



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



**REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DEL MINERAL A  
LA PLANTA DE BENEFICIO MEDIANTE EL MANTENIMIENTO  
DE VÍA EN LA MINERA ISLAY DE LA EMPRESA CHUNGAR  
S.A.C. – CERRO DE PASCO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FRANCK ANTONNY ALANGUÍA ANCCO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



# FRANCK ANTONNY ALANGUÍA ANCCO

## REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DEL MINERAL A LA PLANTA DE BENEFICIO MEDIANTE EL MANTENIMIENTO DE

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::8254:409774299

Fecha de entrega

26 nov 2024, 1:42 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 nov 2024, 1:45 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

REDUCCIÓN\_DE\_COSTOS\_DE\_TRANSPORTE\_DEL\_MINERAL\_A\_LA\_PLANTA\_DE\_BENEFICIO\_MEDIA....docx

Tamaño de archivo

12.2 MB

90 Páginas

11,257 Palabras

63,456 Caracteres





## 12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. David Velasquez Medina  
DOCENTE F.I.M. UNAP

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





## DEDICATORIA

Con mucha gratitud a mis padres por el apoyo incondicional para realizar mis estudios profesionales.

**Franck Antony Alanguia Ancco**



## AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por la buena salud y conocimiento para realizar cada una de las etapas de vida estudiantil.

Mi agradecimiento a mis padres por el apoyo económico desinteresado para culminar mi profesión.

**Franck Antony Alanguia Ancco**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Pregunta general.....	15
1.2.2. Preguntas específicas.....	16
<b>1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>16</b>
1.3.1. Hipótesis general.....	16
1.3.2. Hipótesis específicas .....	16
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.2.1.	Vías de transporte en minería subterránea .....	21
2.2.2.	Transporte minero subterráneo.....	22
2.2.3.	Mantenimiento de vías .....	23
2.2.4.	Gestión de costos.....	25
2.2.5.	Evaluación económica.....	26
<b>2.3.</b>	<b>DEFINICIONES CONCEPTUALES .....</b>	<b>30</b>

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>35</b>
3.3.1.	Tipo de investigación .....	35
3.3.2.	Enfoque de investigación .....	35
3.3.3.	Diseño de investigación .....	36
<b>3.4.</b>	<b>POBLACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5.</b>	<b>MUESTRA.....</b>	<b>37</b>
<b>3.6.</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>37</b>
3.6.1.	Variable independiente .....	37
3.6.2.	Variable dependiente.....	37
<b>3.7.</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>38</b>
3.7.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos .....	39



3.7.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos ..... 39

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA OPERACIÓN .....</b>	<b>40</b>
4.1.1. Diagnóstico inicial de la operación .....	40
4.1.1.1. Descripción de las condiciones iniciales de la vía .....	40
4.1.1.2. Análisis de indicadores operativos Pre-Implementación .....	41
<b>4.2. IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMA DE MANTENIMIENTO DE VÍA 43</b>	
4.2.1. Descripción del esquema implementado.....	43
4.2.2. Control y seguimiento de la implementación.....	45
<b>4.3. RESULTADOS POST-IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>46</b>
4.3.1. Mejoras en las condiciones de la vía.....	46
4.3.2. Análisis De Indicadores Operativos Post-Implementación.....	47
<b>4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.4.1. Evaluación de indicadores clave .....	49
<b>4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>51</b>
4.5.1. Análisis de costos .....	52
4.5.2. Indicadores económicos .....	54
<b>4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES.....</b>	<b>60</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

**ÁREA:** Ingeniería de Minas.

**TEMA:** Reducción de costos de transporte del mineral a la planta.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 05 de diciembre de 2024.





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Ruta de acceso a la Unidad Minera.....	34
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de variables .....	38
<b>Tabla 3</b> Condiciones iniciales de la vía.....	40
<b>Tabla 4</b> Tiempos de ciclo de transporte Pre-Implementación.....	41
<b>Tabla 5</b> Consumo de combustible Pre-Implementación .....	42
<b>Tabla 6</b> Actividades de Mantenimiento Ejecutadas .....	43
<b>Tabla 7</b> Cronograma de intervenciones.....	44
<b>Tabla 8</b> Detalle de Recursos e Inversión en Mantenimiento de Vía.....	44
<b>Tabla 9</b> Tiempos de ciclo de transporte Post-Implementación.....	47
<b>Tabla 10</b> Consumo de combustible Post-Implementación.....	49
<b>Tabla 11</b> Comparativa de Indicadores Operativos Antes y Después del mantenimiento de vía.....	50
<b>Tabla 12</b> Análisis de costos antes y después del mantenimiento de vía .....	52
<b>Tabla 13</b> Resumen de Indicadores Económicos.....	59



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Comparativa de los Tiempos de Transporte Pre y Post Mantenimiento.....	50
<b>Figura 2</b> Comparativa de Consumo de Combustible Pre y Post Mantenimiento.....	51
<b>Figura 3</b> Comparativa de Costo Unitario Pre y Post Mantenimiento.....	51
<b>Figura 4</b> Análisis económico de costos Unitarios .....	54
<b>Figura 5</b> Análisis económico de consumo de combustible (USD/GUARDIA) .....	54



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1:</b> Plano De Ubicación De La Unidad Minera Islay- Cerro De Pasco.....	69
<b>ANEXO 2:</b> Geología Regional Del Área Unidad Minera Islay .....	70
<b>ANEXO 3:</b> Estado De La Vía Antes Del Mantenimiento .....	71
<b>ANEXO 4:</b> Estado De La Vía Después Del Mantenimiento.....	73
<b>ANEXO 5:</b> Costo De Para El Programa De Mantenimiento De La Vía .....	76
<b>ANEXO 6:</b> Tiempo De Ejecución Del Mantenimiento .....	83



## ACRÓNIMOS

<b>B/C</b>	: Relación Beneficio-Costo
<b>Gl</b>	: Galones
<b>Km</b>	: Kilómetro
<b>M</b>	: Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metro Cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metro Cúbico
<b>mm</b>	: Milímetro
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el Nivel del Mar
<b>S.A.</b>	: Sociedad Anónima
<b>S.A.C.</b>	: Sociedad Anónima Cerrada
<b>S/</b>	: Soles Peruanos
<b>Tm</b>	: Tonelada Métrica
<b>TIR</b>	: Tasa Interna de Retorno
<b>USD</b>	: Dólares Estadounidenses
<b>US\$/m<sup>3</sup></b>	: Dólares Estadounidenses por Metro Cúbico
<b>UTM</b>	: Universal Transversal Mercator
<b>VAN</b>	: Valor Actual Neto



## RESUMEN

La Minera Islay de la Empresa Chungar S.A.C., ubicada en Cerro de Pasco y especializada en la explotación de minerales polimetálicos mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado, enfrentaba altos costos operativos en el transporte del mineral hacia la planta de beneficio debido al deterioro de sus vías de acarreo. Esta problemática, caracterizada por tiempos prolongados de ciclo y elevado consumo de combustible, impactaba negativamente en la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras. Para abordar esta situación, se desarrolló un estudio cuasi-experimental que evaluó los indicadores clave antes y después de la implementación de un programa integral de mantenimiento vial. Los resultados demostraron que, tras las intervenciones, se logró reducir el costo unitario de transporte de 0,84 USD/m<sup>3</sup> a 0,68 USD/m<sup>3</sup> (19%), disminuir el consumo de combustible en un 15,3% y aumentar en un 26% la cantidad de viajes realizados por turno. Desde una perspectiva económica, el proyecto destacó por su viabilidad, logrando un Valor Actual Neto (VAN) de 10,532 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18% y un periodo de recuperación de inversión de solo 7 meses. Además, la relación beneficio-costos de 1,32 confirmó que por cada dólar invertido se generó un retorno de 1,32 USD, subrayando la efectividad del mantenimiento vial como estrategia para optimizar costos, aumentar la productividad y garantizar la sostenibilidad económica de las operaciones.

**Palabras clave:** Costos, mantenimiento, mineral, reducir, transporte, vía.



## ABSTRACT

The Islay Mine of Chungar S.A.C., located in Cerro de Pasco and specialized in the exploitation of polymetallic minerals using the Mechanized Ascending Cut and Fill method, faced high operating costs in the transportation of the mineral to the processing plant due to the deterioration of its transport roads. This problem, characterized by long cycle times and high fuel consumption, negatively impacted the efficiency and profitability of mining operations. To address this situation, a quasi-experimental study was developed that evaluated the key indicators before and after the implementation of a comprehensive road maintenance program. The results showed that, after the interventions, the unit cost of transportation was reduced from 0.84 USD/m<sup>3</sup> to 0.68 USD/m<sup>3</sup> (19%), fuel consumption decreased by 15.3% and the number of trips made per shift increased by 26%. From an economic perspective, the project stood out for its viability, achieving a Net Present Value (NPV) of USD 10,532, an Internal Rate of Return (IRR) of 18% and an investment payback period of only 7 months. In addition, the benefit-cost ratio of 1.32 confirms that for every dollar invested, a return of USD 1.32 was generated, underlining the effectiveness of road maintenance as a strategy to optimize costs, increase productivity and ensure the economic sustainability of operations.

**Keywords:** Costs, maintenance, mineral, reduce, transportation, road.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la unidad minera de la compañía Chungar S.A.C., ubicada en Cerro de Pasco y dedicada a la extracción de minerales polimetálicos mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado, se ha identificado una problemática significativa relacionada con los elevados costos operativos en el transporte de mineral hacia la Planta de Beneficio, donde el costo unitario de transporte asciende a 0,84 US\$/m<sup>3</sup>, incrementado por factores críticos como el deficiente mantenimiento de las vías de transporte, que genera condiciones inadecuadas para el tránsito de los vehículos; los tiempos de transporte prolongados, que impactan directamente en la eficiencia operativa; y el alto consumo de combustible, resultado de las condiciones inadecuadas de la vía y de los tiempos extendidos de traslado. Esta situación afecta la estructura de costos operativos de la empresa, comprometiendo la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras, ya que la falta de un programa efectivo de mantenimiento no solo eleva los costos directos de transporte, sino que también provoca efectos colaterales como el deterioro acelerado de los equipos, un mayor consumo de recursos y una pérdida de productividad.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1. Pregunta general

¿De qué manera la implementación de un programa de mantenimiento de vía influye en la reducción de costos de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio en la compañía Chungar S.A.C. - Cerro de Pasco?



### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál es el impacto del mantenimiento de vía en el tiempo de ciclo de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio en la compañía Chungar S.A.C.?
- ¿En qué medida el mantenimiento de vía influye en la reducción del consumo de combustible de las unidades de transporte de mineral?
- ¿Cuál es la relación beneficio-costo de la implementación del programa de mantenimiento de vía para el transporte de mineral hacia la Planta de Beneficio?

## **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

La implementación del programa de mantenimiento de vía influye significativamente en la reducción de costos de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio en la compañía Chungar S.A.C. - Cerro de Pasco, logrando una disminución superior al 15% en el costo unitario actual de 0.84 US\$/m<sup>3</sup>.

### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- La implementación del programa de mantenimiento de vía reduce el tiempo de ciclo de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio en al menos un 20%, optimizando la eficiencia operativa del proceso.
- El mantenimiento adecuado de la vía disminuye el consumo de combustible en un 12% en las unidades de transporte de mineral, generando ahorros significativos en los costos operativos.





- La implementación del programa de mantenimiento de vía presenta una relación beneficio-costos superior a 1.2, demostrando ser una inversión económicamente viable para la optimización del transporte de mineral.

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

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la implementación del programa de mantenimiento de vía en la reducción de costos de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio en la compañía Chungar S.A.C. - Cerro de Pasco.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el impacto del mantenimiento de vía en el tiempo de ciclo de transporte del mineral hacia la Planta de Beneficio, mediante el análisis comparativo de los tiempos de transporte antes y después de la implementación del programa.
- Analizar la influencia del mantenimiento de vía en la reducción del consumo de combustible y desgaste de neumáticos de las unidades de transporte de mineral, a través de indicadores de rendimiento operativo.
- Determinar la relación beneficio-costos de la implementación del programa de mantenimiento de vía para el transporte de mineral hacia la Planta de Beneficio, mediante la evaluación económica de los resultados obtenidos.

