

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones**

Elvis German Cruz Vargas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Henry Caballero Palomino  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 21 de Abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA CON CALIDAD DE MACIZO ROCOSO TIPO 4A PARA GARANTIZAR SU ESTABILIDAD Y LA PERMANENCIA DE LAS OPERACIONES

**Autores:**

1. Elvis German Cruz Vargas – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

# **ASESOR**

Mag. Henry Caballero Palomino

## **AGRADECIMIENTOS**

Muchas gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

Muchas gracias queridos padres.

# ÍNDICE

ASESOR .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIA .....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1    Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1    Formulación del problema.....	1
1.1.2    Problema general.....	2
1.1.3    Problemas específicos .....	2
1.2    Objetivos .....	2
1.2.1    Objetivo general .....	2
1.2.2    Objetivos específicos.....	2
1.3    Justificación e importancia.....	2
1.3.1    Justificación técnica .....	3
1.3.2    Justificación operacional .....	3
1.3.3    Justificación económica.....	3
1.3.4    Justificación de seguridad operacional .....	4
1.4    Delimitación del proyecto .....	4
1.5    Hipótesis y variables .....	4
1.5.1    Hipótesis.....	4
1.5.2    Variables .....	5
1.5.3    Operacionalización de variables .....	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1    Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1    Antecedentes internacionales .....	8
2.1.2    Antecedentes nacionales.....	9

2.1.3	Antecedentes locales .....	10
2.2	Bases teóricas .....	12
2.2.1	Minería subterránea .....	12
2.2.2	Macizo rocoso .....	12
2.2.3	Sostenimiento de labores mineras .....	13
2.2.4	Tipos de sostenimientos pasivos.....	13
2.2.5	Malla metálica .....	13
2.2.6	Pernos y bulones.....	14
2.2.7	Anclajes de cables .....	14
2.2.8	Rejillas o shotcrete .....	14
2.2.9	Cáscaras de hormigón .....	14
2.2.10	Tipos de sostenimientos activos .....	15
2.2.11	Componentes del sistema de sostenimiento activo .....	15
2.2.12	Mallas y revestimientos.....	15
2.2.13	Estabilidad del macizo rocoso y sostenimiento en minería subterránea.....	21
2.2.14	Equipos de perforación y su influencia en el sostenimiento .....	21
2.2.15	Seguridad y Salud en el Trabajo en minería subterránea .....	21
2.2.16	Aspectos legales y normativos .....	22
2.2.17	Impacto de la optimización del sostenimiento en la productividad.....	22
2.3	Definición de términos básicos .....	22
2.3.1	Macizo rocoso (Tipo 4A) .....	22
2.3.2	Sistema de soporte.....	23
2.3.3	Estabilidad del macizo rocoso .....	23
2.3.4	Optimización del soporte.....	23
2.3.5	Permanencia de las operaciones .....	23
CAPÍTULO III.....		24
METODOLOGÍA.....		24
3.1	Método, tipo o alcance de la investigación .....	24
3.1.1	Método de la investigación.....	24
3.1.2	Tipo de la investigación.....	24
3.1.3	Alcance de la investigación .....	24
3.1.4	Nivel de la investigación .....	25
3.2	Materiales y métodos .....	25
3.2.1	Diseño de la investigación.....	25
3.3	Población y muestra .....	25
3.3.1	Población:.....	25
3.3.2	Muestra: .....	25

3.4	Técnicas e instrumentos .....	26
3.4.1	Técnica .....	26
3.4.2	Técnicas de análisis de datos .....	26
3.4.3	Instrumentos de evaluación .....	26
CAPÍTULO IV .....		27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		27
4.1	Presentación de resultados.....	27
4.1.1	Procedimiento de trabajo .....	27
4.1.2	Recolección de información geotécnica previa.....	27
4.1.3	Evaluación del sistema de soporte actual.....	28
4.1.4	Simulación y modelado geotécnico: .....	28
4.1.5	Propuesta de optimización del sistema de soporte: .....	29
4.1.6	Monitoreo y control.....	30
4.1.7	Documentación y retroalimentación .....	30
4.2	Estadística aplicada para la demostración de la optimización .....	49
4.2.1	Análisis inferencial .....	50
4.2.2	Supuesto de continuidad .....	50
4.2.3	Supuesto de normalidad .....	51
4.2.4	Prueba de hipótesis .....	52
4.3	Discusión de resultados .....	54
CAPÍTULO V .....		56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		56
5.1	Conclusiones .....	56
5.2	Recomendaciones.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		59
ANEXOS .....		61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables. ....	6
Tabla 2.	Matriz de consistencia. ....	7
Tabla 3.	Parámetros y siglas. ....	27
Tabla 4.	Resultado tiempo de instalación de malla. ....	28
Tabla 5.	Desplazamiento malla T60. ....	28
Tabla 6.	Proyección. ....	29
Tabla 7.	Parámetros malla de sostenimiento. ....	29
Tabla 8.	Parámetros del segundo trimestre. ....	30
Tabla 9.	Parámetros del tercer trimestre. ....	30
Tabla 10.	Parámetros abril 2023. ....	31
Tabla 11.	Parámetros mayo 2023. ....	32
Tabla 12.	Parámetros junio 2023. ....	33
Tabla 13.	Parámetros julio 2023. ....	34
Tabla 14.	Parámetros agosto 2023. ....	35
Tabla 15.	Parámetros septiembre 2023. ....	36
Tabla 16.	Base de datos para aumento producción de 9.73%. ....	50
Tabla 17.	Data utilizada. ....	51
Tabla 18.	Pruebas de normalidad. ....	52
Tabla 19.	Prueba de normalidad. ....	52
Tabla 20.	Prueba estadística T-Wilcoxon. ....	53
Tabla 21.	Validación del modelo experimental. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Malla tejida sobrepuesta.....	16
Figura 2.	Mallas tejidas soldadas.....	17
Figura 3.	Malla Electrosoldada.....	18
Figura 4.	Parámetros de identificación de la Malla Electrosoldada.....	19
Figura 5.	Perno y malla electrosoldada.....	20
Figura 6.	Producción.....	37
Figura 7.	Costo de sostenimiento.....	37
Figura 8.	Intervalo de cambio de malla.....	38
Figura 9.	Tiempo de intervención.....	38
Figura 10.	Desplazamiento.....	39
Figura 11.	Producción.....	39
Figura 12.	Costo de sostenimiento.....	40
Figura 13.	Intervalo de cambio de malla.....	40
Figura 14.	Tiempo de intervención.....	41
Figura 15.	Desplazamiento.....	41
Figura 16.	Producción mes 1.....	42
Figura 17.	Producción mes 2.....	42
Figura 18.	Producción mes 3.....	43
Figura 19.	Costo de sostenimiento mes 1.....	43
Figura 20.	Costo de sostenimiento mes 2.....	44
Figura 21.	Costo de sostenimiento mes 3.....	44
Figura 22.	Intervalo de cambio de malla mes 1.....	45
Figura 23.	Intervalo de cambio de malla mes 2.....	45
Figura 24.	Intervalo de cambio de malla mes 3.....	46
Figura 25.	Tiempo de intervención mes 1.....	46
Figura 26.	Tiempo de intervención mes 2.....	47
Figura 27.	Tiempo de intervención mes 3.....	47
Figura 28.	Desplazamiento mes 1.....	48
Figura 29.	Desplazamiento mes 2.....	48
Figura 30.	Desplazamiento mes 3.....	49

## RESUMEN

La investigación titulada “Propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones, Arequipa, 2024” tuvo como objetivo principal garantizar la estabilidad y la permanencia de las operaciones mediante una propuesta de mejora basada en una optimización, a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.

El método de la investigación fue cuantitativo y el nivel de investigación fue comparativo, debido a que se compararon los datos de producción del segundo y tercer trimestre del 2023. El diseño de la investigación que se utilizó fue el diseño longitudinal, el cual permitió comparar ambas variables. La prueba estadística empleada para evidenciar el incremento y, por ende, la optimización a través de la evaluación del soporte, fue la prueba estadística T-Wilcoxon para muestras relacionadas, debido a que las variables presentaban un grado de relación. Se utilizó un nivel de aceptación del 95 % y se admitió un margen de error del 5 %.

Los resultados encontrados en la investigación fueron los siguientes: se logró incrementar la producción de 2,955.05 tpd en el segundo trimestre del 2023 a 3,242.48 tpd en el tercer trimestre del mismo año. El logro fue posible gracias a la aplicación de la malla T80, el cual permitió una mejor administración de actividades por parte de los trabajadores, reduciendo el tiempo y aumentando la eficiencia de la producción.

El resultado de la prueba estadística  $p = 0,000$  otorgó un argumento sólido para indicar que existió una diferencia significativa entre la producción del segundo y el tercer trimestre del 2023, demostrando así que fue posible optimizar el proceso.

**Palabras clave:** malla, costos, deformación y producción.

## ABSTRACT

The research, titled "Optimization proposal through the evaluation of the support system in an underground mine with rock mass quality type 4A to ensure its stability and the continuity of operations, Arequipa, 2024," had the main objective of ensuring the stability and continuity of operations through an improvement proposal based on optimization, through the evaluation of the support system in an underground mine with rock mass quality type 4A.

The research method was quantitative, and the level of investigation was comparative, as production data from the second and third quarters of 2023 were compared. The research design used was longitudinal, which allowed for a comparison of both variables. The statistical test used to demonstrate the increase and, therefore, the optimization through support evaluation was the Wilcoxon T-test for related samples, as the variables exhibited a degree of relationship. A 95% acceptance level was used, and a 5% margin of error was allowed.

The results of the research were as follows: production increased from 2,955.05 tpd in the second quarter of 2023 to 3,242.48 tpd in the third quarter of the same year. This achievement was possible thanks to the application of the T80 mesh, which allowed for better management of activities by workers, reducing time and increasing production efficiency.

The statistical test result of  $p = 0.000$  provided a solid argument indicating that there was a significant difference between production in the second and third quarters of 2023, thus demonstrating that the process could be optimized.

**Keywords:** mesh, costs, deformation, and production

# INTRODUCCIÓN

La estabilidad de las excavaciones subterráneas fue un factor crítico para garantizar la seguridad de los trabajadores y la continuidad operativa en la industria minera. En este contexto, la implementación de un sistema de soporte adecuado se volvió esencial, especialmente en macizos rocosos con características geomecánicas desfavorables, como el tipo 4A, donde la presencia de fracturamiento y la baja resistencia del material representaban un alto riesgo de colapsos.

La propuesta de optimización tuvo como objetivo evaluar y mejorar el sistema de soporte en una mina subterránea con macizo rocoso tipo 4A, asegurando su estabilidad y minimizando los riesgos asociados a desprendimientos y fallas estructurales. Esta evaluación permitió la identificación de deficiencias en los métodos de sostenimiento utilizados y la implementación de estrategias innovadoras que fortalecieron la seguridad en el entorno laboral.

Desde el enfoque de seguridad y salud en el trabajo, la optimización del sistema de soporte contribuyó directamente a la reducción de accidentes por fallas geomecánicas, protegiendo la integridad física de los trabajadores y promoviendo un ambiente laboral seguro. Asimismo, una adecuada gestión del sostenimiento no solo impactó en la seguridad, sino que también mejoró la eficiencia operativa, evitando interrupciones no planificadas y optimizando el uso de recursos.

En este estudio, se empleó una metodología basada en la caracterización geotécnica del macizo rocoso, el análisis del desempeño de los sistemas de soporte existentes y la propuesta de mejoras fundamentadas en normativas y mejores prácticas internacionales. Con ello, se desarrolló un modelo de gestión que garantizó la estabilidad estructural de las labores mineras y la sostenibilidad de las operaciones en el tiempo.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

En la minería subterránea, mantener la estabilidad del macizo rocoso fue fundamental tanto para la seguridad de los trabajadores como para la continuidad de las operaciones. La presencia de fracturas, discontinuidades y variaciones en las propiedades mecánicas del macizo podía provocar desprendimientos o colapsos, poniendo en riesgo a los operarios y al equipo. Además, cualquier inestabilidad podía interrumpir las actividades mineras, ocasionando paradas imprevistas y reduciendo la productividad.

Para garantizar la estabilidad del macizo y mantener la operatividad, fue crucial llevar a cabo una caracterización geotécnica detallada y constante del entorno subterráneo. Esto implicó la realización de estudios geotécnicos y geológicos para determinar las propiedades del macizo rocoso, junto con la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real que detectaran cualquier cambio en su estado. Con ello, se pudieron aplicar medidas de soporte adecuadas, como la instalación de pernos, mallas y hormigón, que ayudaban a prevenir desprendimientos y colapsos.

La estabilidad del macizo y la continuidad de las operaciones estuvieron intrínsecamente relacionadas, tanto con la seguridad como con la economía. Las interrupciones en la producción debido a problemas de estabilidad, generaban pérdidas económicas significativas, mientras que los accidentes podían tener consecuencias para la salud de los trabajadores y generar costos adicionales por compensaciones y sanciones. Por lo tanto, una gestión adecuada de la estabilidad del macizo no solo incrementaba la seguridad y la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica y reputacional de la mina.

#### 1.1.1 Formulación del problema

Después de haber discutido el uso de mallas, surge la siguiente interrogante: ¿es posible garantizar la estabilidad y continuidad de las operaciones mediante una propuesta de mejora basada en una evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A?

### **1.1.2 Problema general**

¿De qué manera la evaluación del sistema de soporte, enfocado en la selección del tipo de malla de sostenimiento, puede contribuir a la optimización de la estabilidad y la permanencia de las operaciones en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A?

### **1.1.3 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las condiciones geomecánicas del macizo rocoso tipo 4A en la mina subterránea y cómo influyen en la selección del tipo de malla de sostenimiento?
- ¿Cuál es el desempeño del tipo de malla de sostenimiento actualmente utilizado en la mina en términos de estabilidad y seguridad?
- ¿Qué criterios deben considerarse para optimizar la selección del tipo de malla de sostenimiento y mejorar la estabilidad operativa en la mina?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones mediante una propuesta de mejora en base de una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso tipo 4A para determinar sus implicancias en la selección del tipo de malla de sostenimiento.
- Evaluar el desempeño del tipo de malla de sostenimiento actualmente utilizado en la mina en términos de estabilidad y seguridad.
- Identificar y proponer mejoras en la selección del tipo de malla de sostenimiento para optimizar su efectividad y garantizar la estabilidad operativa de la mina.

## **1.3 Justificación e importancia**

La fundamentación para garantizar la estabilidad del macizo y la continuidad de una operación minera subterránea fue primordial para la seguridad, eficiencia y rentabilidad del proyecto. A continuación, se detallan las justificaciones técnica, operacional, económica y de seguridad:

### **1.3.1 Justificación técnica**

Mantener la estabilidad del macizo y la continuidad operativa en una mina subterránea requirió una caracterización geotécnica detallada del entorno subterráneo. Esto incluyó la identificación de las propiedades físicas y mecánicas del macizo, como su resistencia y cohesión, así como la detección de fracturas y discontinuidades que pudieran comprometer su estabilidad. Además, el uso de modelos numéricos y análisis de estabilidad permitió prever el comportamiento del macizo bajo diferentes cargas, facilitando el diseño de sistemas de soporte. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real fue clave para detectar cualquier cambio en el macizo y ajustar las medidas de soporte según fuera necesario, garantizando una operación continua y segura.

### **1.3.2 Justificación operacional**

Asegurar la estabilidad del macizo y la continuidad de las operaciones en una mina subterránea dependió de una planificación y gestión eficiente de las actividades mineras. Esto implicó el diseño de planes de producción que mantuvieran un flujo constante de material y minimizaran las interrupciones, además del desarrollo de programas de mantenimiento para los equipos y herramientas de soporte. Fue, igualmente importante, la capacitación continua del personal en procedimientos operativos y de seguridad para garantizar una operación eficiente y segura. La adopción de estas prácticas operativas ayudó a mantener la estabilidad del macizo rocoso y asegurar la continuidad de las operaciones, optimizando la productividad y reduciendo los riesgos de inestabilidad.

### **1.3.3 Justificación económica**

Mantener la estabilidad del macizo y la continuidad de las operaciones en una mina subterránea fue vital para maximizar la rentabilidad del proyecto y reducir los costos asociados a interrupciones y accidentes. Garantizar un macizo rocoso estable facilitó una extracción eficiente y segura de los recursos, optimizando el flujo de producción y minimizando el tiempo de inactividad. Además, la implementación de programas de mantenimiento preventivo y la capacitación adecuada del personal ayudaron a prevenir reparaciones costosas y accidentes, protegiendo así las inversiones en equipos y tecnología. Una operación estable y continua no solo incrementó la productividad, sino que también evitó pérdidas económicas significativas debido a paradas inesperadas, accidentes laborales y sanciones regulatorias, garantizando la viabilidad económica del proyecto a largo plazo.

### **1.3.4 Justificación de seguridad operacional**

Mantener la estabilidad del macizo y la continuidad de las operaciones en una mina subterránea fue fundamental para proteger a los trabajadores. La estabilidad del macizo rocoso fue crucial para prevenir colapsos y desprendimientos que podrían haber causado accidentes graves. La implementación de medidas de seguridad adecuadas, como sistemas de soporte eficaces y procedimientos de emergencia bien definidos, redujo el riesgo de incidentes y aseguró una respuesta rápida. Además, el cumplimiento de las normativas de seguridad y la capacitación del personal contribuyeron a un entorno laboral seguro, protegiendo a los operarios y asegurando la continuidad de las operaciones al evitar paradas inesperadas y sanciones regulatorias.

### **1.4 Delimitación del proyecto**

El área de estudio se efectuará en la labor minera modelo (tipo) ubicada en Arequipa. La presente investigación se elaboró en los días establecidos en el cronograma de ejecución de cada mes y tendrá un tiempo de seis meses del año 2024.

### **1.5 Hipótesis y variables**

#### **1.5.1 Hipótesis**

##### a) Hipótesis general

La optimización de la estabilidad y la permanencia de las operaciones en una mina subterránea con macizo rocoso tipo 4A se logrará mediante la evaluación y selección del tipo de malla de sostenimiento más adecuado, mejorando la seguridad y reduciendo riesgos de inestabilidad.

##### b) Hipótesis específica

- Si se analizan las condiciones geomecánicas del macizo rocoso tipo 4A, entonces se podrá determinar el tipo de malla de sostenimiento más eficiente para garantizar la estabilidad estructural de la mina.
- Si se evalúa el desempeño del tipo de malla de sostenimiento actualmente utilizado, entonces se podrán identificar sus limitaciones y oportunidades de mejora en términos de seguridad y estabilidad.
- Si se implementa una selección optimizada del tipo de malla de sostenimiento basada en criterios técnicos y geomecánicas, entonces se logrará una mayor efectividad en el

control de la estabilidad del macizo rocoso y una reducción en los costos de mantenimiento.

### **1.5.2 Variables**

a) Definición de variables

- Variable independiente: son las variables que actúan como factores explicativos, es decir, los elementos que pueden influir o descifrar las variables dependientes. En un experimento, estas son las variables que se alteran para observar su efecto.

Variable independiente: tipo de malla para sostenimiento.

- Variable dependiente: estas variables se denominan así porque son el objeto de la investigación; es decir, son las que se buscan explicar en relación con otros factores.

Variable dependiente: estabilidad del macizo rocoso.

