26 galones		13,80	1	2,76
TOTAL					2,77

En las Tablas 10 y 11 se observan los costos de Materiales de perforación para 180 pies perforados que asciende a 27,13 US\$/m.



**Tabla 12**

*Opex de las herramientas y otros materiales anteriores*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$	Vida Útil día	Costo US\$/m
Lampas	Unidad	2	12,36	120	0,16
Picos	Unidad	2	12,25	120	0,16
Barrerilla de 4 pies	Unidad	1	10,43	50	0,16
Barrerilla de 6 pies	Unidad	1	12,54	50	0,19
Barrerilla de 8 pies	Unidad	1	15,03	60	0,19
Combo de 8 lb	Unidad	2	16,34	150	0,17
Atacador de madera	Unidad	3	3,74	60	0,14
Cucharilla	Unidad	2	3,66	60	0,09
Alambre N° 16	kilogramo	0,20	1,30	1	0,20
Saca brocas	Unidad	1	40,00	180	0,17
Llave stilson N°16	Unidad	1	29,23	360	0,06
<b>TOTAL</b>					<b>1,69</b>

En la Tabla 12, se observa los costos de herramientas y otros materiales utilizados en la perforación, dicha suma fue de 1,69 US\$/m.

**Tabla 13***Opex de los implementos de seguridad anterior*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil	Costo US \$/m.
Protector de cabeza	Unidad	4	19,18	365	0,16
Tafílete	Unidad	4	5,48	320	0,05
Barbiquejo	Unidad	4	3,84	90	0,13
Botas de jebe	Pares	4	21,26	180	0,36
Mamelucos	Unidad	4	23,54	180	0,40
Respirador	Unidad	4	22,65	180	0,39
Filtro de respiradores	Pares	4	5,74	15	1,18
Guantes de cuero	Pares	4	4,78	25	0,59
Guantes de Neoprene	Pares	2	7,12	20	0,55
Correa porta lámpara	Unidad	4	3,75	300	0,04
Lentes de seguridad	Unidad	4	10,46	120	0,27
Lámpara Minera	Unidad	4	95,89	420	0,70
Tapón de oídos	Pares	4	2,56	120	0,07
Orejas para casco	Pares	2	15,46	180	0,13
Ropa de jebe	Unidad	2	31,67	120	0,41
<b>TOTAL</b>					<b>5,43</b>

En la Tabla 13, se observa los costos de los implementos de seguridad utilizados en la perforación anterior, lo cual fue de 5,43 US\$/m.

Opex total de perforación anterior por metro = 158,50 US\$/m

#### 4.3.2. Opex de perforación actual

Los Opex de mano de obra, máquina perforadora, materiales de perforación y voladura, herramientas y otros materiales e implementos de seguridad se especifican en las Tablas 14 al 19.

*T.C. IUS\$ = S/. 3,68***Tabla 14***Opex de mano de obra optimizada*

<b>Trabajadores</b>	<b>Número de trabajadores</b>	<b>Jornal (soles)</b>	<b>Incidencia</b>	<b>Costo US \$/metro</b>
Capataz de mina	01	80,00	20%	15,42
Supervisor	01	70,00	50%	13,49
Maestro Perforista	01	70,00	100%	13,49
Ayudante perforista	01	60,00	100%	11,56
Sub total				<b>53,96</b>
Leyes sociales	102,86%			<b>55,50</b>
<b>TOTAL</b>				<b>109,46</b>

En la Tabla 14, se observa, los costos de mano de obra generados en la perforación optimizada lo cual fue 109,46 US\$/m. (Ver Anexo N° 07)

**Tabla 15***Opex del equipo de perforación optimizada*

<b>Equipo</b>	<b>Costo US \$</b>	<b>Vida útil Pies/perf.</b>	<b>US \$/pie</b>	<b>Pies perforados</b>	<b>US \$/metro</b>
Perforadora Jack Leg	4,985	120 000	0,04	162	4,60
<b>TOTAL</b>					<b>4,60</b>

En la Tabla 15, se observa el costo de 162 pies perforados con la máquina perforadora, en la perforación minimizada, cuyo costo es 4,60 US\$/m. (Ver Anexo N° 08)

**Tabla 16***Opex de los materiales de perforación optimizada*

Mangueras y accesorios	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pies perforados	US \$/m
Barra cónica 5'	1	90	1200	162	0,08	9,19
Barra cónica 3'	1	70	1200	97,20	0,06	4,14
Broca de 38 mm	1	28	500	64,80	0,06	2,76
Broca de 39 mm.	1	32	500	97,20	0,06	4,14
<b>TOTAL</b>						<b>20,23</b>

**Tabla 17***Opex de mangueras y accesorios de perforación optimizada*

Mangueras y accesorios	Cantidad	Costo por galón US\$	Costo US \$/m	Vida útil mp	Costo US \$/m
Manguera de ½ pulgada	31,00 m		1,94	32400	0,001
Manguera de 1 pulgada	31,00 m		3,46	32400	0,002
Aceite de perforación	0,26 galones	13,80		1	2,54
<b>TOTAL</b>					<b>2,54</b>

En las Tablas 16 y 17, se muestran los costos de los Materiales de perforación utilizados en la perforación optimizada, el cual fue 22,77 US\$/m.

**Tabla 18**

*Opex de las herramientas y otros materiales optimizados*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$	Vida Útil día	Costo US\$/m
Lampas	Unidad	2	12,36	120	0,15
Picos	Unidad	2	12,25	120	0,14
Barrerilla de 4 pies	Unidad	1	10,43	50	0,15
Barrerilla de 6 pies	Unidad	1	12,54	50	0,18
Barrerilla de 8 pies	Unidad	1	15,03	60	0,18
Combo de 8 lb	Unidad	2	16,34	150	0,15
Atacador de madera	Unidad	3	3,74	60	0,13
Cucharilla	Unidad	2	3,66	60	0,09
Alambre N° 16	kg.	0,20	1,30	1	0,18
Saca brocas	Unidad	1	40,00	180	0,16
Llave stilson N°16	Unidad	1	29,23	360	0,06
<b>TOTAL</b>					<b>1,57</b>

En la Tabla 18, se muestra los costos de herramientas y otros materiales utilizados en la perforación minimizada, cuyo costo fue 1,57 US\$/m.