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

La presente investigación se justifica por la necesidad urgente de abordar los elevados costos operativos en el transporte de mineral hacia la Planta de Beneficio en la compañía Chungar S.A.C., que actualmente impactan negativamente en la rentabilidad y



competitividad de la empresa. La identificación de problemas como el deficiente mantenimiento de las vías, los prolongados tiempos de transporte y el alto consumo de combustible resalta la importancia de implementar un programa de mantenimiento efectivo. Este programa no solo tiene el potencial de reducir los costos directos asociados al transporte, sino que también puede mejorar la eficiencia operativa, optimizando el uso de recursos y prolongando la vida útil de los equipos.

Además, la investigación busca proporcionar un marco analítico que permita evaluar de manera cuantitativa el impacto del mantenimiento de vías en el tiempo de ciclo de transporte y en el consumo de combustible, lo que contribuirá a la toma de decisiones informadas por parte de la gerencia. La relación beneficio-costos que se espera obtener de la implementación del programa de mantenimiento no solo justificará la inversión inicial, sino que también ofrecerá un modelo replicable para otras unidades mineras que enfrenten desafíos similares.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

Machaca (2023) llevó a cabo un estudio en la Unidad Minera Raura, ubicada en Huánuco, una empresa que se dedica a la extracción de minerales polimetálicos, utilizando el método de corte y relleno ascendente mecanizado. La investigación se enfocó en la Galería Santa Catalina, la cual tiene dimensiones de 3,00 m x 3,00 m y una longitud de 435 m. Se identificaron altos costos en las operaciones de carga y acarreo, siendo estos de 1,69 US\$/tonelada y 1,04 US\$/tonelada, respectivamente. El objetivo del estudio fue reducir dichos costos mediante un control riguroso de los tiempos operativos y el mejoramiento del mantenimiento de vías. Bajo un enfoque cuantitativo y diseño longitudinal, se evaluaron las operaciones de carga y acarreo durante 20 turnos, considerando distancias recorridas, equipos utilizados y tiempos de operación. Con estas medidas, el costo de acarreo se redujo a 0,90 US\$/tonelada, generando un ahorro de 0,14 US\$/tonelada, y se logró una disminución del 11,45% en el tiempo de carga y del 12,73% en el tiempo de acarreo.

Ruiz y Sandoval (2022) analizaron la implementación de un plan estratégico de mantenimiento de vías en Minera La Zanja, con el propósito de mejorar el rendimiento de la flota de acarreo, basándose en normativas de seguridad y salud ocupacional en minería. La investigación, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental, incluyó evaluaciones previas y posteriores a la implementación del plan. En la fase inicial, se analizaron las condiciones de las vías y los rendimientos operativos. La propuesta de mantenimiento, adaptada a la temporada seca, mejoró significativamente las condiciones



de las vías, logrando un aumento del 13,35% en el rendimiento por metro cúbico-kilómetro y reduciendo el consumo promedio de combustible en 0,52 gal/hora. Estos resultados demostraron que el mantenimiento adecuado de vías optimiza la productividad y reduce costos operativos en minería.

Condori (2017) desarrolló una investigación en la Unidad Minera Corihuarmi, motivada por problemas en el transporte de material debido a la ausencia de un estándar de diseño de vías. Esto generaba condiciones deficientes, como anchos insuficientes y pendientes superiores al 12%, que incrementaban los ciclos de transporte y sobredimensionaban la flota de transporte. Utilizando un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo-analítico y método hipotético-deductivo, se recolectaron datos mediante observaciones sistemáticas y control de velocidades de los camiones. Los resultados validaron la hipótesis inicial, demostrando que la implementación de estándares de diseño optimiza las operaciones de transporte, reduciendo tiempos de ciclo y ajustando eficientemente el dimensionamiento de los equipos.

Hurtado (2019), en la Unidad Minera Las Bambas S.A., analizó el impacto del mal estado de las vías en la operación del Tajo Ferrobamba, donde se emplea el método de tajo abierto. Este deterioro, agravado por el alto tránsito de equipos y las condiciones climáticas, afectaba negativamente la productividad del acarreo al obligar a los operadores a reducir sus velocidades por seguridad. Con una operación que mueve diariamente 145,000 toneladas de mineral y 500,000 toneladas de desmonte, se implementó un acondicionamiento de las vías principales para garantizar su funcionalidad. La medida permitió mejorar la eficiencia del acarreo, aumentar la productividad y reducir riesgos operativos, además de lograr un ahorro significativo en costos.



Marinovich (2016) investigó el impacto del mal estado de las vías de acarreo en el Tajo Pampa Verde de Minera La Zanja, operado por Stracon GyM S.A. Las condiciones adversas de las vías, acentuadas por factores climáticos, obligaban a los operadores a reducir velocidades, lo que generaba incumplimiento de metas de producción, aumento de costos y riesgos de accidentes. Como respuesta, se acondicionaron las vías principales, logrando mayor productividad y eficiencia en las operaciones de acarreo. Este estudio demostró que el mantenimiento adecuado de las vías no solo mejora la seguridad, sino también la rentabilidad de la operación minera.

Mirano (2024) analizó los efectos de la falta de mantenimiento de vías en la empresa ROGASAC, donde se observaban retrasos en el acarreo de mineral y un mayor desgaste de maquinaria, lo que afectaba la producción y aumentaba los costos operativos. La propuesta de mejora incluyó especificaciones técnicas, como el diseño de capas de vía y ajustes en la presión sobre la superficie. Los resultados mostraron un incremento en el número de viajes y el volumen transportado, con 8,882 viajes adicionales y un aumento de 148,617.5 m<sup>3</sup> en volumen total al comparar periodos entre 2023 y 2024. Esto evidenció que el mantenimiento adecuado mejora significativamente la productividad y reduce los costos operativos en minería.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Vías de transporte en minería subterránea**

El diseño adecuado de las vías de transporte en minería subterránea es esencial para asegurar la eficiencia operativa, minimizar los costos y garantizar la seguridad en las operaciones. Las vías son los elementos fundamentales para el movimiento de material entre las áreas de extracción y la planta de procesamiento,



por lo que su diseño debe considerar una variedad de factores técnicos, económicos y operativos.

### **2.2.2. Transporte minero subterráneo**

#### **Sistemas de Transporte**

En minería subterránea, los sistemas de transporte son responsables del traslado del mineral desde las zonas de extracción hasta las plantas de beneficio. Según Hustrulid y Bullock (2004), existen varios tipos de sistemas de transporte, incluidos los convoyes de camiones, trenes subterráneos, y sistemas más automatizados como los transportadores de banda. La elección del sistema depende del tipo de mineral, la distancia de transporte y la capacidad de carga. Además, se debe optimizar la capacidad de transporte en relación con el tiempo y la eficiencia de los equipos.

#### **Tipos de Vías**

Las vías subterráneas son el medio sobre el que se desplazan los vehículos encargados del acarreo del mineral. En minería subterránea, se utilizan principalmente vías ferroviarias, que son diseñadas para vehículos de carga pesada, como trenes de minería. También se pueden emplear sistemas de caminos para vehículos de ruedas, como camiones de acarreo (Bell, 2006). El diseño de estas vías debe considerar las condiciones geológicas del terreno, el tipo de mineral a transportar y los requisitos operativos del sistema de acarreo.

#### **Factores que Afectan el Rendimiento**

El rendimiento de las vías de transporte está influenciado por varios factores, tales como la geometría de las rutas (pendientes, radios de curvatura), las



características del terreno, y las condiciones del material transportado. Según Hartman y Mutmansky (2002), el diseño de las vías debe optimizar estos factores para asegurar la máxima capacidad de transporte y minimizar los costos asociados al mantenimiento y las reparaciones. Además, la correcta planificación de las rutas permite evitar cuellos de botella y congestiones en el sistema de transporte.

### **Estándares de Diseño**

El diseño de las vías debe cumplir con ciertos estándares y normativas que aseguren la seguridad y la eficiencia del transporte. Estos estándares incluyen dimensiones mínimas para las vías, especificaciones de materiales de construcción, y las capacidades máximas de carga. Según Mobley (2008), la aplicación de normas estandarizadas en el diseño de las vías ayuda a reducir los riesgos operativos y aumenta la vida útil de la infraestructura.

#### **2.2.3. Mantenimiento de vías**

##### **Tipos de Mantenimiento**

El mantenimiento de las vías subterráneas es crucial para garantizar su buen funcionamiento y la seguridad de las operaciones. Existen dos tipos principales de mantenimiento: el mantenimiento preventivo y el correctivo. El mantenimiento preventivo se realiza de forma programada para evitar fallos, mientras que el correctivo se lleva a cabo cuando las vías ya han sufrido algún daño. Según el "Maintenance Engineering Handbook" de Mobley (2008), un enfoque preventivo es más eficiente a largo plazo, ya que reduce la frecuencia de los fallos y las paradas inesperadas.



## **Programación y Planificación**

La programación del mantenimiento debe ser planificada cuidadosamente para minimizar la interrupción de las operaciones. De acuerdo con Hustrulid y Bullock (2004), el mantenimiento preventivo debe incluir inspecciones regulares de las vías y los equipos de acarreo, junto con la reparación de cualquier daño antes de que afecte la operación. La planificación debe considerar los horarios de producción para garantizar que el mantenimiento no interfiera con las actividades productivas, y debe basarse en las condiciones operativas reales.

## **Programas de Mantenimiento Preventivo**

Los programas de mantenimiento preventivo son esenciales para evitar fallos imprevistos en las vías subterráneas. Inspecciones regulares y la medición de los niveles de desgaste son prácticas clave para identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos graves. Un programa de mantenimiento preventivo bien diseñado no solo mejora la seguridad, sino que también optimiza el uso de los recursos y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo (Mobley, 2008).

## **Indicadores de Control**

El control del mantenimiento se realiza mediante indicadores clave de rendimiento (KPIs), que permiten medir la eficiencia y efectividad de las actividades de mantenimiento. Según Mobley (2008), algunos de estos indicadores incluyen el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR), y el porcentaje de disponibilidad de las vías. Estos





indicadores permiten evaluar y ajustar los programas de mantenimiento para mejorar la eficiencia operativa.

### **Mejores Prácticas**

Las mejores prácticas en el mantenimiento de vías subterráneas incluyen la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento informatizado (CMMS), la capacitación continua del personal de mantenimiento, y la optimización de las intervenciones de mantenimiento basadas en análisis de condiciones. Según Bell (2006), el uso de tecnología avanzada, como el monitoreo remoto de las condiciones de las vías, puede prevenir daños costosos y mejorar la confiabilidad del sistema.

#### **2.2.4. Gestión de costos**

##### **Estructura de Costos**

La gestión de los costos en minería subterránea es esencial para mantener la rentabilidad de las operaciones. Los costos asociados al diseño y mantenimiento de las vías de transporte incluyen los costos de construcción, los costos operativos de los equipos, y los costos de mantenimiento. Según el "SME Mining Engineering Handbook" (2011), la correcta estructura de costos ayuda a identificar áreas donde se pueden realizar mejoras y reducir gastos innecesarios.

##### **Factores que Influyen en los Costos**

Los costos de transporte en minería subterránea dependen de varios factores, como la distancia de transporte, la capacidad de carga de los equipos, el tipo de terreno y el mantenimiento de las infraestructuras. Hustrulid y Bullock (2004) señalan que la eficiencia del sistema de transporte está directamente

relacionada con los costos operativos. Una mala planificación de las rutas o un mantenimiento inadecuado puede aumentar significativamente los costos.