### 1.5.3 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Indicador	Medición	Unidad
V.I. Sistema de sostenimiento	Son las variables que actúan como factores explicativos, es decir, los elementos que pueden influir o descifrar las variables dependientes. En un experimento, estas son las variables que se alteran para observar su efecto. Cauas, D. (2015).	Tipo de malla para sostenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la tensión</li> <li>• Costo</li> <li>• Calidad</li> <li>• Intervalo de tiempo de cambio de malla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mpa</li> <li>• dólares</li> <li>• %</li> <li>• H</li> </ul>
VD. Estabilidad del macizo rocoso	Estas variables se denominan así porque son el objeto de la investigación; es decir, son las que se buscan explicar en relación con otros factores. Cauas, D. (2015).	Estabilidad del macizo rocoso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación geomecánica de Bieniawsky, RMR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %</li> </ul>

Tabla 2. Matriz de consistencia.

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>
¿Cómo influye una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones?	Garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones mediante una propuesta de mejora en base de una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	Se puede garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones con una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	Sistema de Sostenimiento
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable Dependiente</b>
¿Cómo influye una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para evaluar el sistema sostenimiento actual?	Evaluar el sistema de soporte actual de la mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	Es probable que la optimización de garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones influya en la evaluación geomecánica con una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	Estabilidad del macizo rocoso
¿Cómo una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para evaluar alternativas de mejora en el sistema actual de sostenimiento?	Identificar y evaluar alternativas de mejora en el sistema actual de soporte de la mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	Es probable que la optimización de garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones influya en evaluar el sistema de soporte actual e investigar otros tipos de soporte con la propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	
¿Cómo influye una propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A para evaluar un plan de mejora del sistema actual?	Proponer y evaluar el plan de mejora del sistema actual de soporte de la mina subterránea con calidad del macizo rocoso incompetente.	Es probable que la optimización de garantizar su estabilidad y la permanencia de las operaciones influya en seleccionar el sistema de sostenimiento adecuado y proponer su implementación con la propuesta de optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en una mina subterránea con calidad de macizo rocoso tipo 4A.	

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

López (2021) sostiene (1) en su investigación titulada: "Evaluación y optimización de sistemas de sostenimiento en minas subterráneas," realizada por María López García en 2021 en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), en Madrid, España, se enfocó en analizar y mejorar el rendimiento de los sistemas de sostenimiento en minas subterráneas, tuvo en cuenta las propiedades geotécnicas del macizo e incorporando tecnologías avanzadas. La metodología integró un análisis geomecánica exhaustivo junto con la evaluación de los sistemas existentes, empleando simulaciones numéricas y pruebas de campo. Con un enfoque cuantitativo basado en herramientas de modelado sofisticadas, la investigación abarcó un grupo de minas subterráneas seleccionadas para evaluar diversas técnicas de sostenimiento. Los resultados mostraron que las mejoras implementadas aumentaron la estabilidad y seguridad de las operaciones, disminuyendo de manera notable el riesgo de colapsos. En sus conclusiones, se enfatiza la importancia de adaptar los sistemas de sostenimiento a las condiciones específicas de cada mina y la necesidad de seguir innovando en métodos y materiales para asegurar la continuidad de la mina.

Alvarado y Smith (2019), en su investigación "Aplicación de mecánica de rocas para la pequeña minería", plantearon como objetivo principal ofrecer criterios sólidos de mecánica de rocas aplicados al sector de la pequeña minería subterránea. El estudio incluyó metodologías de análisis geomecánicas como el análisis macroscópico, el uso de esclerómetro o martillo Schmidt, el cálculo de densidad mediante el método de Arquímedes y la medición de velocidad de perforación, todos presentados de forma detallada y accesible. El diseño de investigación fue no experimental-correlacional y la muestra se centró en labores de desarrollo y preparación. Entre los resultados, se desarrollaron matrices geomecánicas que permiten tomar decisiones más informadas en relación con la mecánica de rocas. La motivación del proyecto se derivó de los desafíos de seguridad en la pequeña minería, con el objetivo de reducir al máximo los accidentes dentro de la mina. La investigación se dirige especialmente a trabajadores de pequeñas minas en Chile, proporcionándoles mejores prácticas geomecánicas para su seguridad en el trabajo. El antecedente citado es valioso para esta investigación, ya que permite identificar diferencias clave entre el uso de mallas galvanizadas y electrosoldadas.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Alfaro (2021) (4) en su investigación titulada: “Caracterización geomecánica para el diseño de sostenimiento de túneles en minería: una revisión de la literatura científica. 2021” tuvo como objetivo principal del presente trabajo fue realizar un análisis exhaustivo de la literatura con la finalidad de identificar las características geomecánicas de los macizos rocosos aplicadas al diseño de sostenimiento de túneles en minería, basándose en el estudio de 24 investigaciones publicadas entre 2014 y 2020. La metodología utilizada es de una investigación científica, la misma que permite analizar, elaborar y aplicar el método en discusión, con su respectivo seguimiento operacional. El diseño fue no experimental-correlacional y la muestra se emplearon bases de datos científicas como ProQuest, ScienceDirect, REDALYC y la Biblioteca UPN, considerando investigaciones en español e inglés, que fueran publicaciones arbitradas y de acceso completo. Los resultados sugieren que, para la evaluación y el diseño de sostenimientos en túneles, es recomendable emplear métodos empíricos como el RMR de Bieniawski, el Q de Barton y el GSI de Hoek-Brown, complementándolos con enfoques sistemáticos como KF, SPA y TSP. Se concluye que una opción viable es seleccionar tipos de sostenimiento como el shotcrete, pernos de anclaje y marcos de acero. Este antecedente contribuye al presente estudio al identificar las diferencias entre mallas.

Por su parte, Salazar Isla (2020), en su estudio titulado “Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente en la Unidad Minera Yauricocha”, tuvo como propósito central determinar el impacto de la evaluación geomecánica en la elección del tipo de sostenimiento en los tajeos de explotación bajo el método de corte y relleno ascendente. La investigación empleó una metodología científica aplicada, de nivel descriptivo y diseño cuasi-experimental. La población abarcó los tajeos en profundización 0337 y 6371, en la zona V, cuerpo mascota de la Unidad Minera Yauricocha, mientras que la muestra fue no probabilística, siendo el tajeo 0337 el principal sujeto de estudio. Los resultados obtenidos a través de la clasificación de Bieniawski indicaron un macizo rocoso de clase II, con una valorización de 74 puntos, recomendando el uso de pernos Split set de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m, además de malla electrosoldada y shotcrete ocasional. Este antecedente es relevante para el estudio actual al resaltar la diferencia en el uso de mallas galvanizadas y electrosoldadas.

Salazar (2019), en su estudio “Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla UP Uchucchacua, Compañía Minera Buenaventura SAA.” (2019), Lucas Salazar (6) tuvo como objetivo principal identificar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, evaluando la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado

subterráneo para establecer un sistema de sostenimiento adecuado que permita controlar el proceso de explotación en coordinación con los Departamentos de Mina y Geomecánica. La metodología empleada se enmarca en una investigación científica no experimental-correlacional, con una muestra basada en datos de RMR de la mina. Entre los resultados, se describen los procedimientos de toma de datos, muestras y ensayos en los laboratorios internos de la unidad y externos de universidades, así como el análisis geotécnico de los parámetros relevantes para las actividades de exploración, desarrollo, preparación y explotación. Posteriormente, se agruparon y clasificaron los datos para obtener valores representativos de los tipos litológicos de la unidad de producción. Se utilizó el sistema de clasificación RMR de Bieniawski para evaluar la calidad del macizo rocoso, proporcionando insumos valiosos para diferenciar entre mallas galvanizadas y electrosoldadas.

Según Parí Lozano, Rusvel Alberto (2020) en su investigación titulada “Evaluación geomecánica de la Cantera Pumpunya y su influencia en el diseño de enrocados para el drenaje de aguas subterráneas en los accesos del Puente Comuneros, Huancayo 2019”, el objetivo principal fue realizar un análisis geomecánica de la masa rocosa en el yacimiento San Cristóbal. Este estudio se centró en mejorar los estándares de minería subterránea para lograr operaciones más seguras y eficientes, mediante trabajo de campo, laboratorio y gabinete. La metodología fue de tipo analítica, determinativa y aplicativa, desarrollada como investigación exploratoria y con un diseño no experimental-correlacional. La muestra se basó en datos de labores de preparación y desarrollo, obteniendo como resultado que la calidad del macizo rocoso es variable, desde mala (B-IVB) hasta regular (A-III A). Concluyó que, debido a la profundidad de la mina y los esfuerzos inducidos, el sostenimiento utiliza Shotcrete en rocas de calidad buena a regular, además de pernos helicoidales o Hydrabolt para refuerzo, lo cual respalda la hipótesis sobre la mejora en los estándares de sostenimiento. Los datos sobre la resistencia compresiva uniaxial de la roca, obtenidos de ensayos de laboratorio y presentados en los Cuadros 6 y 7, contribuyen a optimizar el sostenimiento en la mina San Cristóbal. Este antecedente es relevante para la presente investigación, en especial para la comparación entre mallas galvanizadas y electrosoldadas.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

Osorio (2023) (7) en su investigación titulada: “Diseño de sostenimiento subterráneo utilizando el análisis mecánico estructural, para el túnel 4225 del sector Misahuanca, Orcopampa, Arequipa–2022. 2023” tuvo como objetivo principal estudiar la dinámica de los bloques de roca suspendidos en la periferia del túnel 4225 [el cual se encuentra en la etapa de “Cierre de Mina”, el mismo que en toda su historia ha sido trabajado de manera convencional con secciones

reducidas no mayores a 2.5 metros de sección crítica, sin estándar de “Sección Típica”]. De metodología que se utilizó en el trabajo pertenece a una investigación científica, que permite analizar, elaborar y aplicar el método en discusión, con su respectivo seguimiento operacional. Cuyo diseño fue no experimental-correlacional y la muestra es el análisis mecánico estructural, para el túnel 4225 del sector Misahuanca. Entre los resultados se obtuvo que en toda su historia ha sido trabajado de manera convencional con secciones reducidas no mayores a 2.5 metros de sección crítica, sin estándar de “Sección Típica”], la aplicación de la metodología del “Análisis Mecánico Estructural” permitirá determinar el diseño de soporte para la mina (objeto de estudio). Llegó a concluir que el método de Análisis Mecánico Estructural sirve para “tomar una elección del sistema de sostenimiento a instalar”, cuando el macizo rocoso cumpla con poseer una “dureza” de “Regular” a “Buena” pero a la vez que esté condicionado por sus parámetros estructurales. El antecedente citado aporta a la presente investigación a reconocer la diferencia entre las mallas galvanizadas y electrosoldadas.

Jiménez y Lincol (2021), en su investigación “Desarrollo de herramientas de diseño para la estabilidad de excavaciones en mina Orcopampa” (2021), Jiménez Balboa, Lincol Javier (8) estableció como objetivo central alcanzar los niveles de producción definidos en los planes de minado. Para lograrlo, se requiere que las áreas de operaciones mina, planeamiento, ventilación, geomecánica, planta concentradora y medio ambiente operen bajo estrictas normas de seguridad, especialmente en el mantenimiento de la estabilidad de las excavaciones. La metodología corresponde a una investigación científica no experimental-correlacional y empleó el software de elementos finitos Phase2 en dos dimensiones para simular 100 casos, con una galería estándar como referencia. Los resultados reflejaron factores geomecánicas clave, considerando profundidades de 250 a 750 m, relaciones de esfuerzos horizontales y verticales ( $K$  entre 1.5 y 2), calidad del macizo rocoso (clasificado como mala y regular en RMR), resistencia a la compresión uniaxial (de 50 a 150 MPa) y el uso de pernos de adherencia y fricción. Como recomendación, se sugiere para futuros trabajos incluir análisis de datos históricos y KPIs operativos enfocados en el comportamiento del macizo, los servicios minan, ventilación y planificación minera.

Según Arana (2019). (9) en su tesis "Análisis geomecánica para seleccionar el tipo de sostenimiento en la Mina Apmnac Pulpera Caylloma–Arequipa” (2019), el objetivo central fue identificar el tipo adecuado de sostenimiento, seleccionando cuadros de madera. Este estudio, de carácter científico y diseño no experimental-correlacional, se analizó clasificaciones geomecánicas y arrojó valores de RMR entre 38 y 63 en rocas no mineralizadas, mientras que en zonas mineralizadas el RMR fue inferior a 23, sugiriendo la necesidad de sostenimiento inmediato. Los resultados indican que los esfuerzos en la roca circundante son bajos, menores

de 5 MPa, lo que minimiza el riesgo de deformación, y las pruebas físico-mecánicas en roca mostraron resistencia entre 40 y 60 MPa. La roca en áreas mineralizadas presenta alteraciones y baja calidad según el índice GSI. Arana concluye que los cuadros de madera, junto con split set, son una opción adecuada para el sostenimiento, mientras que el uso de cerchas es descartado por su alto costo y el shotcrete es complicado de aplicar debido a las dimensiones.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Minería subterránea**

La minería subterránea se refiere a la extracción de minerales y recursos minerales que se realiza por debajo de la superficie terrestre. A diferencia de la minería a cielo abierto, que implica la extracción de minerales mediante la remoción de capas superficiales de tierra, la minería subterránea se lleva a cabo mediante la construcción de túneles, galerías y pozos para acceder a depósitos minerales que se encuentran a mayores profundidades. (Todd, David K, 2005)

### **2.2.2 Macizo rocoso**

El macizo rocoso es el medio natural donde se lleva a cabo la extracción de minerales de interés económico, por lo que resulta fundamental conocer sus propiedades mediante investigaciones geomecánicas para su adecuada evaluación y calificación. Su origen y características son diversas, y su resistencia y comportamiento durante la minería son complejos. La roca exhibe distintos estados, como el elástico y el plástico, y presenta propiedades físicas importantes como densidad, peso específico, porosidad y grado de saturación.

Para evaluar el comportamiento del macizo rocoso en minería, se aplican técnicas de campo que permiten anticipar su reacción durante el proceso extractivo. Estas evaluaciones deben realizarse al inicio de los estudios de viabilidad del proyecto, generalmente con muestras obtenidas de perforaciones diamantinas. El registro de parámetros incluye resistencia mecánica, tamaño y frecuencia de las discontinuidades, dimensiones de los bloques, y posibles alteraciones. Posteriormente, se selecciona un sistema de clasificación, como el RMR, el sistema Q de Barton o el índice de resistencia geológica (GSI), que permite caracterizar el tipo de sostenimiento adecuado para el macizo rocoso, dada su estructura irregular y las discontinuidades geológicas presentes. (Todd, David K, 2005)

### **2.2.3 Sostenimiento de labores mineras**

El sostenimiento se refiere a los elementos y técnicas utilizados para contener y prevenir el desprendimiento de fragmentos de roca, protegiendo así al personal y evitando derrumbes en techos y paredes de las labores mineras. Existen diversos sistemas de sostenimiento, como los pernos de roca (mecánicos, de fierro corrugado o de barras helicoidales ancladas con cemento o resina), cables, malla, cintas de acero, shotcrete simple o reforzado con fibras, estructuras de acero, madera (puntales y cuadros), y relleno, entre otros. Estos métodos son fundamentales para estabilizar la masa rocosa y reducir riesgos.

El sostenimiento es una actividad adicional y de alto costo que disminuye la velocidad de avance y producción; sin embargo, es esencial para evitar accidentes por desprendimiento de rocas y asegurar la seguridad del equipo y el personal. Dado que la minería subterránea genera vacíos que pueden ser inestables debido a la voladura de la roca o mineral extraído, es necesario aplicar rápidamente el refuerzo adecuado para restablecer la estabilidad de la zona y permitir el trabajo continuo, considerando factores como el tipo de roca y las características de las fallas. (Todd, David K, 2005)

### **2.2.4 Tipos de sostenimientos pasivos**

En el contexto de la minería subterránea, los sostenimientos pasivos se refieren a sistemas que proporcionan estabilidad estructural a las excavaciones sin requerir una intervención activa constante una vez instalados. Estos sistemas aprovechan la resistencia inherente de los materiales y la geometría de las excavaciones para mantener la estabilidad. Aquí se presenta algunos tipos comunes de sostenimientos pasivos:

#### **2.2.5 Malla metálica**

Descripción: consiste en la instalación de mallas metálicas, generalmente de acero, sobre las paredes rocosas. Estas mallas pueden ser simples (una sola capa) o dobles (dos capas superpuestas), y suelen sujetarse mediante pernos y anclajes.

Aplicaciones: se utiliza para reforzar zonas rocosas con fracturas o para prevenir el desprendimiento de rocas pequeñas.

### **2.2.6 Pernos y bulones**

Descripción: son elementos estructurales que se instalan en taladros perforados en la roca. Pueden ser de acero con o sin revestimiento para mejorar la adherencia y la resistencia a la corrosión.

Aplicaciones: se utilizan para estabilizar zonas donde hay debilidades estructurales o fracturas, proporcionando soporte adicional a las paredes rocosas.

### **2.2.7 Anclajes de cables**

Descripción: consisten en cables de acero que se instalan en taladros perforados y se anclan en la roca mediante un material de relleno expansivo o resina.

Aplicaciones: se emplean para mejorar la estabilidad en áreas con condiciones geotécnicas desafiantes, como zonas de roca suelta o fracturada.

### **2.2.8 Rejillas o shotcrete**

Descripción: el shotcrete es un método que consiste en proyectar mezclas de concreto o mortero sobre superficies rocosas para consolidarlas y proporcionar protección contra la erosión y el desprendimiento de rocas.

Aplicaciones: se utiliza para estabilizar túneles, galerías y cámaras subterráneas al proporcionar una capa de soporte y protección.

### **2.2.9 Cáscaras de hormigón**

Descripción: se refiere a revestimientos de hormigón que se aplican directamente sobre las paredes de las excavaciones subterráneas para mejorar la estabilidad y la seguridad.

Aplicaciones: comúnmente utilizados en galerías y túneles donde se requiere una mayor resistencia estructural y protección contra la erosión.

Estos son algunos ejemplos de sostenimientos pasivos utilizados en minería subterránea. Cada tipo de sostenimiento pasivo se selecciona en función de las condiciones geológicas y geotécnicas específicas de la excavación para garantizar la seguridad y la estabilidad a largo plazo de las operaciones mineras subterráneas.

### **2.2.10 Tipos de sostenimientos activos**

Un sistema de sostenimiento activo en minería y construcción subterránea es un conjunto de técnicas y elementos diseñados para aplicar fuerzas al terreno circundante, mejorando su estabilidad y evitando colapsos. Estos sistemas son esenciales en la creación de túneles, galerías y otras excavaciones subterráneas, ya que ayudan a mantener la integridad estructural del entorno de trabajo.

### **2.2.11 Componentes del sistema de sostenimiento activo**

#### a) Pernos de anclaje:

- Función: proporcionan anclaje y soporte al terreno mediante la inserción de barras metálicas en perforaciones realizadas en la roca o suelo.
- Tipos: pernos de fricción, pernos de resina, pernos expansivos.
- Instalación: se perfora un agujero, se inserta el perno y se fija con resina, cemento o mecanismos de fricción.

#### b) Barras de refuerzo:

- Función: aumentan la resistencia del terreno al integrar barras de acero en la masa rocosa.
- Instalación: similar a los pernos, pero pueden ser colocadas en mayores cantidades y con diferentes configuraciones.

#### c) Tirantes

- Función: cables de alta resistencia que se tensionan para proporcionar soporte adicional.
- Aplicación: se utilizan en terrenos muy inestables o en situaciones donde se requiere una gran capacidad de carga.

### **2.2.12 Mallas y revestimientos**

- Función: proporcionan una cobertura adicional que ayuda a distribuir las cargas y a evitar el desprendimiento de fragmentos.
- Materiales: mallas de acero, hormigón proyectado (shotcrete), revestimientos de polímeros.

## Tipos de mallas

Las mallas pueden clasificarse según cómo se relacionan y enlazan sus alambres. Existen principalmente dos tipos: malla galvanizada y malla electrosoldada.

### a) Malla eslabonada

También llamada malla tejida, se caracteriza por el entrelazado de sus alambres en sentido transversal y longitudinal, creando una estructura similar a un tejido. Este tipo de malla presenta aperturas que varían en tamaño según las especificaciones del enlace.

La malla es un tejido de alambres, comúnmente de calibre #12/10, con espacios de 2"x2" o 4"x4", fabricada en acero negro que puede ser galvanizado para evitar la corrosión. Gracias a su estructura tejida, es flexible y resistente.

Las mallas tejidas se agrupan de acuerdo con su función y tipo de unión, como la malla tejida sobrepuesta y la malla tejida soldada.



Figura 1. *Malla tejida sobrepuesta.*



Figura 2. *Mallas tejidas soldadas.*

b) Malla electrosoldada

La malla electrosoldada se compone de dos elementos, uno longitudinal y otro transversal, que se cruzan formando un ángulo de  $90^\circ$ , y se unen en sus puntos de intersección mediante soldadura eléctrica en un proceso de producción en serie. Los diámetros del acero suelen oscilar entre 5 y 12 mm.

Este tipo de malla es una cuadrícula de alambres soldados en sus uniones, generalmente de calibre #10/08, con aperturas de 4"x4". Se fabrica en acero negro y, en algunos casos, se galvaniza para aumentar su durabilidad.

La malla electrosoldada se presenta en rollos de 25 m de largo por 2.0 m de ancho o en planchas de 3.0 m de largo por 2.0 m de ancho. Estas mallas se dividen según su función en:

- Malla electrosoldada estructural de varilla lisa.
- Malla electrosoldada estructural de varilla corrugada.
- Malla electrosoldada estructural multiusos.



Figura 3. *Malla Electrosoldada.*

c) Usos y aplicaciones.

Las mallas son un componente esencial en diversas operaciones mineras. A pesar de que todas se agrupan bajo el término general "mallas", existe una notable variedad que se diferencia según el material con el que se fabrican y su propósito específico en el ámbito minero.

- Malla Electrosoldada en Rollos: utilizada para el refuerzo de túneles, así como para shotcrete y como malla de temperatura en construcciones.
- Malla electrosoldada en planchas: común en el sector de la construcción, actuando como una alternativa a las mallas de hierro tradicionales.
- Malla electrosoldada: empleada en minería para la creación de canales hidráulicos, especialmente en acero inoxidable, siendo útil para filtrado y otros usos.

En la actualidad, la malla electrosoldada hecha de acero trefilado se ha vuelto un elemento fundamental en estas aplicaciones.

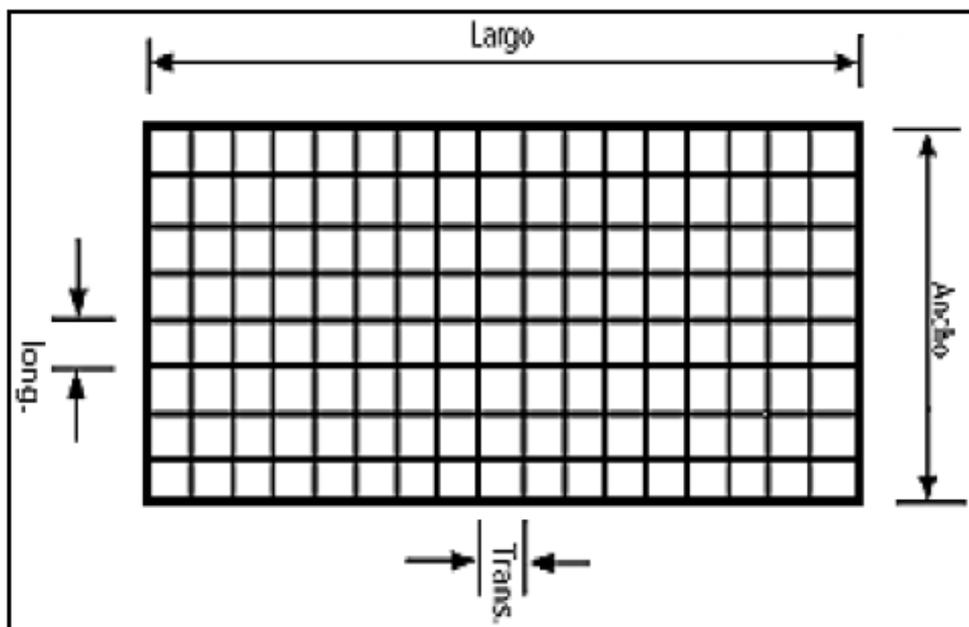


Figura 4. *Parámetros de identificación de la Malla Electrosoldada.*

d) Malla Galvanizada T- 60

El alambre de acero galvanizado presenta un límite elástico superior en comparación con los alambres convencionales, lo que le permite soportar cargas más elevadas antes de alcanzar el punto de ruptura por metro cuadrado. En el sector minero, se utilizan mallas con diversos diámetros que varían desde 30 g/m<sup>2</sup> hasta 610 g/m<sup>2</sup>, siendo estas últimas reconocidas por su durabilidad prolongada.

e) Malla Electrosoldada T-80

Las mallas electrosoldadas se componen de varillas lisas o corrugadas, que han sido laminadas en frío y organizadas en formas cuadradas o rectangulares. Estas mallas están formadas por barras longitudinales y transversales que se cruzan en ángulos rectos, siendo soldadas eléctricamente en sus puntos de intersección. Este proceso permite una adecuada distribución de las cargas en el elemento estructural.

f) Sostenimiento con perno y malla electrosoldada

El uso de pernos helicoidales junto con malla electrosoldada es apropiado para sostener rocas con calidad de regular a regular mala, con un RMR que oscila entre 30 y 50, según la guía geomecánica y el mapeo diario en cada labor (Poderosa, 2018). Esta combinación se aplica únicamente en trabajos de larga duración o permanentes.

Los pernos helicoidales deben instalarse de forma perpendicular al sistema de fracturamiento predominante, utilizando brocas de 32 mm de diámetro para perforar los agujeros donde se colocarán los pernos. La profundidad de la perforación debe ser 10 cm menor que la longitud del perno helicoidal a instalar. Los pernos tienen un diámetro de 19 mm y longitudes que varían entre 1.20 m (4 pies) y 2.40 m (8 pies), con un extremo biselado a 45°. La platina de acero que se usa como placa de sujeción mide 20 cm x 20 cm y tiene un grosor de 5 mm, mientras que la tuerca con cabeza esférica está diseñada para pernos helicoidales de 19 mm. El tramo del perno que sobresale de la roca para permitir ajustes no debe exceder los 10 a 15 cm debido a la deformación en la superficie del macizo rocoso.

El cartucho de resina de fraguado rápido tiene dimensiones de 28 mm x 305 mm, y el cartucho de cemento de fraguado rápido mide 29 mm x 305 mm. El tiempo de hidratación de los cartuchos de cemento es de 5 a 10 minutos, y el tiempo de batido debe ser de 15 a 20 segundos una vez que el perno helicoidal alcance el fondo del agujero. Además, el traslape entre secciones de la malla debe ser de 30 a 40 cm. La secuencia para el sostenimiento consiste en perforar el taladro, instalar el perno helicoidal y colocar la malla, asegurando que los elementos de sostenimiento se coloquen hasta el tope de la labor. (Poderosa, 2018)



Figura 5. *Perno y malla electrosoldada. Nota. Fotografía: Sostenimiento de labor horizontal con perno más malla electrosoldada.*

### **2.2.13 Estabilidad del macizo rocoso y sostenimiento en minería subterránea**

La estabilidad del macizo rocoso es un factor crítico en la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras subterráneas. La clasificación geomecánica del macizo, como el Rock Mass Rating (RMR) desarrollado por Bieniawski, permite evaluar la calidad de la roca y definir los métodos de sostenimiento adecuados. Un RMR de 55 indica un macizo de calidad media, lo que requiere un sistema de soporte que garantice la estabilidad de las excavaciones sin comprometer la seguridad de los trabajadores.

El sostenimiento con mallas metálicas es una técnica ampliamente utilizada en minería subterránea para controlar el desprendimiento de bloques y fragmentos de roca. Su instalación mejora la resistencia superficial del macizo, previniendo colapsos y proporcionando una protección efectiva en galerías y frentes de trabajo. La efectividad de este sistema depende de factores como el tipo de malla, su resistencia mecánica, la calidad de fijación y el método de instalación.

### **2.2.14 Equipos de perforación y su influencia en el sostenimiento**

El uso de equipos de perforación como el Jumbo para secciones de 3x3 metros facilita la instalación de sistemas de soporte en zonas críticas. La perforadora GL 380N, especializada en la instalación de pernos y mallas, permite optimizar el proceso de sostenimiento, garantizando una cobertura uniforme y reduciendo tiempos operativos. La combinación de Jumbo y GL 380N en macizos con RMR de 55 contribuye a un sostenimiento eficiente, minimizando riesgos de desprendimientos.

### **2.2.15 Seguridad y Salud en el Trabajo en minería subterránea**

La implementación de un sistema de sostenimiento adecuado es fundamental para reducir accidentes laborales en minería subterránea. Entre los principales riesgos asociados a un mal diseño de soporte se encuentran los colapsos de techo y paredes, caída de rocas y atrapamientos, que pueden generar lesiones graves o fatales.

En este contexto, la gestión de seguridad en el sostenimiento debe considerar:

- Evaluaciones geomecánicas periódicas para verificar la estabilidad del macizo rocoso.
- Capacitación del personal en la instalación y mantenimiento del sistema de mallas.
- Monitoreo continuo del comportamiento del macizo mediante instrumentos geotécnicos.

- Uso de equipos de protección personal (EPP) adecuados para trabajos en sostenimiento.

### **2.2.16 Aspectos legales y normativos**

El sostenimiento en minería subterránea debe cumplir con normativas nacionales e internacionales que regulan la seguridad y estabilidad en las labores mineras. En Perú, la principal referencia es el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (DS 024-2016-EM), que establece lineamientos específicos para la implementación de sistemas de soporte. Algunos aspectos clave incluyen:

- Artículo 126: obliga a las empresas a realizar estudios geomecánicos para definir el tipo de sostenimiento requerido.
- Artículo 128: establece la obligatoriedad de utilizar mallas metálicas, pernos y otros elementos de soporte en zonas de riesgo.
- Artículo 132: indica que el sostenimiento debe ser inspeccionado y mantenido periódicamente para garantizar su efectividad.

A nivel internacional, estándares como el International Society for Rock Mechanics (ISRM) y las normativas de seguridad de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) también proporcionan directrices para la correcta instalación y mantenimiento de sistemas de sostenimiento en minería subterránea.

### **2.2.17 Impacto de la optimización del sostenimiento en la productividad**

Además de los beneficios en seguridad, una adecuada optimización del sostenimiento con mallas en macizos de RMR 55 permite incrementar la eficiencia operativa. Entre los impactos positivos destacan:

- Reducción de tiempos de paralización por fallas en el sostenimiento.
- Disminución de costos por accidentes laborales y reparaciones estructurales.
- Mejora en la continuidad de las operaciones mineras.

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **2.3.1 Macizo rocoso (Tipo 4A)**

Un macizo rocoso es una masa de roca que contiene discontinuidades naturales como fracturas, fallas o juntas, y cuya resistencia mecánica depende del grado de alteración, cohesión y orientación estructural. En el caso del tipo 4A, se trata de un macizo de baja calidad

geomecánica, con alto grado de fracturamiento y baja resistencia, lo que lo hace susceptible a inestabilidades, especialmente en excavaciones subterráneas. Este tipo de macizo requiere soporte inmediato y reforzado para evitar colapsos (Bieniawski, 1989).

### **2.3.2 Sistema de soporte**

El sistema de soporte en minería subterránea comprende un conjunto de elementos estructurales diseñados para mantener la estabilidad del macizo rocoso, prevenir desprendimientos y asegurar condiciones seguras para el personal y los equipos. Incluye el uso de pernos de anclaje, mallas metálicas, concreto lanzado (shotcrete), arcos metálicos, entre otros. Su aplicación varía según las condiciones geotécnicas de la roca y la geometría de las labores (Hoek & Brown, 2018).

### **2.3.3 Estabilidad del macizo rocoso**

La estabilidad se refiere a la capacidad del macizo rocoso de conservar su forma estructural y resistir esfuerzos sin deformarse ni colapsar. En minería subterránea, mantener la estabilidad del terreno es fundamental para la seguridad y continuidad operativa. Esta depende tanto de la calidad de la roca como del tipo de excavación, las tensiones inducidas y la efectividad del soporte implementado (Brady & Brown, 2006).

### **2.3.4 Optimización del soporte**

La optimización del soporte consiste en mejorar técnica y económicamente el diseño y aplicación del sostenimiento, con el objetivo de reducir los costos sin comprometer la seguridad. Implica la selección adecuada de métodos y materiales de soporte, basados en el análisis del macizo y en herramientas de diseño geotécnico. Esta práctica permite una mayor eficiencia operativa y una mejor gestión del ciclo de minado (Stillborg, 1994).

### **2.3.5 Permanencia de las operaciones**

La permanencia de las operaciones se refiere a la capacidad de una mina subterránea para mantener sus actividades activas y seguras a largo plazo, evitando interrupciones por colapsos o inestabilidades. Garantizar esta continuidad requiere de un sistema de soporte eficiente, un monitoreo constante y planes de mantenimiento predictivo que respondan a los cambios en las condiciones del macizo (Singh & Goel, 1999).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método, tipo o alcance de la investigación**

##### **3.1.1 Método de la investigación**

La metodología de investigación consistió en la descripción, análisis y evaluación crítica de los diferentes métodos utilizados en este estudio. Dado el enfoque de la investigación planteada, se empleó un método descriptivo, ya que se llevó a cabo pruebas en las mallas utilizando equipos avanzados y específicos con lo que se obtuvo los resultados esperados.

##### **3.1.2 Tipo de la investigación**

Este estudio se enmarcó dentro de una investigación cuantitativa, ya que se analizaron características y datos obtenidos, generando una serie de resultados que fueron comparados y detallados. Su objetivo principal fue aportar información nueva y hasta ese momento no disponible.

##### **3.1.3 Alcance de la investigación**

El alcance de este estudio se centró exclusivamente en la optimización del sostenimiento con mallas, evaluando su desempeño en la estabilidad del macizo rocoso tipo 4A y su impacto en la seguridad laboral. Se analizaron las especificaciones técnicas de las mallas utilizadas, su distribución, método de instalación y compatibilidad con la perforadora GL 380N en la Unidad Minera Pomasi, para garantizar una fijación eficiente y uniforme. Además, se estudió la resistencia y durabilidad de las mallas frente a las condiciones geomecánicas de la mina, con el objetivo de reducir riesgos de desprendimientos y mejorar la seguridad de los trabajadores en las labores subterráneas.

Asimismo, el estudio consideró la aplicación del sistema de mallas en secciones de 3x3 metros, perforadas con Jumbo, en un macizo rocoso con una clasificación RMR de 55%, lo que correspondió a una roca de calidad media. Se evaluó la relación entre la calidad del macizo y la efectividad del sostenimiento, analizando la resistencia estructural de la malla en función de la estabilidad del terreno y la reducción de costos operativos. Con ello, se buscó garantizar una solución de sostenimiento eficiente y segura que permitiera la continuidad de las operaciones mineras subterráneas.

### **3.1.4 Nivel de la investigación**

En cuanto a su nivel de profundidad, esta investigación es de tipo predictiva, ya que se generó los resultados a partir de las pruebas realizadas a las mallas T60 (galvanizada) y T80 (electrosoldada).

## **3.2 Materiales y métodos**

### **3.2.1 Diseño de la investigación**

Se utilizó un pre-experimento de post-prueba sin grupo control.

La investigación se realizó con un diseño longitudinal, en el cual se comparó la malla galvanizada T60 con la malla electrosoldada T80 del año 2023, con el fin de obtener una comparación de las ventajas y desventajas de dichas mallas.

Para lograr la comparación, se realizaron pruebas de las características técnicas de la malla galvanizada T60 y la malla electrosoldada T80.

La investigación fue descriptiva.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población:**

Para el proyecto se tuvo como población los tipos de labores subterráneas con macizos de roca incompetentes utilizados en el 2023 en la Unidad Minera Pomasi.

### **3.3.2 Muestra:**

Como muestra se analizó los resultados en la GL 380N en la Unidad Minera Pomasi al instalar las siguientes mallas:

- Malla galvanizada T60
- Malla electrosoldada T80.
- La técnica de muestreo: No probabilística
- Método: censal.

### **3.4 Técnicas e instrumentos**

#### **3.4.1 Técnica**

Se empleó la técnica de investigación en laboratorio, la cual fue científica y directa, ya que se llevó a cabo la experimentación mediante pruebas en las que el investigador realizó observaciones directas.

#### **3.4.2 Técnicas de análisis de datos**

La información fue procesada organizando los datos en tablas y gráficos, lo que permitió realizar un análisis estadístico descriptivo con su interpretación correspondiente.

Para analizar las relaciones entre los datos previos y posteriores a la implementación, se utilizó el software SPSS versión 26. Este software facilitó el análisis, y se aplicó la prueba T de Wilcoxon para muestras relacionadas como prueba estadística.

#### **3.4.3 Instrumentos de evaluación**

- Microsoft Excel: se utilizó para el procesamiento de datos y determinación de las gráficas del ensayo de tracción.
- SPSS26: se utilizó para el proceso estadístico de la base de datos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación de resultados

Se realizó la optimización a través de la evaluación del sistema de soporte en el tercer trimestre. Este control ayudó al aumento del rendimiento de la trituración, basándose en los resultados obtenidos para maximizar la producción y la eficiencia.

##### 4.1.1 Procedimiento de trabajo

Se define los parámetros y rangos de los diferentes KPI's que se han utilizado en esta investigación:

*Tabla 3.* Parámetros y siglas.

<b>Descripción</b>	<b>Antes T60</b>	<b>Después T80</b>	<b>Siglas</b>
Producción	3000	3300	tpd
Costo de sostenimiento	2.75	4.00	USD/m <sup>2</sup>
Intervalo de cambio de malla	2.50	6.00	años
Tiempo de intervención	1.50	3.00	H
Desplazamiento	3.50	10.00	mm

*Nota.* Antes y después de la implementación.

##### 4.1.2 Recolección de información geotécnica previa

Se obtuvieron datos sobre la calidad del macizo rocoso en las zonas donde se encontraban las labores subterráneas.

- Se realizó un análisis geotécnico detallado del macizo tipo 4A, utilizando el sistema de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) y Q de Barton.
- Se llevó a cabo la revisión de los informes de estabilidad, inspecciones pasadas y cualquier dato geotécnico que hubiera sido recopilado durante la vida útil de la mina.

Dando como resultados el tiempo de instalación de las malas de sostenimiento:

Tabla 4. Resultado tiempo de instalación de malla.

Fecha	H
1/04/2023	1.5
2/04/2023	1.5
3/04/2023	1.5
4/04/2023	1.5
5/04/2023	1.5
6/04/2023	1.5
7/04/2023	1.5
8/04/2023	1.5
9/04/2023	1.5
10/04/2023	1.5

#### 4.1.3 Evaluación del sistema de soporte actual

- Se inspeccionaron y analizaron los tipos de sistemas de sostenimiento utilizados en ese momento (pernos, mallas, arcos metálicos, concreto proyectado, etc.).
- Se verificaron las condiciones del sistema de soporte, su efectividad y cualquier daño o fallo que hubiera presentado.
- Se evaluó el desempeño de cada tipo de sostenimiento según las características geotécnicas de las áreas intervenidas.

Dando como el resultado el desplazamiento que nos dio las mallas T60 medidos con extensómetros:

Tabla 5. Desplazamiento malla T60.

Mes	Fecha	mm
Abril	1/04/2023	3.5
Abril	2/04/2023	3.5
Abril	3/04/2023	3.5
Abril	4/04/2023	3.5
Abril	5/04/2023	3.4
Abril	6/04/2023	3.5
Abril	7/04/2023	3.5
Abril	8/04/2023	3.5
Abril	9/04/2023	3.5
Abril	10/04/2023	3.5

#### 4.1.4 Simulación y modelado geotécnico:

- Se probó con los modelos distintos tipos de refuerzos o mejoras en el sistema de sostenimiento.

Según el modelo se obtuvo la siguiente proyección en año:

*Tabla 6.* Proyección.

Mes	Fecha	años
Abril	1/04/2023	2.5
Abril	2/04/2023	2.5
Abril	3/04/2023	2.5
Abril	4/04/2023	2.5
Abril	5/04/2023	2.5
Abril	6/04/2023	2.5
Abril	7/04/2023	2.5
Abril	8/04/2023	2.5
Abril	9/04/2023	2.5
Abril	10/04/2023	2.5

*Nota.* Proyección en años del modelo según planeamiento

#### 4.1.5 Propuesta de optimización del sistema de soporte:

- Basado en los resultados del modelado y las observaciones de campo, se generaron propuestas de optimización, como mejoras en el tipo y disposición de los pernos, mallas o concreto proyectado.
- Se evaluó la viabilidad técnica y económica de las alternativas propuestas, asegurando que cumplieran con los criterios de seguridad y estabilidad del macizo.
- Se implementaron sistemas de monitoreo continuo para detectar deformaciones y esfuerzos que pudieran comprometer la estabilidad.

De acuerdo al resultado se propuso la malla T80 quien nos proyecta los siguientes parámetros.

*Tabla 7.* Parámetros malla de sostenimiento.

Mes	Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
Abril	1/04/2023	2,952.00	2.75	2.5	1.5	3.5
Abril	2/04/2023	2,939.00	2.75	2.5	1.5	3.5
Abril	3/04/2023	2,978.00	2.74	2.5	1.5	3.5
Abril	4/04/2023	2,917.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Abril	5/04/2023	2,960.00	2.71	2.5	1.5	3.4
Abril	6/04/2023	2,963.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Abril	7/04/2023	2,938.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Abril	8/04/2023	2,979.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Abril	9/04/2023	2,953.00	2.73	2.5	1.5	3.5
Abril	10/04/2023	2,999.00	2.72	2.5	1.5	3.5

*Nota.* Proyección de parámetros con la malla T80.

#### 4.1.6 Monitoreo y control

- Se instaló instrumentación geotécnica adicional (como extensómetros o sismógrafos) en áreas clave para verificar el desempeño del nuevo sistema de soporte.
- Se desarrolló un plan de monitoreo rutinario para verificar la evolución de las deformaciones y la respuesta del macizo rocoso después de implementar las mejoras.
- Se realizaron ajustes a las propuestas de optimización según los resultados del monitoreo.

#### 4.1.7 Documentación y retroalimentación

- Se generaron informes detallados de las actividades realizadas, los resultados obtenidos y las recomendaciones finales.
- Se comparó el rendimiento del sistema de soporte antes y después de las mejoras implementadas.
- Se incluyeron recomendaciones para futuras actividades de sostenimiento en otras áreas de la mina que presentaran condiciones geotécnicas similares.

Este procedimiento permitió identificar las debilidades del sistema de sostenimiento actual, aplicar mejoras efectivas, y garantizar la estabilidad y continuidad operativa de la mina. Se muestran los resultados:

Tabla 8. Parámetros del segundo trimestre.

Mes	tpd	USD/m2	años	H	mm
Mes 1	2,961.13	2.720	2.5	1.5	3.47
Mes 2	2,947.61	2.722	2.5	1.5	3.46
Mes 3	2,956.40	2.725	2.5	1.5	3.46
<b>Total</b>	<b>2,954.97</b>	<b>2.722</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>	<b>3.46</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de los meses de abril, mayo y junio del 2023.*

Tabla 9. Parámetros del tercer trimestre.

Mes	tpd	USD/m2	años	H	mm
Mes 1	3,240.52	3.716	5.9	2.9	9.66
Mes 2	3,229.55	3.729	5.9	2.9	9.65
Mes 3	3,257.37	3.724	5.9	2.9	9.66
<b>Total</b>	<b>3,242.32</b>	<b>3.723</b>	<b>5.9</b>	<b>2.9</b>	<b>9.66</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de los meses de julio, agosto y septiembre del 2023.*

Tabla 10. Parámetros abril 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/04/2023	2,952.00	2.75	2.5	1.5	3.5
2/04/2023	2,939.00	2.75	2.5	1.5	3.5
3/04/2023	2,978.00	2.74	2.5	1.5	3.5
4/04/2023	2,917.00	2.70	2.5	1.5	3.5
5/04/2023	2,960.00	2.71	2.5	1.5	3.4
6/04/2023	2,963.00	2.70	2.5	1.5	3.5
7/04/2023	2,938.00	2.70	2.5	1.5	3.5
8/04/2023	2,979.00	2.70	2.5	1.5	3.5
9/04/2023	2,953.00	2.73	2.5	1.5	3.5
10/04/2023	2,999.00	2.72	2.5	1.5	3.5
11/04/2023	2,989.00	2.72	2.5	1.5	3.4
12/04/2023	2,925.00	2.72	2.5	1.5	3.4
13/04/2023	2,965.00	2.75	2.5	1.5	3.5
14/04/2023	2,999.00	2.71	2.5	1.5	3.5
15/04/2023	2,953.00	2.70	2.5	1.5	3.5
16/04/2023	2,931.00	2.73	2.5	1.5	3.5
17/04/2023	2,999.00	2.70	2.5	1.5	3.5
18/04/2023	2,969.00	2.73	2.5	1.5	3.4
19/04/2023	2,951.00	2.74	2.5	1.5	3.5
20/04/2023	2,953.00	2.70	2.5	1.5	3.5
21/04/2023	2,963.00	2.74	2.5	1.5	3.5
22/04/2023	2,966.00	2.71	2.5	1.5	3.5
23/04/2023	2,952.00	2.74	2.5	1.5	3.5
24/04/2023	2,968.00	2.73	2.5	1.5	3.5
25/04/2023	2,970.00	2.70	2.5	1.5	3.5
26/04/2023	2,987.00	2.72	2.5	1.5	3.5
27/04/2023	2,928.00	2.71	2.5	1.5	3.5
28/04/2023	2,952.00	2.73	2.5	1.5	3.5
29/04/2023	2,954.00	2.71	2.5	1.5	3.5
30/04/2023	2,982.00	2.72	2.5	1.5	3.5
<b>Promedio</b>	<b>2,961.13</b>	<b>2.72</b>	<b>2.49</b>	<b>1.482</b>	<b>3.47</b>

Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de abril del 2023.

Tabla 11. Parámetros mayo 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/05/2023	2,976.00	2.71	2.5	1.480	3.4
2/05/2023	2,947.00	2.70	2.5	1.496	3.5
3/05/2023	2,983.00	2.72	2.5	1.494	3.4
4/05/2023	2,929.00	2.71	2.5	1.472	3.5
5/05/2023	2,918.00	2.73	2.5	1.490	3.4
6/05/2023	2,928.00	2.70	2.5	1.497	3.5
7/05/2023	2,983.00	2.70	2.5	1.486	3.4
8/05/2023	2,927.00	2.70	2.5	1.476	3.5
9/05/2023	2,924.00	2.72	2.5	1.500	3.5
10/05/2023	2,944.00	2.74	2.5	1.475	3.5
11/05/2023	2,988.00	2.74	2.5	1.481	3.4
12/05/2023	2,928.00	2.73	2.5	1.476	3.5
13/05/2023	2,954.00	2.70	2.5	1.480	3.5
14/05/2023	2,924.00	2.74	2.5	1.474	3.4
15/05/2023	3,000.00	2.72	2.5	1.483	3.5
16/05/2023	2,940.00	2.70	2.5	1.482	3.5
17/05/2023	2,921.00	2.73	2.5	1.476	3.4
18/05/2023	2,928.00	2.72	2.5	1.493	3.5
19/05/2023	2,980.00	2.74	2.5	1.499	3.4
20/05/2023	2,931.00	2.75	2.5	1.495	3.5
21/05/2023	2,985.00	2.72	2.5	1.490	3.5
22/05/2023	2,988.00	2.71	2.5	1.483	3.5
23/05/2023	2,947.00	2.75	2.5	1.485	3.5
24/05/2023	2,979.00	2.71	2.5	1.481	3.5
25/05/2023	2,939.00	2.70	2.5	1.484	3.5
26/05/2023	2,918.00	2.71	2.5	1.471	3.4
27/05/2023	2,919.00	2.74	2.5	1.475	3.4
28/05/2023	2,938.00	2.74	2.5	1.489	3.5
29/05/2023	2,920.00	2.75	2.5	1.493	3.5
30/05/2023	2,928.00	2.71	2.5	1.470	3.5
31/05/2023	2,962.00	2.74	2.5	1.473	3.5
<b>Promedio</b>	<b>2,947.61</b>	<b>2.72</b>	<b>2.49</b>	<b>1.484</b>	<b>3.46</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de mayo del 2023.*

Tabla 12. Parámetros junio 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/06/2023	2,976.00	2.73	2.5	1.485	3.5
2/06/2023	2,970.00	2.71	2.5	1.486	3.5
3/06/2023	2,973.00	2.72	2.5	1.498	3.5
4/06/2023	2,988.00	2.72	2.5	1.498	3.4
5/06/2023	2,999.00	2.74	2.5	1.472	3.5
6/06/2023	2,923.00	2.72	2.5	1.487	3.5
7/06/2023	2,968.00	2.73	2.5	1.481	3.5
8/06/2023	2,915.00	2.74	2.5	1.471	3.5
9/06/2023	2,917.00	2.70	2.5	1.470	3.5
10/06/2023	2,956.00	2.70	2.5	1.493	3.4
11/06/2023	2,931.00	2.75	2.5	1.486	3.5
12/06/2023	2,950.00	2.70	2.5	1.484	3.5
13/06/2023	2,926.00	2.74	2.5	1.476	3.5
14/06/2023	2,971.00	2.75	2.5	1.483	3.5
15/06/2023	2,997.00	2.73	2.5	1.470	3.4
16/06/2023	2,930.00	2.73	2.5	1.492	3.5
17/06/2023	2,964.00	2.74	2.5	1.483	3.5
18/06/2023	2,959.00	2.75	2.5	1.496	3.4
19/06/2023	3,000.00	2.74	2.5	1.495	3.4
20/06/2023	2,910.00	2.71	2.5	1.490	3.4
21/06/2023	2,981.00	2.71	2.5	1.472	3.4
22/06/2023	2,998.00	2.70	2.5	1.497	3.5
23/06/2023	2,938.00	2.73	2.5	1.488	3.4
24/06/2023	2,963.00	2.74	2.5	1.483	3.5
25/06/2023	2,937.00	2.72	2.5	1.486	3.5
26/06/2023	2,937.00	2.73	2.5	1.496	3.5
27/06/2023	2,963.00	2.72	2.5	1.480	3.5
28/06/2023	2,943.00	2.72	2.5	1.488	3.5
29/06/2023	2,913.00	2.73	2.5	1.497	3.4
30/06/2023	2,996.00	2.72	2.5	1.486	3.5
<b>Promedio</b>	<b>2,956.40</b>	<b>2.72</b>	<b>2.489</b>	<b>1.486</b>	<b>3.46</b>

Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de junio del 2023.

Tabla 13. Parámetros julio 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/07/2023	3,306.00	3.59	5.9	2.922	9.56
2/07/2023	3,200.00	3.62	5.9	2.917	9.57
3/07/2023	3,325.00	3.86	5.9	2.963	9.56
4/07/2023	3,157.00	3.65	5.9	2.946	9.51
5/07/2023	3,237.00	3.71	5.9	2.900	9.72
6/07/2023	3,163.00	3.61	5.9	2.954	9.48
7/07/2023	3,229.00	3.78	5.9	2.855	9.70
8/07/2023	3,319.00	3.74	5.9	2.963	9.66
9/07/2023	3,192.00	3.70	5.9	2.939	9.78
10/07/2023	3,302.00	3.84	5.9	2.871	9.65
11/07/2023	3,294.00	3.77	5.9	2.963	9.48
12/07/2023	3,189.00	3.82	5.9	2.927	9.76
13/07/2023	3,208.00	3.73	5.9	2.870	9.75
14/07/2023	3,217.00	3.81	5.9	2.925	9.79
15/07/2023	3,270.00	3.61	5.9	2.890	9.80
16/07/2023	3,297.00	3.61	5.9	2.867	9.60
17/07/2023	3,289.00	3.58	5.9	2.910	9.76
18/07/2023	3,224.00	3.86	5.9	2.885	9.76
19/07/2023	3,289.00	3.63	5.9	2.856	9.76
20/07/2023	3,189.00	3.66	5.9	2.917	9.71
21/07/2023	3,274.00	3.77	5.9	2.908	9.71
22/07/2023	3,243.00	3.69	5.9	2.936	9.74
23/07/2023	3,243.00	3.65	5.9	2.912	9.69
24/07/2023	3,263.00	3.77	5.9	2.913	9.63
25/07/2023	3,280.00	3.85	5.9	2.890	9.82
26/07/2023	3,186.00	3.68	5.9	2.911	9.59
27/07/2023	3,332.00	3.72	5.9	2.923	9.59
28/07/2023	3,201.00	3.74	5.9	2.926	9.46
29/07/2023	3,207.00	3.82	5.9	2.860	9.77
30/07/2023	3,161.00	3.64	5.9	2.874	9.55
31/07/2023	3,170.00	3.69	5.9	2.875	9.48
<b>Promedio</b>	<b>3,240.52</b>	<b>3.72</b>	<b>5.91</b>	<b>2.909</b>	<b>9.66</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de julio del 2023.*

Tabla 14. Parámetros agosto 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/08/2023	3,232.00	3.72	5.9	2.887	9.6
2/08/2023	3,333.00	3.67	5.9	2.874	9.7
3/08/2023	3,168.00	3.86	5.9	2.887	9.5
4/08/2023	3,192.00	3.85	5.9	2.865	9.5
5/08/2023	3,212.00	3.61	5.9	2.852	9.6
6/08/2023	3,207.00	3.80	5.9	2.946	9.6
7/08/2023	3,215.00	3.83	5.9	2.943	9.7
8/08/2023	3,172.00	3.84	5.9	2.908	9.6
9/08/2023	3,185.00	3.61	5.9	2.954	9.8
10/08/2023	3,233.00	3.70	5.9	2.881	9.6
11/08/2023	3,209.00	3.72	5.9	2.947	9.6
12/08/2023	3,203.00	3.73	5.9	2.851	9.7
13/08/2023	3,204.00	3.79	5.9	2.928	9.8
14/08/2023	3,334.00	3.71	5.9	2.894	9.6
15/08/2023	3,167.00	3.62	5.9	2.911	9.5
16/08/2023	3,268.00	3.71	5.9	2.885	9.6
17/08/2023	3,197.00	3.84	5.9	2.920	9.7
18/08/2023	3,245.00	3.81	5.9	2.963	9.7
19/08/2023	3,276.00	3.83	5.9	2.900	9.8
20/08/2023	3,253.00	3.77	5.9	2.863	9.8
21/08/2023	3,229.00	3.81	5.9	2.867	9.7
22/08/2023	3,159.00	3.60	5.9	2.865	9.8
23/08/2023	3,253.00	3.85	5.9	2.887	9.8
24/08/2023	3,316.00	3.65	5.9	2.902	9.7
25/08/2023	3,159.00	3.82	5.9	2.874	9.5
26/08/2023	3,266.00	3.60	5.9	2.893	9.7
27/08/2023	3,154.00	3.63	5.9	2.866	9.5
28/08/2023	3,305.00	3.67	5.9	2.960	9.7
29/08/2023	3,198.00	3.59	5.9	2.903	9.7
30/08/2023	3,293.00	3.74	5.9	2.885	9.8
31/08/2023	3,279.00	3.67	5.9	2.910	9.6
<b>Promedio</b>	<b>3,229.55</b>	<b>3.73</b>	<b>5.90</b>	<b>2.899</b>	<b>9.65</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de agosto del 2023.*

Tabla 15. Parámetros septiembre 2023.

Fecha	tpd	USD/m2	años	H	mm
1/09/2023	3,261.00	3.60	5.9	2.903	9.7
2/09/2023	3,156.00	3.79	5.9	2.913	9.5
3/09/2023	3,311.00	3.82	5.9	2.868	9.8
4/09/2023	3,294.00	3.86	5.9	2.940	9.7
5/09/2023	3,224.00	3.84	5.9	2.951	9.5
6/09/2023	3,314.00	3.71	5.9	2.884	9.8
7/09/2023	3,213.00	3.72	5.9	2.956	9.6
8/09/2023	3,339.00	3.73	5.9	2.907	9.8
9/09/2023	3,202.00	3.82	5.9	2.949	9.6
10/09/2023	3,177.00	3.68	5.9	2.891	9.7
11/09/2023	3,192.00	3.71	5.9	2.937	9.8
12/09/2023	3,199.00	3.82	5.9	2.927	9.7
13/09/2023	3,262.00	3.69	5.9	2.945	9.6
14/09/2023	3,279.00	3.61	5.9	2.905	9.5
15/09/2023	3,184.00	3.71	5.9	2.891	9.7
16/09/2023	3,246.00	3.64	5.9	2.916	9.5
17/09/2023	3,286.00	3.75	5.9	2.880	9.6
18/09/2023	3,243.00	3.73	5.9	2.853	9.8
19/09/2023	3,300.00	3.62	5.9	2.962	9.7
20/09/2023	3,333.00	3.84	5.9	2.910	9.5
21/09/2023	3,291.00	3.73	5.9	2.937	9.8
22/09/2023	3,185.00	3.59	5.9	2.853	9.8
23/09/2023	3,245.00	3.78	5.9	2.963	9.7
24/09/2023	3,307.00	3.61	5.9	2.937	9.5
25/09/2023	3,290.00	3.75	5.9	2.936	9.6
26/09/2023	3,178.00	3.76	5.9	2.921	9.7
27/09/2023	3,278.00	3.65	5.9	2.871	9.8
28/09/2023	3,276.00	3.80	5.9	2.862	9.7
29/09/2023	3,320.00	3.75	5.9	2.911	9.5
30/09/2023	3,336.00	3.60	5.9	2.891	9.6
<b>Promedio</b>	<b>3,257.37</b>	<b>3.72</b>	<b>5.9</b>	<b>2.912</b>	<b>9.66</b>

*Nota. Parámetros de producción, costo de sostenimiento, intervalo de cambio de malla, tiempo de intervención y desplazamiento de septiembre del 2023.*

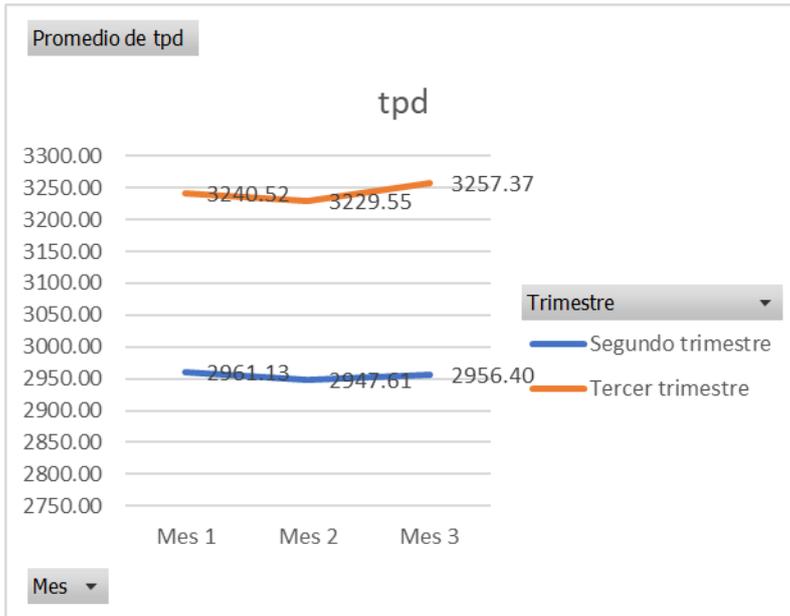


Figura 6. Producción. Nota. Producción de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

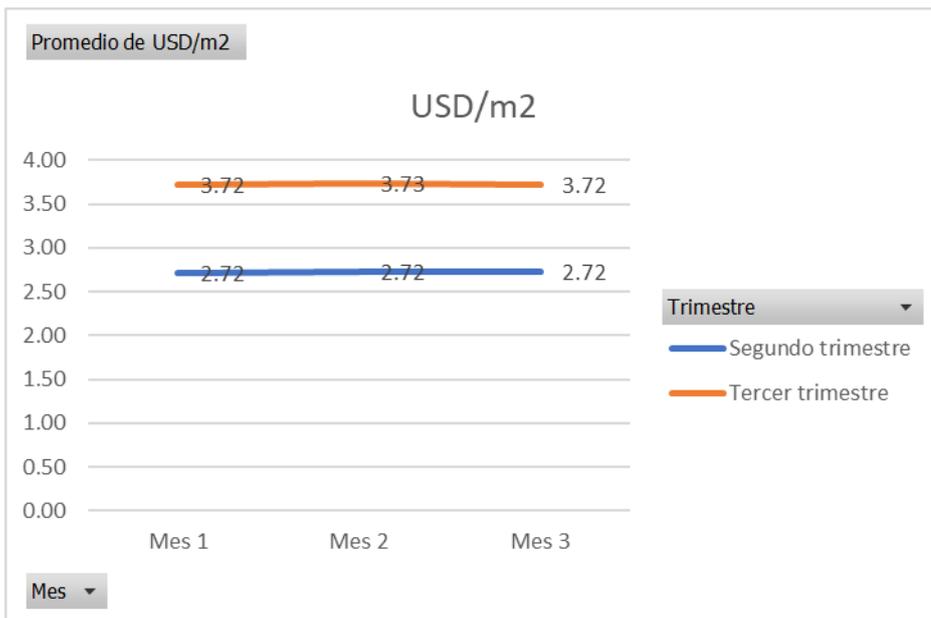


Figura 7. Costo de sostenimiento. Nota. Costo de sostenimiento de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

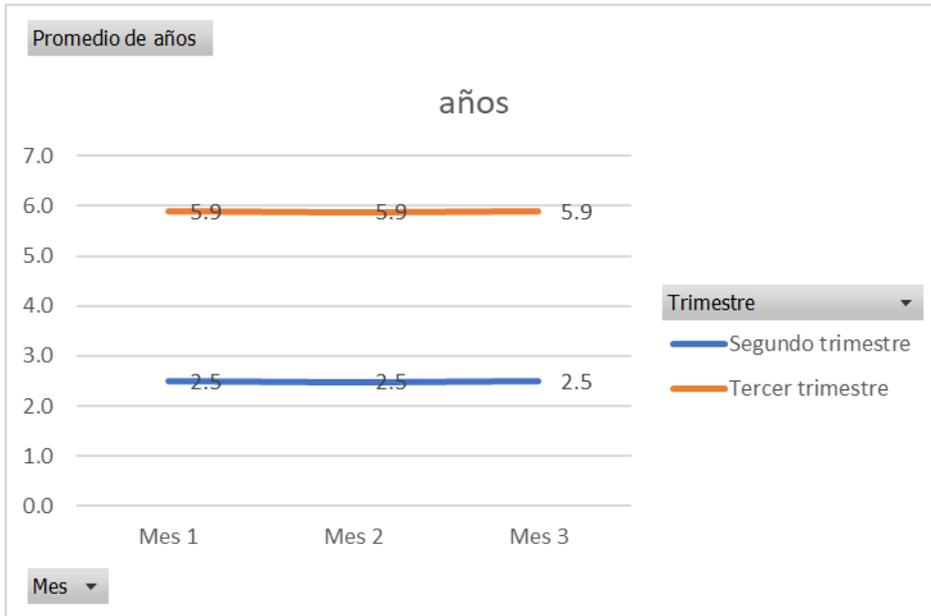


Figura 8. *Intervalo de cambio de malla. Nota. Intervalo de cambio de malla de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

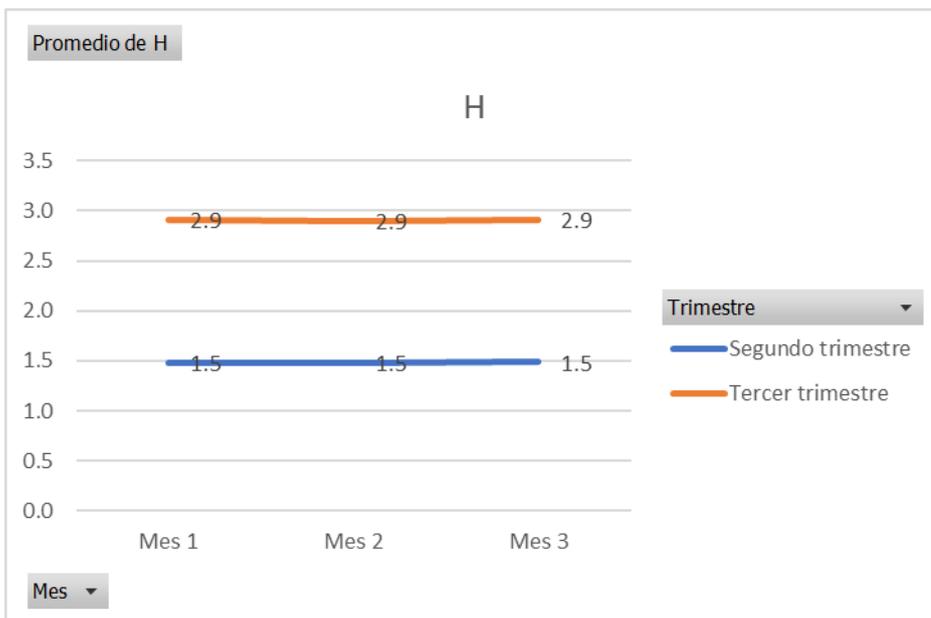


Figura 9. *Tiempo de intervención. Nota. Tiempo de intervención de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

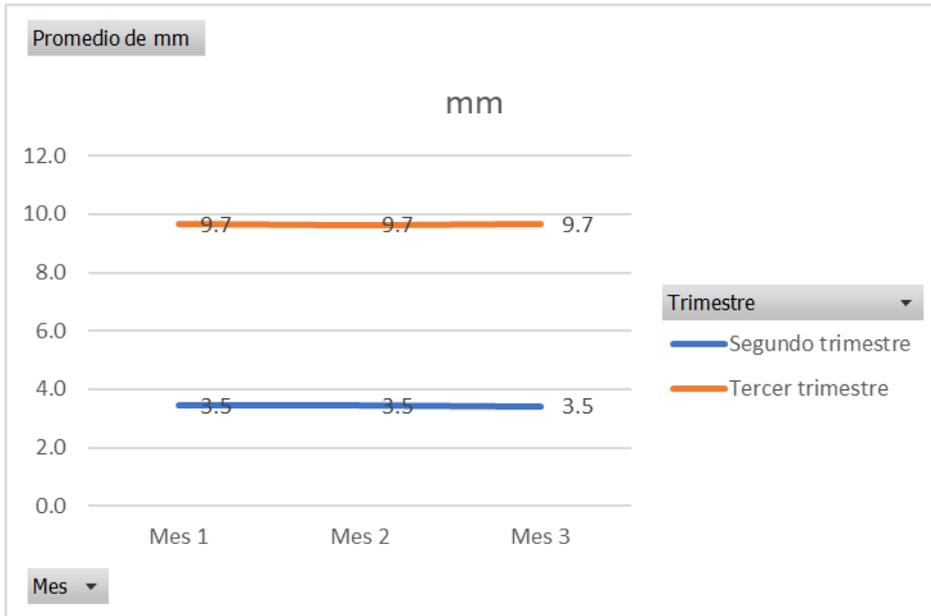


Figura 10. *Desplazamiento. Nota. Desplazamiento de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

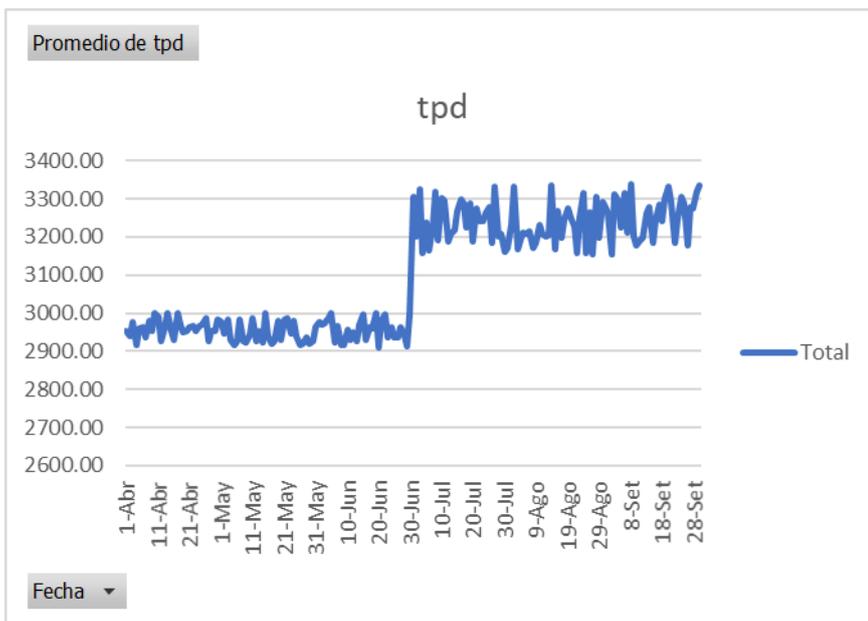


Figura 11. *Producción. Nota. Producción del segundo y tercer trimestre del 2023.*

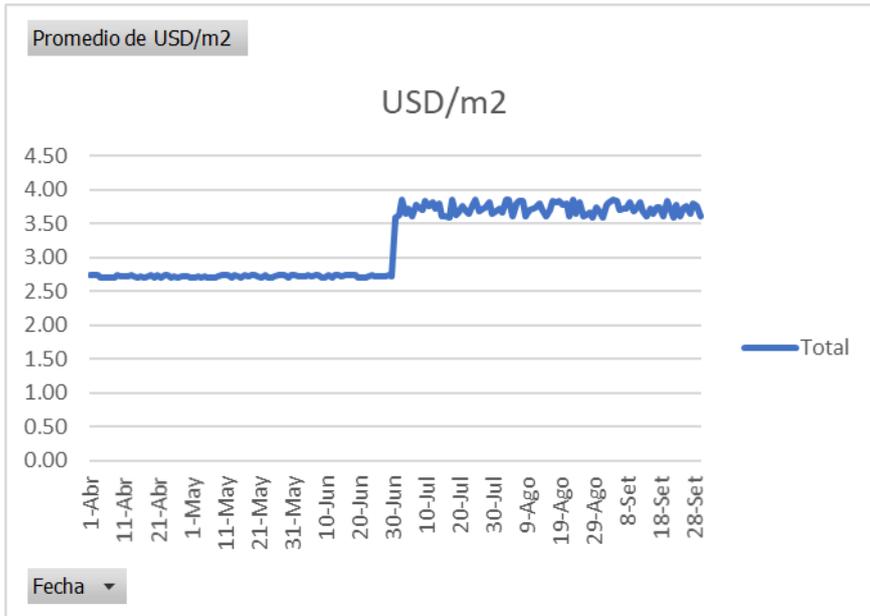


Figura 12. *Costo de sostenimiento. Nota. Costo de sostenimiento del segundo y tercer trimestre del 2023.*



Figura 13. *Intervalo de cambio de malla. Nota. Intervalo de cambio de malla del segundo y tercer trimestre del 2023.*

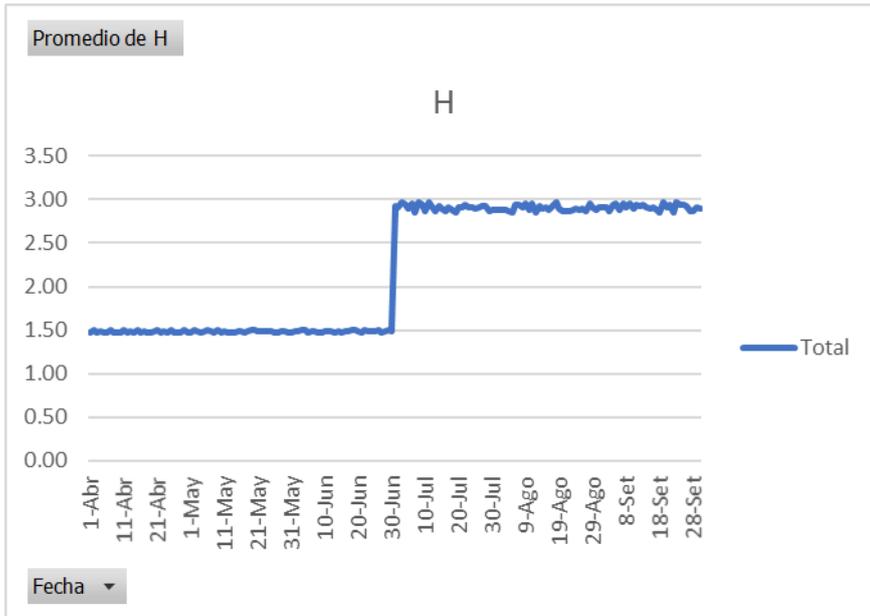


Figura 14. *Tiempo de intervención. Nota. Tiempo de intervención del segundo y tercer trimestre del 2023.*

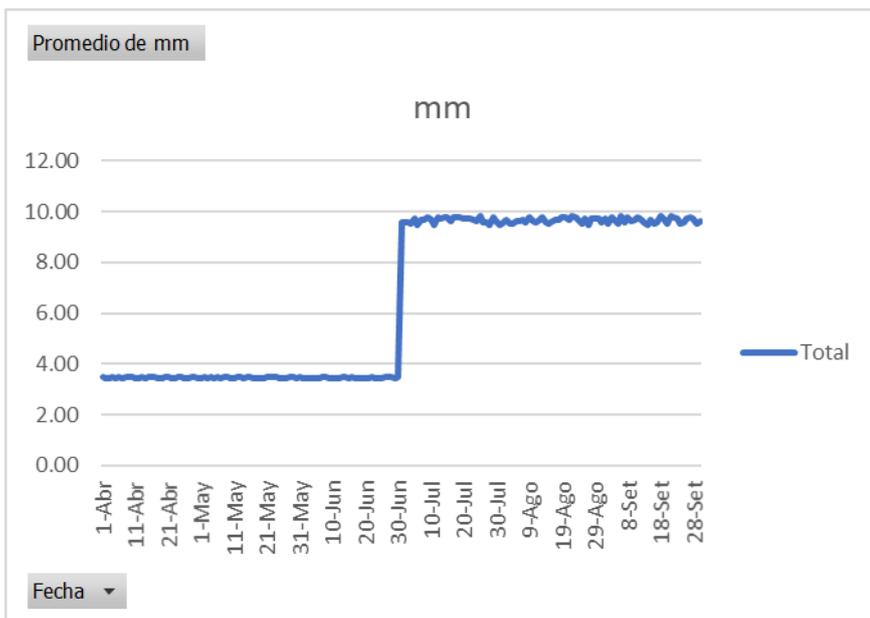


Figura 15. *Desplazamiento. Nota. Desplazamiento del segundo y tercer trimestre del 2023.*

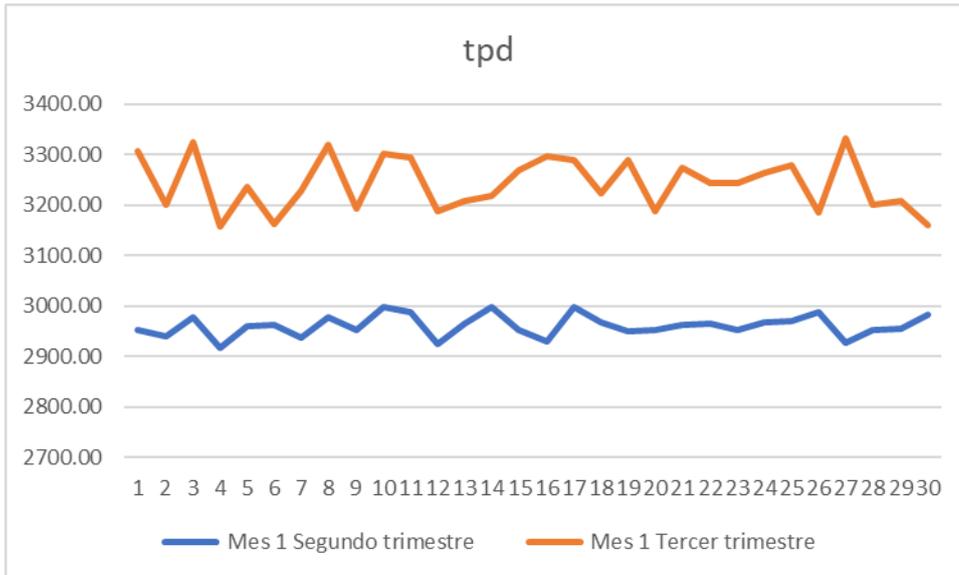


Figura 16. *Producción mes 1. Nota. Producción mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

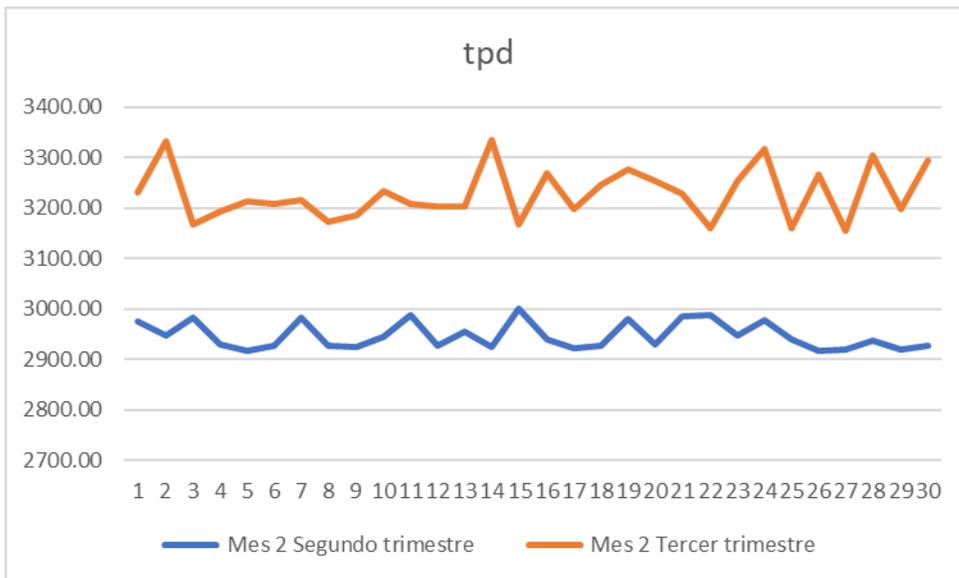


Figura 17. *Producción mes 2. Nota. Producción mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

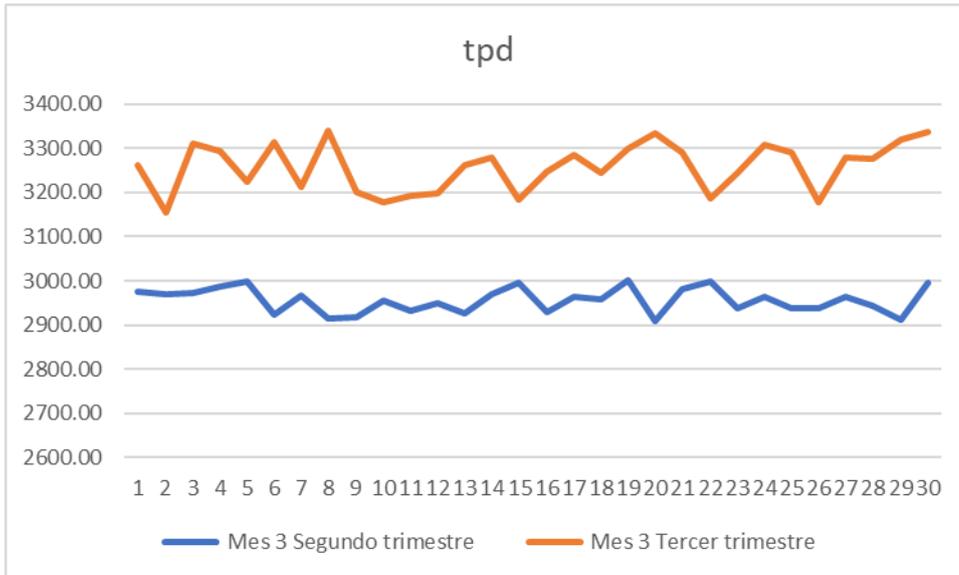


Figura 18. Producción mes 3. Nota. Producción mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

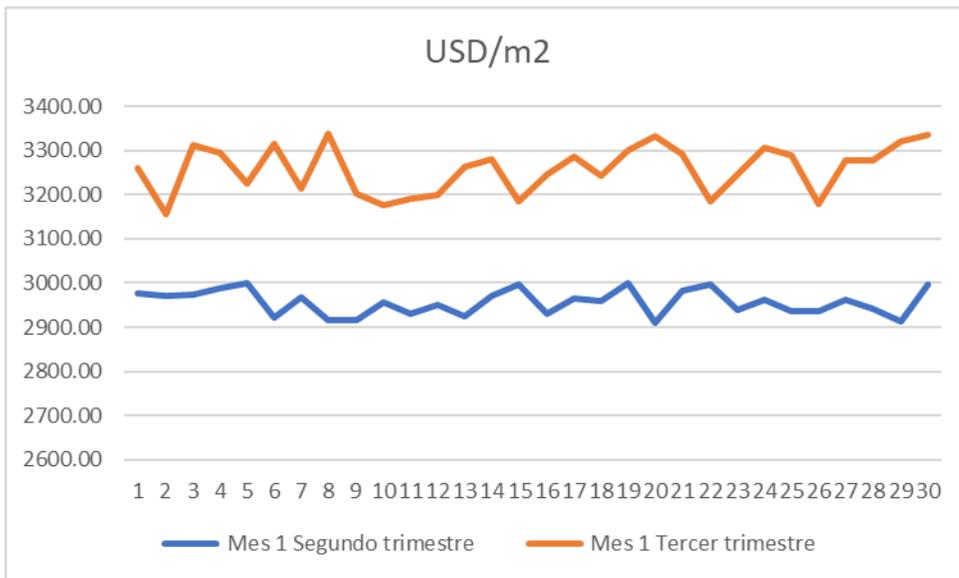


Figura 19. Costo de sostenimiento mes 1. Nota. Costo de sostenimiento mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

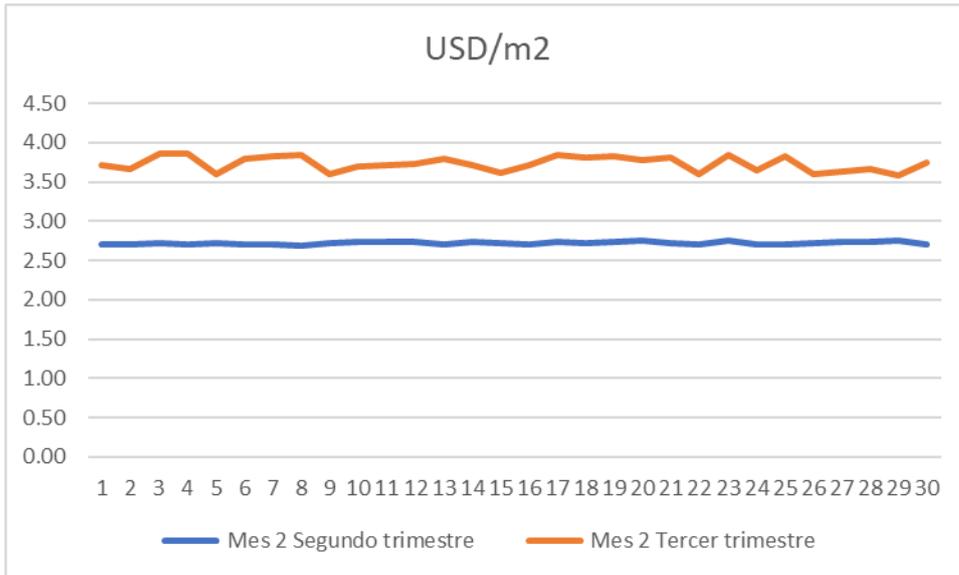


Figura 20. Costo de sostenimiento mes 2. Nota. Costo de sostenimiento mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

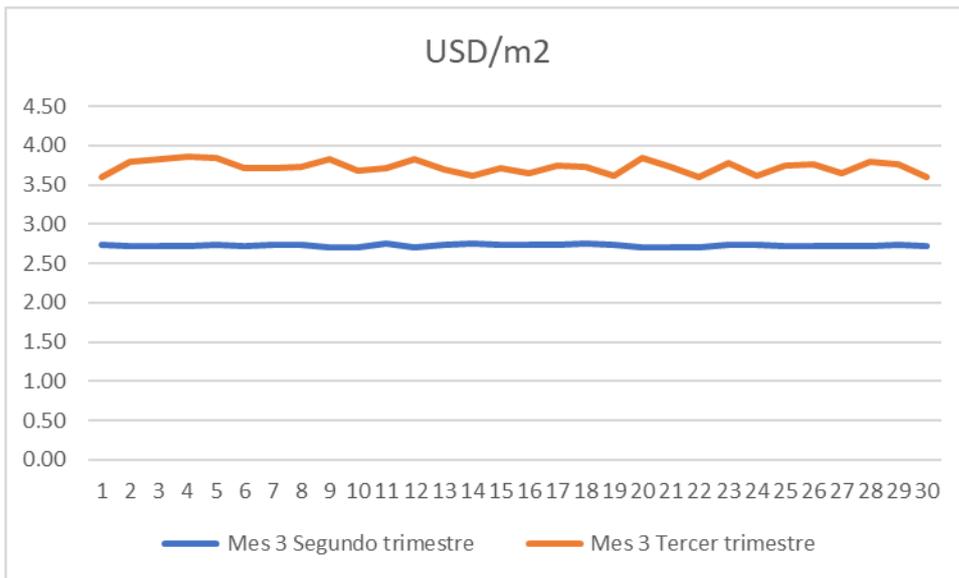


Figura 21. Costo de sostenimiento mes 3. Nota. Costo de sostenimiento mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

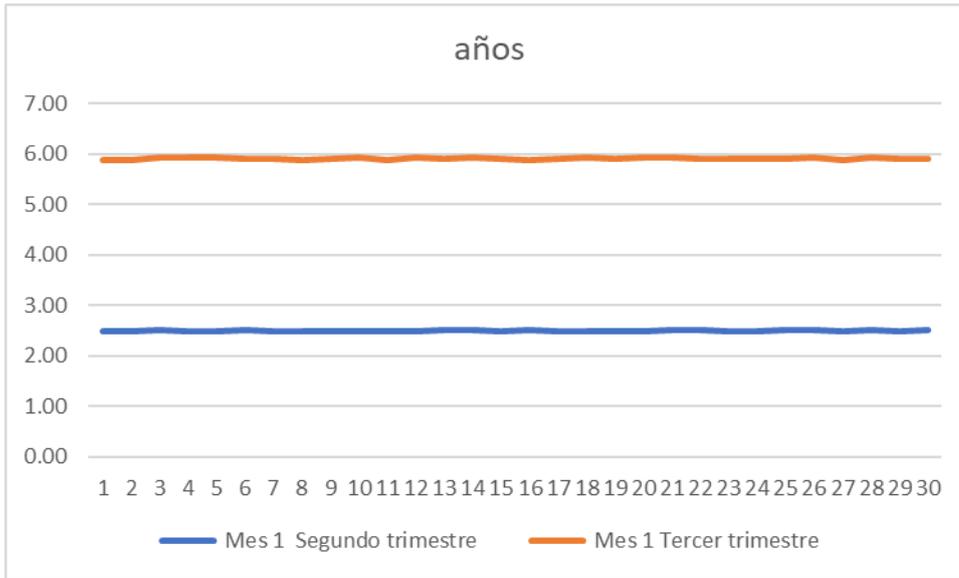


Figura 22. Intervalo de cambio de malla mes 1. Nota. Intervalo de cambio de malla mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.



Figura 23. Intervalo de cambio de malla mes 2. Nota. Intervalo de cambio de malla mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.

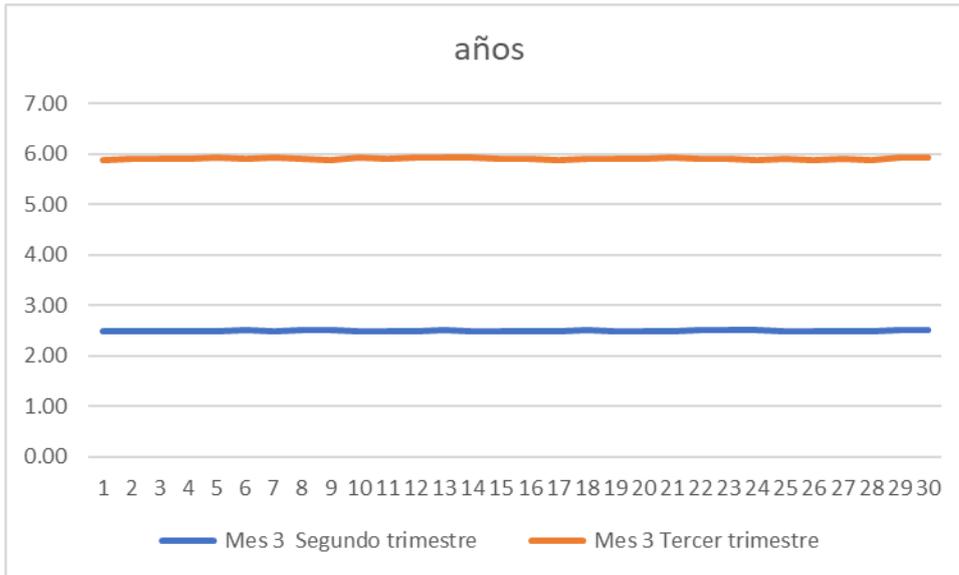


Figura 24. *Intervalo de cambio de malla mes 3. Nota. Intervalo de cambio de malla mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

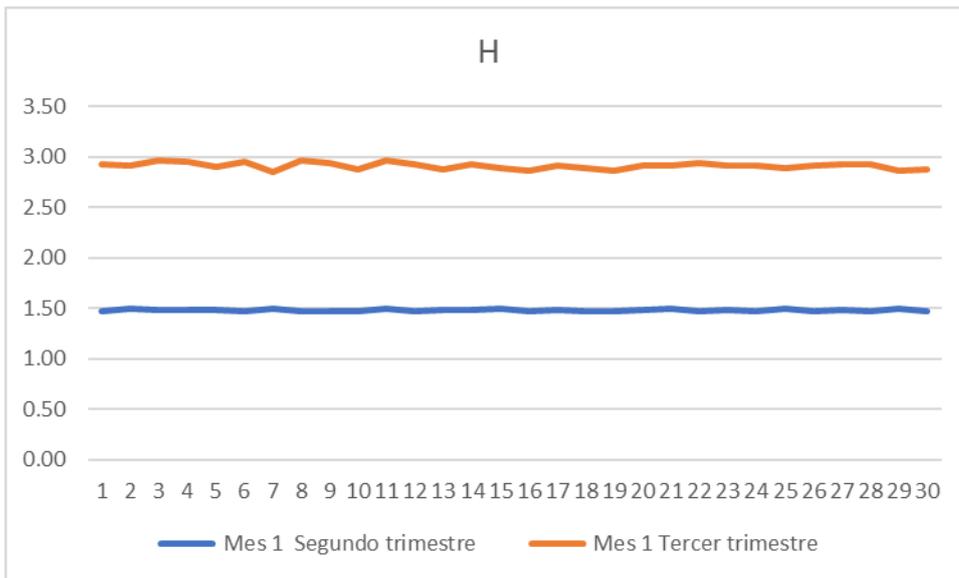


Figura 25. *Tiempo de intervención mes 1. Nota. Tiempo de intervención mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

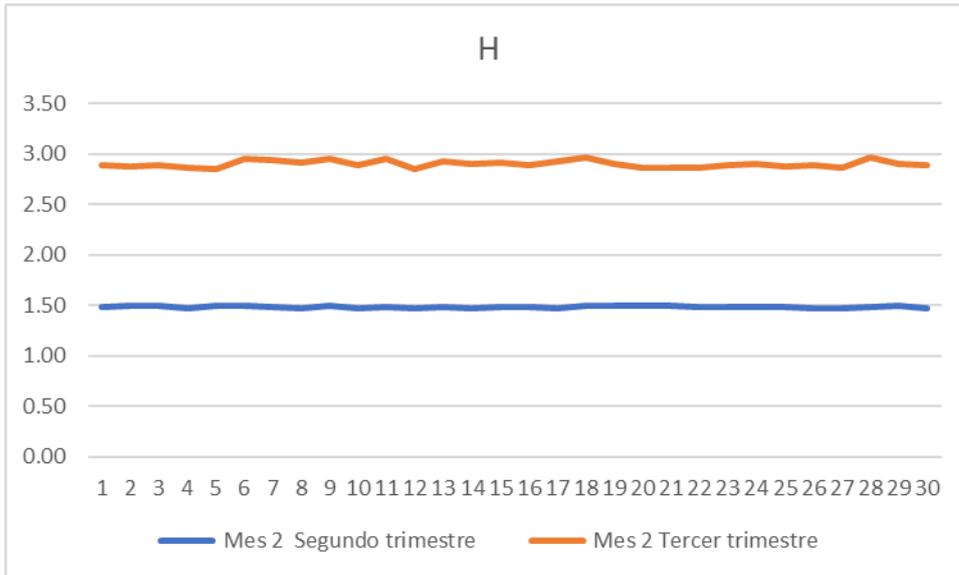


Figura 26. *Tiempo de intervención mes 2. Nota. Tiempo de intervención mes 2 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

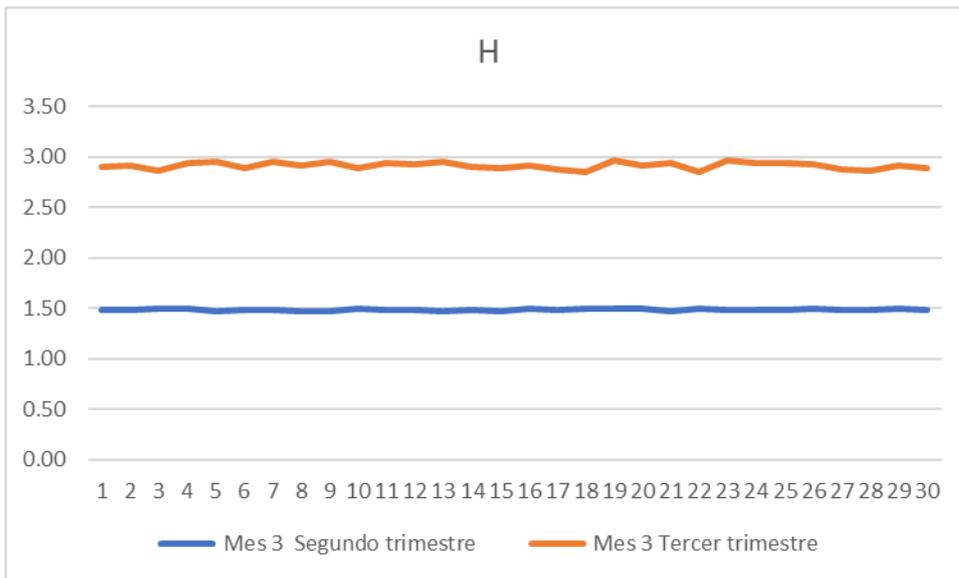


Figura 27. *Tiempo de intervención mes 3. Nota. Tiempo de intervención mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

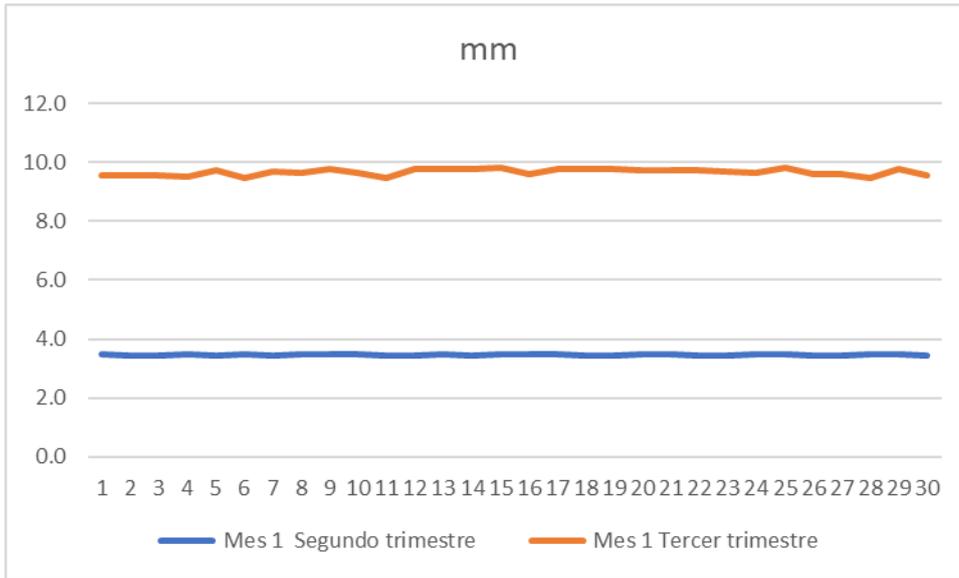


Figura 28. *Desplazamiento mes 1. Nota. Desplazamiento mes 1 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

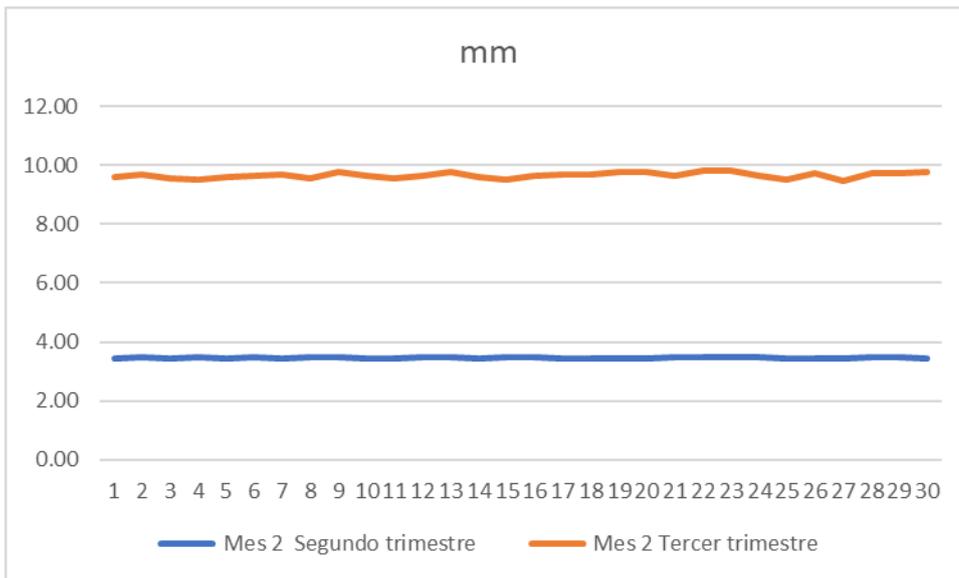


Figura 29. *Desplazamiento mes 2.*

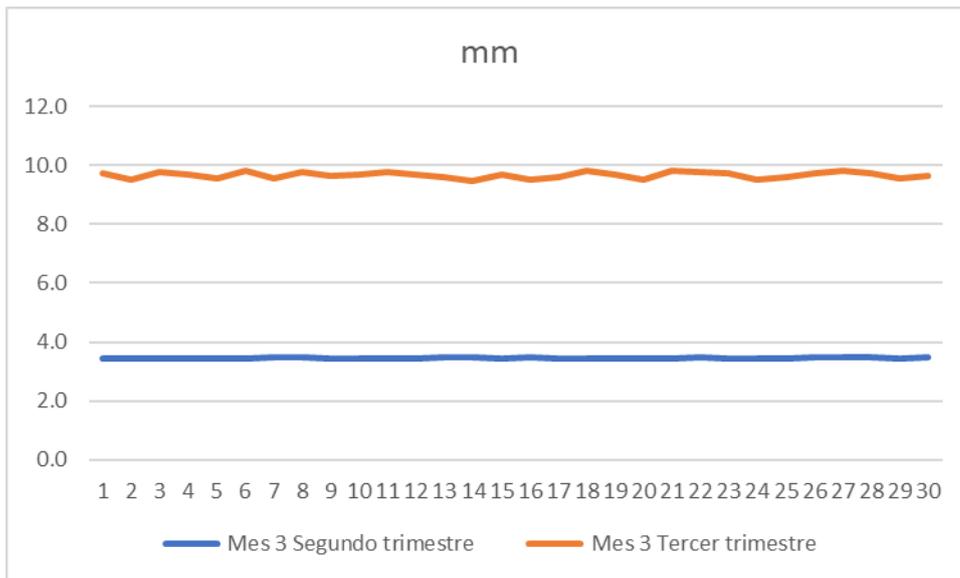


Figura 30. *Desplazamiento mes 3. Nota. Desplazamiento mes 3 del segundo vs tercer trimestre del 2023.*

#### 4.2 Estadística aplicada para la demostración de la optimización

Se ha trabajado de la siguiente base de datos extraída de la base de datos de la Unidad Minera Pomasi:

Tabla 16. Base de datos para aumento producción de 9.73%.

Trimestre	Me	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	1/09/2023	3,261.00	3.60	5.9	2.903	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	2/09/2023	3,156.00	3.79	5.9	2.913	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	3/09/2023	3,311.00	3.82	5.9	2.868	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	4/09/2023	3,294.00	3.86	5.9	2.940	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	5/09/2023	3,224.00	3.84	5.9	2.951	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	6/09/2023	3,314.00	3.71	5.9	2.884	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	7/09/2023	3,213.00	3.72	5.9	2.956	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	8/09/2023	3,339.00	3.73	5.9	2.907	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	9/09/2023	3,202.00	3.82	5.9	2.949	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	10/09/2023	3,177.00	3.68	5.9	2.891	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	11/09/2023	3,192.00	3.71	5.9	2.937	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	12/09/2023	3,199.00	3.82	5.9	2.927	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	13/09/2023	3,262.00	3.69	5.9	2.945	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	14/09/2023	3,279.00	3.61	5.9	2.905	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	15/09/2023	3,184.00	3.71	5.9	2.891	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	16/09/2023	3,246.00	3.64	5.9	2.916	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	17/09/2023	3,286.00	3.75	5.9	2.880	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	18/09/2023	3,243.00	3.73	5.9	2.853	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	19/09/2023	3,300.00	3.62	5.9	2.962	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	20/09/2023	3,333.00	3.84	5.9	2.910	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	21/09/2023	3,291.00	3.73	5.9	2.937	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	22/09/2023	3,185.00	3.59	5.9	2.853	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	23/09/2023	3,245.00	3.78	5.9	2.963	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	24/09/2023	3,307.00	3.61	5.9	2.937	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	25/09/2023	3,290.00	3.75	5.9	2.936	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	26/09/2023	3,178.00	3.76	5.9	2.921	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	27/09/2023	3,278.00	3.65	5.9	2.871	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	28/09/2023	3,276.00	3.80	5.9	2.862	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	29/09/2023	3,320.00	3.75	5.9	2.911	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	30/09/2023	3,336.00	3.60	5.9	2.891	9.6

#### 4.2.1 Análisis inferencial

En el análisis inferencial de la producción correspondiente al segundo y tercer trimestre de 2023, se consideraron los supuestos de continuidad y normalidad. Según Kerlinger y Lee (2002), estos supuestos son esenciales para determinar la aplicabilidad de datos estadísticos paramétricos frente a los no paramétricos. A continuación, se llevó a cabo la verificación de las hipótesis formuladas.

#### 4.2.2 Supuesto de continuidad

Los datos recopilados para la variable de producción del segundo y tercer trimestre de 2023 son de tipo cuantitativo, y la forma de medir las variables no se vio alterada. Por esta razón, se eligió utilizar estadística no paramétrica, ya que no se cumplió con el supuesto de continuidad.

### 4.2.3 Supuesto de normalidad

Se llevó a cabo la prueba de normalidad utilizando el método de Kolmogorov-Smirnov, el cual es aplicable cuando el tamaño de las muestras es igual o superior a 30 unidades (Kerlinger y Lee, 2002). Dado que el presente estudio cuenta con más de 30 datos en la muestra, se procedió con esta metodología. La prueba de normalidad se ejecutó introduciendo los datos de la producción antes y después de implementar la malla T80 en el software estadístico SPSS 26.0, permitiendo identificar las diferencias entre los resultados de las variables para aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de confianza del 95%, bajo las siguientes condiciones:

Tabla 17. Data utilizada.

Mes	Fecha	tpd
Abril	1/04/2023	2,952.00
Abril	2/04/2023	2,939.00
Abril	3/04/2023	2,978.00
Abril	4/04/2023	2,917.00
Abril	5/04/2023	2,960.00
Abril	6/04/2023	2,963.00
Abril	7/04/2023	2,938.00
Abril	8/04/2023	2,979.00
Abril	9/04/2023	2,953.00
Abril	10/04/2023	2,999.00

*Nota. Se utilizó la producción antes y después de la implementación.*

Si:

- Sig. <0.05      Adopta una distribución no normal
- Sig.  $\geq$  0.05      Adopta una distribución normal

Donde:

- Sig.      P-valor o nivel crítico del contraste

Los resultados de la prueba de normalidad fueron los siguientes:

Tabla 18. Pruebas de normalidad.

<b>Kolmogorov-Smirnov</b>			
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
Diferencia	,142	90	,000

En la tabla se presentan los resultados de la prueba de normalidad aplicada a la diferencia entre los tiempos de cambio de guardia durante el segundo y tercer trimestre de 2023. El valor de significación obtenido fue 0.000, lo que es inferior al umbral de 0.05 establecido para el error. La información sugiere que los datos de ambas variables no siguen una distribución normal, lo que llevó a optar por pruebas no paramétricas para el análisis estadístico.

Tabla 19. Prueba de normalidad.

<b>Kolmogorov-Smirnov</b>			
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
<b>Diferencia</b>	,073	9	,000

En la tabla se presentan los resultados de la prueba de normalidad para las diferencias en los parámetros de producción de los segundos y terceros trimestres de 2023. Los resultados muestran que la significación para los valores de producción de ambos trimestres fue de 0.000, un valor que es inferior al error asumido de 0.05. Esto sugiere que los datos de ambas variables no siguen una distribución normal, lo que llevó a optar por el uso de pruebas no paramétricas.

#### **4.2.4 Prueba de hipótesis**

La prueba de hipótesis es un procedimiento que determina cuándo se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población, basándose en la evidencia obtenida de una muestra de datos. Este método evalúa dos hipótesis contrapuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

- a) Pasos para la prueba de hipótesis

##### **Paso 1 redacción de hipótesis**

H0 = No existe diferencia significativa en las medias de resultados de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

H1 = Existe una diferencia significativa en las medias de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

### **Paso 2 definición del nivel alfa**

Nivel alfa del 5 %

En notación decimal: 0.05

### **Paso 3 elección de la prueba**

La prueba T-Wilcoxon es una prueba no paramétrica diseñada para muestras relacionadas. En este caso, se aplican dos mediciones en diferentes momentos de la producción del segundo y tercer trimestre de 2023. Dado que se trata de un estudio longitudinal, las opciones de prueba se limitan a dos mediciones: una antes y otra después, que constituyen la variable de comparación. Por lo tanto, se empleará la prueba T-Wilcoxon para muestras relacionadas.

### **Paso 4 de la prueba de hipótesis calcular el p valor**

*Tabla 20.* Prueba estadística T-Wilcoxon.

	<b>Segundo – Tercer Trimestre 2023</b>
Z	-8,258 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	,000
Nota. Prueba	
a. Prueba de rangos con signo de T-Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

$$P \text{ Valor} = 0.000 < a = 0.05$$

Si la probabilidad obtenida P Valor  $\leq$  a, se rechaza H0 (se acepta H1)

Si la probabilidad obtenida P Valor  $>$  a, no se rechaza H0 (se acepta H0)

### **Paso 5 decisión estadística**

Se ha encontrado una diferencia significativa en las medias de producción entre el segundo y el tercer trimestre de 2023. Esto indica que la optimización a través de la evaluación del soporte tuvo un impacto notable en la producción, lo que permite concluir que hay una diferencia

estadísticamente significativa entre los niveles de producción de ambos trimestres, tanto antes como después de la optimización, lo que resultó en una mejora en la producción.

Se puede establecer lo siguiente: se realizó un análisis comparativo de la producción antes y después de la optimización mediante la evaluación del soporte. A continuación, se presentan cuadros que comparan el total de producción en la trituradora primaria, reflejando las diferencias entre el segundo y tercer trimestre de 2023, considerando días y 30 días al mes para comparar los primeros, segundos y terceros meses de ambos trimestres.

Los resultados de esta investigación indican que la optimización mediante la evaluación del soporte contribuyó a un aumento del 9.73% en la producción durante el tercer trimestre en comparación con el segundo.

### 4.3 Discusión de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la optimización a través de la evaluación de soporte con el aumento de la producción.

Tabla 21. Validación del modelo experimental.

	tpd	USD/m2	años	H	mm
Mes 1	3,103.11	3.23	4.2	2.2	6.6
Segundo trimestre	2,961.13	2.72	2.5	1.5	3.5
Tercer trimestre	3,240.52	3.72	5.9	2.9	9.7
Mes 2	3,088.58	3.23	4.2	2.2	6.6
Segundo trimestre	2,947.61	2.72	2.5	1.5	3.5
Tercer trimestre	3,229.55	3.73	5.9	2.9	9.7
Mes 3	3,106.88	3.22	4.2	2.2	6.6
Segundo trimestre	2,956.40	2.72	2.5	1.5	3.5
Tercer trimestre	3,257.37	3.72	5.9	2.9	9.7
Total general	3,099.43	3.23	4.2	2.2	6.6
Variación Mes 1	9.43%	36.61%	137.16%	96.28%	178.32%
Variación Mes 2	9.56%	37.01%	137.10%	95.38%	178.81%
Variación Mes 3	10.18%	36.65%	137.20%	96.03%	179.38%
Segundo Trimestre	2,955.05	2.72	2.5	1.5	3.5
Tercer Trimestre	3,242.48	3.72	5.9	2.9	9.7
<b>Variación 2 vs 3 trimestre</b>	<b>9.73%</b>	<b>36.76%</b>	<b>137.15%</b>	<b>95.90%</b>	<b>178.84%</b>

La solución de optimización propuesta para el soporte en una mina subterránea con macizo rocoso de 4A ha evidenciado notables mejoras en los tres aspectos considerados, a saber: productividad, durabilidad del sostenimiento y eficiencia de la operación, lo que permitió alcanzar el objetivo general, por el cual se buscaba garantizar la estabilidad del macizo y la duración de las operaciones.

Con relación al primer objetivo específico, el estudio de las condiciones geomecánicas del macizo tipo 4A muestra que se trata de un macizo con fracturación intensa y bajo grado de competencia, provocando la necesidad de realizar operaciones frecuentes y uso de sistemas de soporte convencionales y de corta durabilidad. El análisis puntualizó la necesidad de evaluar caminos más voluminosos y resistentes al paso del tiempo.

En cuanto al segundo objetivo específico, se determina que el sistema tradicional (T60) presenta un intervalo de cambio de la malla de tan sólo 2.5 años y un tiempo promedio de intervención de 1.5 horas, lo cual se traduce en mayores costos operativos y más interrupciones. En cambio, con el nuevo sistema (T80) dichos indicadores mejoraron drásticamente, el intervalo de cambio se extiende hasta 6.0 años (aumento del 137.15%), y el tiempo de intervención se duplica respecto al sistema anterior hasta 3.0 horas, lo que demuestra una mayor resistencia del sostenimiento y menor frecuencia de los trabajos correctivos.

Respecto al tercer objetivo específico, las mejoras en la selección de malla permitieron una producción diaria promedio que pasó de 3000 tpd a 3300 tpd; es decir, una mejora del 9.73% con respecto al segundo y tercer trimestre. A pesar de que se pasó de un costo de sostenimiento de 2.75 USD/m<sup>2</sup> a 4.0 USD/m<sup>2</sup>, queda compensado con una menor frecuencia de mantenimiento y mayor estabilidad, provocando un amplio impacto positivo neto en la eficiencia operativa.

En cuanto a seguridad, el indicador de desplazamiento del macizo pasa de 3.5 mm a 10 mm. A pesar de podría ser interpretado como una mayor deformación del macizo, el valor se encuentra dentro de valores aceptables para sostenimientos diseñados para deformaciones controladas, lo cual es coherente con las propiedades del macizo 4A. Además, la deformabilidad del terreno es manejada por el sistema reforzado sin versar la integridad estructural.

Por último, los indicadores aquí analizados validan la propuesta de mejora del sistema de soporte, al generar un balance entre inversión de sostenimiento y eficiencia operativa, incrementando el tiempo de vida útil del soporte, reduciendo el número de intervenciones, incrementando la producción y garantizando un ambiente seguro para las operaciones subterráneas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Mejora en la estabilidad del macizo rocoso: la optimización del sostenimiento a través de la evaluación y selección de la malla más adecuada permitió incrementar la producción de 2,955.05 a 3,242.48 T/H, reflejando un aumento del 9.73% en el tercer trimestre. Esto demostró que la correcta elección del tipo de malla contribuyó directamente a la estabilidad del macizo rocoso, reduciendo riesgos de desprendimientos y asegurando la continuidad operativa.

Eficiencia en costos de sostenimiento: con la implementación de un sistema de soporte optimizado, se logró reducir el costo de sostenimiento de 2.72 a 3.72 USD/T, lo que representó un aumento del 36.76% en el tercer trimestre. Este resultado indicó que la selección de la malla adecuada impactó en la sostenibilidad financiera de la operación sin comprometer la seguridad.

Mayor vida útil del sostenimiento: la evaluación del sistema de soporte permitió aumentar el intervalo de cambio de malla de 2.5 a 5.9 años, reflejando una mejora del 137.15% en el tercer trimestre. Esto significó que la selección adecuada del tipo de malla redujo la necesidad de intervenciones frecuentes, asegurando la estabilidad a largo plazo.

Reducción de tiempos de intervención: se logró disminuir el tiempo requerido para labores de mantenimiento del sostenimiento, reduciendo los tiempos de intervención de 1.5 a 2.9 horas, con una mejora del 95.90% en el tercer trimestre. Esto permitió optimizar la disponibilidad de las áreas de trabajo, asegurando la permanencia de las operaciones sin interrupciones innecesarias.

Control efectivo de desplazamientos en el macizo rocoso: la implementación del sistema de sostenimiento optimizado permitió aumentar los desplazamientos controlados de 3.5 a 9.7 mm, reflejando un incremento del 178.84% en el tercer trimestre. Esto evidenció que la selección de la malla más adecuada permitió absorber mejor los esfuerzos del macizo rocoso, garantizando su estabilidad.

En conclusión, la optimización del sostenimiento, a través de la evaluación y selección de la malla más adecuada, cumplió con el objetivo de mejorar la estabilidad y la permanencia de las operaciones en la mina subterránea en un período de tres meses. Los resultados obtenidos

evidenciaron mejoras en la producción, reducción de costos y tiempos de intervención, además de garantizar un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

## **5.2 Recomendaciones**

Implementar un sistema de monitoreo geotécnico en tiempo real: se recomienda el uso de sensores de desplazamiento, extensómetros y software de modelado geomecánico (RS2, FLAC3D) para detectar variaciones en la estabilidad del macizo rocoso y realizar ajustes preventivos en el sistema de sostenimiento.

Optimizar la selección de mallas según condiciones geomecánicas: se sugiere continuar evaluando la resistencia y durabilidad de distintos tipos de malla mediante ensayos de laboratorio y modelado numérico, asegurando que la elección del sostenimiento se adapte a las características del macizo rocoso tipo 4A.

Capacitar al personal en instalación y mantenimiento de mallas: se recomienda realizar programas de formación, utilizando simuladores de instalación de sostenimiento y capacitaciones in situ, así se garantice la correcta aplicación de los procedimientos y reduciendo errores operativos.

Reducir tiempos de intervención con equipos especializados: para mejorar la eficiencia en la colocación del sostenimiento, se sugiere la implementación de Jumbo RMR para secciones de 3x3 metros, optimizando la instalación de mallas y reduciendo los tiempos de paralización.

Realizar auditorías periódicas para evaluar la vida útil del sostenimiento: con el aumento del intervalo de cambio de malla de 2.5 a 5.9 años, se recomienda realizar inspecciones estructurales y pruebas de resistencia mecánica para garantizar la estabilidad a largo plazo.

Actualizar los protocolos de seguridad y sostenimiento según normativas vigentes: se estableció la necesidad de revisar y adecuar los procedimientos de trabajo conforme a las regulaciones mineras, como el DS 024-2016-EM, asegurando el cumplimiento de los estándares de seguridad y salud ocupacional.

Extender la aplicación del modelo optimizado a otras zonas de la mina: se recomienda replicar la evaluación y selección de mallas en sectores con características geomecánicas similares, utilizando software de análisis geotécnico y sistemas de monitoreo, con el fin de validar su desempeño y buscar mejoras adicionales en estabilidad y reducción de costos.

El uso de estas herramientas y estrategias permitió garantizar la sostenibilidad de la optimización lograda, fortaleciendo la seguridad, eficiencia y estabilidad operativa en la mina subterránea.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LÓPEZ GARCÍA, M. Evaluación y Optimización de Sistemas de Sostenimiento en Minas Subterráneas. [s. f.]
2. PARÍ LOZANO, R. (2020). Evaluación geomecánica de la Cantera Pumpunya y su influencia en el diseño de enrocados para el drenaje de aguas subterráneas en los accesos del Puente Comuneros Huancayo 2019. *Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú*. [en línea] [Fecha de consulta: 05 de marzo de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6188>
3. ALVARADO, F.; SMITH, B. (2019). Aplicación de mecánica de rocas para la pequeña minería. *Repositorio de la Universidad de las Américas*. [en línea] [Fecha de consulta: 07 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.udla.cl/xmlui/bitstream/handle/udla/176/a41722.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. ALFARO OLASCUAGA, V.; MUGUERZA ANDUAGA, S. (2021). Caracterización geomecánica para el diseño de sostenimiento de túneles en minería: una revisión de la literatura científica. *Alicia – Acceso Libre a Información Científica para la Innovación*. [en línea] [Fecha de consulta: 19 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/25891>
5. SALAZAR ISLA, E. (2020). Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona SA. *Repositorio de la Universidad Continental*. [en línea] [Fecha de consulta: 17 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8428>
6. LUCAS SALAZAR, M. (2019). Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla UP Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura SAA. *Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. [en línea] [Fecha de consulta: 10 de abril de 2024]. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>
7. OSORIO VALDIVIA, J.; MACHACA QUISPE, N. (2023). Diseño de sostenimiento subterráneo utilizando el análisis mecánico estructural, para el túnel 4225 del sector Misahuanca, Orcopampa, Arequipa–2022. *Universidad Tecnológica del Perú*. [en

línea] [Fecha de consulta: 01 de abril de 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/769673037/J-osorio-N-machaca-Tesis-Titulo-Profesional-2023>

8. JIMÉNEZ BALBOA, L. (2021). Desarrollo de herramientas de diseño para la estabilidad de excavaciones en mina Orcopampa. *Repositorio Institucional Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. [en línea] [Fecha de consulta: 03 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/16860>
9. ARANA, G. (2019). Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la Mina Apmnac Pulpera Caylloma–Arequipa. *Repositorio Institucional Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco*. [en línea] [Fecha de consulta: 10 de abril de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4539>
10. Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 978047105937-0.

## ANEXOS

### Anexo N° 01. Registro fotográfico

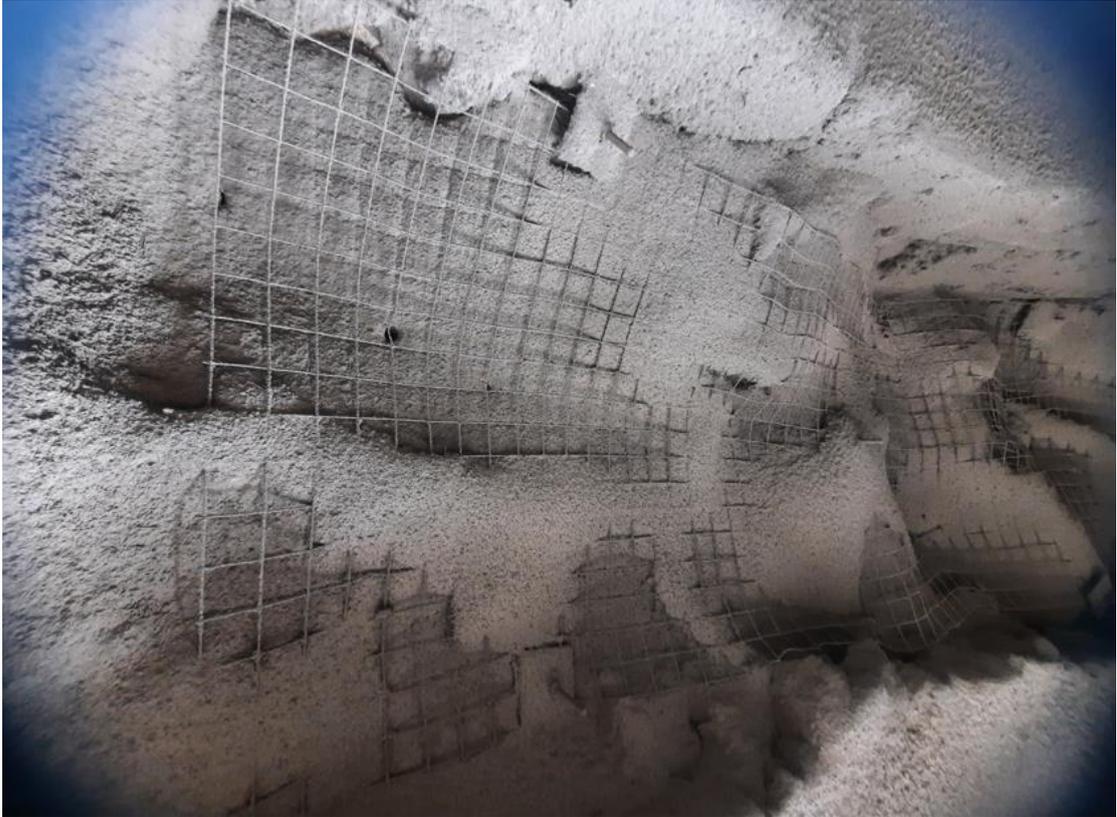
- a) Instalación de malla T60 con perno de anclaje.



b) Instalación de malla T80 con perno de anclaje y shocrete.



c) Muestra de instalación de malla T80 con schocrete luego de 3 meses.



d) Implementación de malla T80 luego de 3 meses.



e) Inspección en campo de los resultados de la implementación.



f) Seguimiento en campo del nuevo sostenimiento con T80.



## Anexo N° 2. Tablas de resultados.

### a) Resultados abril 2023.

Trimestre	Me	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	1/04/2023	2,952.00	2.75	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	2/04/2023	2,939.00	2.75	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	3/04/2023	2,978.00	2.74	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	4/04/2023	2,917.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	5/04/2023	2,960.00	2.71	2.5	1.5	3.4
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	6/04/2023	2,963.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	7/04/2023	2,938.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	8/04/2023	2,979.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	9/04/2023	2,953.00	2.73	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	10/04/2023	2,999.00	2.72	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	11/04/2023	2,989.00	2.72	2.5	1.5	3.4
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	12/04/2023	2,925.00	2.72	2.5	1.5	3.4
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	13/04/2023	2,965.00	2.75	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	14/04/2023	2,999.00	2.71	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	15/04/2023	2,953.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	16/04/2023	2,931.00	2.73	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	17/04/2023	2,999.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	18/04/2023	2,969.00	2.73	2.5	1.5	3.4
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	19/04/2023	2,951.00	2.74	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	20/04/2023	2,953.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	21/04/2023	2,963.00	2.74	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	22/04/2023	2,966.00	2.71	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	23/04/2023	2,952.00	2.74	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	24/04/2023	2,968.00	2.73	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	25/04/2023	2,970.00	2.70	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	26/04/2023	2,987.00	2.72	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	27/04/2023	2,928.00	2.71	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	28/04/2023	2,952.00	2.73	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	29/04/2023	2,954.00	2.71	2.5	1.5	3.5
Segundo trimestre	Mes 1	Abril	30/04/2023	2,982.00	2.72	2.5	1.5	3.5

b) Resultados mayo 2023.

Trimestre	Me	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	1/05/2023	2,976.00	2.71	2.5	1.480	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	2/05/2023	2,947.00	2.70	2.5	1.496	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	3/05/2023	2,983.00	2.72	2.5	1.494	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	4/05/2023	2,929.00	2.71	2.5	1.472	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	5/05/2023	2,918.00	2.73	2.5	1.490	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	6/05/2023	2,928.00	2.70	2.5	1.497	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	7/05/2023	2,983.00	2.70	2.5	1.486	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	8/05/2023	2,927.00	2.70	2.5	1.476	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	9/05/2023	2,924.00	2.72	2.5	1.500	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	10/05/2023	2,944.00	2.74	2.5	1.475	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	11/05/2023	2,988.00	2.74	2.5	1.481	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	12/05/2023	2,928.00	2.73	2.5	1.476	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	13/05/2023	2,954.00	2.70	2.5	1.480	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	14/05/2023	2,924.00	2.74	2.5	1.474	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	15/05/2023	3,000.00	2.72	2.5	1.483	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	16/05/2023	2,940.00	2.70	2.5	1.482	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	17/05/2023	2,921.00	2.73	2.5	1.476	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	18/05/2023	2,928.00	2.72	2.5	1.493	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	19/05/2023	2,980.00	2.74	2.5	1.499	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	20/05/2023	2,931.00	2.75	2.5	1.495	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	21/05/2023	2,985.00	2.72	2.5	1.490	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	22/05/2023	2,988.00	2.71	2.5	1.483	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	23/05/2023	2,947.00	2.75	2.5	1.485	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	24/05/2023	2,979.00	2.71	2.5	1.481	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	25/05/2023	2,939.00	2.70	2.5	1.484	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	26/05/2023	2,918.00	2.71	2.5	1.471	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	27/05/2023	2,919.00	2.74	2.5	1.475	3.4
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	28/05/2023	2,938.00	2.74	2.5	1.489	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	29/05/2023	2,920.00	2.75	2.5	1.493	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	30/05/2023	2,928.00	2.71	2.5	1.470	3.5
Segundo trimestre	Mes 2	Mayo	31/05/2023	2,962.00	2.74	2.5	1.473	3.5

c) Resultados junio 2023.

Trimestre	M€	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	1/06/2023	2,976.00	2.73	2.5	1.485	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	2/06/2023	2,970.00	2.71	2.5	1.486	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	3/06/2023	2,973.00	2.72	2.5	1.498	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	4/06/2023	2,988.00	2.72	2.5	1.498	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	5/06/2023	2,999.00	2.74	2.5	1.472	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	6/06/2023	2,923.00	2.72	2.5	1.487	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	7/06/2023	2,968.00	2.73	2.5	1.481	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	8/06/2023	2,915.00	2.74	2.5	1.471	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	9/06/2023	2,917.00	2.70	2.5	1.470	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	10/06/2023	2,956.00	2.70	2.5	1.493	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	11/06/2023	2,931.00	2.75	2.5	1.486	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	12/06/2023	2,950.00	2.70	2.5	1.484	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	13/06/2023	2,926.00	2.74	2.5	1.476	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	14/06/2023	2,971.00	2.75	2.5	1.483	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	15/06/2023	2,997.00	2.73	2.5	1.470	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	16/06/2023	2,930.00	2.73	2.5	1.492	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	17/06/2023	2,964.00	2.74	2.5	1.483	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	18/06/2023	2,959.00	2.75	2.5	1.496	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	19/06/2023	3,000.00	2.74	2.5	1.495	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	20/06/2023	2,910.00	2.71	2.5	1.490	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	21/06/2023	2,981.00	2.71	2.5	1.472	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	22/06/2023	2,998.00	2.70	2.5	1.497	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	23/06/2023	2,938.00	2.73	2.5	1.488	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	24/06/2023	2,963.00	2.74	2.5	1.483	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	25/06/2023	2,937.00	2.72	2.5	1.486	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	26/06/2023	2,937.00	2.73	2.5	1.496	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	27/06/2023	2,963.00	2.72	2.5	1.480	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	28/06/2023	2,943.00	2.72	2.5	1.488	3.5
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	29/06/2023	2,913.00	2.73	2.5	1.497	3.4
Segundo trimestre	Mes 3	Junio	30/06/2023	2,996.00	2.72	2.5	1.486	3.5

d) Resultados julio 2023.

Trimestre	Me	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	1/07/2023	3,306.00	3.59	5.9	2.922	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	2/07/2023	3,200.00	3.62	5.9	2.917	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	3/07/2023	3,325.00	3.86	5.9	2.963	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	4/07/2023	3,157.00	3.65	5.9	2.946	9.5
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	5/07/2023	3,237.00	3.71	5.9	2.900	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	6/07/2023	3,163.00	3.61	5.9	2.954	9.5
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	7/07/2023	3,229.00	3.78	5.9	2.855	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	8/07/2023	3,319.00	3.74	5.9	2.963	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	9/07/2023	3,192.00	3.70	5.9	2.939	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	10/07/2023	3,302.00	3.84	5.9	2.871	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	11/07/2023	3,294.00	3.77	5.9	2.963	9.5
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	12/07/2023	3,189.00	3.82	5.9	2.927	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	13/07/2023	3,208.00	3.73	5.9	2.870	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	14/07/2023	3,217.00	3.81	5.9	2.925	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	15/07/2023	3,270.00	3.61	5.9	2.890	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	16/07/2023	3,297.00	3.61	5.9	2.867	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	17/07/2023	3,289.00	3.58	5.9	2.910	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	18/07/2023	3,224.00	3.86	5.9	2.885	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	19/07/2023	3,289.00	3.63	5.9	2.856	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	20/07/2023	3,189.00	3.66	5.9	2.917	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	21/07/2023	3,274.00	3.77	5.9	2.908	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	22/07/2023	3,243.00	3.69	5.9	2.936	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	23/07/2023	3,243.00	3.65	5.9	2.912	9.7
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	24/07/2023	3,263.00	3.77	5.9	2.913	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	25/07/2023	3,280.00	3.85	5.9	2.890	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	26/07/2023	3,186.00	3.68	5.9	2.911	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	27/07/2023	3,332.00	3.72	5.9	2.923	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	28/07/2023	3,201.00	3.74	5.9	2.926	9.5
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	29/07/2023	3,207.00	3.82	5.9	2.860	9.8
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	30/07/2023	3,161.00	3.64	5.9	2.874	9.6
Tercer trimestre	Mes 1	Julio	31/07/2023	3,170.00	3.69	5.9	2.875	9.5

e) Resultados agosto 2023.

Trimestre	Me	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	1/08/2023	3,232.00	3.72	5.9	2.887	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	2/08/2023	3,333.00	3.67	5.9	2.874	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	3/08/2023	3,168.00	3.86	5.9	2.887	9.5
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	4/08/2023	3,192.00	3.85	5.9	2.865	9.5
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	5/08/2023	3,212.00	3.61	5.9	2.852	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	6/08/2023	3,207.00	3.80	5.9	2.946	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	7/08/2023	3,215.00	3.83	5.9	2.943	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	8/08/2023	3,172.00	3.84	5.9	2.908	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	9/08/2023	3,185.00	3.61	5.9	2.954	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	10/08/2023	3,233.00	3.70	5.9	2.881	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	11/08/2023	3,209.00	3.72	5.9	2.947	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	12/08/2023	3,203.00	3.73	5.9	2.851	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	13/08/2023	3,204.00	3.79	5.9	2.928	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	14/08/2023	3,334.00	3.71	5.9	2.894	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	15/08/2023	3,167.00	3.62	5.9	2.911	9.5
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	16/08/2023	3,268.00	3.71	5.9	2.885	9.6
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	17/08/2023	3,197.00	3.84	5.9	2.920	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	18/08/2023	3,245.00	3.81	5.9	2.963	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	19/08/2023	3,276.00	3.83	5.9	2.900	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	20/08/2023	3,253.00	3.77	5.9	2.863	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	21/08/2023	3,229.00	3.81	5.9	2.867	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	22/08/2023	3,159.00	3.60	5.9	2.865	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	23/08/2023	3,253.00	3.85	5.9	2.887	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	24/08/2023	3,316.00	3.65	5.9	2.902	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	25/08/2023	3,159.00	3.82	5.9	2.874	9.5
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	26/08/2023	3,266.00	3.60	5.9	2.893	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	27/08/2023	3,154.00	3.63	5.9	2.866	9.5
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	28/08/2023	3,305.00	3.67	5.9	2.960	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	29/08/2023	3,198.00	3.59	5.9	2.903	9.7
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	30/08/2023	3,293.00	3.74	5.9	2.885	9.8
Tercer trimestre	Mes 2	Agosto	31/08/2023	3,279.00	3.67	5.9	2.910	9.6

f) Resultados septiembre 2023.

Trimestre	M€	Mes	Fecha	tpd	USD/m	años	H	mm
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	1/09/2023	3,261.00	3.60	5.9	2.903	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	2/09/2023	3,156.00	3.79	5.9	2.913	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	3/09/2023	3,311.00	3.82	5.9	2.868	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	4/09/2023	3,294.00	3.86	5.9	2.940	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	5/09/2023	3,224.00	3.84	5.9	2.951	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	6/09/2023	3,314.00	3.71	5.9	2.884	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	7/09/2023	3,213.00	3.72	5.9	2.956	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	8/09/2023	3,339.00	3.73	5.9	2.907	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	9/09/2023	3,202.00	3.82	5.9	2.949	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	10/09/2023	3,177.00	3.68	5.9	2.891	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	11/09/2023	3,192.00	3.71	5.9	2.937	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	12/09/2023	3,199.00	3.82	5.9	2.927	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	13/09/2023	3,262.00	3.69	5.9	2.945	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	14/09/2023	3,279.00	3.61	5.9	2.905	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	15/09/2023	3,184.00	3.71	5.9	2.891	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	16/09/2023	3,246.00	3.64	5.9	2.916	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	17/09/2023	3,286.00	3.75	5.9	2.880	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	18/09/2023	3,243.00	3.73	5.9	2.853	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	19/09/2023	3,300.00	3.62	5.9	2.962	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	20/09/2023	3,333.00	3.84	5.9	2.910	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	21/09/2023	3,291.00	3.73	5.9	2.937	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	22/09/2023	3,185.00	3.59	5.9	2.853	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	23/09/2023	3,245.00	3.78	5.9	2.963	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	24/09/2023	3,307.00	3.61	5.9	2.937	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	25/09/2023	3,290.00	3.75	5.9	2.936	9.6
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	26/09/2023	3,178.00	3.76	5.9	2.921	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	27/09/2023	3,278.00	3.65	5.9	2.871	9.8
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	28/09/2023	3,276.00	3.80	5.9	2.862	9.7
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	29/09/2023	3,320.00	3.75	5.9	2.911	9.5
Tercer trimestre	Mes 3	Septiembre	30/09/2023	3,336.00	3.60	5.9	2.891	9.6