**Tabla 19**

*Opex de los implementos de seguridad optimizada*

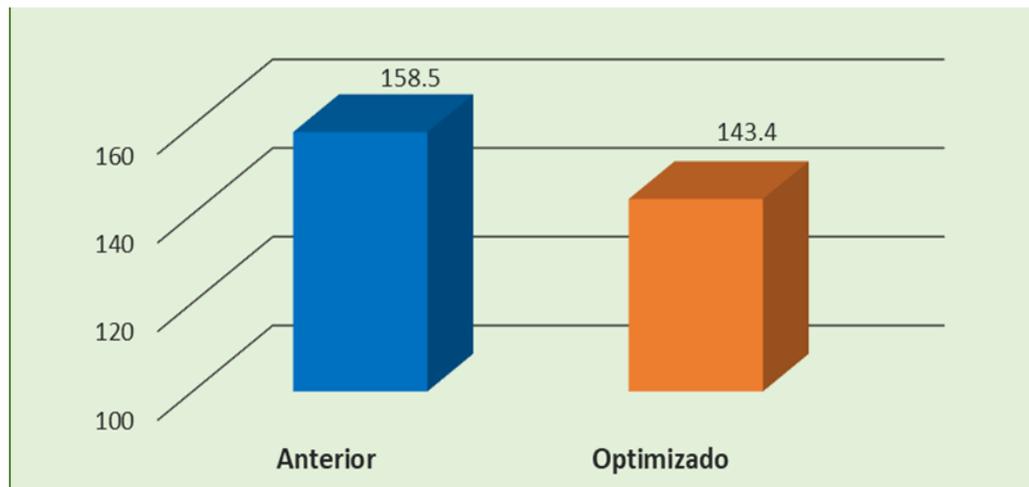
Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida útil Día	Costo US \$/m.
Protector de Cabeza	Unidad	4	19,18	365	0,15
Tafilete	Unidad	4	5,48	320	0,05
Barbiquejo	Unidad	4	3,84	90	0,12
Botas de jebe	Pares	4	21,26	180	0,34
Mamelucos	Unidad	4	23,54	180	0,37
Respirador	Unidad	4	22,65	180	0,36
Filtro de respiradores	Pares	4	5,74	15	1,09
Guantes de cuero	Pares	4	4,78	25	0,54
Guantes de Neoprene	Pares	2	7,12	20	0,50
Correa porta lámpara	Unidad	4	3,75	300	0,04
Lentes de seguridad	Unidad	4	10,46	120	0,25
Lámpara Minera	Unidad	4	95,89	420	0,65
Tapón de oídos	Pares	4	2,56	120	0,06
Orejas para casco	Pares	2	15,46	180	0,12
Ropa de jebe	Unidad	2	31,67	120	0,37
<b>TOTAL</b>					<b>5,00</b>

En la Tabla 19, se muestra los costos de equipos de seguridad, utilizados en la perforación optimizada, cuyo costo total es 5,00 US\$/m

Opex total de perforación actual por metro = 143,40 US\$/m

### Figura 6

*Opex de Perforación en la Galería Santa Teresa*



En la Figura 6, se especifica que el Opex de perforación anterior fue de 158,50 US\$/m, y mediante el rediseño de malla según las características del macizo rocoso fue de 143,40 US\$/m, obteniendo un beneficio de 15,10 US\$/m, en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

### OBJETIVO ESPECÍFICO II

Minimizar los Opex de voladura, con la carga explosiva adecuada en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

## 4.4. RESULTADOS DE LA VOLADURA

### 4.4.1. Voladura anterior

En la voladura anterior se utilizó el explosivo Semexsa 65%, en mayor cantidad debido a la falta de cálculo según las características geomecánicas del macizo rocoso de la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

**Tabla 20**

*Promedio de explosivos Semexsa 65%, voladura anterior (20 guardias)*

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total, de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>206</b>		<b>16,48</b>

En la Tabla 20, se observa la cantidad de 40 taladros perforados, 206 cartuchos de explosivos Semexsa 65%, que es equivalente a 16,48 kg, utilizados en la voladura anterior, es el promedio del control de datos (Ver Anexo N°12).

**Tabla 21***Clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería Santa Teresa*

Parámetros		Puntuación de valores	Valoración
Compresión uniaxial (Mpa)		100 – 250 (12)	12
Índice de calidad de roca (RQD%)		75 – 90 (17)	17
Espaciamiento (m)		0,6 – 2 (15)	15
Condición de las juntas	Persistencia	1 – 3 long. (4)	4
	Apertura	< 0,1 mm (5)	5
	Rugosidad	Muy rugosa (6)	6
	Relleno	Duro <5mm (4)	4
	Alteración	Lig. alterado (5)	5
Agua subterránea		Húmedo (10)	10
Valor total de RMR básico			78
Ajuste de orientación estructural		Favorable (-2)	-2
VALOR TOTAL AJUSTADO			76

En esta Tabla 21, se muestra la clasificación geomecánica de Bieniawski en base a los ensayos realizados por el área de geomecánica y lo datos recogidos de campo, estos datos corresponden a la galería Santa Teresa.

**a) Datos de campo:**Densidad de roca : 2,67 Tm/m<sup>3</sup>

Tipo de roca : Tipo IV, buena o dura

RMR de la roca : 76

Densidad de la roca : 2,67 t/m<sup>3</sup>

Sección de la galería : 2,60 m x 2,70 m.

Diámetro de los taladros de producción : 38 mm.

Diámetro del taladro de alivio : 39 mm.