### **Métodos de Optimización**

Existen diferentes métodos de optimización para reducir los costos en el transporte minero, como la optimización de las rutas de transporte y la selección de los equipos más adecuados para cada tipo de terreno. Según Darling (2011), la implementación de tecnologías avanzadas, como los sistemas de monitoreo en tiempo real y los sistemas automatizados de acarreo, puede reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia de las operaciones mineras.

#### **2.2.5. Evaluación económica**

La evaluación económica de los sistemas de transporte debe considerar tanto los costos iniciales de inversión como los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo. Según Du Plessis (2008), una evaluación económica adecuada puede ayudar a las empresas mineras a tomar decisiones informadas sobre qué sistemas de transporte implementar, optimizando los recursos y maximizando los beneficios a largo plazo.

#### **Indicadores Económicos en Evaluación de Proyectos**

La evaluación económica de proyectos utiliza herramientas clave como el **Valor Actual Neto (VAN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, el **Periodo de Recuperación de la Inversión** y la **Relación Beneficio-Costo (B/C)** para analizar la rentabilidad de una inversión. En el sector minero, donde los costos iniciales suelen ser altos y los retornos se distribuyen a largo plazo, estos indicadores son esenciales para tomar decisiones informadas (Ross et al., 2021).



## Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es una de las herramientas más utilizadas para evaluar proyectos. Según Ross et al. (2021), esta métrica mide el valor presente de los flujos netos de efectivo descontados a una tasa específica, considerando el tiempo y el costo del dinero. La fórmula del VAN es la siguiente:

Fórmula del VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} - I_0$$

**Donde:**

$B_t$ : Beneficios generados en el periodo t (en USD).

$C_t$ : Costos operativos en el periodo t (en USD).

r: Tasa de descuento anual (%).

t: Periodo (en años).

$I_0$ : Inversión inicial (en USD)

El VAN permite determinar si los ingresos futuros proyectados superan los costos iniciales, con un **VAN positivo** indicando viabilidad económica. Brealey et al. (2020) destacan que este indicador es particularmente útil en proyectos a largo plazo, como en minería, porque considera tanto la magnitud como la temporalidad de los flujos de efectivo.



## Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR, según Brealey et al. (2020), es la tasa de descuento que iguala el VAN a cero. Representa la rentabilidad anual del proyecto y permite comparar alternativas de inversión en contextos de recursos limitados. La fórmula implícita es:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - B_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Este cálculo, que generalmente requiere métodos iterativos, es útil para proyectos mineros donde las condiciones financieras y operativas son dinámicas. Damodaran (2015) señala que un proyecto es viable si su TIR supera la tasa mínima aceptable de retorno, conocida como tasa de descuento. Por ejemplo, una TIR del 18%, mayor que una tasa de descuento del 12%, indica una rentabilidad atractiva en términos absolutos y relativos.

## Periodo de Recuperación de la Inversión

El periodo de recuperación mide cuánto tiempo tomará recuperar la inversión inicial con los flujos netos generados. Según Damodaran (2015), este indicador es fácil de calcular y entender, siendo particularmente útil en sectores como la minería, donde la liquidez es crucial en las etapas iniciales de un proyecto. Su fórmula es:

$$\textit{Periodo de recuperaci3n} = \frac{\textit{Inversi3n Inicial}}{\textit{Beneficio Actula Neto}}$$

Un periodo de recuperaci3n corto indica menor riesgo financiero. Sin embargo, este indicador no considera los flujos despu3s del tiempo de recuperaci3n,

por lo que Gallo (2017) recomienda complementarlo con análisis como el VAN y la TIR para tener una visión integral de la rentabilidad.

### **Relación Beneficio-Costo (B/C)**

La Relación Beneficio-Costo es una métrica que evalúa la eficiencia de un proyecto en términos relativos. Según Gallo (2017), este indicador compara los beneficios actualizados con los costos actualizados, facilitando decisiones en contextos donde se priorizan inversiones con retornos proporcionales altos. La fórmula es:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

Un valor de  $B/C > 1$  indica que el proyecto genera más beneficios que costos, justificando la inversión. En minería, este indicador es útil para comparar diferentes opciones de mejora operativa, como proyectos de mantenimiento de vías. Brealey et al. (2020) enfatizan que una relación beneficio-costo de 1.32 implica que, por cada dólar invertido, se genera un retorno neto de 0.32 USD, lo cual es atractivo en términos económicos.

### **Aplicación en el Contexto Minero**

La aplicación de estos indicadores económicos en proyectos mineros permite evaluar mejoras operativas como el mantenimiento de infraestructura vial. Ross et al. (2021) afirman que, en proyectos donde los ahorros operativos (menor consumo de combustible y reducción de costos unitarios) superan los costos iniciales, el VAN y la TIR son herramientas confiables para justificar la inversión. Asimismo, Gallo (2017) señala que un periodo de recuperación corto y una



relación beneficio-costo favorable refuerzan la sostenibilidad económica de las operaciones.

## **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

### **a. Transporte Minero Subterráneo**

Se refiere al sistema utilizado para mover materiales (mineral, desmonte, equipos, etc.) dentro de una mina subterránea. Este proceso es crucial para la eficiencia de las operaciones mineras, pues incluye tanto la infraestructura (vías, caminos, túneles) como los equipos de transporte (camiones, trenes, transportadores) (Hartman & Mutmanky, 2002).

### **b. Vías Subterráneas**

Son caminos o rutas diseñadas para el tránsito de vehículos o equipos de acarreo en la mina subterránea. Pueden ser de diferentes tipos, como vías ferroviarias o caminos para vehículos de ruedas. Estas vías deben cumplir con estándares específicos para garantizar la seguridad y eficiencia del transporte (Hustrulid & Bullock, 2004).

### **c. Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo se refiere a las actividades programadas para prevenir fallos y mantener las infraestructuras (como vías y equipos de acarreo) en condiciones óptimas. Este tipo de mantenimiento incluye inspecciones regulares, lubricación, y sustitución de componentes desgastados (Moblely, 2008).



#### **d. Mantenimiento Correctivo**

Es el tipo de mantenimiento que se lleva a cabo después de que ocurre un fallo o daño en los equipos o infraestructuras. Aunque es menos ideal que el mantenimiento preventivo, es necesario para restaurar la funcionalidad del sistema (Mobley, 2008).

#### **e. Costos Operativos**

Son los gastos incurridos durante las operaciones de transporte y otros procesos dentro de la mina, como el mantenimiento de equipos, la construcción de vías y la gestión de energía. Los costos operativos son cruciales para la evaluación económica de las operaciones mineras y la optimización de recursos (Du Plessis, 2008).

#### **f. Optimización de Transporte**

Este concepto se refiere a la mejora continua de los sistemas de transporte minero, buscando reducir los costos y aumentar la eficiencia. Implica el diseño y la implementación de mejores prácticas en la planificación de rutas, la selección de equipos y el mantenimiento de las vías (Darling, 2011).

#### **g. Factores Geotécnicos**

Son los elementos relacionados con la geología y las condiciones del terreno que afectan el diseño de las vías y la seguridad de las operaciones mineras. Incluyen la resistencia de las rocas, la estabilidad de los túneles y los efectos del agua y la humedad en las infraestructuras subterráneas (Hustrulid & Bullock, 2004).

#### **h. Ciclos de Carga y Descarga**

Son los procesos en los cuales el mineral es cargado en los vehículos de transporte y luego descargado en las estaciones de carga o en las plantas de procesamiento. La



eficiencia en estos ciclos es fundamental para reducir los tiempos de inactividad y mejorar el rendimiento general de la mina (Hartman & Mutmansky, 2002).

#### **i. Tecnología de Acarreo**

Se refiere a las innovaciones y el uso de tecnología avanzada para mejorar los sistemas de acarreo en las minas. Esto incluye vehículos autónomos, sistemas de monitoreo y control en tiempo real, y la automatización de las rutas de transporte (Darling, 2011).

#### **j. Rendimiento de Transporte**

El rendimiento de transporte en minería subterránea mide la eficiencia con que los materiales son trasladados desde el lugar de extracción hasta su destino. Se evalúa en términos de tiempo, costo y capacidad de los equipos de transporte. Los indicadores de rendimiento ayudan a gestionar y optimizar este proceso (Du Plessis, 2008).





## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

La Unidad Minera Islay, operada por la Empresa Administradora Chungar S.A.C., se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes, caracterizada por su accidentada geografía y su importancia geológica debido a la presencia de ricos yacimientos minerales. Políticamente, está dentro de la jurisdicción de:

Distrito: Huayllay

Provincia: Cerro de Pasco

Departamento: Pasco

El yacimiento se localiza en las coordenadas UTM (Datum WGS84):

Norte: 8 717 925

Este: 377 240

La mina se sitúa en una zona de alta montaña, con altitudes que oscilan entre 4,500 m.s.n.m. y 4,950 m.s.n.m. Estas condiciones topográficas representan desafíos operativos significativos debido a la altura y el clima de la región.

La ubicación estratégica de la mina permite su cercanía a otros yacimientos importantes en la región, como la Mina Animon. Desde este punto, la Mina Islay está a solo 5.3 km en línea recta hacia el nor-oeste, y se accede por una trocha carrozable que conecta Huarón, Huaychao y la mina, con un tiempo de traslado de aproximadamente 35 minutos.

### Características adicionales del entorno:

La mina está rodeada de bofedales y formaciones rocosas típicas de la puna andina.

El clima de la región es frío, con temperaturas que oscilan entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ .

La actividad minera se desarrolla en una zona de alta sensibilidad ambiental, siendo crucial la gestión de impactos ambientales.

### 3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la Unidad Minera Islay se realiza a través de la Carretera Central, iniciando desde la ciudad de Lima y pasando por las ciudades de La Oroya y Cerro de Pasco. La distancia total del recorrido es de 329.9 km, con un tiempo estimado de traslado de 7.5 horas. A continuación, se detalla la ruta de acceso:

**Tabla 1**

*Ruta de acceso a la Unidad Minera*

<b>Ruta</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo de recorrido (horas)</b>
Lima – Oroya	183.6	5
Oroya – Cerro de Pasco	130.8	2
Cerro de Pasco – Mina Islay	15.5	0.5
<b>Total</b>	<b>329.9</b>	<b>7.5</b>

*Nota: Información proporcionada por el Departamento de Geología de la Unidad Minera Islay, 2020.*



### **3.3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.3.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico mediante la aplicación de conocimientos teóricos. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), "la investigación aplicada tiene como finalidad la resolución de problemas prácticos inmediatos en orden a transformar las condiciones del acto didáctico y a mejorar la calidad educativa" (p. 42).

En el contexto minero, Ñaupas et al. (2019) señalan que "la investigación aplicada en minería se orienta a resolver problemas específicos de las operaciones, buscando optimizar procesos y reducir costos a través de la implementación de mejoras técnicas" (p. 136).

#### **3.3.2. Enfoque de investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición numérica y el análisis estadístico de variables como costos, tiempos y rendimientos. Como afirman Vara-Horna (2015), "el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías" (p. 178).

En el ámbito minero, según Ortiz (2020), "el enfoque cuantitativo permite evaluar objetivamente el impacto de las mejoras operativas a través de indicadores medibles y comparables" (p. 85).



### 3.3.3. Diseño de investigación

El diseño es cuasi-experimental con pre-prueba y post-prueba, ya que se evaluará el efecto de la implementación del programa de mantenimiento de vías (variable independiente) sobre los costos de transporte (variable dependiente).

Según Chaves (2021), "los diseños cuasi-experimentales se utilizan cuando no es posible asignar aleatoriamente los sujetos a los grupos experimentales, pero se mantiene un alto grado de control sobre las variables" (p. 152).

Este diseño se representa de la siguiente manera:

**G: O1 - X - O2**

Donde:

**G** = Grupo de estudio (sistema de transporte)

**O1** = Medición pre-test (costos antes del programa)

**X** = Tratamiento (implementación del programa de mantenimiento)

**O2** = Medición post-test (costos después del programa)

### 3.4. POBLACIÓN

La población para el estudio de investigación está conformada por todas las carreteras afirmadas de la Unidad Minera Islay de la Empresa Chungar S.A.C. – Cerro de Pasco. Según Hernández (2014), la población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.



### **3.5. MUESTRA**

La muestra se compone de la ruta desde la cámara de carguío hasta la planta de Beneficio, que abarcan una distancia de 5,00 kilómetros y es carretera afirmada de la Unidad Minera Islay de la Empresa Chungar S.A.C. – Cerro de Pasco. Al respecto Hernández (2014) define una muestra se refiere a un grupo más pequeño de elementos seleccionados de una población más grande. Representa un subconjunto de esa población y se elige para estudiar sus características, comportamiento o propiedades, con la idea de obtener conclusiones o inferencias validas sobre la población más amplia.

### **3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.6.1. Variable independiente**

Mantenimiento de vía a la Planta de Beneficio de la Minera Islay de la Empresa Chungar S.A.C. – Cerro de Pasco.

#### **3.6.2. Variable dependiente**

Costos de transporte del mineral a la Planta de Beneficio de la Minera Islay de la Empresa Chungar S.A.C. – Cerro de Pasco.

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

<b>Variab</b> les	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Variable Independiente:</b>		
Programa de mantenimiento de vía	Tipo de mantenimiento realizado	Correctivo/Preventivo
	Costo de mantenimiento	US\$
	Duración del mantenimiento	Días
	Materiales utilizados	Cantidad en unidades (kg, m <sup>3</sup> , etc.)
<b>Variab</b> les <b>Dependientes:</b>		
Costos de transporte	Costo total del transporte por tonelada	US\$/ton
Tiempo de ciclo	Tiempo promedio de traslado	Minutos
Consumo combustible	Consumo promedio por viaje	Galones (gl)
Relación beneficio-cost	Razón entre ingresos y costos	Numérico/Proporción

### 3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para obtener los datos, se emplearon técnicas de inspección y observación en el sitio de trabajo, revisión de documentos en los archivos de la empresa Minera y recopilación de información a través de reportes diarios, mensuales y anuales.



### **3.7.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

Se empleó el software Excel junto con técnicas de estadísticas descriptiva para analizar y procesar la información recopilada.

- Observación in situ en el campo
- Examinación del área especificada
- Revisión bibliográfica referente al sistema de mantenimiento de vía.

### **3.7.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

Los elementos empleados en el estudio de investigación incluyen la liquidación mensual para costos, informes diarios y mensuales de operación, seguimiento del mantenimiento de vías, control de tiempos de transporte, registro de equipos usados, anotación de campo, fichas para recolección de datos, cámara fotográficas y herramientas de escritorio.

#### **Informe diario de operación.**

- Volumen del mineral almacenado
- Tonelada de mineral en la cámara
- Número de equipos utilizados
- Control del tiempo de transporte

#### **Informe mensual de operación.**

- Volumen del mineral almacenado.
- Tonelada de mineral en la cámara.
- Cantidad de equipos utilizados.
- Monitoreo de tiempo de transporte.
- Total, de horas de equipos funcionando



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA OPERACIÓN

##### 4.1.1. Diagnóstico inicial de la operación

##### 4.1.1.1. Descripción de las condiciones iniciales de la vía

Tabla 3

*Condiciones iniciales de la vía*

Aspecto Evaluado	Descripción
<b>Estado de la superficie de rodadura</b>	La vía inicial presentaba irregularidades significativas, con baches, desgaste notable en el material de rodadura y presencia de secciones erosionadas.
<b>Condiciones de drenaje</b>	Los sistemas de drenaje estaban parcialmente obstruidos, ocasionando acumulación de agua en puntos críticos y agravando el deterioro de la superficie.
<b>Puntos críticos identificados</b>	<b>Tramo 1 (Progresiva 0+000 a 2+400):</b> Compactación inadecuada. <b>Tramo 2 (Progresiva 2+400 a 4+000):</b> Falta de material de lastre. <b>Tramo 3 (Progresiva 4+000 a 5+000):</b> Desgaste crítico del material.





Esta tabla resume las condiciones de la vía antes de la intervención, incluyendo el estado de la superficie de rodadura, las condiciones del sistema de drenaje y los puntos críticos identificados en los tramos afectados.

#### 4.1.1.2. Análisis de indicadores operativos Pre-Implementación

##### **Tiempo promedio de ciclo de transporte:**

El tiempo promedio para completar un ciclo de transporte fue de 20 minutos por viaje, desglosado de la siguiente manera:

**Tabla 4**

*Tiempos de ciclo de transporte Pre-Implementación*

<b>Tiempos de ciclo de transporte</b>	<b>Tiempo en (min)</b>
<b>Tiempo de ida:</b>	10 minutos.
<b>Tiempo de regreso:</b>	7.5 minutos.
<b>Tiempo de carguío:</b>	2 minutos.
<b>Tiempo de descarga:</b>	1.5 minutos.
<b>Tiempo de Transporte</b>	20.5 minutos

Este tiempo incluye los desplazamientos hacia y desde el punto de trabajo, además de las operaciones de carguío y descarga del material.

Calculo de número de viajes antes del programa de mantenimiento, se utilizó los datos proporcionados sobre los tiempos de transporte y asumiremos una duración típica de la guardia de trabajo.

Datos:



- Duración de la guardia: 8 horas (480 minutos).
- Tiempos de transporte antes del programa: 20.5 minutos por ciclo.

$$\text{Numero de viajes} = \frac{\text{Duracion de guardia (min)}}{\text{Tiempo por ciclo (min/ciclo)}}$$

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de viajes antes del programa} &= \frac{480 \text{ min}}{20.5 \text{ (min/ciclo)}} \\ &= 23.41 \text{ viajes/guardia} \end{aligned}$$

#### Consumo de combustible por viaje:

El consumo diario de combustible alcanzó 85 galones, lo que equivale a un costo aproximado de 407,15 US\$/guardia. Considerando un costo promedio de 4.79 US\$/galón, este indicador refleja el impacto económico de la operación en términos de la cantidad de combustible utilizado por cada viaje.

**Tabla 5**

*Consumo de combustible Pre-Implementación*

<b>Consumo de Combustible</b>	<b>Valor</b>
Consumo total diario	85 galones/día
Costo promedio por galón	4.79 US\$/galón
<b>Costo total por guardia</b>	<b>407.15 US\$/guardia</b>

#### Costo unitario inicial:

El costo unitario inicial de transporte del material se calculó en 0.84 US\$/m<sup>3</sup>, tomando en cuenta factores como el consumo de combustible, los



tiempos de operación y la capacidad de carga de los equipos utilizados. Durante una guardia de 8 horas, se estima que los volquetes transportan un total de 936.4 m<sup>3</sup> de material, realizando 23.41 viajes por guardia. Utilizando una densidad promedio del material de 2.5 toneladas/m<sup>3</sup>, se calcula que se transportan aproximadamente 2,341 toneladas de material por guardia, lo que refleja el volumen total operado por los volquetes en un turno de trabajo.

## 4.2. IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMA DE MANTENIMIENTO DE VÍA

### 4.2.1. Descripción del esquema implementado

**Tabla 6**

*Actividades de Mantenimiento Ejecutadas*

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
Movilización y desmovilización de maquinaria	Transporte y posicionamiento de equipos en el área de intervención.
Servicio de topografía	Levantamiento y delimitación del terreno para garantizar la precisión.
Riego, extendido y compactación del material de lastre	Distribución uniforme y compactación del material para mejorar la rodadura.
Limpieza y rehabilitación de cunetas	Eliminación de obstrucciones y restauración de sistemas de drenaje.



**Tabla 7**

*Cronograma de intervenciones*

<b>Tramo</b>	<b>Duración (días)</b>	<b>Actividades Principales</b>
<b>Tramo 1</b>	5	Movilización, limpieza de cunetas, compactación.
<b>Tramo 2</b>	5	Reparación de rodadura, drenaje, topografía.
<b>Tramo 3</b>	5	Mejora de la superficie y estabilización final.
<b>Duración total</b>	<b>15 días</b>	Ejecución de todas las actividades.

**Recursos utilizados e Inversión realizada**

**Tabla 8**

*Detalle de Recursos e Inversión en Mantenimiento de Vía*

Descripción	Costo Total (S/)
Partidas Generales para el Mantenimiento	23,700.00
Partidas Específicas por Tramo	64,900.00
Costos de Equipos de Protección Personal (EPP)	2,322.53
Costo de Personal para el Mantenimiento	27,720.00
<b>Costo Total de Mantenimiento</b>	<b>118,642.53</b>



El plan de mantenimiento desarrollado tuvo como objetivo mejorar significativamente las condiciones de la vía en tres tramos críticos (0+000 a 5+000). Se implementaron tanto partidas generales como específicas, que incluyeron movilización de maquinaria, topografía, limpieza y rehabilitación de cunetas, transporte y compactación de material de lastre, entre otras actividades esenciales.

La inversión total del mantenimiento fue de 118,642.53 S/, equivalente a 1.27 US\$/m<sup>2</sup>, cubriendo tanto los costos operativos como los materiales y equipos utilizados. Este esfuerzo permitió rehabilitar la vía y garantizar su funcionalidad, optimizando su vida útil y reduciendo futuros costos de transporte y mantenimiento.

#### **4.2.2. Control y seguimiento de la implementación**

El control y seguimiento de la implementación del programa de mantenimiento se llevó a cabo mediante la evaluación constante de los indicadores de cumplimiento, lo que garantizó el logro de las metas planificadas en cada tramo. Las actividades fueron registradas de forma organizada, utilizando reportes para documentar los avances y asegurar la correcta ejecución de las tareas programadas.



<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo (S/)</b>
Supervisión técnica en Inspección y validación de campo	Inspección y validación de actividades diarias para asegurar el cronograma.	2,000
Revisión y consolidación de reportes	Elaboración de informes sobre avances y ajustes en el programa de mantenimiento.	1,000
Evaluación de indicadores	Monitoreo de indicadores de productividad y calidad de las tareas ejecutadas.	700
Transporte y logística	Costo de movilización del ingeniero hacia los tramos de mantenimiento.	500
<b>Total</b>		<b>4,200</b>

### 4.3. RESULTADOS POST-IMPLEMENTACIÓN

#### 4.3.1. Mejoras en las condiciones de la vía

Una vez concluido el mantenimiento, se lograron mejoras significativas en las condiciones de la vía, lo que impactó positivamente tanto en la seguridad como en la eficiencia del transporte. La superficie de rodadura alcanzó un estado óptimo, con una superficie uniforme y libre de baches, lo que mejoró la estabilidad y el confort durante el tránsito. Esta mejora redujo considerablemente los tiempos de ciclo de transporte, al eliminar obstáculos que previamente interferían en la circulación, facilitando un tránsito más fluido y rápido.

Por otro lado, se realizó una rehabilitación completa del sistema de drenaje, lo que permitió eliminar los puntos críticos de acumulación de agua. Este trabajo no solo preservó la calidad de la vía, evitando la erosión y el deterioro de la superficie, sino que también contribuyó a la seguridad vial al prevenir inundaciones y deslizamientos. Para evidenciar la transformación, se adjuntan registros fotográficos comparativos que muestran el estado inicial de la vía y las mejoras obtenidas, destacando el impacto visible de las intervenciones y el éxito de la implementación.

#### 4.3.2. Análisis De Indicadores Operativos Post-Implementación

**Tabla 9**

*Tiempos de ciclo de transporte Post-Implementación*

<b>Tiempos de ciclo de transporte</b>	<b>Tiempo en (min)</b>
<b>Tiempo de ida:</b>	8 minutos.
<b>Tiempo de regreso:</b>	5 minutos.
<b>Tiempo de carguío:</b>	2 minutos.
<b>Tiempo de descarga:</b>	1.5 minutos.
<b>Tiempo de Transporte</b>	.16.5 minutos

Después de la implementación del plan de mantenimiento, el tiempo de ciclo de transporte se redujo a 16.5 minutos por viaje, lo que representa una mejora significativa respecto al tiempo inicial de 20 minutos. Esta reducción se debe a la



optimización de la superficie de rodadura, lo que permitió a los vehículos transitar más rápidamente y sin interrupciones.

Cálculo de número de viajes antes del programa de mantenimiento, se utilizó los datos proporcionados sobre los tiempos de transporte y asumiremos una duración típica de la guardia de trabajo.

Datos:

Duración de la guardia: 8 horas (480 minutos).

Tiempos de transporte después del programa: 16.5 minutos por ciclo.

$$\text{Numero de viajes} = \frac{\text{Duracion de guardia (min)}}{\text{Tiempo por ciclo (min/ciclo)}}$$

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} \text{ de viajes despues del programa} &= \frac{480 \text{ min}}{16.5 \text{ (min/ciclo)}} \\ &= 29.09 \text{ viajes/guardia} \end{aligned}$$

#### Consumo de combustible:

El consumo de combustible se redujo a **72 galones/día**, lo que equivale a **344,88 US\$/guardia**. Esta reducción en el consumo de combustible (aproximadamente un **15%** de ahorro) se debe a la mejora en la calidad de la vía, que permitió una conducción más eficiente y un menor esfuerzo en la operación de los equipos.



**Tabla 10**

*Consumo de combustible Post-Implementación*

<b>Consumo de Combustible Post-Implementación</b>	<b>Valor</b>
Consumo total diario	72 galones/día
Costo promedio por galón	4.79 US\$/galón
<b>Costo total por guardia</b>	<b>344.88 US\$/guardia</b>

### **Costo unitario final**

El costo unitario final de transporte del material, después de implementar el plan de mantenimiento, se redujo a 0.68 US\$/m<sup>3</sup>, frente al costo inicial de 0.84 US\$/m<sup>3</sup>. Esta mejora se logró con la reducción del tiempo de ciclo de transporte a 16.5 minutos, lo que permitió mayor eficiencia en el transporte. Además, el consumo de combustible se redujo un 15%, pasando de 85 galones/día a 72 galones/día. Durante una guardia de 8 horas, los volquetes transportan ahora 1,163.64 m<sup>3</sup> de material, equivalentes a 2,909 toneladas, lo que refleja una mejora en la eficiencia operativa y un impacto positivo en los costos.

## **4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS**

### **4.4.1. Evaluación de indicadores clave**

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los principales indicadores operativos antes y después de la implementación de las mejoras en la vía. Los datos muestran una clara mejora en los tiempos de ciclo, el consumo de combustible y el costo unitario, evidenciando los beneficios obtenidos tras la intervención.

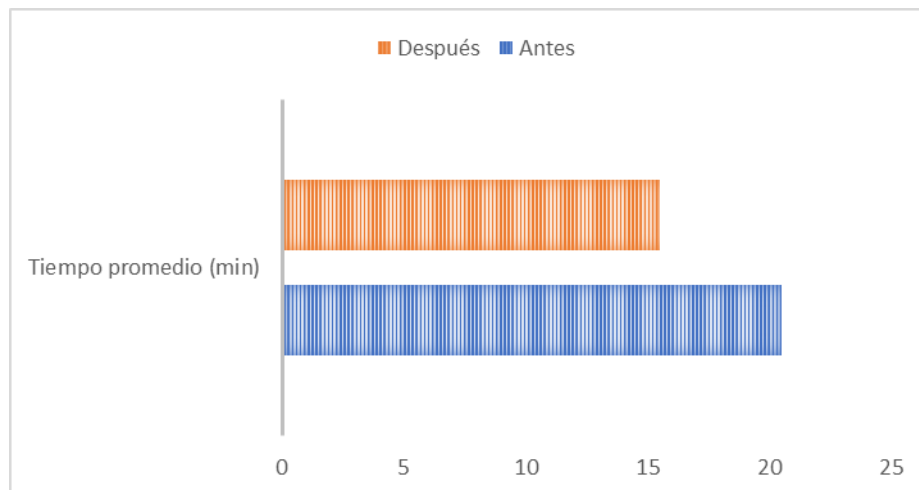
**Tabla 11**

*Comparativa de Indicadores Operativos Antes y Después del mantenimiento de vía*

<b>Indicador</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Variación (%)</b>
<b>Tiempo promedio (min)</b>	20.5	15.5	-25%
<b>Consumo de combustible (gal)</b>	85	72	-15.30%
<b>Costo unitario (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	0.84	0.68	-19%
<b>Número de viajes/guardia</b>	23	29	+26%

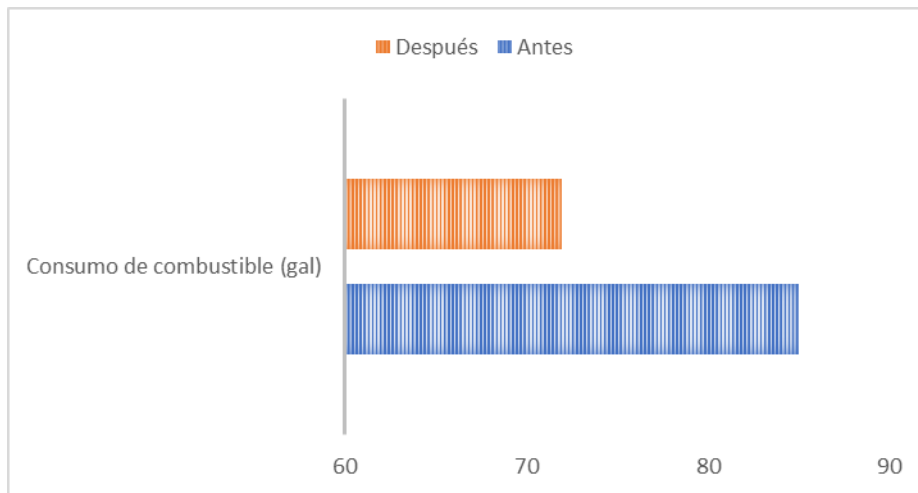
**Figura 1**

*Comparativa de los Tiempos de Transporte Pre y Post Mantenimiento*



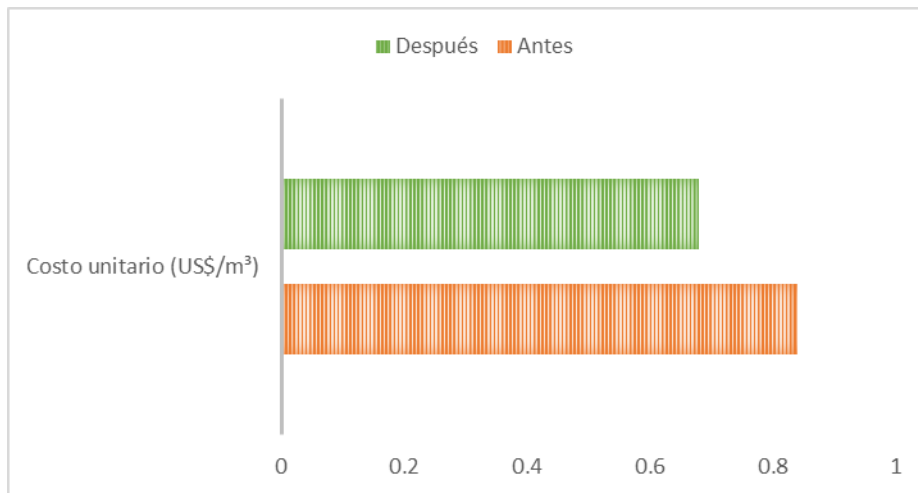
**Figura 2**

*Comparativa de Consumo de Combustible Pre y Post Mantenimiento*



**Figura 3**

*Comparativa de Costo Unitario Pre y Post Mantenimiento*



#### 4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica del programa de mantenimiento de vía permitió analizar el impacto financiero de la inversión realizada y los beneficios obtenidos. A continuación, se presenta un desprendimiento detallado de los costos antes y después del programa, así como los principales indicadores económicos que justifican la viabilidad del proyecto.

#### 4.5.1. Análisis de costos

Se analizó el costo unitario por metro cúbico transportado y el gasto asociado al consumo de combustible antes y después de la implementación del programa de mantenimiento. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Análisis de costos antes y después del mantenimiento de vía*

<b>Concepto</b>	<b>Antes (USD)</b>	<b>Después (USD)</b>	<b>Ahorro (USD)</b>	<b>Costo Establecido por la UM (USD)</b>
<b>Costo unitario (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	0.84	0.68	0.16	0.75
<b>Consumo de combustible (USD/guardia)</b>	407.15	344.88	62.27	350.00

Se consiguió una reducción del 19% en el costo unitario (0.16 US\$/m<sup>3</sup>), bajando de 0.84 US\$/m<sup>3</sup> a 0.68 US\$/m<sup>3</sup>. Esta mejora es el resultado directo de la optimización de las condiciones de la vía, que permitió a los volquetes operar con mayor eficiencia, reduciendo los tiempos de ciclo y aumentando la velocidad de transporte. Esta disminución no solo refleja una mejora en los procesos operativos, sino también en el rendimiento general de los equipos, lo que se traduce en un ahorro significativo en los costos de transporte.

Además, el consumo de combustible se redujo en 62.27 USD/guardia, lo que representa una disminución del 15.3% respecto a los valores previos. Esta

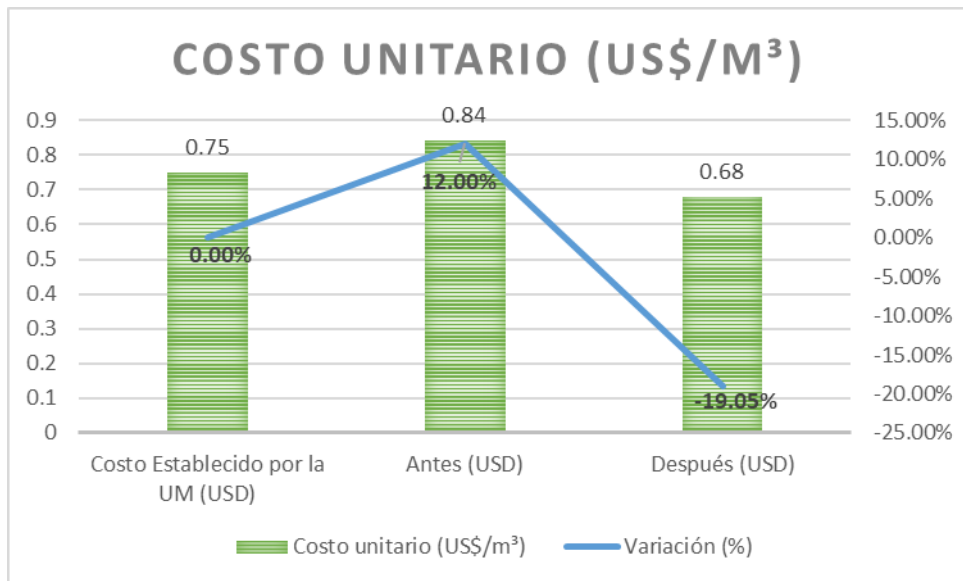


mejora en la eficiencia del consumo de combustible se debe principalmente a la optimización de la calidad de la vía, que redujo la resistencia al rodaje y permitió una conducción más fluida, disminuyendo el esfuerzo necesario para el transporte del material. El ahorro en combustible no solo implica una reducción de costos, sino también una mejora en la sostenibilidad de la operación, al disminuir la huella de carbono asociada a la actividad minera.

Al comparar estos resultados con los valores establecidos por la unidad minera (0.75 US\$/m<sup>3</sup> para el costo unitario y 350 USD/guardia para el consumo de combustible), se observa que los costos previos al mantenimiento estaban por encima de los valores prudentes. El costo unitario y el consumo de combustible antes de las mejoras superaban los límites establecidos, lo que indicaba una ineficiencia operativa que justificaba la necesidad de optimizar los recursos a través de la implementación de un plan de mantenimiento. El plan de mantenimiento permitió alcanzar los estándares de eficiencia previstos, justificando así la inversión realizada en la mejora de la infraestructura vial.

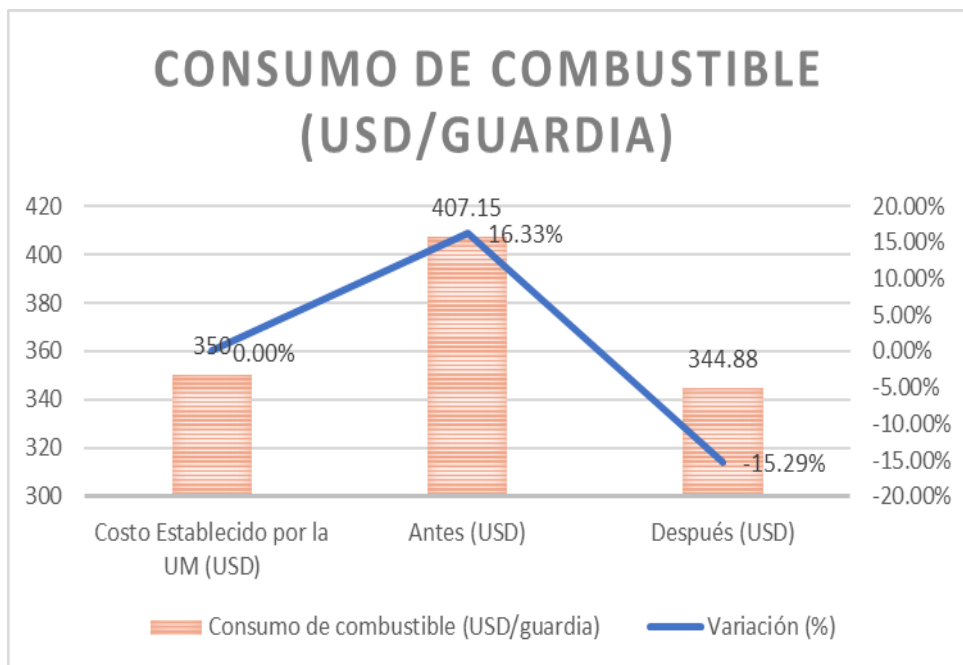
**Figura 4**

*Análisis económico de costos Unitarios*



**Figura 5**

*Análisis económico de consumo de combustible (USD/GUARDIA)*



#### 4.5.2. Indicadores económicos

#### Flujo de Caja para el Proyecto de Mantenimiento de la Vía



El flujo de caja refleja los ingresos y egresos del proyecto durante un horizonte de tiempo de 5 años, considerando la inversión inicial, los beneficios anuales netos derivados de los ahorros operativos y el valor del dinero en el tiempo a una tasa de descuento del 12% anual. Este análisis permite evaluar la rentabilidad del proyecto mediante indicadores como el VAN y la TIR.

### Datos Base para el Cálculo del Flujo de Caja

Concepto	Valor
Inversión inicial (Año 0)	31,225.50 USD
Beneficio anual neto	50,984.14 USD/año
Ahorro en combustible (15.3%)	22,748.29 USD/año
Ahorro en costos unitarios (19%)	28,235.85 USD/año
Tasa de descuento (r)	12% anual
Duración del proyecto	5 años

### Tabla de Flujo de Caja

Año	Flujo Neto (USD)	Factor de Descuento $(1/(1+r)^t)$	Flujo Descontado (USD)
0	-31,225.50	1.0000	-31,225.50
1	50,984.14	0.8929	45,523.34
2	50,984.14	0.7972	40,658.34
3	50,984.14	0.7118	36,207.45
4	50,984.14	0.6355	32,150.40
5	50,984.14	0.5674	28,482.50

### Desglose de los Elementos



## Flujo Neto

El flujo neto corresponde al ahorro anual generado por el proyecto tras la implementación del programa de mantenimiento (50,984.14 USD/año), que se repite de manera constante durante los 5 años del horizonte de análisis.

## Factor de Descuento

El factor de descuento ajusta cada flujo neto al valor presente, considerando una tasa de descuento del 12% anual. Este factor refleja el valor del dinero en el tiempo y se calcula para cada año como:

$$\text{Factor de Descuento} = \frac{1}{(1 + r)^t}$$

## Flujo Descontado

El flujo descontado se obtiene multiplicando el flujo neto de cada año por su respectivo factor de descuento:

$$\text{Flujo Descontado} = \text{Flujo Neto} \times \text{Factor De Descuento}$$

En el año 0, el flujo descontado es igual a la inversión inicial, ya que no requiere ajuste por valor presente.

## Cálculo del VAN (Valor Actual Neto)

El VAN determina la diferencia entre los flujos de ingresos futuros descontados al presente y la inversión inicial. La fórmula utilizada es:

Fórmula del VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - B_t}{(1 + r)^t} - I_0$$





**Donde:**

$B_t$ : Beneficios generados en el periodo t (en USD).

$C_t$ : Costos operativos en el periodo t (en USD).

r: Tasa de descuento anual (%).

t: Periodo (en años).

$I_0$ : Inversión inicial (en USD)

**Datos utilizados para el cálculo del VAN:**

**Inversión inicial ( $I_0$ ):** 118,642.53 S/ (equivalente a 31,225.50 USD, usando el tipo de cambio de 3.8 S/ por USD).

**Tasa de descuento (r):** 12% anual.

**Duración del análisis:** 5 años.

**Beneficio anual ( $B_t$ ):** Ahorros en costos operativos: 15% de reducción en combustible y 19% en costos unitarios.

**Costo operativo inicial:**

$$407.15 \text{ UDS/día} \times 365 = 178,609.29 \text{ UDS/año}$$

**Ahorros anuales:**

**Combustible:**

$$148\,609.75 \times 0.153 = 22,748.29 \text{ UDS/año}$$

**Costos unitarios:**

$$148\,609.75 \times 0.19 = 28,235.85 \text{ UDS/año}$$



$$\text{Total ahorro} = 50,984.14 \text{ USD/año.}$$

### Cálculo del VAN:

Desglosamos los flujos anuales:

$$VAN = \left( \frac{50,984.14}{(1 + 0.12)^1} + \frac{50,984.14}{(1 + 0.12)^2} + \frac{50,984.14}{(1 + 0.12)^3} + \frac{50,984.14}{(1 + 0.12)^4} + \frac{50,984.14}{(1 + 0.12)^5} \right) - 31,225.50$$

$$VAN = (45,523.34 + 40,658.34 + 36,207.45 + 32,150.40 + 28,482.50 - 31,225.50)$$

$$VAN = 10,532 \text{ USD}$$

### Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento ( $r$ ) que hace que el VAN sea igual a cero.

Se resuelve iterativamente mediante la fórmula:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - B_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

### Iteración para la TIR:

Usando los flujos anuales calculados anteriormente (50,984.14 USD) y la inversión inicial, obtenemos:

$$TIR = 18 \%$$

Esto significa que el programa genera una rentabilidad del 18% anual sobre la inversión inicial.

### Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión



El periodo de recuperación indica cuánto tiempo toma recuperar la inversión inicial ( $I_0$ ) a través de los flujos netos ( $B_t - C_t$ ).

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\textit{Inversión Inicial}}{\textit{Beneficio Actula Neto}}$$

**Cálculo:**

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{31,225.50}{50,984.14} = 0.61 \text{ años} = 7 \text{ meses}$$

### **Cálculo de la Relación Beneficio-Costo**

La Relación Beneficio-Costo (B/C) evalúa si el beneficio supera el costo.

Se utiliza la fórmula:

$$B/C = \frac{\textit{Beneficio Actualizado Total}}{\textit{Costo Actualizado Total}}$$

$$B/C = \frac{183,021.03}{31,225.50} = 1.32$$

Esto significa que, por cada dólar invertido, el programa genera 1.32 USD de beneficio.

### **Tabla 13**

#### *Resumen de Indicadores Económicos*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
<b>VAN</b>	10,532 USD
<b>TIR</b>	18%
<b>Periodo de recuperación</b>	7 meses
<b>Relación Beneficio-Costo</b>	1.32



Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad económica del programa de mantenimiento de la vía. El VAN positivo de 10,532 USD indica que los beneficios netos actualizados superan los costos iniciales de la inversión, validando el retorno financiero del proyecto. La TIR del 18% supera la tasa de descuento considerada (12%), lo que refleja una rentabilidad atractiva. Asimismo, el periodo de recuperación de tan solo 7 meses evidencia que la inversión inicial se recuperará en un plazo corto. Finalmente, la relación beneficio-costos de 1.32 indica que, por cada dólar invertido, se genera un retorno de 1.32 USD, lo que reafirma la eficiencia y sostenibilidad económica del programa implementado.

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

El diagnóstico inicial de las condiciones de la vía evidencia deficiencias significativas que impactaban negativamente en la productividad y los costos operativos. Las irregularidades en la superficie de rodadura, los baches y un sistema de drenaje ineficiente incrementaban los tiempos de transporte y el consumo de combustible, elevando el costo unitario a 0.84 USD/m<sup>3</sup>. Estas observaciones son consistentes con los estudios de Condori (2017), quien señaló que el diseño deficiente de las vías genera mayores tiempos de ciclo y costos operativos, y de Marinovich (2016), quien concluyó que el mal estado de las vías compromete la productividad, y aumentan los riesgos en operaciones a cielo abierto. Este análisis inicial permitió diseñar un plan de mantenimiento enfocado en resolver estas limitaciones, validando su relevancia en estudios como el de Ruiz y Sandoval (2022), quienes destacaron la importancia de una estrategia de mantenimiento para optimizar la eficiencia de los equipos.

El programa de mantenimiento aplicado fue integral y efectivo, abordando tanto la rehabilitación de cunetas y compactación del material como la optimización del



drenaje. Estas acciones permitieron no solo mejorar el estado funcional de la vía, sino también prevenir su deterioro a largo plazo, reduciendo los costos asociados a reparaciones futuras. La inversión de 1.27 USD/m<sup>2</sup> y el plazo de implementación de 15 días reflejaron un enfoque eficiente, alineado con los hallazgos de Hurtado (2019), quien demostró que el mantenimiento preventivo prolonga la vida útil de las vías y reduce los costos operativos. Además, la experiencia de Machaca (2023) en la Unidad Minera Raura evidencia que incluso ajustes modestos en el diseño y mantenimiento de las vías pueden generar ahorros significativos en costos de transporte.

Los resultados post-implementación fueron contundentes, evidenciando una mejora sustancial en los indicadores clave. El tiempo promedio por ciclo se redujo en un 24,39% (de 20,5 a 15,5 minutos), logrando un aumento del 26% en el número de viajes por guardia. Paralelamente, el consumo de combustible disminuyó un 15.3%, ahorrando aproximadamente 62.27 USD por guardia, mientras que el costo unitario bajó a 0.68 USD/m<sup>3</sup>, un 19% menos que el valor inicial. Estos resultados confirman la evaluación positiva entre el estado de las vías y la eficiencia operativa, como también concluyó Mirano (2024) en su estudio en ROGASAC. Además, estos hallazgos respaldan el análisis de Ruiz y Sandoval (2022), quienes observaron una reducción en el consumo de combustible tras implementar mejoras en la infraestructura vial.

Desde el punto de vista económico, el proyecto era altamente rentable. Con un Valor Actual Neto (VAN) positivo de 10,532 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18%, se superaron las expectativas financieras, destacando un período de recuperación de solo siete meses. La relación beneficio-costos (B/C) de 1.32 indicó que cada dólar invertido generó un retorno neto significativo, lo que coincide con las conclusiones de Machaca (2023) sobre el impacto económico positivo del mantenimiento



en costos operativos. Este análisis refuerza la importancia de considerar el mantenimiento vial no solo como una solución técnica, sino también como una inversión estratégica para garantizar la sostenibilidad y la competitividad en operaciones mineras.



## V. CONCLUSIONES

La implementación del programa de mantenimiento vial permitió una significativa reducción de los costos de transporte del material, pasando de 0.84 USD/m<sup>3</sup> a 0.68 USD/m<sup>3</sup>, lo que resultó en un ahorro de 0.16 USD/m<sup>3</sup>. Este impacto positivo demuestra la efectividad del mantenimiento vial en la optimización de los costos operativos, mejorando la rentabilidad general de las operaciones mineras.

Las mejoras en las condiciones de las vías resultaron en una reducción del consumo de combustible diario en un 15.3%, bajando de 85 a 72 galones. Este ahorro de 62.27 USD por jornada no solo generó un beneficio económico, sino que también contribuyó a la disminución de la huella ambiental de las operaciones, reflejando un compromiso con la eficiencia energética y la sostenibilidad.

El análisis económico del proyecto destaca su destacada eficiencia financiera, evidenciada en la relación beneficio-costos (B/C) de 1.32. Este indicador confirma que por cada dólar invertido se generó un retorno neto considerable, validando la rentabilidad de las intervenciones realizadas. Más allá de su impacto técnico en la operatividad, el mantenimiento vial se posicionó como una inversión estratégica con beneficios sostenibles a largo plazo.



## VI. RECOMENDACIONES

Es crucial implementar un sistema de monitoreo constante de las condiciones de las vías para detectar cualquier desviación o daño antes de que estos problemas generen costos adicionales. Utilizar indicadores de desempeño clave permitirá medir el impacto de las intervenciones realizadas y facilitará la toma de decisiones en tiempo real. Esto no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también ayuda a identificar áreas de mejora en las estrategias de mantenimiento, contribuyendo a la reducción de los costos operativos a largo plazo.

Incorporar prácticas sostenibles en el mantenimiento vial, como la reducción del consumo de combustible, es una estrategia efectiva tanto para mejorar los costos operativos como para minimizar el impacto ambiental de las operaciones mineras. Las mejoras en las condiciones de las vías no solo se reflejan en el ahorro económico, sino también en una disminución significativa de la huella de carbono, lo que posiciona a la empresa como un referente en responsabilidad social y sostenibilidad dentro del sector.

Es fundamental que las operaciones mineras evalúen no solo los ahorros inmediatos en costos de operación, sino también los beneficios a largo plazo derivados de una infraestructura vial optimizada. Un análisis detallado de la relación costo-beneficio permite justificar las inversiones en mantenimiento vial y demostrar su impacto positivo en la productividad y la rentabilidad general. Además, estas evaluaciones pueden servir como base para planificar nuevas inversiones que sigan mejorando la eficiencia de las operaciones mineras y su competitividad en el mercado.





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bell, F. G. (2006). Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles. Elsevier.
- Chaves Morelli, M. S. (2021). Los diseños cuasi-experimentales en la investigación clínica. Su utilidad y limitaciones para la inferencia causal en la práctica clínica (Universidad Autónoma de Barcelona).  
<https://www.tdx.cat/bitstream/10803/674481/1/mscm1de1.pdf>
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill Education.
- Damodaran, A. (2015). Applied Corporate Finance. Wiley.
- Darling, P. (2011). SME Mining Engineering Handbook (3rd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Du Plessis, H. J. (2008). Cost Estimation Handbook for the Australian Mining Industry. CCH Australia.
- Gallo, A. (2017). "Making Capital Budgeting Decisions". Harvard Business Review.
- Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). Mine Ventilation and Air Conditioning (3rd ed.). Wiley. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-753298-b22bafb71d.pdf>
- Hustrulid, W. A., & Bullock, R. L. (2004). Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.



- Hurtado, N. (2019). Influencias del mantenimiento de vías de acarreo en la productividad del tajo Ferrobamba Minera las Bambas – Apurímac. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4658>
- Hernández, R. (2014). Metodología de la Investigación. [https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez\\_R\\_2014\\_Metodologia\\_de\\_la\\_Investigacion?auto=download](https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion?auto=download)
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación (6ta ed.). McGraw-Hill.
- Machaca, A. (2023). Minimización de costos de carguío y acarreo mediante el control de tiempos y mantenimiento de vía en la galería Santa Catalina de la Unidad Minera Raura – Huánuco. <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19777>
- Marinovich, A. F. A. (2016). Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo Pampa Verde, minera la Zanja Cajamarca. Tesis profesional, Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5341>
- Mirano, J. V. L. (2024). Propuesta de mejora de vía para optimizar el transporte de mineral en empresa ROGASAC mina Lagunas Norte, 2024. [UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/793e8eef-c7c7-4c86-a748-9bd10259306f>
- Ñaupas, R., & otros. (2019). "La investigación aplicada en minería se orienta a resolver problemas específicos de las operaciones, buscando optimizar procesos y reducir
- Ortiz, A. (2020). Evaluación de la implementación de tecnologías en minería subterránea. Universidad Nacional de Trujillo.



Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2021). Corporate Finance. McGraw-Hill Education.

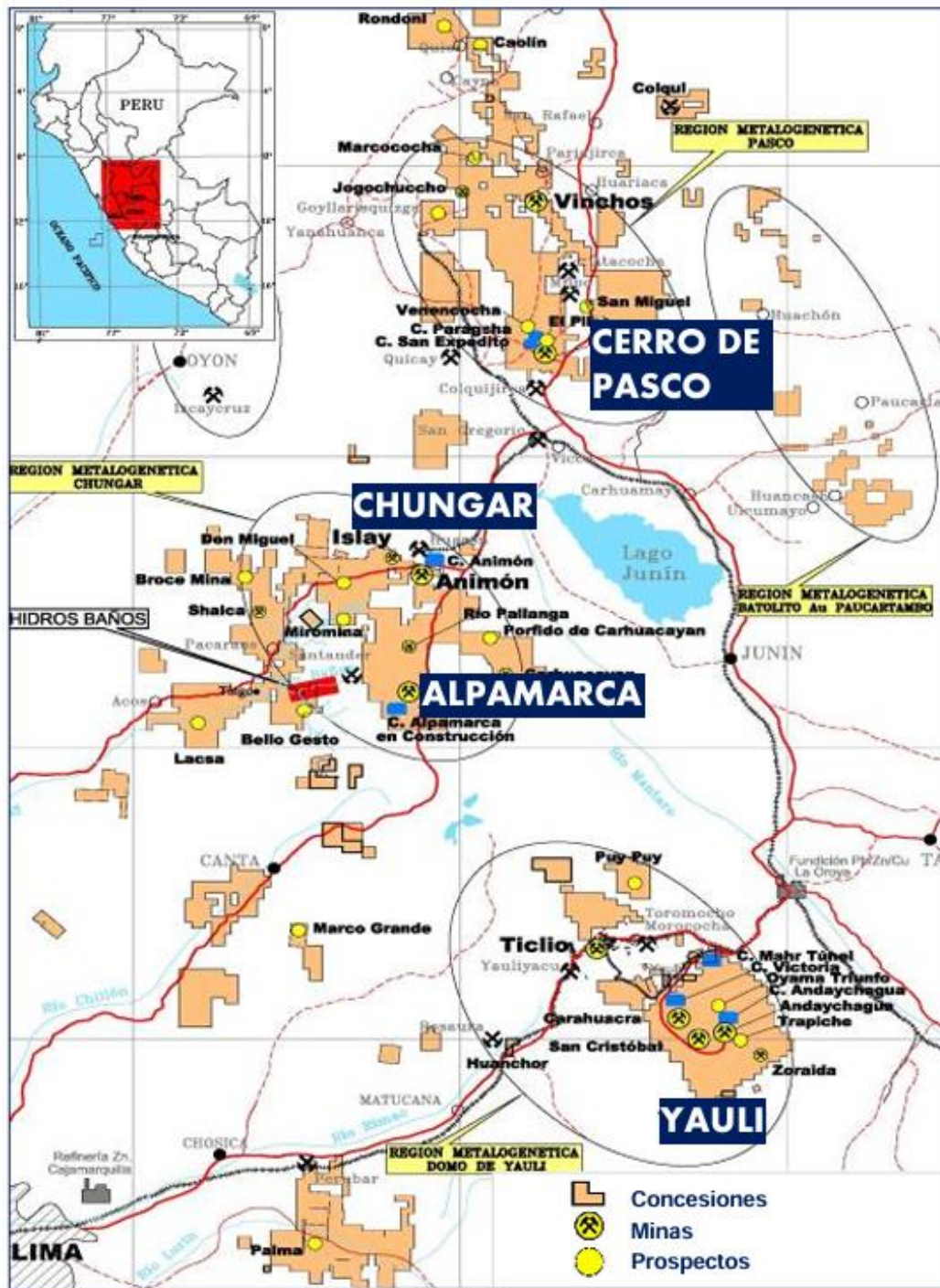
Ruiz, D. M. D., & Sandoval, R. F. M. (2022). Implementación de un plan estratégico de mantenimiento de vías para optimización de la flota de acarreo en minera la Zanja, 2022. [UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE].  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33675?show=full>

Vara-Horna, M. (2015). Investigación cuantitativa en minería: Evaluación de indicadores operativos. Universidad Nacional de Ingeniería.

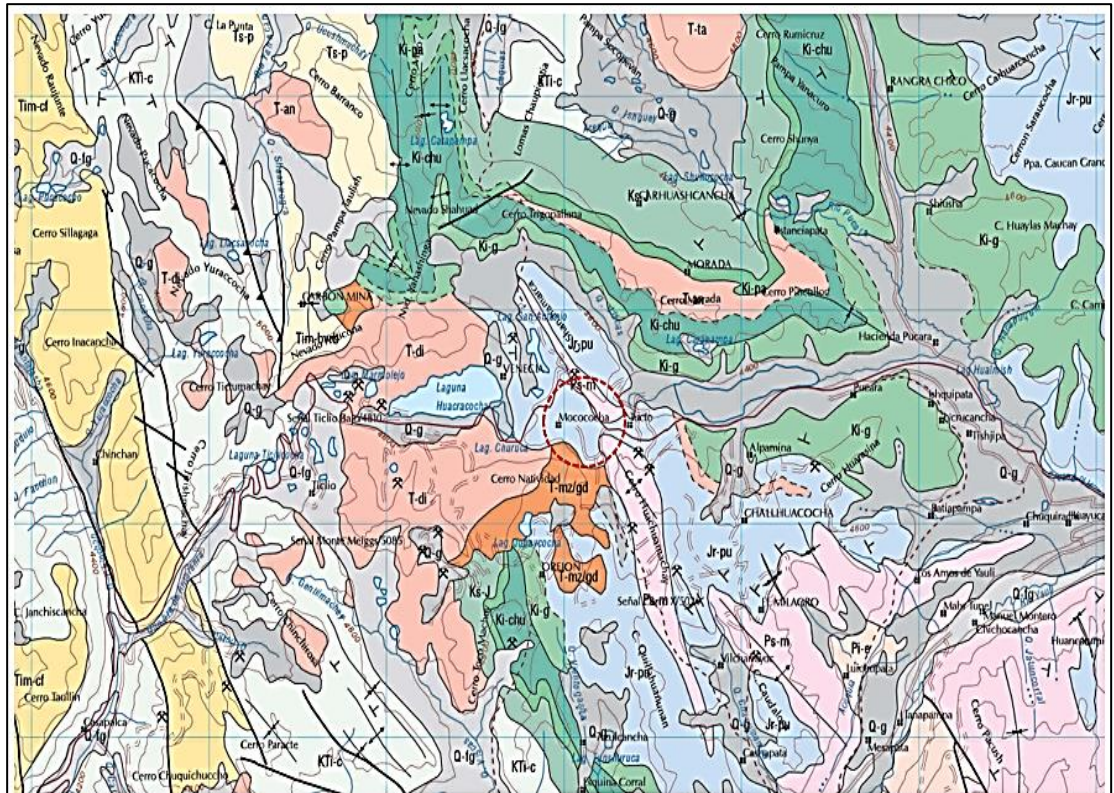


## ANEXOS

### ANEXO 1: Plano de ubicación de la Unidad Minera Islay- Cerro de Pasco



## ANEXO 2: Geología Regional del área Unidad Minera Islay



### LEYENDA

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS		
		SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR ORIENTAL	PLUTONICAS	HIPABISALES	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Q-al	Depositos aluviales		
		PLEHISTOCENO	Q-fg	Depositos fluvio-glaciares		
			Q-g	Depositos glaciares		
	TERCIARIO	SUPERIOR	Ts-p	Volc. Pacococha	T-g	Granito
			Ts-hu	Fm. Huarochiri	T-lo	Tonalita
		MEDIO	Tm-m	Volc. Millotingo	T-gd	Granodiorita
MESOZOICO	SUPERIOR	Tim-cq	Gpo. Colqui	T-to/gd	Tonalita Granodiorita	
		Tim-r	Gpo. Rimac	T-mz/gd	Monzonita Granodiorita	
	INFERIOR	KTi-c	Fm. Casapaka	T-di	Diorita	
MESOZOICO	SUPERIOR	KS-q	Fm. Celendin		KS-a	Andesita
		KS-j	Fm. Jumasha	KS-j	Fm. Jumasha	
	INFERIOR	Ki-pa	Fm. Pariatambo	Ki-pa	Fm. Pariatambo	
		Ki-chu	Fm. Chulec	Ki-chu	Fm. Chulec	
JURASICO TRIASICO	SUPERIOR		JR-pu	Gpo. Pucara		
PALEOZOICO	PERMICO SUPERIOR		PS-m	Gpo. Mitu		
	DEVONIANO INFERIOR		PI-e	Gpo. Excelsior		

- Rumbo y buzamiento de capas
- Rumbo y buzamiento suave
- Rumbo y buzamiento moderado
- Rumbo y buzamiento fuerte
- Contacto Observado
- Contacto inferido
- Eje de anticlinal
- Eje de sincinal
- Falla normal
- Sobreescurrimiento
- Línea de perfil
- Cuello volcanico
- Mina
- Pozo, fuente: jagway
- Carretera afirmada
- Camino carrozable
- Camino de herradura
- Señal geodésica



### ANEXO 3: Estado de la vía antes del mantenimiento

#### TRAMO 1 – PROGRESIVA 0+000 A 2+400



### **TRAMO 2 – PROGRESIVA 2+400 A 4+000**



### **TRAMO 3 – PROGRESIVA 4+000 A 5+000**







**ANEXO 4:** Estado de la vía después del mantenimiento

**TRAMO 1 – PROGRESIVA 0+000 A 2+400**





## TRAMO 2 – PROGRESIVA 2+400 A 4+000





### TRAMO 3 – PROGRESIVA 4+000 A 5+000





**ANEXO 5:** Costo de para el programa de mantenimiento de la vía

1. Costo de Personal para el Mantenimiento de la Vía

<b>Cargo</b>	<b>Cantidad de Trabajadores</b>	<b>Costo Diario por Trabajador (S/)</b>	<b>Duración (Días)</b>	<b>Costo Total (S/)</b>
Ingenieros de supervisión	1	300	14	4,200
Operadores de maquinaria	4	180	14	10,080
Técnicos de topografía	2	180	14	5,040
Personal de apoyo	6	100	14	8,400
<b>Total General</b>	<b>14</b>			<b>27,720</b>



## 2. Costos de Equipos de Protección Personal (EPP)

Descripción Insumo	Unidad	Cantidad por Trabajador	Cantidad Total	Precio Unitario (S/)	Precio Total (S/)
Ropa de trabajo denim/drill	Und	1	14	40.9	572.53
Cascos	Und	1	14	7	98
Chaleco reflectivo	Und	1	14	18	252
Guantes de cuero	Und	2	28	8	224
Protector de oído (tapones de jebe)	Und	4	56	2	112
Respirador dos filtros 3M	Und	1	14	35	490
Zapatos de seguridad	Und	1	14	35	490
Lentes de seguridad	Und	1	14	6	84
<b>Total de EPP</b>					<b>2,322.53</b>



### 3. Partidas Generales para el Mantenimiento de la Vía

Descripción	Unidad	Metrado	Costo Unitario (S/)	Subtotal (S/)
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				
Movilización y desmovilización de maquinaria	glb	1,00	10,500.00	10,500.00
Servicio de topografía incluyendo equipos	glb	1,00	5,200.00	5,200.00
Cartel de identificación de la obra (3.60 x 2.40 m)	UND	1,00	1,000.00	1,000.00
Equipos de protección individual	GLB	1,00	2,200.00	2,200.00



Equipos de protección colectiva	GLB	1,00	400	400
Transporte de personal	GLB	1,00	4,400.00	4,400.00
<b>Total Partidas Generales</b>				<b>23,700.00</b>

#### 4. Partidas Específicas para el Mantenimiento de la Vía

Tramo 1: Progresiva 0+000 a 2+400

Descripción	Unidad	Largo	Ancho	Espesor	Volumen	Costo Unitario (S/)	Subtotal (S/)
Extracción y apilamiento de material de cantera	m <sup>3</sup>	2,400	5,00	0,02	240,00	5.8	1,392.00
Transporte de material hasta 5km	m <sup>3</sup>	2,400	5,00	0,02	240,00	27	6,480.00



Riego, extendido y compactación material de lastre	m <sup>2</sup>	2,400	5,00		12,000.00	1.8	21,600.00
Limpieza de cunetas	m	2,400			2,400.00	0.7	1,680.00
<b>Total Tramo 1</b>							<b>31,152.00</b>

Tramo 2: Progresiva 2+400 a 4+000

Descripción	Unidad	Largo	Ancho	Espesor	Volumen	Costo Unitario (S/)	Subtotal (S/)
Extracción y apilamiento de material de cantera	m <sup>3</sup>	1,600	5,00	0,02	160,00	5.8	928
Transporte de material hasta 5km	m <sup>3</sup>	1,600	5,00	0,02	160,00	27	4,320.00
Riego, extendido y	m <sup>2</sup>	1,600	5,00		8,000.00	1.8	14,400.00





compactación material de lastre							
Limpieza de cunetas	m	1,600			1,600.00	0.7	1,120.00
<b>Total Tramo 2</b>							<b>20,768.00</b>

Tramo 3: Progresiva 4+000 a 5+000

Descripción	Unidad	Largo	Ancho	Espesor	Volumen	Costo Unitario (S/)	Subtotal (S/)
Extracción y apilamiento de material de cantera	m <sup>3</sup>	1,000	5,00	0,02	100,00	5.8	580
Transporte de material hasta 5km	m <sup>3</sup>	1,000	5,00	0,02	100,00	27	2,700.00
Riego, extendido y	m <sup>2</sup>	1,000	5,00		5,000.00	1.8	9,000.00



compactación material de lastre							
Limpieza de cunetas	m	1,000			1,000.00	0.7	700
<b>Total Tramo 3</b>							<b>12,980.00</b>



## ANEXO 6: Tiempo De Ejecución Del Mantenimiento

### PARTIDAS GENERALES PARA EL MANTENIMIENTO DE LA VÍA

*Tiempo de ejecución de partidas generales para el mantenimiento de la vía*

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Metrado</i>	<i>Duración (días)</i>
<b><u>PARTIDAS GENERALES PARA EL MANTENIMIENTO</u></b>			
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>			
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIA Y EQUIPO	glb	1,00	Durante toda la obra
SERVICIO DE TOPOGRAFIA INCL. EQUIPOS	gbl	1,00	Durante toda la obra
CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 M.	UND	1,00	1 día
EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	GLB	1,00	1 día
EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	GLB	1,00	1 día
TRANSPORTE DE PERSONAL	GLB	1,00	Durante toda la obra



## PARTIDAS ESPECÍFICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA VÍA

### TRAMO 1 – PROGRESIVA 0+000 A 2+400

*Tiempo de ejecución de partidas específicas para el mantenimiento de la vía tramo 1*

Descripción	Unidad	largo	ancho	espesor	volumen	Rendimiento	Duración (días)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS TRAMO 1 - (PROGRESIVA 0+000 HASTA 2+400)</b>							
EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m <sup>3</sup>	2 400,00	5,00	0,02	240,00	300,00	0,80
TRANSPORTE DE MATERIAL HASTA 5km	m <sup>3</sup>	2 400,00	5,00	0,02	240,00	140,00	1,71
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION MATERIAL DE LASTRADO	m <sup>2</sup>	2 400,00	5,00		12 000,00	2 500,00	4,80
LIMPIEZA DE CUNETAS	m	2 400,00			2 400,00	2 000,00	1,20

### TRAMO 2 – PROGRESIVA 2+400 A 4+000

*Tiempo de ejecución de partidas específicas para el mantenimiento de la vía tramo 2*

Descripción	Unidad	largo	ancho	espesor	volumen	Rendimiento	Duración (días)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS TRAMO 1 - (PROGRESIVA 0+000 HASTA 2+400)</b>							
EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m <sup>3</sup>	1 600,00	5,00	0,02	160,00	300,00	0,53
TRANSPORTE DE MATERIAL HASTA 5km	m <sup>3</sup>	1 600,00	5,00	0,02	160,00	140,00	1,14
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION MATERIAL DE LASTRADO	m <sup>2</sup>	1 600,00	5,00		8 000,00	2 500,00	3,20
LIMPIEZA DE CUNETAS	m	1 600,00			1 600,00	2 000,00	0,80

### TRAMO 3 – PROGRESIVA 4+000 A 5+000



*Tiempo de ejecución de partidas específicas para el mantenimiento de la vía tramo 3*

Descripción	Unidad	largo	ancho	espesor	volumen	Rendimiento	Duración (días)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS TRAMO 1 - (PROGRESIVA 0+000 HASTA 2+400)</b>							
EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m <sup>3</sup>	1 000,00	5,00	0,02	100,00	300,00	0,33
TRANSPORTE DE MATERIAL HASTA 5km	m <sup>3</sup>	1 000,00	5,00	0,02	100,00	140,00	0,71
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION MATERIAL DE LASTRADO	m <sup>2</sup>	1 000,00	5,00		5 000,00	2 500,00	2,00
LIMPIEZA DE CUNETAS	m	1 000,00			1 000,00	2 000,00	0,50

La duración total no es la suma de la duración de cada tramo, pues hay partidas que se pueden realizar simultáneamente.



*Tiempo de ejecución total para el mantenimiento de la vía*

<b>DURACIÓN</b>															
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIA Y EQUIPO															
SERVICIO DE TOPOGRAFIA INCL. EQUIPOS															
CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 M.															
EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL															
EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA															
TRANSPORTE DE PERSONAL															
EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m <sup>3</sup>		X	X											
TRANSPORTE DE MATERIAL HASTA 5km	m <sup>3</sup>			X	X	X	X								
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION MATERIAL DE LASTRADO	m <sup>2</sup>				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
LIMPIEZA DE CUNETAS	m												X	X	X
DURACIÓN TOTAL:		14 días													



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANCK ANTONNY ALANGUSA ANCCO  
identificado con DNI 73759428 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DEL MINERAL A LA PLANTA DE BENEFICIO  
MEDIANTE EL MANTENIMIENTO DE VÍA EN LA MINERA ISLAY DE LA EMPRESA  
CHUNGAR S.A.C. - CERRO DE PASCO "

Es un tema original.


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

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

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

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

Puno 26 de noviembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo FRANCK ANTONNY ALANGUISA ANCO identificado con DNI 73759428 en mi condición de egresado de:

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

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

" REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DEL MENERAL A LA PLANTA DE BENEFICIO MEDIANTE EL MANTENIMIENTO DE VÍA EN LA MANERA ISLAY DE LA EMPRESA CHUNGAR S.A.C. - CERRO DE PASCO "

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 26 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella