



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



#### **MEJORAMIENTO DEL AVANCE MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION EN EL *BY PASS* 345 DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS – CIEMSA – 2022**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DIMAS YULIÑO MENDOZA MACHACA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**


**INGENIERO DE MINAS**


**PUNO - PERÚ**


**2025**



## MEJORAMIENTO DEL AVANCE MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION EN EL BY PASS 345 DE LA UNIDAD ...

 My Files

 My Files

 Universidad Nacional del Altiplano

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:452164445

89 Páginas

Fecha de entrega

24 abr 2025, 11:26 a.m. GMT-5

17.745 Palabras

Fecha de descarga

24 abr 2025, 11:51 a.m. GMT-5

84.428 Caracteres

Nombre de archivo

DIMAS YULIÑO MENDOZA MACHACA.pdf

Tamaño de archivo

2,4 MB





## 9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

### Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 12 words)

### Top Sources

- 8% Internet sources
- 1% Publications
- 5% Submitted works (Student Papers)

### Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

  
 Ing. L. A. C. Caceres  
 CIP. 128622

   
 Dr. Americo Arizaca Avalos  
 Director de la Unidad de Investigación  
 Facultad de Ingeniería de Minas





## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres que me dieron la vida. Mi padre Fernando Mendoza y mi querida madre Tiburcia Machaca, quienes lo dieron todo su esfuerzo y apoyo necesario, fruto de sus virtudes, enseñanzas y valores, ser un profesional exitoso en Ingeniería de Minas.

A mi hermano Pedro Mendoza por el apoyo incondicional en todo momento durante el transcurso de mi formación para culminar mis estudios universitarios y lograr mi anhelo de ser Ingeniero de Minas.

**Dimas Yuliño Mendoza Machaca**



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme la vida y salud necesaria para seguir mis estudios universitarios. A mi querida Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por ofrecerme el espacio académico donde pude completar mi carrera profesional y obtener mi grado académico.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, y a todo el equipo de docentes y personal administrativo, por compartir sus conocimientos científicos y académicos, así como por guiarme en mi desarrollo profesional como Ingeniero de Minas.

A mis amigos por apoyarme constantemente y por su agradable compañía. Agradezco su amabilidad y cariño, que han sacado a relucir lo mejor de mí.

**Dimas Yuliño Mendoza Machaca**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<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>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
1.3.1. Pregunta general.....	19
1.3.2. Preguntas específicas.....	19
<b>1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
1.4.1. Hipótesis general.....	19
1.4.2. Hipótesis específicas .....	19
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
1.5.1. Objetivo general.....	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	20



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.2.1.	Perforación .....	25
2.2.2.	Condiciones de perforación.....	25
2.2.3.	Fallas de disparos .....	26
2.2.4.	Consideraciones de la masa rocosa para perforación.....	27
2.2.4.1.	Características del macizo para el diseño de malla.....	27
2.2.4.2.	Consideraciones del macizo rocoso .....	28
2.2.4.3.	Características de la roca.....	30
2.2.5.	Mecánica de fragmentación de la roca.....	31
2.2.6.	Diseño de mallas de perforación .....	32
2.2.6.1.	Dibujo de la malla de perforación.....	32
2.2.6.2.	Modelo matemático para el diseño de malla de perforación.....	32
2.2.7.	Costos en minería.....	35
2.2.7.1.	Costos directos .....	36
2.2.7.2.	Costos indirectos .....	36
<b>2.3.</b>	<b>RETOS PARA LAS MEJORAS EN PERFORACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.</b>	<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....</b>	<b>37</b>

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN .....</b>	<b>39</b>



3.3.1.	Población.....	40
3.3.2.	Muestra.....	40
3.3.3.	Muestreo.....	40
3.3.4.	Análisis estadístico.....	40
3.3.4.1.	Fundamentos estadísticos del muestreo no probabilístico intencional.....	40
3.3.4.2.	Estadística descriptiva de los resultados.....	41
3.3.4.3.	Análisis de consistencia y variabilidad.....	41
3.3.4.4.	Intervalos de confianza descriptivos.....	42
3.3.4.5.	Análisis de suficiencia muestral.....	43
3.3.4.6.	Evaluación de la mejora operativa.....	43
<b>3.4.</b>	<b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
3.4.1.	Enfoque de la investigación.....	44
3.4.2.	Alcance de investigación.....	45
3.4.3.	Diseño de la investigación.....	45
<b>3.5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>45</b>
3.5.1.	Métodos de investigación por objetivos específicos.....	45
3.5.1.1.	Métodos aplicados para el diseño de la malla de perforación en el by pass 345.....	45
3.5.1.2.	Métodos aplicados para los avances en el by pass 345.....	46
3.5.2.	Técnicas de recolección de datos por objetivos específicos.....	46
3.5.2.1.	Técnicas aplicadas para el diseño de la malla de perforación en el by pass 345.....	47
3.5.2.2.	Técnicas aplicadas para los avances en el by pass 345.....	47
3.5.3.	Técnicas de análisis de datos por objetivos específicos.....	48



3.5.3.1. Técnicas de análisis de datos para diseño de la malla de perforación en el by pass 345.....	48
3.5.3.2. Técnicas de análisis de datos para los avances en el by pass 345 .....	48
3.5.4. Descripción de materiales por objetivo específico.....	49
3.5.4.1. Descripción de materiales para el diseño de la malla de perforación en el by pass 345.....	49
3.5.4.2. Descripción de materiales para los avances en el by pass 345 .	50
3.5.5. Operacionalización de las variables de la investigación .....	51

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN EN EL BY PASS 345 EN LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS - CIEMSA.....</b>	<b>52</b>
4.1.1. Características de la roca encajonante en el by pass 345 .....	52
4.1.2. Datos de perforación antes del diseño de malla .....	53
4.1.3. Diseño de malla de perforación con el modelo de Pearse y Holmberg...	54
4.1.3.1. Cálculo de número de taladros .....	54
4.1.3.2. Cálculo de longitud real de perforación .....	55
4.1.3.3. Cálculo del diámetro óptimo .....	55
4.1.3.4. Cálculo del diámetro equivalente del taladro.....	55
4.1.3.5. Cálculo de la abertura.....	55
4.1.3.6. Cálculo de taladros auxiliares (burden): .....	56
4.1.3.7. Cálculo de taladros auxiliares (burden): .....	57
4.1.3.8. Diseño de la malla de perforación con la distribución de taladros .....	57



4.1.3.9. Consideraciones .....	59
<b>4.2. MEJORA DE LOS AVANCES EN EL BY PASS 345 EN LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS – CIEMSA.....</b>	<b>59</b>
4.2.1. Reportes de avances en el mes de julio .....	59
4.2.2. Reportes de avances en el mes de agosto.....	60
4.2.3. Reportes de operaciones en frentes de avance del by pass 345 .....	61
4.2.4. Consumo de explosivo por avance en el by pass 345 .....	63
<b>4.3. DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

**ÁREA :** Ingeniería de Minas

**TEMA :** desarrollo de labores mineras y otras excavaciones.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de Mayo del 2025



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Escala de dureza de los materiales .....	30
<b>Tabla 2</b> Clasificación GSI/RMR .....	31
<b>Tabla 3</b> Escala de dureza C y s.....	33
<b>Tabla 4</b> Ecuaciones para el cálculo de burden .....	35
<b>Tabla 5</b> Accesibilidad a la U.M. Las Águilas .....	39
<b>Tabla 6</b> Análisis estadístico cuantificable .....	41
<b>Tabla 7</b> Operacionalización de variables independientes y dependientes .....	51
<b>Tabla 8</b> Propiedades de resistencia en la masa rocosa .....	52
<b>Tabla 9</b> Parámetros de perforación .....	53
<b>Tabla 10</b> Esquema de carguío en un frente con sección 2,5 x 2,5 m .....	57
<b>Tabla 11</b> Resumen de taladros en el diseño de malla.....	58
<b>Tabla 12</b> Detalles de la perforación inicial (diseño empírico) .....	59
<b>Tabla 13</b> Detalles de la perforación actual .....	60



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b>	Comparación de datos obtenidos del diseño anterior con el actual..... 61
<b>Figura 2</b>	Reporte de operaciones de avances (m/día) julio - 2022..... 62
<b>Figura 3</b>	Grafica del reporte de operaciones avance mensual de julio - 2022 ..... 62
<b>Figura 4</b>	Reporte de operaciones de avances (m/día) agosto - 2022..... 63
<b>Figura 5</b>	Grafica del reporte de operaciones avance mensual de agosto – 2022 ..... 63



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Ubicación geográfica de la unidad minera Las Águilas .....	74
<b>ANEXO 2</b> Plano de <i>by pass</i> 345 unidad minera Las Águilas - Nivel 4 440.....	75
<b>ANEXO 3</b> Malla de perforación anterior .....	76
<b>ANEXO 4</b> Diseño de arranque y malla de perforación de 2,5 x 2,5 m. ....	77
<b>ANEXO 5</b> <i>By pass</i> 345 - Nivel 4 440 - Mina Las Águilas - CIEMSA .....	78
<b>ANEXO 6</b> Dibujo del arranque de la malla de perforación en el frente de avance.....	78
<b>ANEXO 7</b> Dibujo completo de la malla en el frente de avance horizontal.....	79
<b>ANEXO 8</b> Malla de perforación en el frente de avance antes de la perforación.....	79
<b>ANEXO 9</b> Perforación del arranque de la malla .....	80
<b>ANEXO 10</b> Carguío de taladros del frente para voladura.....	80
<b>ANEXO 11</b> Conexión del Carmex de los primeros cuadrantes .....	81
<b>ANEXO 12</b> Verificación del empalme de los iniciadores.....	81
<b>ANEXO 13</b> Chispeo para la voladura en el frente de avance .....	82
<b>ANEXO 14</b> Reportes de avances por disparo en el mes de julio .....	83
<b>ANEXO 15</b> Reportes de avances por disparo en el mes de agosto .....	85
<b>ANEXO 16</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis; <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>ANEXO 17</b> Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional ..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	



## ACRÓNIMOS

B	: burden
BP	: by pass
CIEMSA	: Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.
Cx	: crucero
Dop	: diámetro optimo
$g/cm^3$	: gramos por centímetro cubico
$kg/m^3$	: kilogramos por metro cubico
m/disparo	: metro por disparo
m/dia	: metros por día
POEs	: procedimientos operativos estándar



## RESUMEN

La investigación se realizó en el Nivel 4 440, *by pass* 345 de la Mina Las Águilas - CIEMSA (2022), ubicada en el distrito de Palca, provincia de Lampa, región Puno. El estudio abordó problemáticas críticas en las labores horizontales, donde las operaciones de perforación y voladura presentaban deficiencias significativas como disparos soplados y avances ineficientes debido a diseños inadecuados de mallas de perforación, factores que impedían el cumplimiento de las metas mensuales de avance. El objetivo principal fue determinar la mejora de avance del *by pass* 345 mediante el diseño de malla de perforación en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA. Se adoptó un diseño cuantitativo de tipo longitudinal con nivel aplicativo-descriptivo, implementando una nueva configuración de malla basada en parámetros específicos del macizo rocoso. Los resultados demostraron una mejora sustancial en el rendimiento: mientras los diseños anteriores alcanzaban avances promedio de 1,25 metros por disparo, la nueva malla permitió obtener 1,55 metros por disparo, representando un incremento del 24% en la eficiencia de avance. Esta mejora fue muy productiva en los avances lineales, sino que también generó una reducción significativa en los tiempos de operación.

**Palabras Clave:** Diseño, eficiencia, disparo, perforación, voladura.



## ABSTRACT

The research was carried out at Level 4 440, by-pass 345 of the Las Águilas Mine - CIEMSA (2022), located in the Palca district, Lampa province, Puno region. The study addressed critical problems in horizontal works, where drilling and blasting operations presented significant deficiencies such as blown shots and inefficient progress due to inadequate drill pattern designs, factors that prevented the fulfillment of monthly progress goals. The main objective was to determine the improvement in the progress of bypass 345 through the drill pattern design at the Las Águilas Mining Unit - CIEMSA. A longitudinal quantitative design with an applicative-descriptive level was adopted, implementing a new mesh configuration based on specific parameters of the rock mass. The results demonstrated a substantial improvement in performance: while previous designs achieved average feed rates of 1,25 meters per shot, the new mesh achieved 1,55 meters per shot, representing a 24% increase in feed efficiency. This improvement was highly productive for linear feeds, but also generated a significant reduction in operating times.

**Keywords:** Design, efficiency, shot, drilling, blasting.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La unidad minera Las Águilas, enfrenta dificultades significativas en la realización de sus labores, específicamente en el desarrollo del *by pass* 345 del nivel 4 440 ya que el diseño de malla de perforación es realizado de manera empírica, teniendo deficiencias con los modelos matemáticos específicos para la realización de un correcto diseño de malla de perforación

La mala distribución de los taladros por la inadecuada realización del diseño de malla de perforación presenta los problemas más comunes, que a su vez generan una serie de inconvenientes que impactan negativamente en la productividad, en los costos operativos y en el cumplimiento de los avances programados, como eficiencia de la voladura inferior al programado, disparos soplados y voladuras secundarias.

Las consecuencias resultantes de este problema son el incumplimiento de las metas establecidas para los avances programados, y específicamente en este *by pass* no eran cumplidas debido a la necesidad de voladuras secundarias y otros procesos correctivos que conllevan un gasto de recursos y pérdida de tiempo en operaciones. Por lo tanto, es crucial diseñar una malla de perforación con un modelo matemático adecuado para mejorar el avance en el *by pass* 345.

Con estos cambios, la unidad minera Las Águilas puede realizar avances con mejores resultados a los que se tenían anteriormente reduciendo costos operativos.



## 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación responde a una necesidad crítica en la Unidad Minera Las Águilas: Mejorando los avances por disparo en las labores de desarrollo subterráneo. Las deficiencias actuales en las operaciones de perforación y voladura generan múltiples impactos negativos, los incrementos en los tiempos de ciclo, sobre excavación indeseable e inestabilidad del macizo rocoso circundante, factores que comprometen tanto la seguridad como la productividad de la mina.

Específicamente en el *by pass* 345, se ha identificado que el incumplimiento sistemático de los avances programados obedece principalmente a un diseño inadecuado de la malla de perforación, que no considera las características geomecánicas particulares del terreno. La viabilidad de esta investigación es altamente favorable por tratarse de una labor en estéril, lo que permite implementar modificaciones con menor riesgo económico que en zonas mineralizadas.

El rediseño de la malla de perforación aplicando rigurosamente los modelos matemáticos de Pearse y Holmberg permitirá establecer parámetros técnicamente óptimos de burden, espaciamiento y distribución de taladros, considerando el factor de roca y las propiedades del explosivo utilizado. Esta optimización tendrá un impacto directo y cuantificable en múltiples aspectos operativos: incremento en la eficiencia de avance, reducción en el consumo específico de explosivos, mejora en la fragmentación, disminución de la sobre excavación y mayor estabilidad del contorno.

Los beneficios derivados trascienden el ámbito técnico y se reflejan directamente en la rentabilidad de la operación y el cumplimiento de los cronogramas de desarrollo. Adicionalmente, la metodología desarrollada en esta investigación sentará las bases para implementar diseños optimizados en las demás labores proyectadas de la unidad minera,



generando un efecto multiplicador que potenciará la competitividad global de la operación en términos de eficiencia y productividad.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Pregunta general**

¿Cómo es el mejoramiento del avance del *by pass* 345 mediante el diseño de malla de perforación en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA?

#### **1.3.2. Preguntas específicas**

¿Cómo es el diseño de malla de perforación en el *by pass* 345 en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA?

¿Cuánto es el mejoramiento de avances en el *by pass* 345 en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA?

### **1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

El diseño de la malla de perforación permite el mejoramiento de avance del del *by pass* 345 en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

Mejorando el diseño de malla de perforación, se tiene la eficiencia de disparo en el *by pass* 345 en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA.

La implementación del nuevo diseño de malla de perforación incrementa el avance por disparo en el *by pass* 345 de la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA.



## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el mejoramiento de avance del *by pass* 345 mediante el diseño de malla de perforación en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

Determinar el diseño de la malla de perforación en el *by pass* 345 en la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA.

Mejorar los avances en el *by pass* 345 – en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Mamani (2020) en su investigación realizada en la Galería N12 de la Empresa Minera SOTRAMI S.A. en Ayacucho donde se enfocó en optimizar los costos de perforación y voladura, que presentaban altos valores en los primeros 60 metros de avance. Planteó reducir costos mediante la evaluación de las operaciones y el rediseño de la malla de perforación. Utilizando un enfoque basado en las propiedades geomecánicas de la granodiorita, se analizaron el burden, espaciamiento, número de taladros y el factor de carga explosiva. Con el nuevo diseño, los costos se redujeron de 318,95 US\$/m a 276,76 US\$/m, logrando una optimización de 42,20 US\$/m, mejorando la eficiencia en el frente de la Galería N12.

Por su parte, Suasnabar (2020) realizó un análisis en el Proyecto de Exploración Esperanza VI, U.E.A. Capitana, de la Compañía Minera Caravelí S.A.C. con el objetivo de determinar cómo optimizar la perforación y voladura para reducir costos en el desarrollo del crucero 620. La metodología utilizada se basa en el método científico, fue aplicada, correlacional y con un diseño experimental. El estudio se centró en el crucero 620 del nivel 1 700. Tras optimizar los estándares de perforación y voladura, los costos disminuyeron de 39,36 US\$/m a 29,83 US\$/m, lo que representa una reducción del 24%. Esta optimización permite una mayor eficiencia y reducción de costos operativos en la empresa minera.

Valencia (2023) en su investigación realizada en la mina Marcapunta Sur de la Sociedad Minera El Brocal, identificó altos costos en perforación y voladura en la Rp 990



S debido a variaciones en el número de taladros y consumo de explosivos entre las tres guardias. Planteó el objetivo de reducir estos costos mediante un nuevo diseño de malla de perforación. Con un enfoque cuantitativo y diseño pre-experimental, se analizaron primero los costos actuales para luego implementar el nuevo diseño. Los resultados mostraron que, con el diseño tradicional, los costos de perforación y voladura eran de 108,04 US\$/m y 310,85 US\$/m, respectivamente. Con el nuevo diseño, la perforación se redujo en 3,27 US\$/m (3,03 %) y la voladura en 47,02 US\$/m (15,13 %), demostrando una disminución significativa en costos.

Por otra parte, Soncco (2024) llevó a cabo una investigación en la unidad minera La Fortuna, en la galería La Morena, donde el avance promedio de 1,00 metro por disparo no se alcanzaba debido a la falta de un diseño estándar de malla de perforación, lo que incrementaba los costos en equipos, explosivos y accesorios. El objetivo fue diseñar e implementar una malla de perforación de corte en "v" para reducir los costos de perforación y voladura. Con un enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental, se evaluaron los costos antes y después del cambio. Los resultados mostraron una disminución de costos al implementar la malla en "v", reduciendo el costo total de 166,28 US\$/m a 122,39 US\$/m, lo que representa una reducción del 26,40 % por metro de avance en la galería.

En palabras de Flores (2020) que realizó una investigación en la Unidad Minera Esperanza, en la Galería Santa Mónica, Arequipa, identificó altos costos de perforación y voladura en el frente de avance. El objetivo fue optimizar estos costos en un 15% mediante la reestructuración de la malla de perforación y el factor de carga explosiva. La metodología incluyó una evaluación inicial de los procesos previos, analizando las mallas de perforación y el uso de explosivos. Posteriormente, se diseñó una nueva malla considerando variables como el número de taladros, burden y tiempos de perforación. Los



resultados mostraron que la reestructuración permitió reducir los costos de 253,19 US\$/m a 223,60 US\$/m, logrando una optimización de 29,59 US\$/m.

De acuerdo con Mamani (2024) la optimización del diseño de malla de perforación y voladura en la Galería 206E de la Unidad Minera Yanaquihua S.A.C., es una problemática común y se busca reducir los costos unitarios de producción. Utilizando un enfoque mixto y un diseño experimental, se analizaron las características geomecánicas de la galería y se empleó el índice de calidad RMR de Bieniawski de 1989 para determinar los parámetros óptimos. Además, se evaluó la carga explosiva adecuada con el algoritmo de Holmberg. Los resultados mostraron una reducción del 23,50% en los costos unitarios totales, de 494,59 US\$/m a 378,37 US\$/m de avance. Tanto los costos directos como indirectos disminuyeron significativamente, logrando un ahorro de 116,42 US\$/m, mejorando la eficiencia económica de las operaciones de perforación y voladura en la galería.

Belizario (2019) menciona también que en la unidad minera Maribel de Oro “A”, se identificaron altos costos en las operaciones de perforación y voladura en la galería Duende de Oro, así como también un avance ineficiente. La investigación tuvo como objetivo optimizar el diseño de la malla de perforación para reducir estos costos. La metodología incluyó la evaluación de los procesos actuales, recolectando datos sobre burden, espaciamiento, carga explosiva y avance lineal. Se realizaron cálculos para ajustar el diseño de la malla y mejorar la eficiencia de los avances por disparo. Tras implementar el nuevo diseño, el costo por disparo se redujo de 475,86 US\$/m a 444,48 US\$/m, logrando una mejora en el avance lineal y en la fragmentación de la roca, facilitando así el carguío y optimizando los costos operativos.



Como expresa Ramos (2016) sobre la mejora en parámetros de perforación y voladura, abordó el problema del bajo rendimiento en avance por disparo en galerías y cruceros de sección 2,10 x 2,10 m, que generaba altos costos operativos. En el proyecto Galería 200 W, el rendimiento era de 1,11 m/disparo, un 18% inferior al objetivo de 1,35 m/disparo. El objetivo fue optimizar estos procesos mediante la estandarización. Como resultado, el avance por disparo mejoró a 1,32 m, y los costos disminuyeron de 214,60 US\$/m a 174,40 US\$/m. También se redujeron el número de taladros en un 3%, el consumo de explosivos en un 4% y el factor de carga en un 19%.

Como indica Anchapuri (2021) cuyo objetivo principal de su investigación fue diseñar una nueva malla de perforación y determinar la carga explosiva óptima para reducir los costos en la Galería 819E de la Mina Yanaquihua, Arequipa. La investigación implicó evaluar las operaciones de perforación y voladura, recolectando datos in situ y supervisando tanto durante como después de las operaciones. Se implementó un nuevo diseño de malla y carga explosiva, comparando los costos con la malla anterior. Con el diseño optimizado, se redujo el número de taladros de 30 a 25 y se estandarizó la perforación a 5 pies, mejorando el avance lineal de 1,08 a 1,36 m. Los costos unitarios de perforación y voladura bajaron de 51,73 US\$/m a 35,42 US\$/m y de 69,36 US\$/m a 41,72 US\$/m, respectivamente. El costo total de perforación y voladura se redujo en 46,26 US\$/m, alcanzando 212,93 US\$/m.

Hanco (2022) menciona también que en la optimización de costos en la perforación y voladura del Bay Pass 510 en la Empresa Minera Comiserge S.A. Se identificó un sobre costo de 27,19 US\$/m debido al uso de una malla de perforación con 43 taladros en una sección de 2,50 x 2,50 m. Su objetivo fue reducir estos costos mediante una nueva malla de perforación. Se empleó un enfoque cuantitativo utilizando diversos instrumentos de medición, como reportes de perforación, reportes de operación, y equipos



de registro fotográfico y temporal. El nuevo diseño de malla, basado en el modelo de Holmberg & Persson, permitió reducir el número de taladros de 43 a 37 y el costo total de perforación y voladura en 27,19 US\$/m. Además, mejoró el factor de avance de 23,5 kg/m a 18,7 kg/m y aumentó la eficiencia del avance lineal promedio de 1,47 a 1,58 metros.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Perforación**

Es el proceso en la operación en la cual se prepara para el proceso de voladura, cuyo objetivo es realizar perforaciones en roca según la gradiente que requiere el proyecto, todos son realizados en forma cilíndrica y son destinados a alojar los explosivos y sus accesorios para una posterior voladura (EXSA, 2008).

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

Autores como Bernaola et al. (2013) mencionan que, si se quiere lograr una voladura eficiente, el proceso de perforación cumple un rol muy importante, así como la selección del explosivo, es común que para realizar esta labor se utiliza mucho el criterio y la experiencia, sin embargo esto ocasiona las deficiencias en la calidad y eficiencia del trabajo (taladros sin paralelismo, sin cumplir su espaciado adecuado, longitud irregular, etc.) los que conllevan a pérdidas en los resultados del proceso la perforación y voladura.

En el manual de EXSA, se menciona que las condiciones que debieran ser primordiales en la calidad de los taladros a ser perforados están determinadas por: longitud, diámetro, estabilidad y rectitud.



- **Diámetro:** en función del tipo de taladro a usar en un determinado tipo de roca, el de menor diámetro es mejor en el uso ya que su ejecución será de manera más corta en el tiempo que el que tiene mayor diámetro.
- **Longitud:** profundidad a la que alcanza el taladro y esta depende del tipo de equipo de perforación utilizado.
- **Rectitud:** varía con el tipo y equipo de perforación (percusión, rotación y avance) dependiendo de la calidad de roca y método de perforación, debe tener una simetría para distribuir apropiadamente la potencia del explosivo.
- **Estabilidad:** en terrenos de baja calidad sueltos suelen desmoronarse por lo que es necesario protegerlos con tubos según su diámetro para poder realizar el carguío (EXSA, 2008).

### **2.2.3. Fallas de disparos**

La perforación debería ser ejecutada en un corto tiempo y de manera eficiente. En el manual práctico de voladura de EXSA se menciona que debe brindarse capacitaciones al operador perforista y personal involucrado en el proceso de perforación y voladura, estas capacitaciones deben buscar ser multifacético, flexible al cambio o mejora continua, siempre participando en equipos incluyendo a todo el equipo de trabajo EXSA (2008). CODEa-UNI (2024) menciona en su página web que algunas causas de las fallas de disparos en voladura son exceso de carga explosiva, falta de taco, roca muy suelta o fisurada, burden irregular o muy corto, fallas geológicas hacen mayor el riesgo de accidentes.



Por otra parte, Bernaola et al. (2013) mencionan también que las fallas más comunes en los disparos son los siguientes:

- En arranques a causa del deficiente número de taladros de alivio o también a causa del reducido diámetro en el arranque.
- Desviaciones en el paralelismo, el burden puede variar por la deficiencia en el paralelismo, lo que afecta en la rotura y fracturamiento, sobre roturas falta de sección y al avance deficiente.
- Irregular longitud de taladros repercute definitivamente en el avance óptimo de la perforación (en el caso de que los taladros de alivio fueran de menor longitud) por tanto, también determina la nueva cara para el proceso de voladura y perforación.
- Espaciamientos irregulares entre taladros, es un factor determinante que propicia un deficiente resultado en la perforación y voladura causando disparos soplados como también afecta a la fragmentación del material roto.
- Empate de taladros, afecta específicamente en la distribución de la columna de carga explosiva en la roca a romper, en especial si el trabajo se realiza con ANFO (Bernaola et al., 2013).

#### **2.2.4. Consideraciones de la masa rocosa para perforación**

Tenemos las más comunes que podemos considerar las siguientes.

##### **2.2.4.1. Características del macizo para el diseño de malla**

Moreno et al. (2023) mencionan que las consideraciones del macizo rocoso son fundamentales para el diseño de una malla de



perforación debido a varias razones técnicas y económicas clave como las propiedades mecánicas y geológicas para conocer la resistencia, dureza, fracturamiento y otros parámetros que permiten ajustar los patrones de perforación para maximizar la eficiencia y minimizar el uso de explosivos.

- Para la fragmentación controlada es necesario conocer las características del macizo para lograr una fragmentación más controlada que facilite el acarreo del material roto.
- Factor de volabilidad es el factor de la fórmula de Pearce y considera para el cálculo del burden el RQD alterado por el coeficiente de alteración que toma en cuenta la resistencia de las discontinuidades en función a la abertura de éstas y el tipo de relleno que contiene (Moreno et al., 2023).

#### **2.2.4.2. Consideraciones del macizo rocoso**

López et al. (2003) argumentan que el macizo rocoso es la roca que se encuentra en estado natural y posee consigo planos de estratificación, pliegues fallas, juntas, y otros. Generalmente presentan propiedades heterogéneas, sus principales propiedades y la formulación de como calcularlas son:

- **Peso Específico:** el peso específico seco influye directamente en las propiedades mecánicas de la roca. La resistencia a la compresión de la roca al igual que el módulo de elasticidad de ella, se incrementan con el valor de la densidad o peso específico.
- **Peso específico y densidad,** su diferencia depende de la gravedad, porque en el peso específico es resultado de multiplicar la masa por



la gravedad supeditada a esta, por otro lado, la densidad utiliza la masa sin considerar la gravedad (Cámac, 2005).

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad \dots \text{ Ec. (01)}$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico

P = Peso del material

$\rho$  = Densidad

M = Masa del material en cuestión

V = Volumen

La dureza representa la capacidad intrínseca de un cuerpo para resistir la fractura o deformación estructural cuando se somete a fuerzas externas. En el contexto específico de la geología y la ingeniería de rocas, la dureza constituye una propiedad mecánica crucial que indica la resistencia del material pétreo ante intentos de rayado, penetración o alteración de su forma original. Esta característica se evalúa principalmente mediante la escala de Mohs, un sistema comparativo desarrollado por el mineralogista Friedrich Mohs en 1812, que clasifica los minerales en una secuencia del 1 al 10 según su capacidad para rayar a otros minerales de menor dureza. Los minerales de referencia en esta escala van desde el talco (nivel 1, el más blando) hasta el diamante (nivel 10, el más duro). La determinación de la dureza de las rocas resulta particularmente relevante en aplicaciones prácticas de ingeniería, minería y construcción, ya que proporciona

información valiosa sobre la resistencia al desgaste, la erosión y la trabajabilidad del material como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Escala de dureza de los materiales*

<b>Dureza</b>	<b>Mineral</b>
I	Talco
II	Yeso
III	Calcita
IV	Fluorita
V	Apatito
VI	Ortosa
VII	Cuarzo
VIII	Topacio
IX	Corindón
X	Diamante

Nota: Sánchez y Asins (2009).

La dureza por lo general es medida de manera cualitativa y la dureza del material está mayoritariamente relacionada con la resistencia a la compresión. Debido a que las rocas son materiales frágiles, su resistencia al impacto es débil o moderada, por lo que pueden manipularse con herramientas de impacto (Sánchez & Asins, 2009).

#### **2.2.4.3. Características de la roca**

La descripción de la clasificación del macizo rocoso se basa a partir de la clasificación de Bieniawski en el 89, donde se interpreta la calidad del macizo como la Tabla 2:

**Tabla 2**

*Clasificación GSI/RMR*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Gsi-Hoek 2000</b>	<b>Calidad de macizo rocoso</b>
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

Nota: Bieniawski (1989).

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

Autores como Arzúa et al. (2018) y Bernaola et al. (2013) mencionan que la fragmentación de rocas por voladura consiste en la acción de un explosivo y a la respuesta de la masa de roca circundante, incluyendo factores de tiempo, energía termodinámica, mecánica de rocas, ondas de presión y otros. Esta acción aún no está completamente definida, por lo que existe varias teorías que tratan de explicarlo, como:

- Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.
- Teoría de reflexión.
- Teoría de expansión de los gases.
- Teoría de liberación súbita de cargas.
- Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
- Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.



## 2.2.6. Diseño de mallas de perforación

El modelo matemático de Pearse y Holmberg es el utilizado en el diseño de malla de la presente tesis. Es un diseño que se encuentra estructurado y que nos indica la distribución de cada uno de los taladros, su distancia, burden y espaciamiento como también su carga explosiva y la secuencia de iniciación.

### 2.2.6.1. Dibujo de la malla de perforación

Es el estándar o modelo de perforación, con el objetivo de realizar la distribución de cada taladro de inicio a fin, principalmente es para realizar un adecuado control sobre el macizo rocoso (Cámac, 2005). El diseño de malla de perforación se realiza con el objetivo de:

- Reducir la cantidad de explosivo a utilizar y también reducir los gastos en el proceso de perforación.
- Conseguir avances óptimos sin sobre roturas o falta de sección (Cámac, 2005).

### 2.2.6.2. Modelo matemático para el diseño de malla de perforación

Se considero el modelo matemático propuesto por Pearse y Holmberg, donde se toma en consideración el cálculo para número de taladros, longitud de perforación, el diámetro óptimo para perforación y la distribución de taladros auxiliares en la malla de perforación.

- Número de Taladros: Se determina por la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ taladros} = \left(\frac{P}{at}\right) + (C * s) \quad \dots \text{ Ec. (02)}$$



Donde:

P = Perímetro de la sección (4 x Raíz (Sección))

dt = Distancia de taladro a taladro

C = Coeficiente o factor de dureza de la roca

S = Área de túnel

**Tabla 3**

*Escala de dureza C y s*

<b>Tipo de Roca</b>	<b>C</b>	<b>s</b>
Dura	0,40 a 0,55 m	2,0 a 2,5
Intermedia	0,60 a 0,65 m	1,5 a 1,7
Suave	0,70 a 0,75 m	1,0 a 1,2

Nota: Mateo et al. (2020).

Existe otra ecuación para poder calcular el número de taladros con una aproximación, mediante la siguiente fórmula empírica (EXSA, 2008).

$$N^{\circ} tal = 10 * \sqrt{A * H} \quad \dots \text{Ec. (03)}$$

Los explosivos utilizados varían, cada uno de ellos con diferentes densidades, por tanto, es necesario conocer las características del explosivo que será utilizado para calcular el factor de carga lineal y luego calcular el factor de carga m<sup>3</sup> y el factor de potencia (Mateo et al., 2020).

- Longitud real de perforación, según Holmberg (1982), para este cálculo se utiliza el avance en la perforación cuya longitud efectiva



(I) debe ser semejante a la longitud del taladro perforado (L) por una constante igual a 0,95 resultando eficiencia teórica de perforación.

$$I = \text{Longitud de Barreno} * 0,95 \quad \dots \text{Ec. (04)}$$

- Cálculo del diámetro óptimo, para el cálculo de la relación entre el diámetro óptimo y la longitud real de perforación se utiliza la siguiente fórmula postulada por (Holmberg, 1982).

$$Dop = LR \times 41,67 - 16,51 \quad \dots \text{Ec. (05)}$$

Donde:

DOP = Diámetro óptimo

LR = Longitud real de perforación

- Cálculo del diámetro equivalente del taladro

$$De = Di \times \sqrt{N} \quad \dots \text{Ec. (06)}$$

Donde:

De = Diámetro equivalente

Di = Diámetro del taladro

N = Numero de taladros de alivio

- Taladros de ayuda, Holmberg (1982) presenta la Tabla 4 de ecuaciones para el determinar el número de taladros por burden.

**Tabla 4**

*Ecuaciones para el cálculo de burden*

<b>Burden</b>	<b>Formula</b>
1°	$B_1 = 1,5 \times Dop \dots \text{Ec. (07)}$
2°	$B_2 = 2,12 \times Dop \dots \text{Ec. (08)}$
3°	$B_3 = 4,5 \times Dop \dots \text{Ec. (09)}$
4°	$B_4 = 9,5 \times Dop \dots \text{Ec. (10)}$

Nota: (Holmberg 1982).

- Cálculo de taladros auxiliares (burden), López et al. (2003) y Mateo et al. (2020) mencionan que el cálculo de burden de taladros de arrastre es el siguiente:

$$B = 0,012 * De \left( \frac{2 \times \text{Densidad del explosivo}}{\text{Densidad de la roca}} + 1,5 \right) \dots \text{Ec. (11)}$$

Donde:

De = Diámetro del explosivo

- Cálculo de taladros auxiliares (espaciamiento), Mateo et al. (2020) menciona que el cálculo de espaciamiento de taladros de arrastre es el siguiente:

$$E = 1,18 \times B \dots \text{Ec. (12)}$$

Donde: B = Burden de taladros de arrastre

### 2.2.7. Costos en minería

Rojas y Arrobo (2020) afirman que el costo se relaciona con la compra de los activos. Los materiales simbolizan el costo, mientras que un servicio



representa gasto, con el objetivo de identificar mejor este término se deberá de recordar lo siguiente:

#### **2.2.7.1. Costos directos**

Son los costos que se identifican con exactitud, el proceso de producción ejemplo el pago de haberes y adquisición de productos que se utilizan en la producción.

#### **2.2.7.2. Costos indirectos**

Son los costos que carecen de una relación con la producción, estos gastos de cierto privilegio se realizan a nivel de gerencia y personal que está alejado del proceso de producción (Escudero et al., 2022).

### **2.3. RETOS PARA LAS MEJORAS EN PERFORACIÓN**

La eficiencia en la perforación y voladura subterránea es fundamental para asegurar una explotación minera rentable y sin contratiempos. Existen numerosos factores que afectan la rentabilidad y la seguridad de las operaciones subterráneas, lo que puede complicar la toma de decisiones claras sobre la optimización de los procesos de perforación y voladura. Por ello, es necesario un proceso iterativo que permita analizar los datos variables, con el objetivo de evaluar los resultados de cada voladura, el avance logrado en cada disparo y el costo total de cada disparo.

Zaki (2022) menciona que, aunque estos desafíos pueden abordarse a través de la optimización y un análisis exhaustivo de los datos, es crucial considerar otros factores variables que afectan los procesos de perforación como el más simple de ellos que es el diseño de una malla de perforación con los parámetros adecuados para un resultado de voladura óptimo.



## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- *By pass*: técnica que se usa para desviar el flujo de materiales dentro de una mina. Esta técnica permite solucionar problemas operativos, evitar bloqueos, obstrucciones o derrumbes y optimizar la eficiencia de una operación si se tienen malas condiciones para continuar una galería.
- Galería: es una labor horizontal con la función principal de permitir el acceso, ventilación y transporte de minerales y otros materiales. Son labores esenciales para operaciones mineras, proporcionando rutas de movimiento tanto para los trabajadores como para los equipos y materiales.
- Perforación: proceso de hacer agujeros/perforaciones en la roca para aplicaciones como voladura o instalación de pernos. En el contexto de voladura, la precisión en la perforación es fundamental para obtener resultados óptimos.
- Malla de perforación: es el patrón de agujeros perforados en el frente de avance para el carguío de explosivos. Un buen diseño de malla asegura una voladura controlada y eficaz, minimizando el uso de recursos y optimizando la fragmentación.
- Espaciamiento: se refiere a la distancia entre las perforaciones en la malla de perforación. El diseño adecuado del espaciamiento es crítico para obtener una fragmentación uniforme y reducir voladuras secundarias.
- Voladura: es el proceso de usar explosivos para fragmentar roca y facilitar su extracción. La voladura efectiva reduce costos operativos y permite avances más rápidos en labores mineras.
- Voladura controlada: implica el uso de técnicas y métodos precisos para asegurar que la voladura se realice de manera segura y eficiente; incluye el diseño específico de mallas para obtener resultados óptimos.



- Rendimiento: es la eficiencia y eficacia de las operaciones, mejorar el rendimiento significa maximizar la producción con los recursos disponibles.
- Mejora u optimización: significa mejorar la eficiencia y reducir costos en los procesos operativos. En el contexto de perforación y voladura, optimización implica diseñar mallas eficientes, reducir el uso de explosivos y maximizar el rendimiento para aumentar la productividad.
- Costos operativos o de producción: incluyen todos los gastos necesarios para la extracción y procesamiento del mineral. Esto abarca costos de perforación, voladura, transporte, mano de obra, mantenimiento y suministros.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA, situada en Koripua - Sequeña, en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, departamento de Puno, al sur del Perú. Las coordenadas UTM WGS 84 de la ubicación son N: 8 31 2041, E: 3 09 908, a una altitud de 4 300 metros sobre el nivel del mar; como se aprecia en el Anexo 1.

#### 3.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la unidad minera se describe en el cuadro siguiente:

**Tabla 5**

*Accesibilidad a la U.M. Las Águilas*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo de trayecto (h)</b>
Juliaca – Ayaviri (Asfaltada)	100	1,5
Ayaviri – Chuquibambilla (Asfaltada)	20	0,25
Chuquibambilla – Llalli (Asfaltada)	25	0,5
Llalli – mina las Águilas (Asfaltada)	35	1,0
Trayecto total	180	3,25

#### 3.3. POBLACIÓN

Se tomó como población al *by pass* 345 ubicado en el nivel 4 440, que se encontraba en desarrollo al momento de la toma de datos para la presente investigación, debido a que es una labor horizontal con las características idóneas para el desarrollo de



esta investigación en la Unidad Minera las Águilas, el estudio de investigación contempla una muestra no probabilística intencional.

### **3.3.1. Población**

La población correspondiente a la presente investigación cuenta con 5 *by pass* de 2,5 x 2,5m perteneciente a la unidad minera Las Águilas – CIEMSA. La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández et al., 2014).

### **3.3.2. Muestra**

La muestra de la presente investigación se tomó del *by pass* 345 del nivel 4 440 que se encontraba en desarrollo al momento. Esta muestra es de tipo no probabilístico y se realiza por conveniencia, porque nos permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos (Otzen & Manterola, 2017).

### **3.3.3. Muestreo**

El muestreo aplicado en la presente investigación fue de tipo no probabilístico intencional, también conocido como muestreo por conveniencia. Este tipo de muestreo se caracteriza por la selección de unidades de análisis que resultan accesibles o favorables para el investigador (Hernández et al., 2014).

### **3.3.4. Análisis estadístico**

#### **3.3.4.1. Fundamentos estadísticos del muestreo no probabilístico intencional**

El muestreo no probabilístico intencional realizado en el *by pass* 345 del nivel 4 440 de la Unidad Minera Las Águilas - CIEMSA, aunque

no permite la aplicación directa de inferencias probabilísticas tradicionales, se complementó con un riguroso análisis estadístico para evaluar la representatividad, validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

### 3.3.4.2. Estadística descriptiva de los resultados

La implementación del nuevo diseño de malla de perforación generó resultados cuantificables que se analizaron estadísticamente:

**Tabla 6**

*Análisis estadístico cuantificable*

<b>Parámetro</b>	<b>Antes del diseño</b>	<b>Después del diseño</b>	<b>Variación (%)</b>
Avance promedio disp.	1,25 m	1,55 m	+22,41%
N° de taladros perforados	45	43	-4,44%
N° de taladros cargados	41	38	-7,32%
Total de explosivos	135 cartuchos	120 cartuchos	-11,11%
Eficiencia del programa	70%	98%	+40,00%
Factor de carga lineal	41,04 kg/m	29,42 kg/m	-28,32%

### 3.3.4.3. Análisis de consistencia y variabilidad

El análisis estadístico de los avances lineales mostró:

Antes del nuevo diseño (Julio):

- Media aritmética: 1,25 m
- Mediana: 1,25 m



- Desviación estándar: 0 m
- Coeficiente de variación: 0%

Después del nuevo diseño (Agosto):

- Media aritmética: 1,53 m
- Mediana: 1,55 m
- Desviación estándar: 0,104 m
- Coeficiente de variación: 6,78%
- Valor mínimo: 0,80 m
- Valor máximo: 1,55 m
- Rango: 0,75 m

La baja variabilidad en los datos de julio indica uniformidad en los resultados, mientras que la ligera variación en agosto refleja la adaptación al nuevo diseño, manteniendo niveles aceptables de consistencia ( $CV < 10\%$ ).

#### 3.3.4.4. Intervalos de confianza descriptivos

Se calcularon intervalos de confianza descriptivos para los avances después del nuevo diseño (agosto):

$$IC_{95\%} = \bar{x} \pm t_{(0,025,n-1)} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \dots \text{Ec. (13)}$$

$$IC_{95\%} = 1,53 \pm 1,96 * \frac{0,104}{\sqrt{58}}$$

$$IC_{95\%} = 1,53 \pm 0,027$$

$$IC_{95\%} = [1,503; 1,557]$$



Este intervalo indica que, con un 95% de confianza descriptiva, el avance promedio real con el nuevo diseño se encuentra entre 1,50 m y 1,56 m por disparo.

#### **3.3.4.5. Análisis de suficiencia muestral**

El tamaño de muestra necesario para estimar el avance real con un error máximo de  $\pm 0,10$  m y un nivel de confianza del 95% se calculó mediante:

$$n = \frac{z^2 * s^2}{E^2} \quad \dots \text{Ec. (14)}$$

Donde:

$z = 1,96$  (valor crítico para 95% de confianza)

$s = 0,104$  (desviación estándar de la muestra)

$E = 0,10$  (error máximo permitido)

$$n = \frac{1,96^2 * 0,104^2}{0,10^2} = 4,17 \approx 5$$

El tamaño muestral mínimo requerido es de 5 disparos, lo que confirma que los 58 disparos registrados en agosto proporcionan una base estadísticamente robusta para el análisis, superando ampliamente el mínimo requerido.

#### **3.3.4.6. Evaluación de la mejora operativa**

El análisis estadístico confirma que el nuevo diseño de malla de perforación produjo:



- Un incremento estadísticamente significativo en el avance por disparo (22,41%)
- Una reducción en el consumo de recursos (reducción de 3 taladros cargados y 15 cartuchos de explosivo)
- Una mejora sustancial en la eficiencia del programa (de 70% a 98%)
- Una optimización del factor de carga lineal (reducción del 28,32%)

El análisis estadístico del muestreo no probabilístico intencional demuestra que, a pesar de las limitaciones inherentes a este tipo de diseño muestral, los resultados obtenidos son consistentes, confiables y estadísticamente significativos. La mejora en los parámetros operativos no se debió al azar, sino a la efectividad del nuevo diseño de malla de perforación implementado en el *by pass* 345.

### **3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. Enfoque de la investigación**

Se analiza la influencia de un nuevo diseño de una malla de perforación, la cual sería la estimación de la magnitud de la influencia de la mejora de esta variable y su efecto en la mejora de los avances por disparo. La presente investigación es de enfoque cuantitativo, este enfoque se caracteriza principalmente por la recolección y el análisis de datos numéricos que permiten establecer relaciones causales entre variables definidas, los métodos y procedimientos deben ser claramente definidos y documentados (Hernández et al., 2014).



### **3.4.2. Alcance de investigación**

El nivel o alcance es descriptivo, en esta investigación analiza el cómo con un diseño de malla de perforación se puede mejorar los resultados de los avances por disparo con una reducción de costos. Hernández et al. (2014) mencionan que este alcance se caracteriza por intentar medir y recolectar información sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Estos estudios la mayoría de las veces proporcionan una visión más precisa y detallada de lo analizado, facilitando así su comprensión.

### **3.4.3. Diseño de la investigación**

Esta investigación es considerada como diseño cuantitativo desde un enfoque metodológico y descriptivo por su alcance y propósito, en el ámbito de la investigación (Pimienta y De La Orden 2017).

## **3.5. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECIFICOS**

La etapa de recolección de datos en investigaciones cuantitativas consiste en recolectar los datos pertinentes sobre atributos, conceptos o variables de las unidades de muestreo. Recolectar los datos implica elaborar un plan de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico (Hernández et al., 2014).

### **3.5.1. Métodos de investigación por objetivos específicos**

#### **3.5.1.1. Métodos aplicados para el diseño de la malla de perforación en**

#### ***el by pass 345***

- Recolección de datos, se recolectaron y analizaron todos los datos necesarios para realizar un buen diseño de malla de perforación,



como características del macizo rocoso, datos de mapeo geomecánico para determinar las condiciones del macizo rocoso, RMR, Q de Barton, GSI de la labor.

- Diseño de malla de perforación, se realizaron simulaciones de diseños de mallas de perforación utilizando el modelo matemático de Pearse y Holmberg, buscando una correcta distribución de taladros y tipo de explosivo utilizado para encontrar el más adecuado a las condiciones de reducción de costos y mejora de avances.

#### **3.5.1.2. Métodos aplicados para los avances en el *by pass* 345**

- Análisis de resultados, se realizó un análisis de resultados tras las voladuras mediante informes de avance por el área de operaciones, considerando los parámetros de la malla de perforación como los explosivos utilizados y los avances logrados por disparo.
- Mejora de parámetros de perforación y voladura, se evaluaron las diferentes configuraciones de mallas de perforación y cargas explosivas de Emulnor realizando un cálculo de costos para ajustar el menor costo al mejor avance posible para mejorar la eficiencia de los disparos.

#### **3.5.2. Técnicas de recolección de datos por objetivos específicos**

Toda técnica de medición o instrumento de recolección de datos debe ser confiable, valido y objetivo (Hernández et al., 2006).



### 3.5.2.1. Técnicas aplicadas para el diseño de la malla de perforación en el *by pass* 345

- Diseños de malla de perforación utilizando el modelo matemático de Pearse y Holmberg, variando características secundarias para determinar la eficiencia de la perforación en diferentes condiciones para hallar el más idóneo, se realizaron pruebas con diferentes consideraciones del macizo rocoso y variando los explosivos para ver su desempeño con un nuevo diseño de malla.
- Recolección de datos operacionales, se obtuvieron datos históricos sobre el rendimiento de las mallas de perforación previamente utilizadas en el *by pass* 345. Se evaluaron aspectos como la longitud de perforación, el tipo de explosivo utilizado, la eficiencia conseguida en avances por disparo y el costo por disparo.

### 3.5.2.2. Técnicas aplicadas para los avances en el *by pass* 345

- Monitoreo y evaluación de los resultados de la voladura, se realizaron mediciones de los avances por disparo tras cada voladura el cual se obtuvo en el mes de julio 56 disparos con 6 tiros soplados y el mes de agosto se obtuvo 58 disparos y no hubo tiros soplados. Se utilizaron levantamientos topográficos para evaluar el perfil del *by pass* y determinar la efectividad del disparo en términos de avance y eficiencia del disparo, esto permitió correlacionar los avances por disparo con los efectos de las voladuras y ajustar las cargas explosivas.



- Recolección de datos operacionales, se compilaron datos de las voladuras anteriores, considerando los avances realizados por voladura, la eficiencia lograda y el consumo de explosivos, para identificar posibles áreas de mejora.

### **3.5.3. Técnicas de análisis de datos por objetivos específicos**

Para analizar los datos de los resultados de esta investigación sobre mejora de los avances por disparo mediante un nuevo diseño de malla de perforación en el *by pass* 345 de la mina Las Águilas. Se presenta a continuación las técnicas de análisis de datos por objetivos específicos:

#### **3.5.3.1. Técnicas de análisis de datos para diseño de la malla de perforación en el *by pass* 345**

- Los datos recolectados como los datos del macizo rocoso y pruebas de diseños de mallas fueron analizados de manera descriptiva para identificar las principales características a mejorar en un diseño de malla de perforación. Se utilizó el programa de Office (Excel) que facilitó la interpretación de los datos y la variación de parámetros de cálculo de número de taladros en el diseño de malla.

#### **3.5.3.2. Técnicas de análisis de datos para los avances en el *by pass* 345**

- El análisis de los datos obtenidos de los reportes de avances de cada disparo fue realizado mediante un análisis estadístico de los avances promedio por disparo antes de la mejora del diseño de malla de perforación y las eficiencias obtenidas de igual manera.



Asi mismo fue realizado el análisis luego de la mejora en el diseño de malla, conjuntamente con las eficiencias por disparo.

- La implementación del nuevo diseño de malla de perforación generó resultados cuantificables que se analizo estadísticamente.

#### **3.5.4. Descripción de materiales por objetivo específico**

Para el desarrollo de esta investigación destinada a mejorar los avances por disparo con un nuevo diseño de malla de perforación, se requirió de los siguientes materiales por objetivo específico:

##### **3.5.4.1. Descripción de materiales para el diseño de la malla de perforación en el *by pass* 345**

- Herramientas de medición y control, para garantizar la precisión y consistencia en la perforación, se necesitan diversas herramientas de medición y control. Los distanciómetros láser, estaciones totales para levantamientos topográficos y para verificar la orientación de la labor y profundidad de los taladros. Otros equipos, como cintas métricas y escáneres láser ayudan a medir distancias y ubicar puntos clave en la malla de perforación
- Para el mismo proceso de perforación, equipos de perforación (jackleg), brocas de perforación, explosivos Carmex y emulsiones encartuchadas para pruebas de disparo controlado.
- Diseño de mallas de perforación, el diseño de las mallas de perforación se realizó mediante un proceso de análisis técnico basado en condiciones de las rocas y las especificaciones del equipo utilizado. Se utilizo el modelo matemático de Pearse y



Holmberg para calcular el número idóneo de taladros en el frente de trabajo y su ubicación óptima, considerando las dimensiones de la excavación y la profundidad necesaria para alcanzar el avance programado.

#### **3.5.4.2. Descripción de materiales para los avances en el *by pass* 345**

- Organización y limpieza de datos, luego de la recopilación de datos, se organizaron en un formato estructurado para facilitar el análisis. El siguiente paso fue limpiar los datos para eliminar errores, duplicados o valores atípicos que puedan afectar el análisis.
- Se utilizó el programa de Office (Excel) para el análisis de datos resultantes los reportes de avance de cada disparo. Esta herramienta permitió visualizar y ajustar los datos del diseño de mallas según las condiciones necesarias, para interpretar resultados y desarrollar recomendaciones para futuras mejoras.
- Monitoreo de las mejoras en el *by pass* 345, el monitoreo de las mejoras a través de los resultados consistió en la recolección de datos sobre la eficiencia y eficacia de cada disparo en el *by pass* 345 durante el periodo de tiempo mencionado. Se recopiló métricas como cantidad de explosivos utilizados, costos por disparo y avance efectivo. Esta técnica permitió validar el impacto de la propuesta de mejora en el diseño de malla ofreciendo retroalimentación para ajustes futuros en el proceso.



### 3.5.5. Operacionalización de las variables de la investigación

Las variables utilizadas son propuestas en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Operacionalización de variables independientes y dependientes*

<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Variable Independiente:	N° de taladros	N° de taladros/frente
Diseño de malla de perforación.	Kg de explosivos/m <sup>3</sup> , Calidad del macizo rocoso	kg/m <sup>3</sup> RMR
	Burden	m
Variable Dependiente:	Espaciamiento	m
Mejora de avance	Avance por disparo	m/disparo
	Factor de carga	Kg/tal

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN EN EL BY PASS 345 EN LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS - CIEMSA

##### 4.1.1. Características de la roca encajonante en el by pass 345

La clasificación del macizo rocoso de la unidad minera se basa a partir de la Tabla 2, donde se analizaron las propiedades de resistencia en la masa rocosa en la zona de la toma de muestra, esta data fue brindada por el área de geología de la unidad minera y se plasman en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Propiedades de resistencia en la masa rocosa*

Veta	Calidad de la masa rocosa				Propiedades geomecánicas de la masa rocosa					
	Ubicación	Dominio	RMR prom.	GSI	Peso Especifico	$\sigma_{ci}$ (MPa)	E (MPa) Young	Poisson (V)	Ángulo de Fricción ( $\phi$ )	Coesión (C) (MPa)
Úrsula	Rocas encajonantes de estructura	1	70	65	0,0247	82	16 105,28	0,28	37,68	7,37
		2	50	45	0,0245	56	4 208,77	0,24	30,20	2,647
		3	30	25	0,0244	41	1 138,82	0,26	21,91	1,214
		4	10	5	0,0219	26	286,78	0,26	12,93	0,306
	Estructura mineralizada	5	50	45	0,0292	58	4 283,27	0,24	28,97	2,611
		6	30	25	0,0289	44	1 573,21	0,25	21,79	1,344
		7	10	5	0,0259	27	292,24	0,23	10,82	0,265
Marisol	Rocas encajonantes de estructura	8	70	65	0,0258	72	15 091,33	0,28	38,26	4,866
		9	50	45	0,0258	55	4 171,02	0,27	29,81	2,56
		10	30	25	0,0218	41	1 138,82	0,23	21,15	1,168
		11	10	5	0,0213	27	292,24	0,25	12,61	0,31
	Estructura mineralizada	12	50	45	0,0325	56	4 208,77	0,27	28,97	2,521
		13	30	25	0,0309	39	1 110,69	0,26	20,32	1,063
		14	10	5	0,0255	27	292,24	0,24	11,58	0,284

La Tabla 8 representa las propiedades de la maza rocosa de las vetas Marisol y Úrsula de la unidad minera Las Águilas, zonas en las que se realizó el

estudio, así como también su clasificación RMR, para poder escoger el tipo de explosivo más adecuado acorde a las características del terreno. La información fue brindada por el área de geología de la unidad minera.

#### 4.1.2. Datos de perforación antes del diseño de malla

La hoja de datos de perforación en la veta Marisol antes de realizar la implementación de la mejora del diseño de malla La hoja de datos de perforación en la veta Marisol, antes de realizar la implementación de la mejora del diseño de malla, presentó los siguientes detalles clave. En primer lugar, las profundidades de perforación no alcanzaban la eficacia esperada, lo que generaba un menor rendimiento en la extracción de material de interés. Además, los ángulos de inclinación de las perforaciones eran inconsistentes, lo que aumentaba la probabilidad de desmoronamientos o fallas en las paredes de la veta durante el proceso de explotación, fueron los siguientes:

**Tabla 9**

*Parámetros de perforación*

<b>Ítems</b>	<b>Datos</b>
Densidad de roca	2,7 Tn/m <sup>3</sup>
Ancho de sección	2,5m
Alto de sección	2,5m
Tipo de roca	andesita brechada
Equipo de perforación	jack leg
Longitud de barreno	6 pies
Diámetro de taladro vacío (m)	0,0381m
Diámetro de taladros cargados (m)	0,0381m
Diámetro de cartucho	22,2 mm
Longitud de cartucho	0,1778 m



#### 4.1.3. Diseño de malla de perforación con el modelo de Pearse y Holmberg

Para la realización de los cálculos de diseño de esta malla, los datos considerados fueron los siguientes:

- Largo de labor : 2,50 m
- Ancho de labor : 2,50 m
- Longitud de perforación : 1,80 m
- Diámetro de taladro : 38,00 mm
- Densidad de roca : 2,70 g/cm<sup>3</sup>
- Tipo de roca : II Dura

##### 4.1.3.1. Cálculo de número de taladros

La sección del frente de avance del *by pass* 345 es de 2,5m x 2,5m. Para calcular el número de taladros en el nuevo diseño de malla de perforación se requiere la sección de la labor a perforar lo cual es igual a 6,25 m<sup>2</sup>.

Calculando de la ecuación ya descrita anteriormente:

$$N^{\circ} \text{ taladros} = \left( \frac{P}{dt} \right) + (C * s) \quad \dots \text{de la Ec. (02)}$$

Donde:

$$S = 2,5 \times 2,5 \text{ m} = 6,25 \text{ m}^2$$

$$P = 4\sqrt{s} = 4\sqrt{6,25} = 10 \text{ m}$$

$$dt = 4 \text{ (coef)}$$

$$C = 2,5 \text{ (coef roca dura)}$$

Entonces,

$$N^{\circ} \text{ taladros} = \left( \frac{10}{0,4} \right) + (2,5 * 6,25)$$



$$N^{\circ} \text{ taladros} = 43$$

#### 4.1.3.2. Cálculo de longitud real de perforación

Considerando la eficiencia de un 95% teórico, se tiene:

$$I = \text{Longitud de Barreno} * 0,95 \quad \dots \text{de la Ec. (04)}$$

Donde:

$$\text{Longitud de Barreno} = 1,80 \text{ m}$$

$$I = 1,80 * 0,95 = 1,71 \text{ m}$$

#### 4.1.3.3. Cálculo del diámetro óptimo

$$Dop = LR * 41,67 - 16,51 \quad \dots \text{de la Ec. (05)}$$

Donde:

$$LR = 1,71 \text{ m}$$

Entonces,

$$Dop = 1,71 * 41,67 - 16,51$$

$$Dop = 55 \text{ mm}$$

#### 4.1.3.4. Cálculo del diámetro equivalente del taladro

$$De = Di * \sqrt{N} \quad \dots \text{de la Ec. (06)}$$

Donde:

$$Di = \text{Diámetro del taladro (38,00mm)}$$

$$N = 5 \text{ taladros de alivio}$$

Entonces,

$$De = 38 * \sqrt{5}$$

$$De = 85 \text{ mm}$$

#### 4.1.3.5. Cálculo de la abertura

Conociendo que:  $Dop = 55 \text{ mm}$



Burden 1°

$$B_1 = 1,5 \times Dop \quad \dots \text{de la Ec. (07)}$$

$$B_1 = 1,5 \times 55 \text{ mm}$$

$$B_1 = 82 \text{ mm}$$

Burden 2°

$$B_2 = 2,12 \times Dop \quad \dots \text{de la Ec. (08)}$$

$$B_2 = 2,12 \times 55 \text{ mm}$$

$$B_2 = 116 \text{ mm}$$

Burden 3°

$$B_3 = 4,5 \times Dop \quad \dots \text{de la Ec. (09)}$$

$$B_3 = 4,5 \times 55 \text{ mm}$$

$$B_3 = 246 \text{ mm}$$

Burden 4°

$$B_4 = 9,5 \times Dop \quad \dots \text{de la Ec. (10)}$$

$$B_4 = 9,5 \times 55 \text{ mm}$$

$$B_4 = 520 \text{ mm}$$

#### 4.1.3.6. Cálculo de taladros auxiliares (burden):

Conociendo que:

Diámetro explosivo = 25,4 mm

Densidad del explosivo = 0,234 g/cm<sup>3</sup>

Densidad roca = 2,7 g/cm<sup>3</sup>

$$B = 0,012 * \left( \frac{2 \times \text{Densidad del explosivo}}{\text{Densidad de la roca}} + 1,5 \right) \dots \text{de la Ec. (11)}$$

$$B = 0,012 * 25,4 \text{ mm} \left( \frac{2 \times 0,234 \text{ g/cm}^3}{2,7 \text{ g/cm}^3} + 1,5 \right)$$

$$B = 0,51 \text{ m}$$

#### 4.1.3.7. Cálculo de taladros auxiliares (burden):

El cálculo de espaciamiento de taladros de arrastre es el siguiente:

$$E = 1,18 \times B \quad \dots \text{de la Ec. (12)}$$

Donde:  $B = 0,51 \text{ m}$

$$E = 1,18 \times 0,51 \text{ m}$$

$$E = 0,60 \text{ m}$$

#### 4.1.3.8. Diseño de la malla de perforación con la distribución de taladros

El diseño realizado de acuerdo a la distribución de taladros se muestra en la Tabla 10:

**Tabla 10**

*Esquema de carguío en un frente con sección 2,5 x 2,5 m*

Sección 2,5 x 2,5		Emulnor 5000		Emulnor 3000		Emulnor 1000		Kg / taladro	Mecha rápida (m.)
Long. Perf. (m)	1,63								
	91%								
Avan. Efectivo (m)	1,55	N° de tal. cargados		N° de tal. cargados		N° de tal. cargados			
		Cart./tal.	Tot. cart.	Cart./tal.	Tot. cart.	Cart./tal.	Tot. cart.		
Tal. de arranque		4	2	8	1	4		2,87	
Tal. de alivio		4							
Tal. de ayuda		4	2	8	1	4		2,87	
Tal. de sobreayuda		4	2	8				1,92	
Tal. de producción		4	2	8	1	4		2,87	
Tal. cuadradores		8	1	8	2	16		5,70	
Tal. corona		3			2	6	1	3	2,11
Tal. ayuda corona		3	1	3	2	6			2,14
Tal. ayuda arrastre		2	2	6					2,16
Tal. arrastre		6	6	28					6,01
Tal. rimado-arranque		1							
Total, de taladros		43							
Total, cartuchos		-		77		40	3	28,64	12,0



De acuerdo con los cálculos realizados, se tiene que el idóneo número de taladros es de 43, con 5 taladros de alivio, utilizando explosivo Emulnor 1 000, 3 000 y 5 000, con un total de 28,64 kg/disparo.

El diseño de la malla de perforación se aprecia en el Anexo 4.

**Tabla 11**

*Resumen de taladros en el diseño de malla*

<b>Diámetro Broca</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de taladros</b>
	arranque	4
	alivio	4
	ayuda	4
	sobreayuda	4
38mm - 36 mm	producción	4
	Tal. cuadradores	8
	Corona	3
	Ayuda corona	3
	Ayuda arrastre	2
	Arrastre	6
64mm	rimado- arranque	1
	Total, taladros perforados	43

Los detalles de la carga explosiva del diseño de malla de perforación son los siguientes:

- Total, taladros cargados: 38
- Total, de explosivo (kg): 28,63802209
- Eficiencia de voladura (%): 95%
- Factor de potencia (kg/tn)  $d=2,2$ : 1,85
- Factor de carga (kg/m<sup>3</sup>): 4,19
- Factor lineal (kg/m): 18,48



#### 4.1.3.9. Consideraciones

- Pintar el perímetro y la malla de perforación.
- Para perforación de 2,50 m, utilizar barras de 1,80 m de longitud con brocas de 38 mm para la perforación.
- Para los taladros de alivio, utilizar rimadoras de 64 mm.
- Utilizar explosivos: Emulnor 1 000 (1"x16"), Emulnor 3 000 (1"x12) y Emulnor 5 000 (1"x12").

#### 4.2. MEJORA DE LOS AVANCES EN EL *BY PASS* 345 EN LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS – CIEMSA

La toma de datos se realizó en los meses de julio y agosto.

##### 4.2.1. Reportes de avances en el mes de julio

Los datos obtenidos durante el mes de julio, cuando aún no se utilizaba el diseño de malla de perforación optimizado, se encuentran reflejados en la tabla del Anexo 14. Según esta tabla, se lograron un total de 6 tiros sopladados utilizando el diseño anterior de malla, con avances de 1,25 metros por perforación.

**Tabla 12**

*Detalles de la perforación inicial (diseño empírico)*

Detalles de perforación					
Prof. Efectiva de perf. (m)		N° de taladros		Diámetro de taladros	
Long. taladro vacío (m)	1,63	Tal. totales	45	Sección	2,5 x 2,5
Long. taladro a cargar (m)	1,63	Tal. cargados	41	Rimados	64 mm
Avance real	1,25	Tal. alivio	4	Cargados	38 mm
Volumen teórico roto m <sup>3</sup>	7,8	Rimado		Sobrerotura	0
Toneladas	18,72	Densidad roca	2,7	Total explosivos	135 cart.

La Tabla 12 muestra los detalles de la perforación de cada disparo con un total de 43 taladros perforados y 38 taladros cargados, el volumen teórico roto por disparo es de  $7,8 \text{ m}^3$ , total de explosivo 135 cartuchos y con un avance real de 1,25 m.

#### 4.2.2. Reportes de avances en el mes de agosto

En contraste, tras la implementación de la nueva malla de perforación diseñada en el mes de agosto, los resultados registrados en la tabla del Anexo 15 muestran una mejora significativa en los avances obtenidos. Los datos indican que, con la nueva malla, se lograron perforaciones con longitudes superiores, evidenciando el impacto positivo de este diseño en la eficiencia de los trabajos de perforación y avance en la veta.

**Tabla 13**

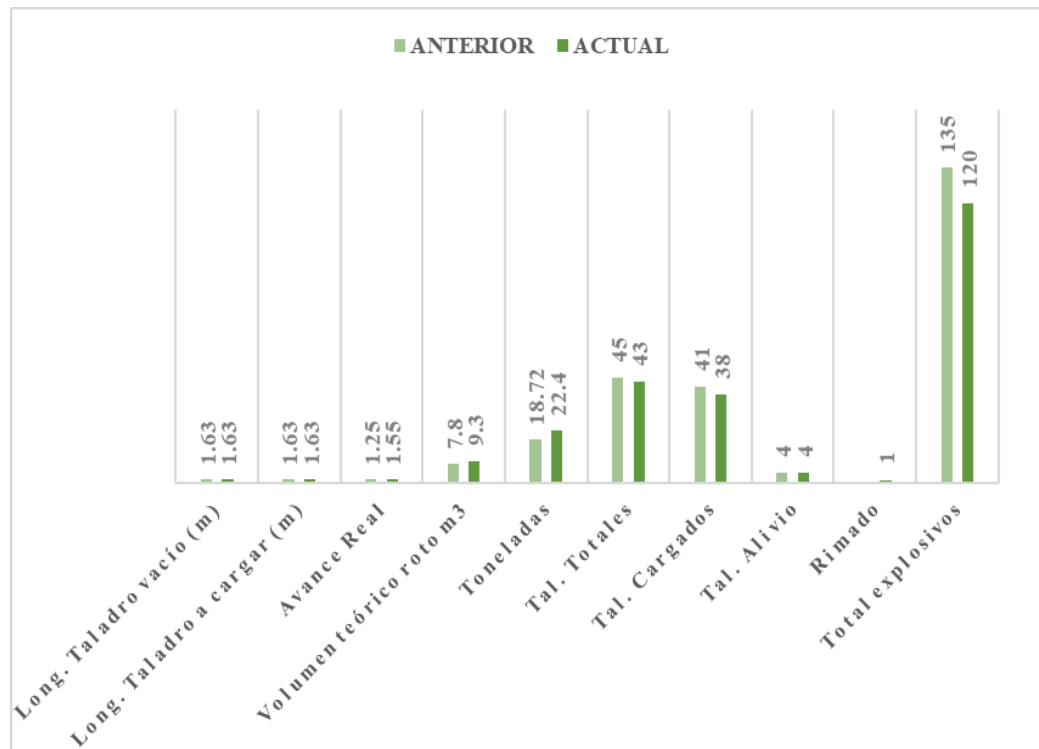
*Detalles de la perforación actual*

Detalles de perforación					
Prof. Efectiva de perf. (m)		N° de taladros		Diámetro de taladros	
Long. Taladro vacío (m)	1,63	Tal. Totales	43	Sección	2,5 x 2,5
Long. Taladro a cargar (m)	1,63	Tal. Cargados	38	Rimados	64 mm
Avance Real	1,55	Tal. Alivio	4	Cargados	38 mm
Volumen teórico roto $\text{m}^3$	9,3	Rimado	1	Sobrerotura	0
Toneladas	22,4	Densidad roca	2,7	Total explosivos	120 cart.

La Tabla 13 muestra los detalles de la perforación de cada disparo con un total de 43 taladros perforados y 38 taladros cargados, el volumen teórico roto por disparo es de  $9,3 \text{ m}^3$ , total de explosivos 120 cartuchos y con un avance real de 1,55 m.

**Figura 1**

*Comparación de datos obtenidos del diseño anterior con el actual*



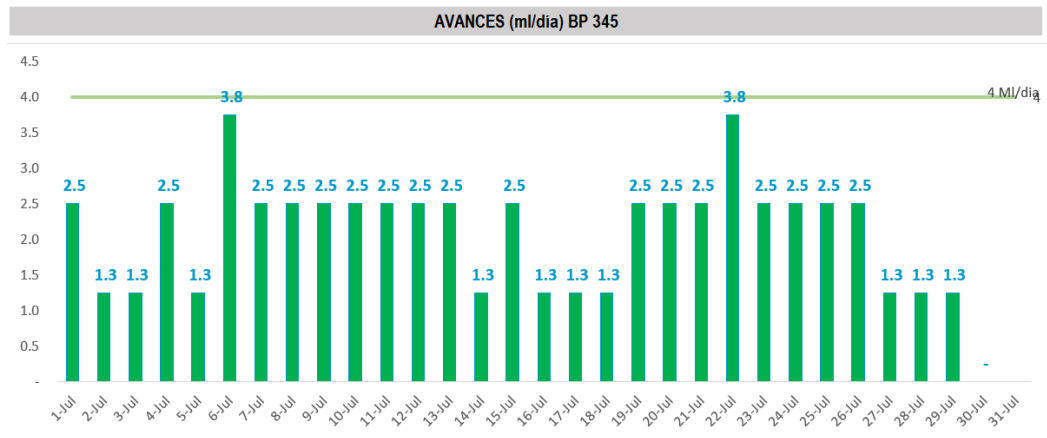
La Figura 1 se observa el avance real mejorando 0,3 cm por disparo, el volumen teórico roto incrementa a 9,3 m<sup>3</sup> por la eficiencia del avance, se reduce la cantidad de 2 taladros perforados, también se reduce la cantidad de 3 taladros cargados y el total de explosivo cargado por frente perforado reduce un total de 15 cartuchos con la nueva malla de perforación.

#### **4.2.3. Reportes de operaciones en frentes de avance del *by pass* 345**

En el mes de julio, se registraron los siguientes avances por metro lineal por día en las operaciones de excavación del proyecto. Estos datos representan el progreso diario de las labores de desarrollo en diferentes frentes de trabajo, permitiendo evaluar la eficiencia operativa, identificar tendencias y realizar comparaciones con las metas establecidas en la planificación del proyecto.

## Figura 2

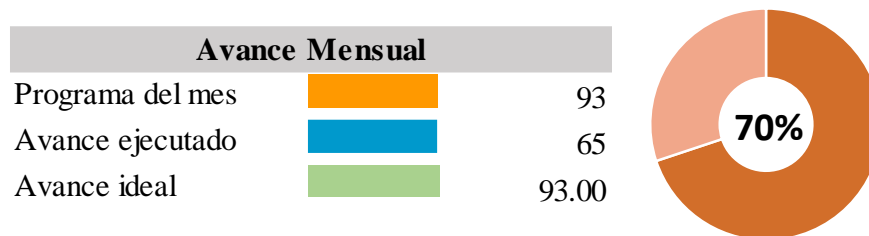
### Reporte de operaciones de avances (m/día) julio - 2022



La Figura 2 representa los avances lineales por día durante el mes de julio, el promedio obtenido es de 2,5 por día, siendo el avance por guardia de 1,2 metros aproximadamente.

## Figura 3

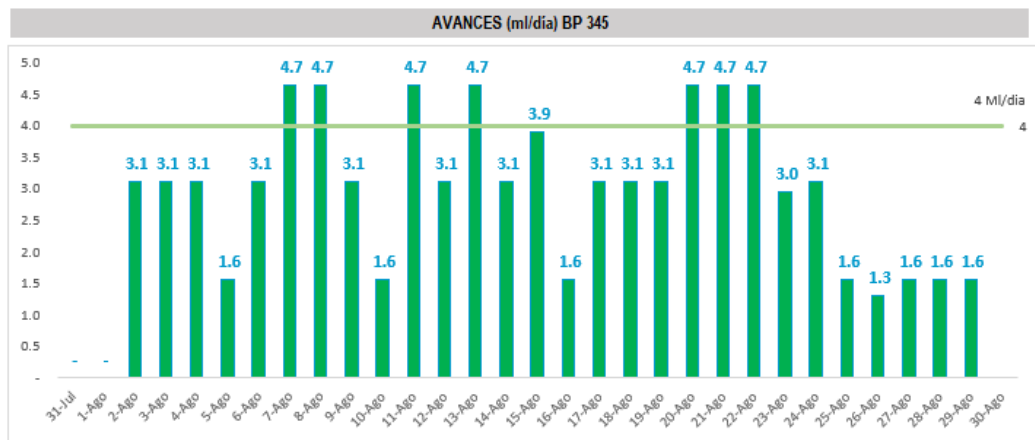
### Grafica del reporte de operaciones avance mensual de julio - 2022



El análisis operacional del mes de julio revela un significativo desfase entre el avance proyectado de 93 metros lineales y la ejecución real de apenas 65 metros, alcanzando una eficiencia del 70% atribuible principalmente a la implementación de diseños de malla de perforación empíricos utilizados históricamente, los cuales no consideran adecuadamente las características geomecánicas específicas del macizo rocoso, resultando en una distribución ineficiente de la energía explosiva, mayor incidencia de disparos deficientes.

## Figura 4

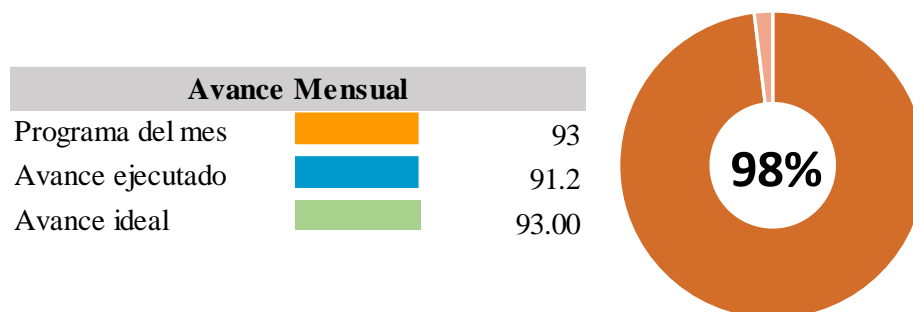
Reporte de operaciones de avances (m/día) agosto - 2022



La Figura 4 representa los avances lineales por día durante el mes de agosto, el promedio obtenido es de 3 metros lineales por día, siendo el avance por guardia de 1,55 metros aproximadamente.

## Figura 5

Grafica del reporte de operaciones avance mensual de agosto – 2022



La Figura 5 representa que, en el mes de agosto, el avance ideal del mes completo era de 93 metros lineales, el avance ejecutado fue de 91,2 metros lineales en total. Teniéndose una eficiencia del 98% con el nuevo diseño de malla de perforación propuesto en la presente investigación.

### 4.2.4. Consumo de explosivo por avance en el *by pass* 345

Como se hizo mención, anteriormente no se tenía un diseño de malla para los avances horizontales, el avance lineal por disparo era de 1,25 metros en



promedio, principalmente no se cumplían con los objetivos de avance, en comparativa con el nuevo diseño de malla propuesto, el avance efectivo que se tuvo fue de 1,55m cumpliendo con los requerimientos de avance programado por la compañía minera, que es uno de los motivos por el cual se desarrolló la presente investigación con el objetivo de buscar una mejora en los avances considerando los costos operativos al mismo tiempo.

Con la presentación de la Figura 5 correspondiente a la Figura 4 y de la Figura 3 correspondiente a la Figura 2 que son los reportes de operaciones, se presentan los avances lineales mensuales en los Anexo 14 y Anexo 15; y el cumplimiento total en cada mes, siendo el mes de julio el que se realizó aun con la malla no estandarizada y el mes de agosto con el diseño de malla de perforación propuesta en esta investigación.

El cumplimiento que se tiene en agosto con el nuevo diseño de malla es de 98% en comparativa con el diseño anterior que solo tenía un cumplimiento del 70% en el programa del mes, se muestra la alternativa de mejora para las mallas de sección de 2,5 x 2,5 m variando el consumo de explosivos a Emulnor 1 000, 3 000 y 5 000.

### **4.3. DISCUSIÓN**

La mejora del diseño de malla para una sección de 2,5m x 2,5m en la unidad minera Las Águilas, aplicando la teoría de autores como Pearce y Holmberg (1982), dio un resultado de un total de taladros óptimo de 43 taladros en total en cada frente, con un total de 38 taladros cargados, con un taladro rimado de diámetro de 64mm; comparado con la malla anterior la cual contaba con un promedio en total de 45 taladros perforados, con 41 taladros cargados y un promedio de 4 taladros de alivio (a causa de la falta de



estandarización en el diseño de malla de perforación), se tuvo una reducción de 3 taladros cargados. La reducción del número de taladros representa un ahorro en el tiempo de realización de la perforación de la malla completa. Este resultado coincide con el estudio de Suasnabar (2020), que en trabajos de similar objetivo de mejora en el Cx 620 en perforación y voladura, logró una reducción de taladros de 37 a 30 taladros, observándose que esta reducción se encuentra en el número normal de taladros reducidos. Comparándolos de manera positiva con los resultados de la presente investigación, donde se pudo mejorar el avance de 1,25m por disparo, y con el nuevo diseño se obtuvo un avance de 1,55m, el cual es 30cm más que con los anteriores diseños.

Este resultado también encuentra en concordancia con lo señalado por Mamani (2020), quien recalca la importancia de aplicar criterios técnicos basados en las propiedades geomecánicas del macizo rocoso para lograr un diseño de malla eficiente. En la presente investigación, la selección de parámetros como burden y espaciamiento se hizo en función a las características de dureza de la andesita brechada y del factor de volabilidad, similar al enfoque aplicado por Anchapuri (2021), quien también consideró la densidad de la roca y el número de taladros para estandarizar su malla y reducir costos. A diferencia del diseño empírico —que mostraba inconsistencias en la distribución y cantidad de taladros—, el nuevo patrón permitió controlar mejor los efectos de la voladura, con menores sobreroturas y una mejor fragmentación del macizo, aspectos también resaltados por Bernaola et al. (2013) como críticos para optimizar el rendimiento en operaciones subterráneas. La consistencia en el diseño técnico respalda la hipótesis de que un diseño optimizado permite una mayor eficiencia operativa y económica, minimizando desperdicios de energía y tiempo, tal como también lo planteó Flores (2020) en su reestructuración de mallas, obteniendo beneficios similares en control y aprovechamiento de los taladros.



La implementación del nuevo diseño de malla de perforación en el by pass 345 generó una mejora tangible en los avances lineales por disparo, pasando de un promedio de 1,25 m/disparo a 1,55 m/disparo, lo que equivale a un incremento del 24% en eficiencia. Esta mejora no solo representa una reducción significativa en los tiempos de ciclo, sino que también permitió alcanzar una eficiencia mensual del 98%, muy superior al 70% obtenido con el diseño anterior. Resultados similares fueron reportados por Soncco (2024), quien, al implementar una malla de perforación tipo V, logró aumentar el avance por disparo y reducir costos en un 26,4%. Asimismo, Hanco (2022) también reportó mejoras de 1,47 m a 1,58 m de avance promedio al aplicar un rediseño de malla basado en el modelo de Holmberg & Persson. En ese sentido, el incremento de 30 cm por disparo registrado en esta investigación refleja no solo una mejora en el diseño, sino también en la ejecución técnica del proceso de perforación y voladura, optimizando el consumo de explosivos (28,64 kg por disparo) y disminuyendo los tiros sopladados. Al comparar con lo planteado por Ramos (2016), quien alcanzó una mejora del 18% en su avance por disparo mediante la estandarización de mallas, el resultado del presente estudio supera ampliamente dicho valor, reafirmando que la estandarización técnica basada en modelos matemáticos robustos tiene un impacto directo en la productividad minera. Además, la correlación entre menor consumo específico de explosivos y mayor eficiencia operativa se alinea con los resultados de Mamani (2024), quien demostró cómo una adecuada evaluación de la calidad del macizo rocoso, junto al uso racional de explosivos, puede reducir significativamente los costos sin sacrificar el rendimiento.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se mejoro la malla de perforación y voladura, para lo cual se determinó que se encuentra en roca tipo II (dura a intermedia); los avances de las mallas de perforación empíricas fluctuaban en 1,25 metros en promedio por disparo. Con la mejora de la nueva malla de perforación para la sección de 2,5 x 2,5 metros en el *by pass* 345 del nivel 4 440, aplicando la teoría de Pearce y Roger Holmberg se calculó 43 taladros con 38 taladros cargados y diámetro de rimado de 64 mm, teniendo un consumo total de explosivos de 28,64 kg/disparo, con la utilización del explosivo Emulnor 1 000, 3 000 y 5 000. Se obtuvo un avance de 1,55 metros por disparo.

**SEGUNDA:** A la vez, se calculó una eficiencia del factor de avance de 98% equivalente. Se elaboró una comparativa de los resultados obtenidos por voladura en los meses de julio y agosto, mostrándose que en julio cuando no se tenía estándares de mallas de perforación se aprecian incumplimientos de avance programado al 70%, que fueron solucionados con el nuevo diseño de malla con un avance al 98% del programado en secciones de 2,5 x 2,5 donde se realizó la variación del empleo de explosivos emulsificantes.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda para tener una visibilidad más amplia del resultado de la voladura, la implementación de software de modelado 3D para el proceso de voladura y ajustar el diseño de la malla antes de la implementación en campo, ya que esto permitirá prever posibles problemas en el diseño de malla. También desarrollar y documentar procedimientos operativos estándar (POEs) para la perforación y voladura, que incluyan especificaciones detalladas para el uso de equipos, seguridad de los trabajadores, control de calidad y las inspecciones previas a la voladura.

**SEGUNDA:** Se recomienda procesar los datos de resultados de cada operación de y sus avances por disparo constantemente y actualizarlos en función de las variables controlables para optimizarlos para analizar las mejoras posibles y establecer un sistema de recopilación de datos que permita registrar información clave como cantidad de explosivos utilizados, resultados y avances que puedan ser utilizados para identificar tendencias y correlaciones.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anchapuri, L. (2021). *Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la Galería 819E - Mina Yanaquihua - Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15229>
- Arzúa, J., Alejanom Leandro, & Pérez, I. (2018). *Problemas de mecánica de rocas*. Bubok Publishing S.L. [https://www.semr.es/archivos/Arzua\\_problemas.pdf](https://www.semr.es/archivos/Arzua_problemas.pdf)
- Belizario, Y. (2019). *Optimización de malla de perforación para la reducción de costos de voladura en la mina Maribel de Oro "A"- Phoquera* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11999>
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. [https://oa.upm.es/21848/8/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](https://oa.upm.es/21848/8/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. WILEY.
- Cámac, A. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de rocas* (Vol. 1). Universidad Nacional del Altiplano.
- CODEa-UNI. (2024). *Comunidad e Innovación en Minería*. <https://www.codeauni.com/comunidad/blog/31/>
- Escudero, W., Guadalupe, E., & Romero, A. (2022). Construcción de un modelo de gestión de costos en una mina subterránea. *Revista del Instituto de investigación de*



- la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(50), 179-190.  
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24239>
- EXSA. (2008). *Manual practico de voladura* (5ta ed., Vol. 4).  
<https://online.fliphtml5.com/hqjn/rypz/#p=1>
- Flores, J. (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]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19666>
- Hanco, J. (2022). *Optimización de costos en perforación y voladura del Bypass 510 en la Empresa Minera Comiserge S.A. - Unidad Minera las Águilas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18460>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.  
<http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Holmberg, R. (1982). Método postulado para diseñar y calcular los parámetros de perforación y voladura para minería subterránea y tunelería. En *Manual para el control y diseño de voladuras* (pp. 1-393).  
[https://www.academia.edu/37687021/P\\_%C3%A1\\_g\\_i\\_n\\_a\\_1\\_M%C3%89TODO\\_POSTULADO\\_POR\\_HOLMBERG\\_PARA\\_DISE%CC%81AR\\_Y\\_CALCULAR\\_LOS\\_PAR%CC%81METROS\\_DE\\_PERFORACI%CC%83N\\_Y\\_VOLADURA\\_PARA\\_MINER%CC%8DA\\_SUBTERR%CC%81NEA\\_Y\\_TUNELER%CC%8DA](https://www.academia.edu/37687021/P_%C3%A1_g_i_n_a_1_M%C3%89TODO_POSTULADO_POR_HOLMBERG_PARA_DISE%CC%81AR_Y_CALCULAR_LOS_PAR%CC%81METROS_DE_PERFORACI%CC%83N_Y_VOLADURA_PARA_MINER%CC%8DA_SUBTERR%CC%81NEA_Y_TUNELER%CC%8DA)



- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*.
- Mamani, H. (2024). *Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la Galería 206E - Unidad Minera Yanaquihua S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22669>
- Mamani T., 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* [Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14004>
- Mamani, 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].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14004>
- Mateo, J., Rivera, C., Arauzo, L., & Raymundo, C. (2020). Pearse and Holmberg Mathematical Model to Reduce the Damage Zone in Horizontal Underground Mining Works. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*.  
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.363>
- Moreno, N., Eliecer, J., Ocampo, W., Mesa, L., & Martín, J. (2023). *Guía técnica para la gestión de los riesgos mineros causados por fallas geomecánicas* Agencia Nacional de Minería. (1.<sup>a</sup> ed.).  
[https://www.anm.gov.co/sites/default/files/guia\\_tecnica\\_gestipn\\_de\\_riesgos\\_geomecanicos\\_140224.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/guia_tecnica_gestipn_de_riesgos_geomecanicos_140224.pdf)



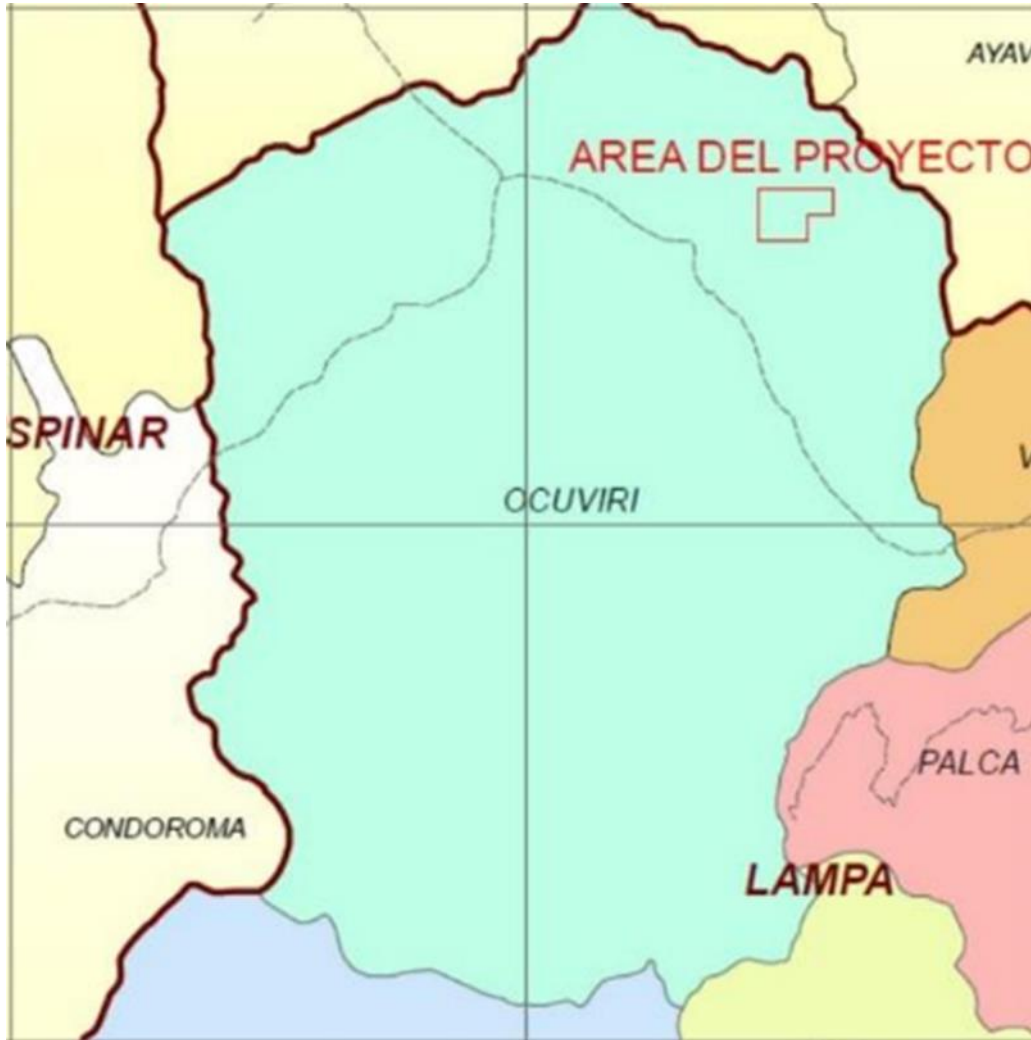
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pimienta, J., & De La Orden, A. (2017). *Metodología de la investigación* (3.<sup>a</sup> ed., Vol. 3). Pearson Hispanoamérica. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1268>
- Ramos, L. (2016). *Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la Mina Ana María mediante estandarización de perforación y voladura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3006>
- Rojas, C., & Arrobo, C. Z. (2020). Analysis of operating costs in small-scale mining and artisanal mining in Nambija. *Investigación y desarrollo*, 1, 50-60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2568>
- Sánchez, J., & Asins, S. (2009). *Control de la degradación de los suelos y cambio global* (IV). CSIC-Universidad de Valencia.
- Soncco, R. (2024). *Rediseño de corte en "V" para reducción de costos de perforación y voladura en la galería La Morena - U.M. La Fortuna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22283>
- Suasnabar, E. (2020). *Optimización de la voladura para la reducción de costos en el desarrollo del Crucero 620, Proyecto de Exploración Esperanza VI, U.E.A Capitana - Compañía Minera Caravelí S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8153>



- Suasnabar G., E. (2020). *Optimización de la voladura para la reducción de costos en el desarrollo del Crucero 620, Proyecto de Exploración Esperanza VI, U.E.A Capitana - Compañía Minera Caravelí S.A.C.* [Universidad Continental].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/8153>
- Valencia, R. (2023). *Reducción de costos en perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla de perforación en la RP 990s de la Sociedad Minera el Brocal S.A.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19772>
- Zaki, M. (2022). *Promine - retos para optimizar la eficacia de la perforación y voladura subterráneas.* <https://promine.com/es/blog-es/3-retos-para-optimizar-la-eficacia-de-la-perforacion-y-voladura-subterraneas/>

## ANEXOS

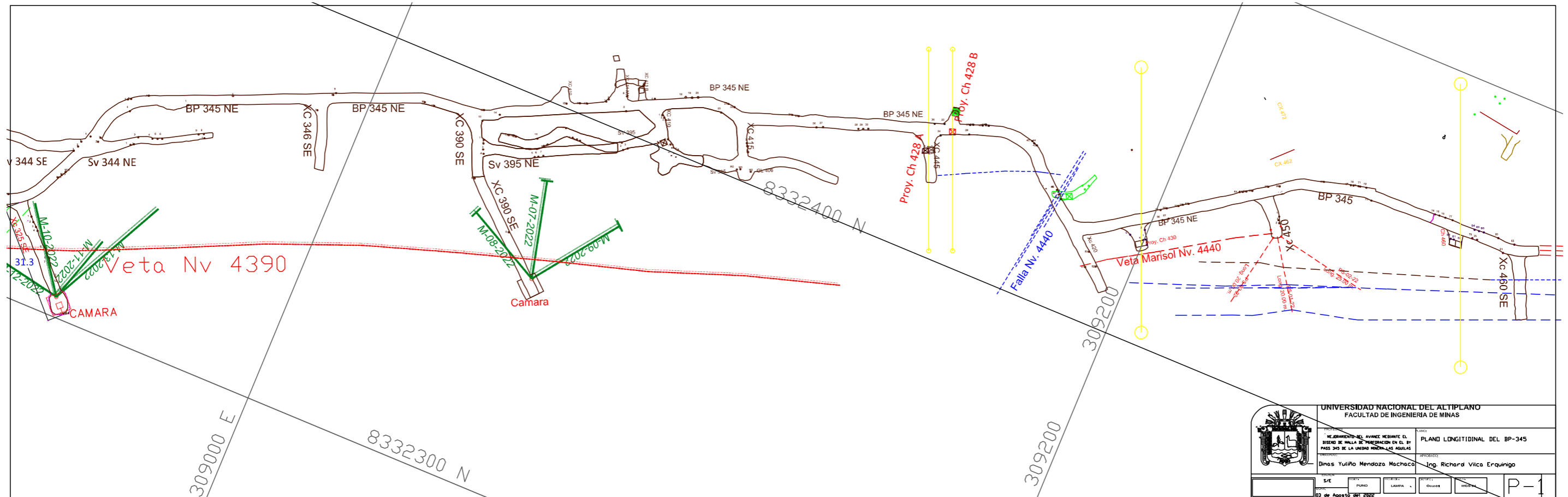
### Anexo 1. Ubicación geográfica de la unidad minera Las Águilas




Nota: I.G.N. (2021).

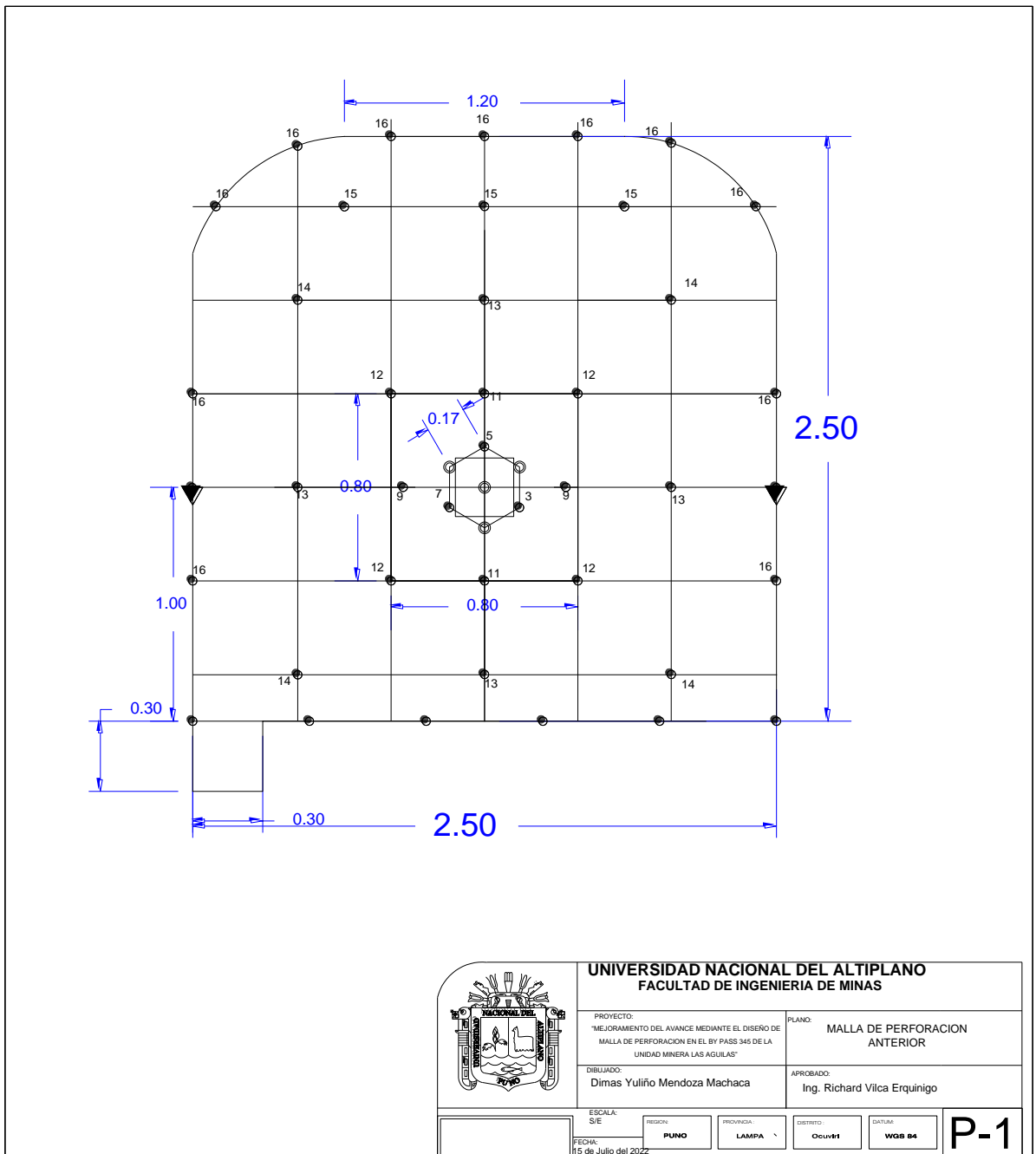
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS</b>			
	PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL AVANCE MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION EN EL BY PASS 345 DE LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS"		PLANO: <b>UBICACION GEOGRAFICA          DEL PROYECTO</b>	
Dimas Yuliño Mendoza Machaca				
ESCALA: 1:50000	REGION: PUNO	PROVINCIA: LAMPA	DISTRITO: Ocuvi	DATUM: WGS 84

Anexo 2. Plano de by pass 345 unidad minera Las Águilas - Nivel 4 440.

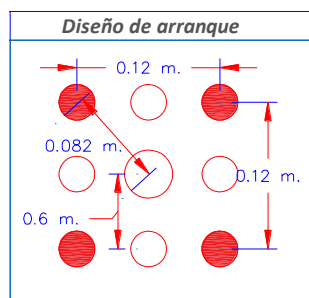
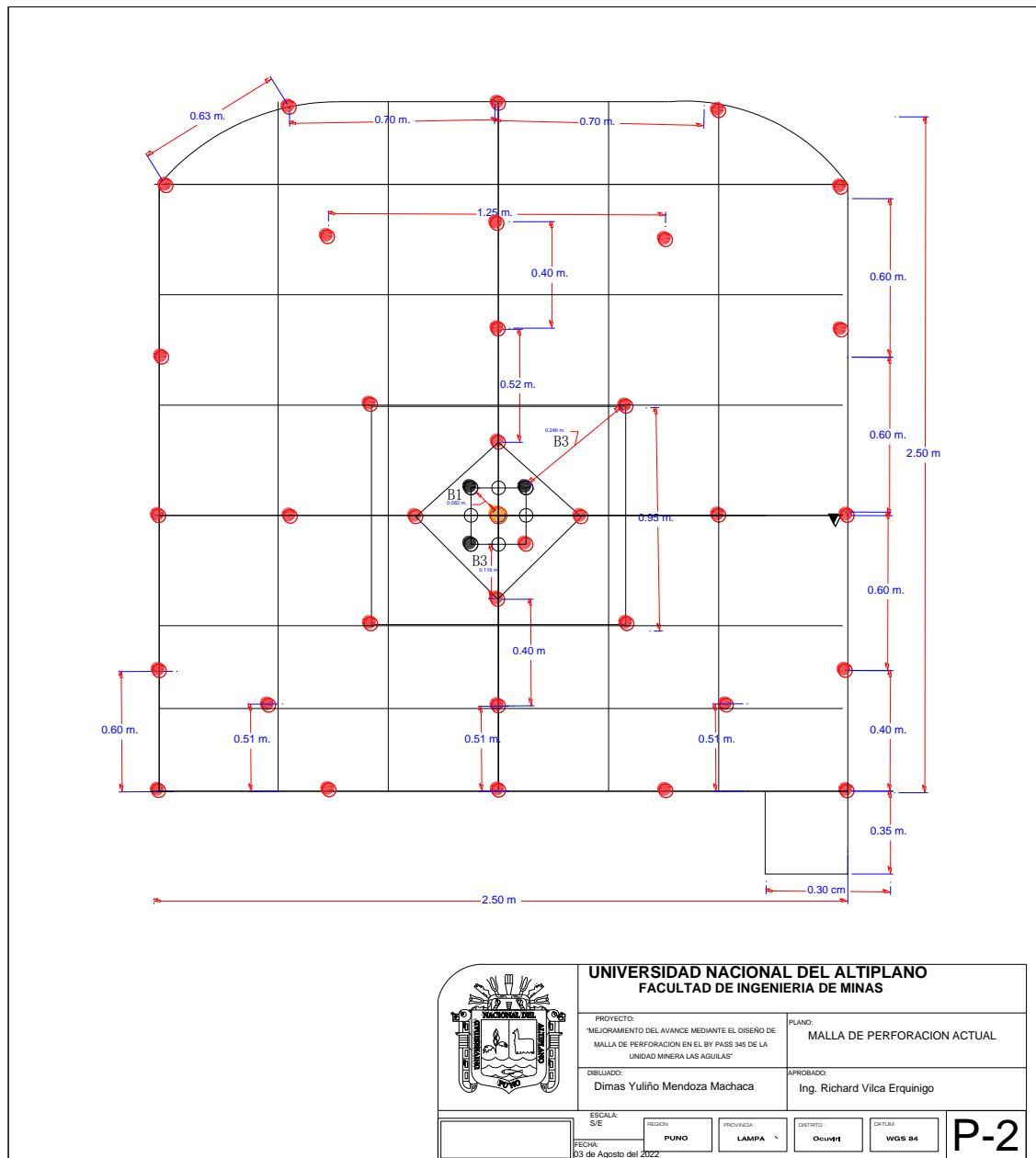


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS	
REGRAMENTO DEL AVANCE RESANTE EL SISTEMA DE MALLA DE PERFORACION EN EL BY PASSE 345 DE LA UNIDAD MINERA LAS AGUILAS	PLAN LONGITUDINAL DEL BP-345
Diseñador: Dinis Yulipo Mendoza Machaca	Autorizado: Ing. Richard Vilca Erquiaga
Escala: 1:1	Hoja: P-1

### Anexo 3. Malla de perforación anterior



### Anexo 4. Diseño de arranque y malla de perforación de 2,5 x 2,5 m.



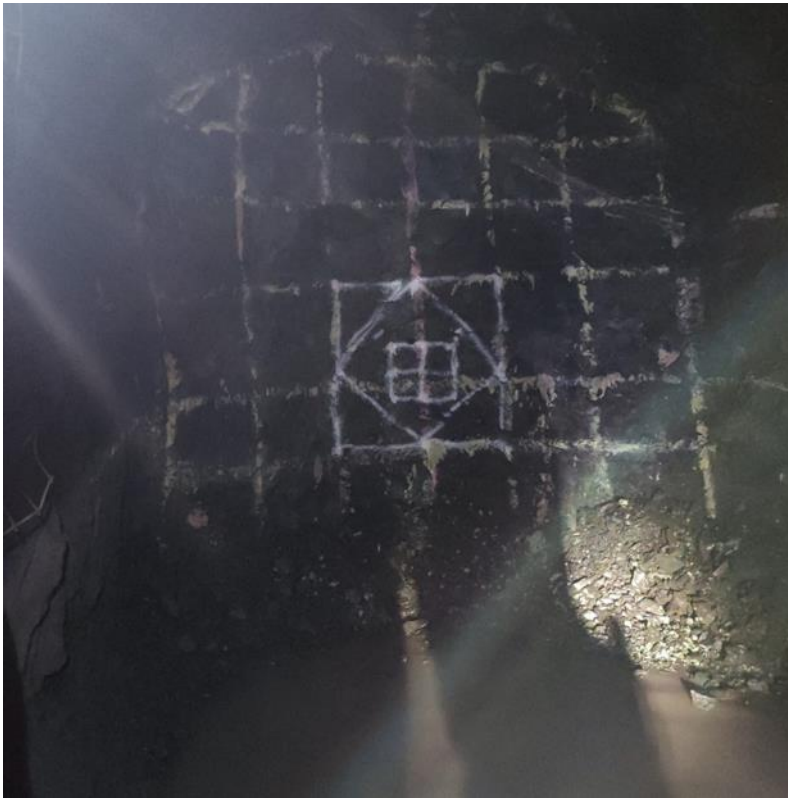
**Anexo 5.** *By pass* 345 - Nivel 4 440 - Mina Las Águilas - CIEMSA



**Anexo 6.** Dibujo del arranque de la malla de perforación en el frente de avance



**Anexo 7.** Dibujo completo de la malla en el frente de avance horizontal



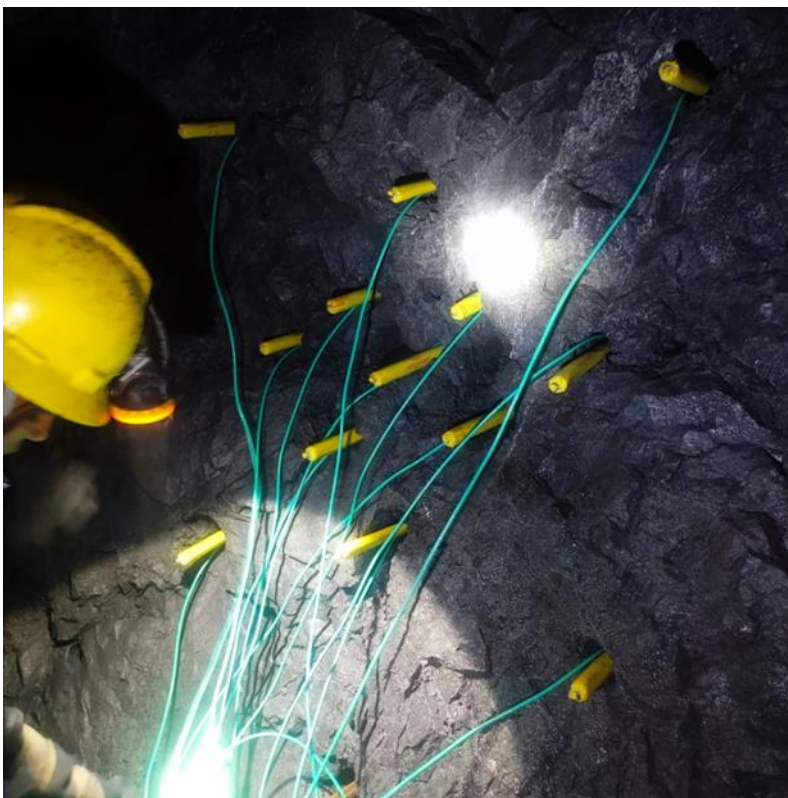
**Anexo 8.** Malla de perforación en el frente de avance antes de la perforación



### Anexo 9. Perforación del arranque de la malla



### Anexo 10. Carguío de taladros del frente para voladura



### Anexo 11. Conexión del Carmex de los primeros cuadrantes



### Anexo 12. Verificación del empalme de los iniciadores





### Anexo 13. Chispeo para la voladura en el frente de avance



## Anexo 14. Reportes de avances por disparo en el mes de julio

Julio	Fecha	Semana	Turno	Labor	Sección prog	n° tal. Perf.	n° tal. Cargados	n° tal. Alivio	Avance real	Emulsión 1000 1" x 12" (und)	Emulsión 3000 1" x 12" (und)	emulsión 5000 1" x 12" (und)	carmex (2.1 mt)	mecha rapida (m)	consumo explosivo kg
Julio	1-Jul	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	40,0	3,0	1,25			40,0	40,0	10,0	19,0
Julio	1-Jul	1	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			24,0	60,0	8,0	20,1
Julio	2-Jul	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	2-Jul	1	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	-			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	3-Jul	1	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			28,0	60,0	10,0	21,0
Julio	4-Jul	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25			25,0	55,0	7,0	19,1
Julio	4-Jul	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25			25,0	55,0	7,0	19,1
Julio	5-Jul	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	46,0	41,0	5,0	-			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	5-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25	43,0		37,0	43,0	12,0	29,0
Julio	6-Jul	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	1,25	11,0		20,0	45,0	12,0	18,1
Julio	6-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	46,0	41,0	5,0	1,25			38,0	38,0	10,0	18,1
Julio	6-Jul	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25	50,0		30,0	40,0	9,0	28,3
Julio	7-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25			31,0	45,0	10,0	18,1
Julio	7-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25			38,0	50,0	10,0	21,0
Julio	8-Jul	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25	19,0		40,0	55,0	12,0	27,1
Julio	8-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			20,0	55,0	7,0	17,9
Julio	9-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			23,0	55,0	7,0	18,6
Julio	9-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25			20,0	55,0	8,0	17,9
Julio	10-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			60,0	15,0	7,0	17,8
Julio	10-Jul	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	41,0	2,0	1,25	37,0		35,0	10,0	12,0	19,2
Julio	11-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	1,25			30,0	55,0	8,0	20,3
Julio	11-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			25,0	55,0	8,0	19,1
Julio	12-Jul	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25	3,0		25,0	48,0	12,0	18,1
Julio	12-Jul	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	1,25			22,0	55,0	9,0	18,4
Julio	13-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25	6,0		25,0	45,0	10,0	18,1
Julio	13-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			24,0	52,0	8,0	18,2
Julio	14-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	-			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	14-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	46,0	41,0	5,0	1,25	6,0		25,0	45,0	10,0	18,1
Julio	15-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			39,0	44,0	8,0	19,8
Julio	15-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			70,0	64,0	12,0	31,9
Julio	16-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	-			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	16-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25	6,0		22,0	50,0	4,0	18,6
Julio	17-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	46,0	41,0	5,0	-			25,0	55,0	10,0	19,1
Julio	17-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	40,0	3,0	1,25			44,0	82,0	10,0	30,1
Julio	18-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25			35,0	35,0	10,0	18,1
Julio	19-Jul	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	41,0	2,0	1,25			23,0	63,0	10,0	20,6
Julio	19-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25	8,0		25,0	50,0	10,0	19,8
Julio	20-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			55,0	6,0	8,0	14,4
Julio	20-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25	4,0		21,0	54,0	10,0	18,9
Julio	21-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	46,0	41,0	5,0	1,25			20,0	50,0	10,0	18,6
Julio	21-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	41,0	2,0	1,25	5,0		34,0	22,0	7,0	14,5
Julio	22-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			80,0	6,0	8,0	20,3
Julio	22-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	40,0	4,0	1,25			76,0	5,0	8,0	19,1
Julio	22-Jul	5	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	1,25	22,0		22,0	49,0	10,0	22,1
Julio	23-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	41,0	2,0	1,25			76,0	5,0	8,0	19,1
Julio	23-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	41,0	2,0	1,25	22,0		22,0	49,0	10,0	22,1
Julio	24-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25			76,0	5,0	8,0	19,1
Julio	24-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	40,0	3,0	1,25	4,0		21,0	54,0	10,0	18,9
Julio	25-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	40,0	3,0	1,25			20,0	50,0	10,0	18,6
Julio	25-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25			34,0	22,0	7,0	14,5
Julio	26-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	40,0	5,0	1,25			26,0	50,0	8,0	19,1
Julio	26-Jul	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25	5,0		25,0	45,0	10,0	17,9

Julio	27-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	40,0	3,0	1,25		80,0	6,0	38,0	8,0	20,3
Julio	27-Jul	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	42,0	40,0	2,0	-		25,0	55,0	39,0	10,0	19,1
Julio	28-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	44,0	41,0	3,0	1,25		76,0	5,0	37,0	8,0	19,1
Julio	29-Jul	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	45,0	41,0	4,0	1,25	22,0	22,0	49,0	34,0	10,0	22,1

## Anexo 15. Reportes de avances por disparo en el mes de agosto

Agosto	Fecha	Semana	Turno	Labor	Sección prog	n° tal. Perf.	n° tal. Cargados	n° tal. Alivios	Avance real	emulsión 1000 1" x 12" (und)	Emulsión 3000 1" x 12" (und)	emulsión 5000 1" x 12" (und)	emulnor 500	carmex (2.1 mt)	mecha rapida (m)	Consumo explosivo kg
Agosto	2-Ago	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		40,0	40,0	-	40,0	10,0	19,0
Agosto	2-Ago	1	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		24,0	60,0	-	38,0	8,0	20,1
Agosto	3-Ago	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		25,0	55,0	-	39,0	10,0	19,1
Agosto	3-Ago	1	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		28,0	60,0	-	39,0	10,0	21,0
Agosto	4-Ago	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		25,0	55,0	-	38,0	7,0	19,1
Agosto	4-Ago	1	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		25,0	55,0	-	38,0	7,0	19,1
Agosto	5-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	43,0	37,0	43,0	-	37,0	12,0	29,0
Agosto	6-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	11,0	20,0	45,0	-	38,0	12,0	18,1
Agosto	6-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		38,0	38,0	-	38,0	10,0	18,1
Agosto	7-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	50,0	30,0	40,0	-	38,0	9,0	28,3
Agosto	7-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		31,0	45,0	-	38,0	10,0	18,1
Agosto	7-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		38,0	50,0	-	38,0	10,0	21,0
Agosto	8-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	19,0	40,0	55,0	-	38,0	12,0	27,1
Agosto	8-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		20,0	55,0	-	37,0	7,0	17,9
Agosto	8-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		23,0	55,0	-	38,0	7,0	18,6
Agosto	9-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		20,0	55,0	-	38,0	8,0	17,9
Agosto	9-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	2,0	30,0	45,0	-	37,0	8,0	18,4
Agosto	10-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		60,0	15,0	-	38,0	7,0	17,8
Agosto	11-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	37,0	35,0	10,0	-	38,0	12,0	19,2
Agosto	11-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		30,0	55,0	-	38,0	8,0	20,3
Agosto	11-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		25,0	55,0	-	38,0	8,0	19,1
Agosto	12-Ago	2	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	3,0	25,0	48,0	-	38,0	12,0	18,1
Agosto	12-Ago	2	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		22,0	55,0	-	38,0	9,0	18,4
Agosto	13-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	6,0	25,0	45,0	-	38,0	10,0	18,1
Agosto	13-Ago	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		24,0	52,0	-	38,0	8,0	18,2

Agosto	13-Ago	3	Noche	Xc 345	1,5X	43,0	38,0	5,0	1,55								
Agosto	14-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	6,0	21,0	55,0	-	38,0	8,0	18,2	
Agosto	14-Ago	3	Noche	Xc 345	1,5X	43,0	38,0	5,0	1,55		21,0	26,0	-	21,0	5,0	11,2	
Agosto	15-Ago	3	Dia	Xc 345	1,5X	43,0	38,0	5,0	1,55		40,0	40,0	-	40,0	8,0	19,0	
Agosto	15-Ago	3	Dia	Xc 345	1,5X	43,0	38,0	5,0	1,55		34,0	30,0	-	32,0	7,0	15,2	
Agosto	15-Ago	3	Noche	Xc 345	1,5X	43,0	38,0	5,0	0,80	6,0	8,0	23,0	-	19,0	4,0	8,8	
Agosto	16-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		39,0	44,0	-	39,0	8,0	19,8	
Agosto	17-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		70,0	64,0	-	39,0	12,0	31,9	
Agosto	17-Ago	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	6,0	22,0	50,0	-	39,0	4,0	18,6	
Agosto	18-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		44,0	82,0	-	39,0	10,0	30,1	
Agosto	18-Ago	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	6,0	35,0	35,0	-	38,0	10,0	18,1	
Agosto	19-Ago	3	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		23,0	63,0	-	40,0	10,0	20,6	
Agosto	19-Ago	3	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	8,0	25,0	50,0	-	38,0	10,0	19,8	
Agosto	20-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		55,0	6,0	-	30,0	8,0	14,4	
Agosto	20-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	4,0	21,0	54,0	-	39,0	10,0	18,9	
Agosto	20-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	8,0	20,0	50,0	-	38,0	10,0	18,6	
Agosto	21-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	5,0	34,0	22,0	-	30,0	7,0	14,5	
Agosto	21-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	4,0	26,0	50,0	-	30,0	8,0	19,1	
Agosto	21-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	5,0	25,0	45,0	-	38,0	10,0	17,9	
Agosto	22-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		80,0	6,0	-	38,0	8,0	20,3	
Agosto	22-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		76,0	5,0	-	37,0	8,0	19,1	
Agosto	22-Ago	5	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	22,0	22,0	49,0	-	34,0	10,0	22,1	
Agosto	23-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		76,0	5,0	-	37,0	8,0	19,1	
Agosto	23-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,40	22,0	22,0	49,0	-	34,0	10,0	22,1	
Agosto	24-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		76,0	5,0	-	37,0	8,0	19,1	
Agosto	24-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	4,0	21,0	54,0	-	39,0	10,0	18,9	
Agosto	25-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	8,0	20,0	50,0	-	38,0	10,0	18,6	
Agosto	26-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,30	5,0	34,0	22,0	-	30,0	7,0	14,5	
Agosto	27-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	4,0	26,0	50,0	-	30,0	8,0	19,1	

Agosto	28-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55						
Agosto	29-Ago	4	Noche	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55	5,0	25,0	45,0	38,0	10,0	17,9
Agosto	30-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		80,0	6,0	38,0	8,0	20,3
Agosto	31-Ago	4	Dia	BP 345	2,5X2,5	43,0	38,0	5,0	1,55		76,0	5,0	37,0	8,0	19,1
										22,0	22,0	49,0	34,0	10,0	22,1



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

Por el presente documento, Yo Dimas Julián Mendoca Machuca identificado con DNI 70414892 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:

"Mejoramiento del Avance mediante el diseño de Malla de Perforación del B4 Pass 395 de la Unidad Minera las Águilas CIEMSA - 2022"

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 conexas, 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 24 de Abril del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Dimas Yulián Mendoza Machaca  
identificado con DNI 70414892 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:  
" Mejoramiento del Avance mediante el diseño de Malla  
de Perforación del B4 pass 345 de la Unidad Minera  
Las Águilas cieusa - 2022 "

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 24 de Abril del 20 25

FIRMA (obligatoria)



Huella