Longitud del barreno de perforación : 5 pies

**b) Volumen roto**

$$V = b \times h \times L_p$$

Donde:

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

b = Ancho de la galería (m)

h = Altura de la galería (m)

L<sub>p</sub> = Longitud de perforación (m)

F<sub>w</sub> = Factor de esponjamiento

$$V = 2,60 \times 2,70 \times 1,30 \times 1,30$$

$$V = 11,86 \text{ m}^3$$

**c) Tonelaje fragmentado**

$$T_m = V \times d_r$$

Donde:

T<sub>m</sub> = Tonelada métrica

V = Volumen

d<sub>r</sub> = Densidad de roca

$$T_m = 11,86 \times 2,67$$

$$T_m = 31,66 \text{ Tm}$$



**d) Factor de carga**

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

$$F_c = \frac{16,48\ Kg}{11,86\ m^3}$$

$$F_c = 1,38\ kg/m^3$$

**e) Factor de carga lineal**

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

Fcl = Factor de carga lineal

$$F_{cl} = \frac{16,48\ Kg}{1,30\ m}$$

$$F_{cl} = 12,67\ \frac{kg}{m}$$

**f) Factor de potencia del explosivo**

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

$$F_p = \frac{16,48\ Kg}{31,66\ Tm}$$

$$F_p = 0,52\ kg/Tm$$

**Tabla 22**

*Resultados de la voladura anterior*

Parámetros	Semexsa 65 %
kg/disparo	16,48 kg
Volumen	11,86 m <sup>3</sup>
Toneladas	31,66 Tm
Factor de carga	1,38 kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0,52 kg/Tm
Factor de carga lineal	12,67 kg/m

En la Tabla 22, se observa que en la voladura anterior se utilizó 16,48 kg de explosivos durante cada disparo, para explotar 31,66 Tm de mineral, con un factor de carga de 1,38 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0,52 kg/Tm y factor de carga lineal de 12,67 kg/m.

#### 4.4.2. Voladura optimizada

La carga explosiva para la voladura en el frente de la Galería Santa Teresa se optimizó teniendo en cuenta las características geomecánicas de la masa rocosa, para lo cual se utilizó el explosivo semexsa 65%, los datos se especifican en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Promedio de explosivos Semexsa 65%, voladura optimizada (20 guardias)*

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./ taladro	Total de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>175</b>		<b>14,00</b>

En la Tabla 23, se observa 36 taladros perforados, 175 cartuchos de explosivos equivalente a 14,00 kg, utilizados en la voladura con el nuevo diseño de malla, cuyo resultado es el promedio de control de datos. (Ver Anexo N° 13).



**a) Datos de campo:**

Densidad de roca : 2,67 Tm/m<sup>3</sup>

Sección de la galería : 2,60 m x 2,70 m.

Diámetro de los taladros de producción: 38 mm.

Diámetro del taladro de alivio : 39 mm.

Longitud del barreno de perforación : 5 pies

**b) Volumen roto**

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

Donde:

V = Volumen roto (m<sup>3</sup>)

b = Ancho de la galería (m)

h = Altura de la galería (m)

Lp = Longitud de perforación (m)

Fw = Factor de esponjamiento

$$V = 2,60 \times 2,70 \times 1,41 \times 1,30$$

$$V = 12,86 \text{ m}^3$$

**c) Tonelaje roto**

$$Tm = V \times dr$$

Donde:

Tm = Tonelada métrica de material roto



$V =$  Volumen roto

$dr =$  Densidad de roca

$$T_m = 12,86 \times 2,67$$

$$T_m = 34,33 \text{ Tm}$$

**d) Factor de carga explosiva**

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

$$F_c = \frac{14,00 \text{ Kg}}{12,86 \text{ m}^3}$$

$$F_c = 1,08 \text{ kg/m}^3$$

**e) Factor de carga lineal**

$F_{cl} =$  Factor de carga lineal

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

$$F_{cl} = \frac{14,00 \text{ Kg}}{1,41 \text{ m}}$$

$$F_c = 9,92 \text{ kg/m}$$

**f) Factor de potencia**

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

$$F_p = \frac{14,00 \text{ kg}}{34,33 \text{ Tm}}$$

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

**Tabla 24***Resultados de la voladura optimizada*

Parámetros	Explosivo Semexa 65%
kg/disparo	14,00 kg
Volumen	12,86 m <sup>3</sup>
Toneladas	34,33 Tm
Factor de carga	1,08 kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0,40 kg/Tm
Factor de carga lineal	9,92 kg/m

En la Tabla 24, se observa que en la voladura optimizada se utilizó 14,00 kg de explosivo en cada disparo realizado, para fragmentar 34,33 Tm de mineral, con un factor de carga de 1,08 kg/m<sup>3</sup>, factor de potencia de 0,40 kg/Tm y factor de carga lineal de 9,92 kg/m.

#### 4.5. RESULTADOS DE OPEX DE LA VOLADURA

##### 4.5.1. Opex de la voladura anterior

Los opex en la voladura anterior fueron elevados debido al mayor consumo de explosivos en el avance. Los datos se especifican en la Tabla 25.

**Tabla 25***Opex de materiales de voladura anterior*

Insumos	Unidad	Precio US\$	Cantidad por disparo	US\$/metro
Dinamita de 65%	Cartucho	0,58	206	91,91
Fulminante N° 8	Cápsulas	0,46	38	13,45
Mecha de seguridad	Metros	0,55	69,49	29,40
TOTAL				134,76

En la Tabla 25, se observa los opex de materiales utilizados en la voladura anterior fue 134,76 US\$/m.

Opex total de la voladura anterior por metro = 134,76 US\$/m

#### 4.5.2. Opex de la voladura optimizada

Los costos en la voladura con el nuevo diseño de malla y la carga explosiva adecuada, se minimizo en relación a los costos de la voladura anterior.

**Tabla 26**

*Opex de materiales de voladura optimizada*

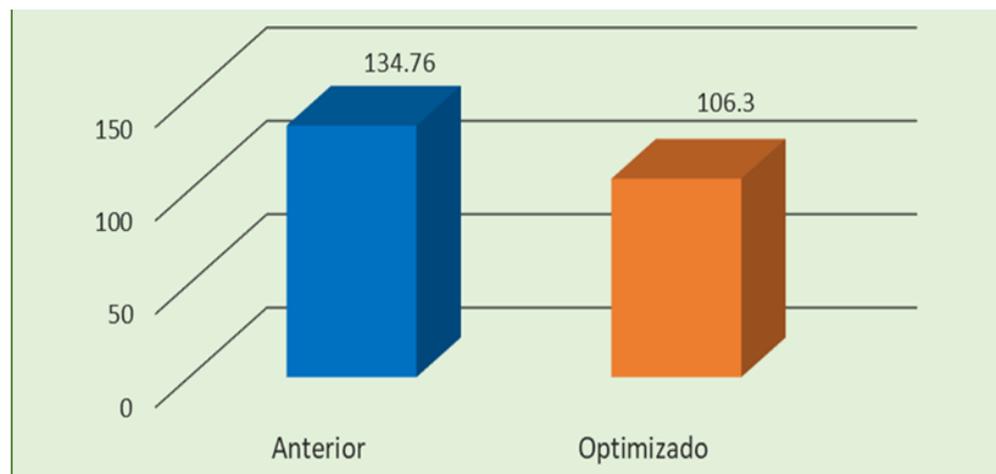
Insumos	Unidad	Precio US \$	Cantidad/ disparo	US \$/metro
Dinamita de 65%	Cartucho	0,58	175	71,99
Fulminante N° 8	Cápsulas	0,46	33	10,77
Mecha de seguridad	Metros	0,55	60,35	23,54
TOTAL				106,30

En la 26, se observa los costos de los materiales utilizados en la voladura con el nuevo diseño de malla, lo cual fue 106,30US\$/m.

Costo total voladura actual = 106,30 US\$/.

**Figura 7**

*Opex de voladura en la Galería Santa Teresa*



En la Figura 7, se muestra que el Opex de la voladura anterior fue de 134,76 US\$/m, y mediante el cálculo de la carga explosiva adecuada según las características del macizo rocoso fue de 106,30 US\$/m, logrando un beneficio de

28,46 US\$/m por cada metro lineal de avance, en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

#### 4.6. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Según el análisis de resultados de perforación y voladura anterior y actual, se obtuvo los siguientes resultados, los datos se especifican en la Tabla 27 y 28.

**Tabla 27**

*Resultados de perforación y voladura en la Galería Santa Teresa*

<b>Descripción</b>	<b>Anterior</b>	<b>Actual</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Unidad medida</b>
Taladros perforados	40	36	4	N° de Tal.
Taladros cargados	38	33	5	N° de Tal.
Dinamita de 65%	206	175	31	Cartuchos
Fulminante N° 8	38	33	5	Unidades
Mecha de seguridad	69,49	60,35	9,14	m
Kg por disparo	16,48	14,00	2,48	Kg
Factor de carga	1,38	1,08	0,30	Kg/m <sup>3</sup>
Factor de potencia	0,52	0,40	0,12	Kg/Tm
Factor de carga lineal	12,67	9,92	2,75	Kg/m
Avance lineal: m/disparo	1,30	1,41	0,11	m

En la Tabla 27, se observa los resultados de la perforación y voladura anterior y el optimizado, notándose una minimización de opex en la perforación y voladura con el nuevo diseño de malla y el avance lineal mejoró en 0,11 metros.

**Tabla 28***Opex de perforación y voladura*

<b>Opex</b>	<b>Anterior US\$/m</b>	<b>Actual US\$/m</b>	<b>Diferencia US\$/m</b>
Mano de obra	118,71	109,46	9,25
Equipos de perforación	5,54	4,6	0,94
Materiales de perforación	27,13	22,77	4,36
Materiales de voladura	134,76	106,30	28,46
Implementos de seguridad	5,43	5,00	0,43
Herramientas y otros	1,69	1,57	0,12
<b>OPEX/METRO</b>	<b>293,26</b>	<b>249,7</b>	<b>43,56</b>

En la Tabla 28, se muestran los Opex de perforación y voladura anterior se minimizaron de 293,26 US\$/m a 249,70 US\$/m, con un beneficio de 43,56 US\$/m.

Costo de perforación y voladura anterior = 293,26 US\$/m

Costo de perforación y voladura optimizada = 249,70 US\$/m

#### 4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS

##### Planteamiento de hipótesis estadística

**H<sub>0</sub>**: Hipótesis nula

**H<sub>1</sub>**: Hipótesis alterna

**H<sub>0</sub>** = El nuevo diseño de malla de perforación en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa no produce una reducción significativa en el costo de perforación y voladura.

**H<sub>1</sub>** = El nuevo diseño de malla de perforación en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa genera una minimización significativa en el costo de perforación y voladura.



### Nivel de significancia

Valor de Alpha = 5% = 0,05

Intervalo de confianza al 95%

### Criterio de decisión

Si (p-value) es < que Alpha significa que se rechaza la  $H_0$

Si (p-value) es > que Alpha significa que se acepta la  $H_1$

### Tabla 29

*Estadística descriptiva del costo en la Galería Santa Teresa*

Malla de perforación	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Anterior	20	296,8665	5,82732	1,30303
Optimizado	20	251,764	7,65651	1,71205

En la Tabla 29 se presenta el promedio de las veinte observaciones realizadas en relación con el avance lineal de la Galería Santa Teresa durante 20 guardias (Ver anexo 14). Estas mediciones se llevaron a cabo utilizando tanto el diseño antiguo de malla de perforación como el nuevo diseño de malla de perforación en la Galería Santa Teresa.

Se utilizó la prueba estadística de la "**t**" de Student para determinar si hay una diferencia estadísticamente significativa en lo que respecta a los costos de perforación y voladura, lo cual impacta directamente en los costos de la Galería Santa Teresa.

**Tabla 30***Prueba “t” de student para los costos de la Galería Santa Teresa*

<b>Costos de perforación y voladura</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>	<b>t</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>	<b>Diferencia de medias</b>	<b>Diferencia de error estándar</b>
Se asumen varianzas iguales	3,179	0,083	20,963	38	0,000	45,10250	2,15151
No se asumen varianzas iguales			20,963	35,482	0,000	45,10250	2,15151

**Conclusión estadística**

En la Tabla 30, se observa que el valor p es igual a 0,000, lo cual es menor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Esto significa que estadísticamente se demuestra que el porcentaje de minimización en los costos de perforación y voladura es significativo al utilizar el nuevo diseño de malla de perforación en la Galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.

**4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Mediante el rediseño de la malla de perforación y con la adecuada carga explosiva, los Opex de perforación y voladura se minimizaron de 293,26 US\$/m a 249,70 US\$/m, logrando un beneficio de 43,56 US\$/m, en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa. Estos resultados son similares a los de Flores (2020) quien en su estudio de investigación concluyó que, mediante el rediseño de malla y con la carga explosiva adecuada, los costos de perforación y voladura se minimizaron de 253,19 US\$/m a 223,60 US\$/m con una diferencia de 29,59 US\$/m. De igual manera la



metodología utilizada para minimizar los costos de perforación y voladura fue el rediseño la malla de perforación y el cálculo de la carga explosiva según las características de la roca.

En el presente estudio de investigación mediante el rediseño de malla y al aplicar este rediseño, los Opex de perforación se minimizaron de 158,50 US\$/m hasta 143,40 US\$/m, obteniendo un beneficio de 15,10 US\$/m, en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa. Estos resultados son similares a los obtenidos por Mamani (2020) quien aplicando una metodología similar tenía como objetivo minimizar los costos de producción mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura. Y al rediseñar y aplicar el nuevo diseño de malla concluye que, los Opex de perforación se minimizaron de 158,54 US\$/m a 141,88 US\$/m, logrando un beneficio de 16,66 US\$/m.

Al calcular la cantidad adecuada de carga explosiva, los Opex de voladura se minimizaron de 134,76 US\$/m hasta 106,30 US\$/m, generando un beneficio de 28,46 US\$/m, en el avance lineal de la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa. Estos resultados son similares a los obtenidos por Ortiz (2019) quien aplicando una metodología similar calculando la carga explosiva según las características de la roca. Concluye que, los costos de voladura se minimizaron de 102,47 US\$/m a 82,83 US\$/m, con un beneficio de 19,64 US\$/m.



## V. CONCLUSIONES

- Mediante el rediseño de malla de perforación y la carga explosiva, los Opex se minimizaron de 293,26 US\$/m a 249,70 US\$/m, logrando un beneficio de 43,56 US\$/m, en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.
- Con el rediseño de malla, los Opex de perforación se minimizaron de 158,50 US\$/m a 143,40 US\$/m, obteniendo un beneficio de 15,10 US\$/m, en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.
- Con la cantidad de carga explosiva calculada, los Opex de voladura se minimizaron de 134,76 US\$/m a 106,30 US\$/m, con un beneficio de 28,46 US\$/m, en el avance lineal de la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.



## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio geomecánico para estandarizar las mallas de perforación para los diferentes tipos de roca que se presentan en las zonas de explotación de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.
- Emplear otros modelos matemáticos y/o técnicas para mejorar el diseño de las mallas de perforación en las diferentes labores de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.
- Realizar una supervisión continua, para mantener el paralelismo y la adecuada distribución de explosivos en las diferentes labores de la Unidad Minera Calpa – Arequipa.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araca Mamani, R. S. (2018). *Optimización de costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. Arequipa*. [Universidad Nacional del Altiplano].  
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16308>
- Acero Vergara, A. F. (2021). *Propuesta de una malla de perforación y voladura para labores de avance*. [Universidad Nacional de Ingeniería].  
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/22526>
- Alcos Huarilloclla, O. V. (2019). *Reducción de costos en el proceso de perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12904>
- Artigas Zabala, M. T. (2017). *Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Choco 10 empresa PMG, S.A. El Callao, Estado Bolívar*. [Universidad Central de Venezuela]. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/15512>
- Barzola Ceras, F. (2019). *Optimización de los estándares de perforación y voladura en la reducción de costos operativos en el crucero XC 10654-NW (GAL 10602-N), empresa especializada MINCOTRALL S.R.L. - Minera Aurífera Retamas S.A. [Universidad Continental]*.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5832>
- Buele Gaona, J. A. (2017). *Optimización en los parámetros de perforación y voladura en el avance del túnel de la mina Cabo de Hornos*. [Universidad del Azuay].  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7439>
- Cachi Chambilla, M. A. (2022). *Optimización de los costos operativos en perforación y voladura en la galería 435 a cargo de la constructora e inversiones U&H Star S.A.C. en la unidad minera las Águilas - CIEMSA*. [Tesis de pregrado,



Universidad Nacional del Altiplano].

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18708>

Cáceres Navarro, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4491>

Cámac Torres, A. E. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. FIM-UNA. Puno.

Cuellar Gonzales, J. L., & Valverde Camero, E. (2022). *Optimización de los Índices de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa Patrick IV para la Reducción de Costos Operacionales, en la U.M. San Andrés CIA. Minera Marsa 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas].

<http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1187>

Chahua Calderón, R. I. (2022). *Reducción de costos unitarios de perforación, voladura y sostenimiento mediante el rediseño de la malla de perforación en labores de preparación - unidad minera Huachocolpa uno compañía minera Kolpa*. [Universidad Nacional de San Agustín].

<http://hdl.handle.net/20.500.12773/15453>

Condori Mamani, E. (2019). *Minimización de costos en perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva en los tajeos Porvenir y Alicia de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa*. [Universidad Nacional del Altiplano].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12355>

Correa Namoc, L. J. & Iparraguirre Tandypan, L. A. (2016). *Reducción de costos operativos mediante la estandarización de malla de perforación - Voladura, para labores horizontales: Sección 4.0 m. X 4.0 m., mina socorro - Uchucchacua*. [Universidad Nacional de Trujillo].

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5337>

De la Cruz Graus, O. (2018). *Optimización de costos en perforación y voladura estandarizando malla para sección 2.40m x 2.40m en la empresa cancer e.i.r.l. –*



*Marsa*. [Universidad Nacional de Trujillo].

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11054>

De La Cruz Bujaco, N. y Rodríguez Ricaldi, M. A. (2022). *Optimización del diseño de perforación y voladura para reducir el costo en el desarrollo de la galería 5361, empresa minera Vicus S. A. C.* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]  
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/12408>

Del Carpio Calderón, E. J. (2021). *Reducción de costos en labores de avance, mediante el rediseño de la malla de perforación en Compañía Minera Casapalca.* [Universidad Nacional de Ingeniería].  
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/22116>

EXSA. (2001). *Manual Práctico de Voladura* (Especial). Perú.

Famesa Explosivos. (2008). *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea*. Perú.

Flores Ramos, J. R. (2020) *Optimización de costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla y el factor de carga explosiva en la Galería Santa Mónica de la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno].  
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19666>

Garrido Llosa, J. J. (2015). *Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animon.* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/2101>

Hernández Sampiere, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Hernández Sampiere, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta Edición). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Jáuregui Aquino, O. A. (2011). *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>

López Jimeno, C. (1994). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Instituto Geológico y Minero España.

Mamani Tinta, W. (2020). *Optimización de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la galería N12 de la empresa minera SOTRAMI S.A – Ayacucho*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14004>

Music Garrido, A. A. (2007). *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, Mina El Teniente*. [Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104674>

Ortega Ramos, C. A., Jaramillo Gil, A. F., & Molina Escobar, J. M. (2016). *Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”*. [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61839>

Saucedo Linares, G. A., & Zegarra Chavez, R. A. (2022). *Diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura para optimizar los costos en una unidad minera de La Libertad*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/31044>

Umaña Tancaillo, E. I. (2014). *Reducción y optimización de costos operativos en perforación y voladura Minera Yanaquihua S.A.C. E.E. Adgeminco S.A.C.* [Universidad Nacional de San Agustín].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3940>

Yucra Calloapaza, E. (2022). *Reducción de costos de perforación y voladura mediante rediseño de malla y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María, Cía Minera Poderosa S.A. - La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19242>

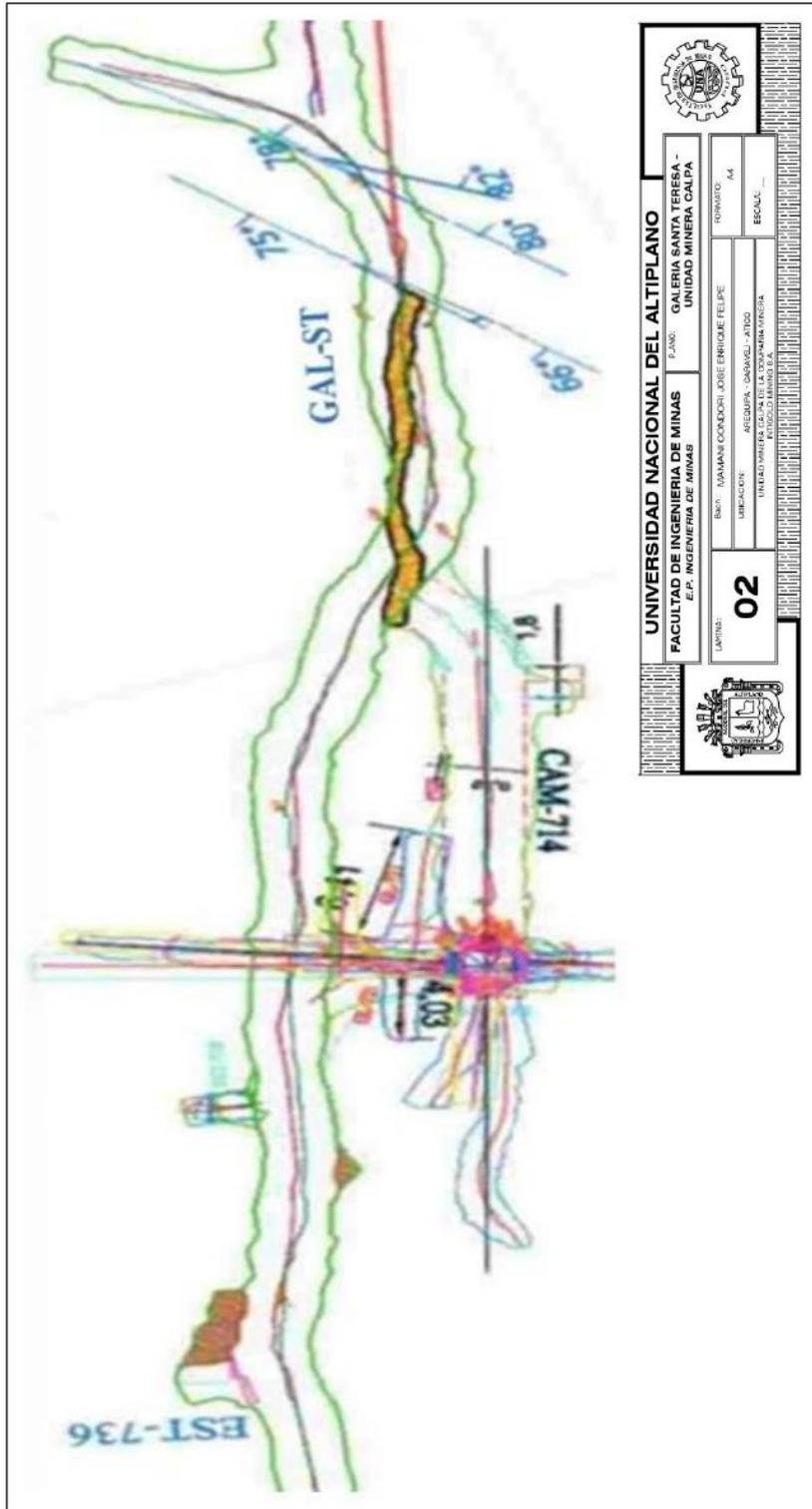


## ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de ubicación de la unidad minera Calpa



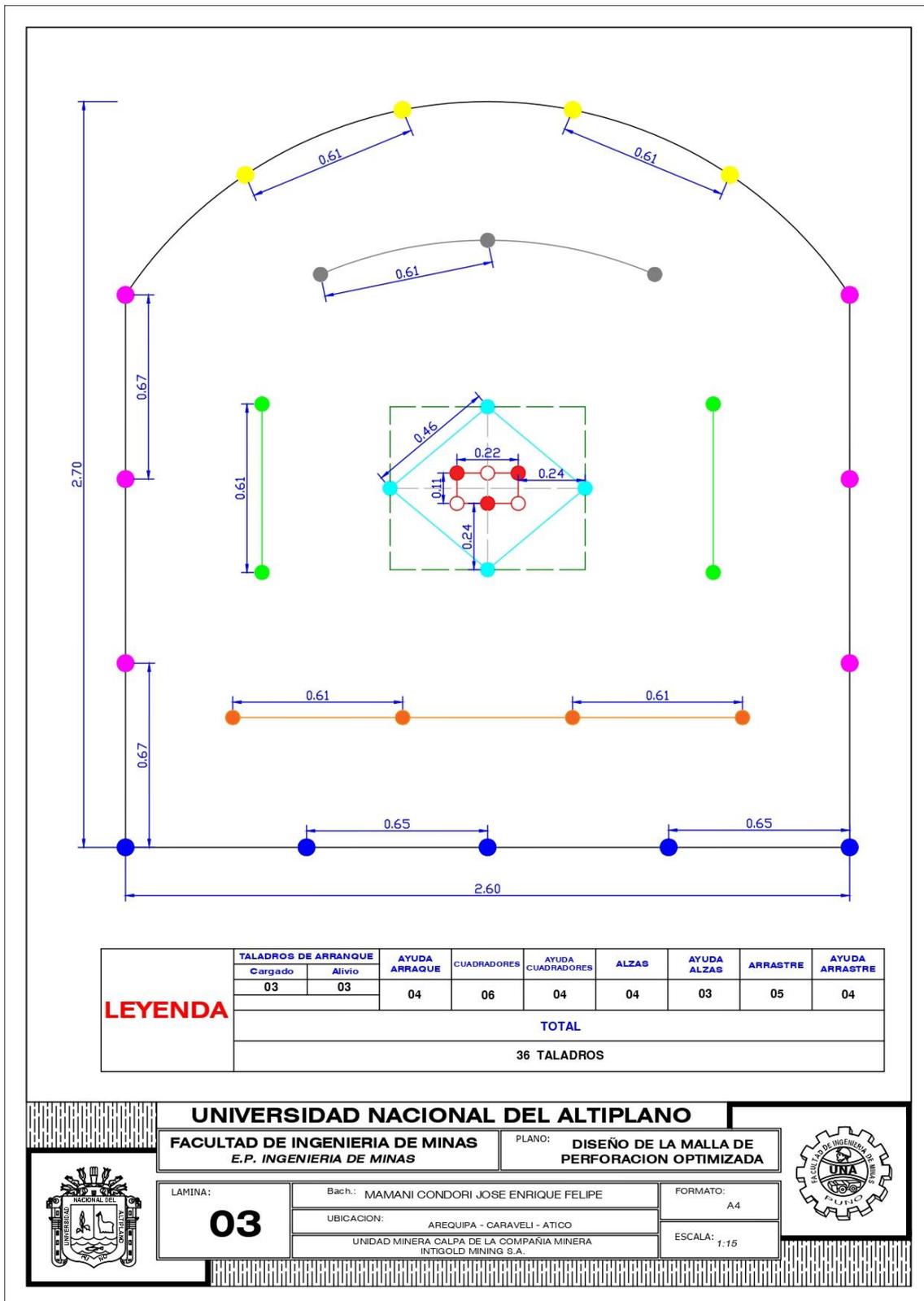
ANEXO 2. Plano de la galería Santa Teresa



### ANEXO 3. Malla de perforación anterior en la galería Santa Teresa



### ANEXO 4. Malla de perforación optimizada en la galería Santa Teresa



## ANEXO 5. Bocamina de la unidad minera Calpa





## ANEXO 6. Galería Santa Teresa de la unidad Minera Calpa



## ANEXO 7. Mano de obra en la Galería Santa Teresa



## ANEXO 8. Perforación de la Galería Santa Teresa



## ANEXO 9. Controlando paralelismo en la Galería Santa Teresa





**ANEXO 10.** Avance lineal, en las voladuras anteriores del mes de Julio 2021

<b>Número de guardia</b>	<b>Fecha</b>	<b>Longitud de avance</b>
1	1 de Julio 2021	1,30
2	2 de Julio 2021	1,31
3	3 de Julio 2021	1,30
4	5 de Julio 2021	1,30
5	6 de Julio 2021	1,29
6	7 de Julio 2021	1,30
7	8 de Julio 2021	1,31
8	9 de Julio 2021	1,30
9	10 de Julio 2021	1,30
10	12 de Julio 2021	1,31
11	13 de Julio 2021	1,32
12	14 de Julio 2021	1,30
13	15 de Julio 2021	1,30
14	16 de Julio 2021	1,29
15	17 de Julio 2021	1,30
16	19 de Julio 2021	1,31
17	20 de Julio 2021	1,29
18	21 de Julio 2021	1,30
19	22 de Julio 2021	1,28
20	23 de Julio 2021	1,29
<b>PROMEDIO</b>		<b>1,30</b>



**ANEXO 11.** Avance lineal, en las voladuras optimizadas del mes de Setiembre 2021

<b>Número de guardia</b>	<b>Fecha</b>	<b>Avance lineal</b>
1	1 de Setiembre 2021	1,42
2	2 de Setiembre 2021	1,40
3	3 de Setiembre 2021	1,41
4	4 de Setiembre 2021	1,39
5	6 de Setiembre 2021	1,42
6	7 de Setiembre 2021	1,40
7	8 de Setiembre 2021	1,41
8	9 de Setiembre 2021	1,42
9	10 de Setiembre 2021	1,40
10	11 de Setiembre 2021	1,42
11	13 de Setiembre 2021	1,43
12	14 de Setiembre 2021	1,40
13	15 de Setiembre 2021	1,39
14	16 de Setiembre 2021	1,41
15	17 de Setiembre 2021	1,42
16	18 de Setiembre 2021	1,40
17	20 de Setiembre 2021	1,41
18	21 de Setiembre 2021	1,39
19	22 de Setiembre 2021	1,43
20	23 de Setiembre 2021	1,41
<b>PROMEDIO</b>		<b>1,41</b>



## ANEXO 12. Reportes de las Voladuras anteriores con explosivos Semexsa 65%

### Reporte de la voladura, guardia A (05/07/2021)

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	4	32	0,080	2,56
Ayuda cuadradores	6	4	24	0,080	1,92
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	4	6	24	0,080	1,92
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>201</b>		<b>16,08</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39

### Reporte de la voladura, guardia A (06/07/2021)

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	10	0,080	0,80
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>201</b>		<b>16,08</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38



*Reporte de la voladura, guardia A (07/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>206</b>		<b>16,48</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38

*Reporte de la voladura, guardia A (08/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda alzas	4	4	16	0,080	1,28
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>		<b>212</b>		<b>16,96</b>

Nota: Numero de taladros perforados 42 y taladros cargados 40



*Reporte de la voladura, guardia A (09/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	7	6	42	0,080	3,36
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>221</b>		<b>17,68</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39

*Reporte de la voladura, guardia A (10/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	6	24	0,080	1,92
Ayuda alzas	2	6	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>		<b>207</b>		<b>16,56</b>

Nota: Numero de taladros perforados 39 y taladros cargados 37



*Reporte de la voladura, guardia A (12/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	7	5	35	0,080	2,80
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	6	30	0,080	2,40
Ayuda arrastre	4	7	28	0,080	2,24
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>220</b>		<b>17,60</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39

*Reporte de la voladura, guardia A (13/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	4	32	0,080	2,56
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	10	0,080	0,80
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>187</b>		<b>14,96</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38



*Reporte de la voladura, guardia A (14/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	7	5	35	0,080	2,80
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>211</b>		<b>16,88</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39

*Reporte de la voladura, guardia A (15/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	6	48	0,080	3,84
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>211</b>		<b>16,88</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38



*Reporte de la voladura, guardia A (16/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	7	6	42	0,080	3,36
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>215</b>		<b>17,2</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39

*Reporte de la voladura, guardia A (17/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	5	4	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>203</b>		<b>16,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39



*Reporte de la voladura, guardia A (19/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Alzas	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda alzas	4	5	20	0,080	1,60
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>		<b>222</b>		<b>17,76</b>

Nota: Numero de taladros perforados 42 y taladros cargados 40

*Reporte de la voladura, guardia A (20/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	6	48	0,080	3,84
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	2	5	10	0,080	0,80
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	3	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>		<b>203</b>		<b>16,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 38 y taladros cargados 36



*Reporte de la voladura, guardia A (21/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>199</b>		<b>15,92</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38

*Reporte de la voladura, guardia A (22/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	3	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>		<b>197</b>		<b>15,76</b>

Nota: Numero de taladros perforados 39 y taladros cargados 37



*Reporte de la voladura, guardia A (23/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	6	30	0,080	2,40
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>		<b>211</b>		<b>16,88</b>

Nota: Numero de taladros perforados 40 y taladros cargados 38

*Reporte de la voladura, guardia A (24/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	3	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>		<b>197</b>		<b>15,76</b>

Nota: Numero de taladros perforados 39 y taladros cargados 37



*Reporte de la voladura, guardia A (26/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	2	4	8	0,080	0,64
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	3	6	18	0,080	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>		<b>193</b>		<b>15,44</b>

Nota: Numero de taladros perforados 38 y taladros cargados 36

*Reporte de la voladura, guardia A (27/07/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	2	0	0	0	0
Arranque	4	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	8	4	32	0,080	2,56
Ayuda cuadradores	6	4	24	0,080	1,92
Alzas	5	6	30	0,080	2,40
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>		<b>202</b>		<b>16,16</b>

Nota: Numero de taladros perforados 41 y taladros cargados 39



### ANEXO 13. Reportes de las Voladuras optimizadas con explosivos Semexsa 65%

*Reporte de la voladura, guardia A (06/09/2021)*

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	4	16	0,080	1,28
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	4	16	0,080	1,28
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>170</b>		<b>13,6</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (07/09/2021)*

Descripción	N° de taladros	N° de Cart./taladro	Total de cartuchos	Peso de cartucho en Kg	Peso total Kg
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Ayuda cuadradores	4	4	16	0,080	1,28
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>177</b>		<b>14,16</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (08/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	4	24	0,080	1,92
Ayuda cuadradores	4	6	24	0,080	1,92
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>173</b>		<b>13,84</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (09/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	4	16	0,080	1,28
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>177</b>		<b>14,16</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (10/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>172</b>		<b>13,76</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (11/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>178</b>		<b>14,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (13/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	4	16	0,080	1,28
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>168</b>		<b>13,44</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (14/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	4	16	0,080	1,28
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>171</b>		<b>13,68</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (15/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	6	36	0,080	2,88
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>181</b>		<b>14,48</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (16/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	4	16	0,080	1,28
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>171</b>		<b>13,68</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (17/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	6	30	0,080	2,40
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>180</b>		<b>14,4</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (18/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	4	16	0,080	1,28
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>171</b>		<b>13,68</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (20/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>178</b>		<b>14,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (21/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>182</b>		<b>14,56</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (22/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>178</b>		<b>14,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (23/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	4	16	0,080	1,28
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>171</b>		<b>13,68</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (24/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	4	12	0,080	0,96
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>172</b>		<b>13,76</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (25/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	6	24	0,080	1,92
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	6	24	0,080	1,92
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>183</b>		<b>14,64</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



*Reporte de la voladura, guardia A (27/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	4	24	0,080	1,92
Ayuda cuadradores	4	5	20	0,080	1,60
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	5	15	0,080	1,20
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	5	20	0,080	1,60
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>169</b>		<b>13,52</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33

*Reporte de la voladura, guardia A (28/09/2021)*

<b>Descripción</b>	<b>N° de taladros</b>	<b>N° de Cart./taladro</b>	<b>Total de cartuchos</b>	<b>Peso de cartucho en Kg</b>	<b>Peso total Kg</b>
Alivio	3	0	0	0	0
Arranque	3	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	4	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	6	5	30	0,080	2,40
Ayuda cuadradores	4	6	24	0,080	1,92
Alzas	4	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	3	6	18	0,080	1,44
Arrastre	5	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	4	4	16	0,080	1,28
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>		<b>178</b>		<b>14,24</b>

Nota: Numero de taladros perforados 36 y taladros cargados 33



#### ANEXO 14. Base de datos para la prueba de hipótesis

<b>Disparos</b>	<b>Opex_Anterior</b>	<b>Opex_Optimizado</b>
1	298,23	255,61
2	301,21	260,32
3	295,31	247,39
4	299,47	240,56
5	293,26	258,67
6	302,14	262,31
7	279,32	249,7
8	294,15	245,61
9	297,44	255,38
10	304,12	267,64
11	295,47	248,97
12	291,36	245,12
13	290,52	240,78
14	301,66	247,39
15	299,56	241,92
16	297,72	249,12
17	302,6	261,13
18	292,19	255,23
19	297,88	254,3
20	303,72	248,13
<b>MEDIA</b>	<b>296,86</b>	<b>251,764</b>



## ANEXO 15. 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 José Enrique Felipe Mamani Condori,  
identificado con DNI 70 61 52 38 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 opex de perforación y voladura con un rediseño de malla y carga explosiva en la galería santa teresa de la unidad minera calpa - 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 16 de Abril del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 16. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo José Enrique Felipe Mamani Condori  
identificado con DNI 70615238 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 opex de perforación y voladura con un rediseño de malla y carga explosiva en la galería Santa Teresa de la Unidad Minera Calpa - 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 16 de Abril del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella