



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

**Programa de buenas prácticas de manejo en equipos  
de acarreo para la optimización en el consumo de  
combustible en una empresa minera de tajo abierto,  
Huaraz**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR**

**Eddy Ronaldo HUERTA MASLUCÁN**

**ASESOR**

**Dr. Rosa Karol MOORE TORRES**

**Lima, Perú**

**2026**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Huerta, E. (2026). *Programa de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo para la optimización en el consumo de combustible en una empresa minera de tajo abierto, Huaraz*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

|                                  |                                                                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Datos de autor</b>            |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Eddy Ronaldo Huerta Maslucán                                                              |
| Tipo de documento de identidad   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 70572775                                                                                  |
| URL de ORCID                     |                                                                                           |
| <b>Datos de asesor</b>           |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Rosa Karol Moore Torres                                                                   |
| Tipo de documento de identidad   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 31680729                                                                                  |
| URL de ORCID                     | <a href="https://orcid.org/0000-0002-7608-9377">https://orcid.org/0000-0002-7608-9377</a> |
| <b>Datos del jurado</b>          |                                                                                           |
| <b>Presidente del jurado</b>     |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Daniel Victor Surco Salinas                                                               |
| Tipo de documento                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 09722150                                                                                  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>      |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Jorge Enrique Ortiz Porras                                                                |
| Tipo de documento                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 40523944                                                                                  |
| <b>Miembro del jurado 2</b>      |                                                                                           |
| Nombres y apellidos              | Willy Hugo Calsina Miramira                                                               |
| Tipo de documento                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad | 09512630                                                                                  |
| <b>Datos de investigación</b>    |                                                                                           |
| Línea de investigación           | ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. 4. Gestión organizacional sostenible.     |

|                                                        |                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grupo de investigación                                 | No aplica                                                                                                                           |
| Agencia de financiamiento                              | Sin financiamiento.                                                                                                                 |
| Ubicación geográfica de la investigación               | País: Perú<br>Departamento: Áncash<br>Provincia: Huari<br>Distrito: San Marcos<br>Latitud: 09° 32' 14" S<br>Longitud: 77° 03' 40" O |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Agosto de 2023 - Agosto 2024                                                                                                        |
| URL de disciplinas OCDE                                | Ingeniería Industrial<br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04</a>        |



UNIVERSIDAD NACIONAL  
MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

VICEDECANATO ACADÉMICO

## ACTA DE SUSTENTACIÓN N°027-VDAP-FII-2026

### SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunido en acto público en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Industrial, el día **viernes 07 de agosto de 2026**, a las 11:00 horas, dio inicio a la sustentación de la tesis:

**“PROGRAMA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO EN  
EQUIPOS DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL  
CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA MINERA DE  
TAJO ABIERTO, HUARAZ”**

Que presenta el Bachiller:

**EDDY RONALDO HUERTA MASLUCÁN**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Modalidad: **Ordinaria**.

Luego de la exposición, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las 12:00 horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido aprobado por unanimidad con la calificación promedio de dieciocho (18), lo cual se comunicó públicamente.

Lima, 07 de agosto del 2026

DR. DANIEL VICTOR SURCO SALINAS  
**Presidente**

DR. JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS  
**Miembro**

MG. WILLY HUGO CALSINA-MIRAMIRA  
**Miembro**

DR. ROSA KAROL MOORE TORRES  
**Asesor**

DR. JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA  
**Vicedecano Académico – FII**





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE  
**SAN MARCOS**  
Universidad del Perú, Decana de América

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **MOORE TORRES ROSA KAROL** en mi condición de asesor acreditado por el Dictamen N° **005-EPII-FII-2026** de la tesis, cuyo título es **PROGRAMA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO EN EQUIPOS DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UNA EMPRESA MINERA DE TAJO ABIERTO, HUARAZ**, presentado por el bachiller **HUERTA MASLUCÁN EDDY RONALDO** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **18%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Industrial.

Lima, 28 de septiembre del 2026



UNMSM

Firmado digitalmente por MOORE  
TORRES Rosa Karol FAU  
20148092282 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 28.09.2026 18:04:55 -05:00

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **MOORE TORRES ROSA KAROL**  
DNI: **31680729**

## **Dedicatoria**

*Una dedicatoria especial para mi madre, que sé que desde el cielo está orgullosa de mí; independientemente de la decisión que tomé como profesional, tengo la deuda de no defraudarla en este camino que escogí. A mi padre por impulsarme a ser mejor persona cada día. A mis hermanos por apoyarme siempre y mostrarme el mejor camino en esta vida profesional. Y a mis familiares y amigos en general por su apoyo incondicional, tanto en mi vida profesional como personal.*

### **Agradecimientos**

*Un agradecimiento a mi amada UNMSM, por todas las experiencias y aprendizajes que me ha brindado. Un agradecimiento especial a mi asesor, por ser mi guía para el desarrollo de este documento.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN                                               | 10 |
| ABSTRACT                                              | 11 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN                              | 12 |
| 1.1. Introducción                                     | 12 |
| 1.2. Planteamiento del problema                       | 13 |
| 1.2.1. Determinación del problema                     | 13 |
| 1.2.2. Formulación del problema                       | 16 |
| 1.2.2.1. Problema Principal                           | 16 |
| 1.2.2.2. Problemas secundarios                        | 16 |
| 1.3. Objetivos de la investigación                    | 16 |
| 1.3.1. Objetivo principal                             | 16 |
| 1.3.2. Objetivos secundarios                          | 16 |
| 1.4. Importancia y alcance de la investigación        | 17 |
| 1.5. Limitaciones de la investigación                 | 18 |
| CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA                   | 19 |
| 2.1. Marco teórico                                    | 19 |
| 2.2. Antecedentes del estudio                         | 19 |
| 2.3. Bases teóricas                                   | 26 |
| 2.3.1. La Operación Minera a Cielo Abierto (Open Pit) | 26 |
| 2.3.2. Equipos de acarreo minero                      | 28 |

|                                     |                                                                        |    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3.                              | Fundamentos del Pensamiento Lean (Lean Thinking)                       | 30 |
| 2.3.4.                              | Los Siete Tipos de Desperdicio (Muda) Aplicados a la Minería           | 32 |
| 2.3.5.                              | Herramientas Lean aplicables al manejo de equipos                      | 34 |
| 2.3.6.                              | Programas de Buenas Prácticas de Manejo (PBPM)                         | 35 |
| 2.3.7.                              | Programa de Buenas prácticas de manejo de equipos de acarreo<br>minero | 38 |
| 2.3.8.                              | Optimización de consumo de combustible en una empresa<br>minera        | 39 |
| 2.3.9.                              | Consumo de combustible como indicador clave de rendimiento<br>(KPI)    | 40 |
| 2.3.10.                             | Simulador Immersive PRO4-B                                             | 41 |
| 2.4.                                | Definición de términos                                                 | 42 |
| CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES |                                                                        | 45 |
| 3.1.                                | Hipótesis                                                              | 45 |
| 3.1.1.                              | Hipótesis principal                                                    | 45 |
| 3.1.2.                              | Hipótesis específicas                                                  | 45 |
| 3.2.                                | Variables                                                              | 45 |
| 3.3.                                | Operacionalización de las variables                                    | 46 |
| CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS   |                                                                        | 48 |
| 4.1.                                | Área de estudio                                                        | 48 |
| 4.2.                                | Tipo y diseño de investigación                                         | 48 |
| 4.3.                                | Población y muestra                                                    | 49 |
| 4.3.1.                              | Unidad de análisis                                                     | 49 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.2. Población de estudio                                          | 49 |
| 4.3.3. Tamaño de muestra                                             | 49 |
| 4.3.4. Selección de la muestra                                       | 49 |
| 4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos | 50 |
| 4.5. Análisis estadístico                                            | 52 |
| CAPÍTULO V: RESULTADOS                                               | 53 |
| 5.1. Diagnóstico situacional de la empresa                           | 53 |
| 5.2. De la implementación del Tratamiento                            | 55 |
| 5.2.1. Contrastación de hipótesis                                    | 69 |
| CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN                                               | 76 |
| CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                         | 78 |
| 7.1. Conclusiones                                                    | 78 |
| 7.2. Recomendaciones                                                 | 78 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                     | 80 |
| IX. ANEXOS                                                           | 85 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. <i>Matriz de operacionalización de variable independiente</i>                  | 46 |
| Tabla 2. <i>Matriz de operacionalización de variable dependiente</i>                    | 47 |
| Tabla 3. <i>Cuadro resumen de consumo y tiempos por usuario</i>                         | 58 |
| Tabla 4. <i>Cuadro resumen de instancias de error por usuario</i>                       | 60 |
| Tabla 5. <i>Cronograma para ejecución de charlas de buenas prácticas</i>                | 64 |
| Tabla 6. <i>Reporte junio 2024, consumo de combustible y productividad<br/>estimada</i> | 67 |
| Tabla 7. <i>Cálculo de ahorro de combustible por cada 100 km por operario</i>           | 74 |
| Tabla 8. <i>Reporte final de beneficio</i>                                              | 75 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. <i>Diagrama de Ishikawa de desperdicio de combustible en una operación minera de tajo abierto</i> | 15 |
| Figura 2. <i>Camión Volquete Komatsu</i>                                                                    | 29 |
| Figura 3. <i>Pala mecánica CAT</i>                                                                          | 30 |
| Figura 4. <i>Simulador Immersive PRO4-B.</i>                                                                | 42 |
| Figura 5. <i>Simulador Immersive PRO 4-B</i>                                                                | 51 |
| Figura 6. <i>Cronograma de pruebas de simuladores</i>                                                       | 51 |
| Figura 7. <i>Mapa de procesos operativos de Antamina.</i>                                                   | 54 |
| Figura 8. <i>Detalles de las pruebas con el SimControl del simulador Immersive PRO 4.</i>                   | 56 |
| Figura 9. <i>Detalles de las pruebas con el SimControl del Simulador Immersive PRO 4</i>                    | 57 |
| Figura 10. <i>Diagrama de Pareto de instancias de error</i>                                                 | 62 |
| Figura 11. <i>Documento informativo de buenas prácticas</i>                                                 | 65 |
| Figura 12. <i>Charla informativa sobre buenas prácticas de manejo</i>                                       | 66 |
| Figura 13. <i>Datos de consumo de combustible por tramo recorrido pre y post test</i>                       | 68 |
| Figura 14. <i>Prueba estadística T-student</i>                                                              | 69 |
| Figura 15. <i>Datos de productividad pre y post test</i>                                                    | 70 |
| Figura 16. <i>Prueba estadística T-student</i>                                                              | 71 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17. <i>Reporte de Proyección de Combustible</i>           | 72 |
| Figura 18. <i>Reporte de recorrido en km de camiones kom 930</i> | 73 |

## **RESUMEN**

El presente documento de trabajo está basado en la problemática actual que enfrenta la mayoría de compañías mineras de tajo abierto en la actualidad respecto al mal uso del combustible en sus áreas operativas; por lo tanto, un gran número de empresas mineras buscan implementar herramientas de buenas prácticas para lograr un mejor uso del combustible en los equipos de acarreo y con ello ahorros significativos.

Para el desarrollo de este documento se optó por un análisis de datos basado en los sistemas de medición de consumo de combustible por tiempo y distancia de recorrido en una operación minera de tajo abierto, para lo cual participaron 8 operarios de camiones del modelo Komatsu 930E-4SE.

Posteriormente, se aplicó la regla de Pareto a los códigos de acciones obtenidos en los simuladores y pruebas de campo, que mostraron que existe una significativa oportunidad de mejora en las malas prácticas de manejo, particularmente en el frenado agresivo, presión agresiva del acelerador y exceso de velocidad.

De esta manera se concluye que se lograría un ahorro significativo en el consumo de combustible al implementar buenas prácticas de manejo, resultando así en un ahorro anual de 76,068.81 galones de combustible en un año, lo que para una flota de 92 camiones Komatsu 930E-4SE representaría un ahorro aproximado equivalente a 263,198 M\$.

Palabras clave: acarreo, operarios, simuladores, ahorro.

## **ABSTRACT**

This document work is based on the current problematic faced by most open-pit mining companies regarding fuel misuse in their operational areas; therefore, a large number of mining companies are seeking to implement best-practice tools to achieve better fuel use in the hauling equipment and thus significant savings.

For the development of this document, a data analysis based on the fuel consumption measurement systems by time and travel distance in an open-pit mining operation, for which eight Komatsu 930E-4SE truck operators participated.

Subsequently, the Pareto rule was applied to the action codes obtained in the simulators, and field tests showed that there is a significant opportunity for improvement in poor driving practices, particularly in the aggressive breaking, aggressive accelerator pedal pressure, and speeding.

In this way it is concluded that significant savings in fuel consumption would be achieved by implementing good driving practices, resulting in an annual saving of 76,068.81 gallons of fuel in one year, which for a fleet of 92 Komatsu 930E-4SE trucks would represent an approximate saving equivalent to \$263,198 million.

Keywords: haulage, operating, simulators, saving.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción**

La presente tesis tiene por objetivo presentar un programa de mejora en el área de operaciones de una mina de tajo abierto basado en la metodología Lean; para ello se hizo un planteamiento del problema, detallando términos técnicos del rubro minero, la importancia del área de operaciones mina y el porqué del gran impacto en beneficios en esta área en mención. Seguidamente, se hizo un análisis para identificar los factores más relevantes que afectan al consumo excesivo de combustible en camiones de acarreo Komatsu 930E-4SE con ayuda de simuladores de manejo y con apoyo del área de entrenamiento mina. Una vez identificados estos factores o malas prácticas de manejo, se elaboraron documentos informativos de buenas prácticas de manejo para poder mitigar estas malas prácticas identificadas anteriormente. Finalmente, se instruyó a los operadores de camiones con estos documentos informativos de buenas prácticas, y se analizaron los resultados obtenidos del área de Dispatch o Sistema de despacho; para ello se hicieron comparaciones con la línea base brindada por el área de Sistemas de despacho, identificando así una mejora en el consumo de combustible durante un año calendario. Con lo anteriormente mencionado, se identificaron las conclusiones y recomendaciones del documento de tesis, entre otros aspectos que ayudarán a la comunidad del rubro minero a tener una visión de mejora en esta área tan relevante para las compañías mineras como es el área de operaciones mina.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Determinación del problema**

La eficiencia en el consumo de combustible en operaciones de tajo abierto ha avanzado significativamente gracias a la optimización en la recopilación y el análisis de datos (Santillán, 2024). El consumo de energía y de combustibles fósiles como el petróleo, carbón o el gas, así como las actividades que derivan de estos consumos y el transporte de bienes o de personas, son temas importantes para la gestión de una empresa minera debido al uso intensivo de energía en la operación y los impactos asociados sobre el medio ambiente y el cambio climático, que tienen un impacto también social y comunitario en el país.

El uso ineficiente de combustible en una compañía minera de tajo abierto no solo tiene un impacto económico, sino también ambiental, tal y como lo indica Peralta Ballesta (2024), cuya investigación indica que: La mina a cielo abierto se enfrenta a un desafío crítico relacionado con el consumo de combustible en sus equipos mineros, debido a que este factor es uno de los costos más representativos en la operación minera, el cual la empresa debe asumir. La actividad de extracción de minerales metálicos representa más o menos entre el 3 y el 4 % de las emisiones totales del dióxido de carbono existente a nivel mundial. En el caso específico de la minería a cielo abierto, alrededor del 45 por ciento de las emisiones de carbono se clasifican como Alcance 1, siendo aproximadamente el 35 por ciento de estas emisiones atribuibles al combustible utilizado en el transporte (Peralta Ballesta, 2024).

Teniendo en cuenta esta premisa de la crisis actual de mercado en la industria minera, las empresas están buscando minimizar costos (La República, 2024). El alto consumo de combustible que llevan a cabo los equipos mineros de Antamina constituye un gran desafío operativo y financiero. Actualmente, no existe un plan de trabajo, procedimientos, planes informativos que ayuden a combatir las malas prácticas de manejo en la operación y que informen el impacto negativo que tienen

las malas prácticas de manejo, por lo que los operarios de camiones desconocen ello.

El problema que abarca esta tesis es la de reducir el consumo de combustible en una empresa minera de tajo en el área de operaciones mina en Huaraz. Como ejemplo tenemos a la compañía minera Antamina, cuyo sistema de despacho, reportó en junio del 2024 un promedio en el consumo de combustible de 9.34 galones por cada 100 kilómetros recorridos (Tabla 6).

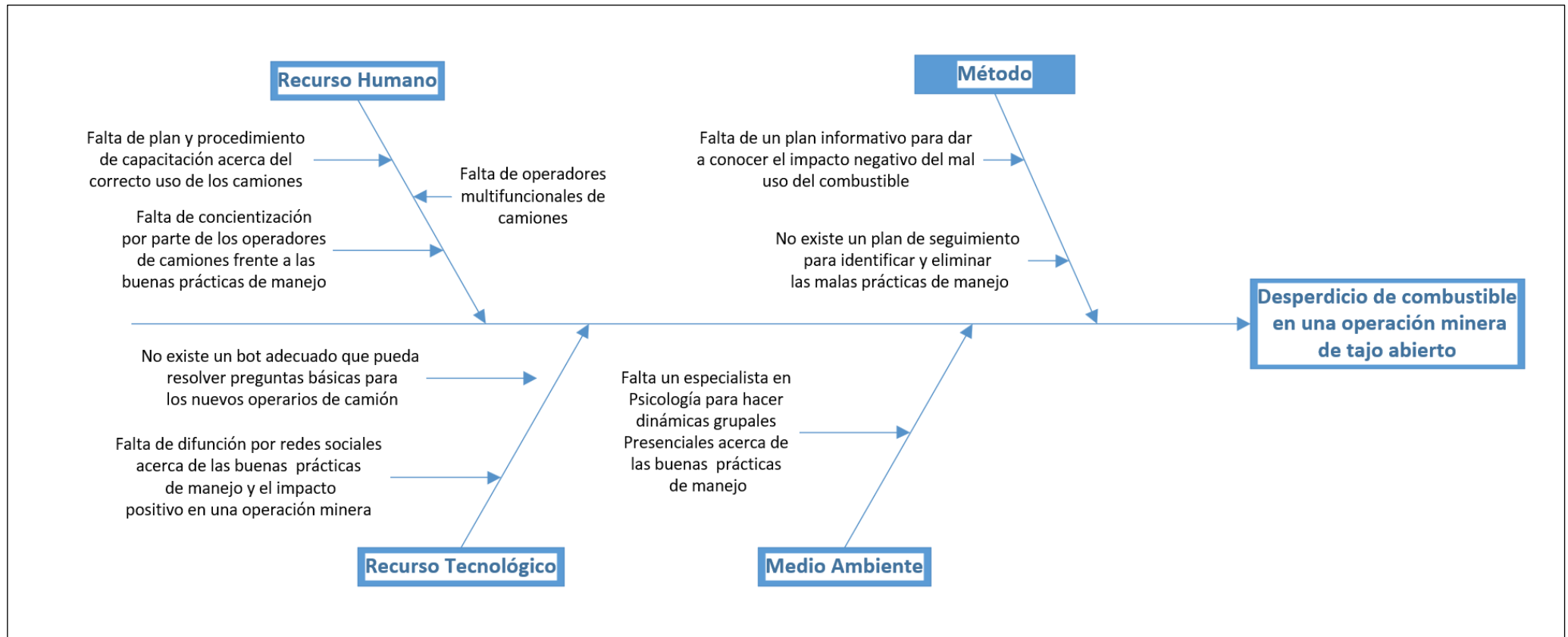
Jean Pierre Escalante (2021) indica en su trabajo de investigación titulado: “Optimización de la gestión operativa logística de vehículos basado en el ciclo de PHVA”, una reducción en las variaciones del combustible en un 75 %, enfocándose en la reducción de los tiempos Round Trip, el incremento de la producción y la reducción de las variaciones en el consumo de combustible, la investigación concluye con la mejora de la productividad por medio de una mejor optimización de los tiempos y la maximización de la producción.

El presente programa tuvo como finalidad ser una alternativa de mejora frente al consumo excesivo de combustible por parte de los equipos de acarreo empleados en el área operativa de las compañías mineras de tajo abierto, Para el desarrollo del pronóstico del programa, se usaron como referencia las distancias y pendientes de los tramos analizados. Adicionalmente se usaron herramientas de análisis de causas raíz para identificar posibles soluciones frente a este problema (Figura 1), optando así, por una solución enfocada a la implementación de un programa de buenas prácticas en equipos de acarreo.

Además, con este programa se busca tener un plan de trabajo informativo que apoye de una manera cultural a los operadores de camiones, buscando así una concientización por parte de ellos, así como formar una identidad con la empresa frente al uso eficiente del consumo de combustible, además con el medio ambiente y la emisión de gases de efecto invernadero.

**Figura 1.**

*Diagrama de Ishikawa de desperdicio de combustible en una operación minera de tajo abierto.*



Fuente: Elaboración propia.

### **1.2.2. Formulación del problema**

#### **1.2.2.1. Problema principal**

¿Cómo influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina en Huaraz?

#### **1.2.2.2. Problemas secundarios**

- ¿En qué medida influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la optimización del consumo de combustible por tramo recorrido en el área de operaciones mina en Huaraz?
- ¿De qué manera influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la productividad estimada en el área de operaciones mina en Huaraz?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo principal**

Determinar la influencia de la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina en Huaraz.

#### **1.3.2. Objetivos secundarios**

- Determinar la influencia de la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la optimización del consumo de combustible por tramo recorrido en el área de operaciones mina en Huaraz.
- Determinar la influencia de la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la productividad estimada en el área de operaciones mina en Huaraz.

#### **1.4. Importancia y alcance de la investigación**

Las oportunidades de mejora en el consumo de combustible son muy recurrentes en varias minas a tajo abierto a nivel nacional (Segovia et al, 2024); esto se debe a que este recurso es uno de los más importantes para el rubro minero, ya que es utilizado por los equipos mineros en las operaciones mineras. El programa de optimización en la eficiencia de consumo de combustible en una empresa minera de tajo abierto es de vital importancia debido a sus múltiples beneficios económicos, ambientales y operativos. Una mejor eficiencia en el uso de combustible trae consigo una reducción significativa en los costos operativos (Torres Flores, 2024), lo que impacta positivamente en la rentabilidad de la empresa. También, impacta directamente a la sostenibilidad ambiental debido a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, mejorando a su vez la imagen de la empresa al mostrar un compromiso con la sociedad y el medio ambiente.

El alcance del programa abarca desde la identificación de los factores más relevantes de las malas prácticas de manejo, la implementación de herramientas de buenas prácticas y su respectivo seguimiento para finalmente realizar el análisis del impacto del consumo de combustible obtenido con las mejoras implementadas frente a la línea base brindada por el Sistema de Despacho de la compañía minera. Con el presente programa se busca promover una cultura de eficiencia operativa en el rubro minero del país.

## 1.5. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se encontraron al realizar el programa fueron:

- Tiempo de inactividad: Se tuvieron limitaciones con la disponibilidad por parte de los operarios, esto debido a que se tiene que tener en consideración la productividad de cada operario de camión por cada hora invertida en el programa; para ello se solicitaron los permisos necesarios con el área de operaciones Mina.
- Escenario: El programa en mención se desarrolló en el área de operaciones mina, por lo que fue necesario que los encargados de la ejecución se encuentren presencialmente en el campo operativo para visualizar posibles barreras que afecten el desarrollo de este.
- Seguimiento constante: Fue necesario un programa de seguimiento constante de las mejoras implementadas para mantener estos buenos hábitos de manejo a largo plazo y lograr que estos formen parte de la cultura de la empresa.
- Disponibilidad de encargados de las áreas: Se tuvieron algunos inconvenientes con la disponibilidad del gerente y superintendentes del área de Operaciones Mina durante la ejecución del programa, esto debido a la agenda tan saturada que manejan.

## **CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Marco teórico**

Para el presente trabajo de tesis se consideraron otras tesis con un enfoque similar, artículos de investigación y bases teóricas como marco teórico. Ello permitió contextualizar y fundamentar el problema de investigación que se basó en el impacto que tendría la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo frente al consumo de combustible en el área de operaciones mina.

### **2.2. Antecedentes del estudio**

#### **2.2.1. Antecedentes nacionales**

Guohan M. & Chavez J. & Quispe J. & Torres P. (2025), Cuyo estudio de investigación ha tenido como objetivo principal la optimización de la eficiencia en el consumo de combustible en camiones mineros de capacidad de 320 a 400 toneladas para operaciones de tajo abierto mediante la aplicación de aditivo sintético. Dicha investigación tuvo resultados que indicaron que hubo un consumo total de 3,995,570 galones en la flota con aditivo frente a 4,130,667 galones en la flota sin aditivo, lo que representó una reducción del 3.27% en el consumo de combustible. Esto representó un ahorro bruto durante el periodo de prueba de USD 770,293.26 y un gasto de USD 206,533 en la adquisición de 2753.7 galones de aditivo de nanopartículas, generando un ahorro neto de USD 563,759.91.

Con ello, los autores de la investigación en mención, concluyeron que la flota con aditivo presentó un menor consumo de diésel en comparación con la flota sin aditivo, presentando de esta manera un

potencial ahorro en el consumo de combustible. El estudio en mención fue relevante para la presente investigación, ya que enfatiza el indicador del consumo de combustible como un indicador clave para representar el ahorro, dando a entender la relevancia de este factor frente a las propuestas de mejora en las operaciones mineras de tajo abierto.

Rivas C. & Zamora H. (2019), cuyo estudio tuvo como objetivo la optimización de la gestión del proceso de transporte en la empresa Zamarcar S. A. C., aplicando una propuesta de un plan de mejora. El método de investigación fue el de tipo aplicado con un enfoque cuantitativo y un diseño cuasi experimental; la muestra estuvo conformada por 682 servicios de transporte de carga de materiales para terceros a mineras; las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recopilación de información fueron: la observación directa, análisis de actividades del proceso, análisis de la documentación interna, consulta a clientes internos y visitas a la empresa. Se utilizaron KAIZEN y DMAIC como métodos de mejora para el estudio. Los resultados indicaron que hubo una reducción de un 15 % en el consumo de combustible, un 19.8 % reduciendo los gastos por mantenimiento y una reducción del 15 % en reducción de fallas mecánicas.

Con ello, los autores concluyeron que la optimización en la gestión del proceso del transporte se asocia a la reducción en el consumo de combustible, gastos por mantenimiento y reducción de fallas mecánicas. El objetivo central del estudio en mención fue importante para la presente investigación, ya que enfatiza el impacto del consumo de combustible como indicador clave de mejora en optimización en el proceso de transporte.

Maita Y. & Quispe A. (2020), cuyo objetivo en su tesis fue la de una Evaluación técnico-económica de los equipos de transporte de mineral de la veta Pablo, nivel 4328-4402, Unidad Minera Pallancata a fin de optimizar dicho sistema de transporte, bajo una metodología para la recolección de datos fue la revisión documental y el acopio de datos correspondientes en la unidad minera, tuvo resultados en el ahorro de combustible de US \$ 127,512 por el periodo de producción proyectado, teniendo en cuenta un ahorro en combustible de 49,810 galones, considerando un costo por galón de US \$ 3.20.

Finalmente, los autores concluyeron que la evaluación del sistema de gestión de transporte de mineral, permitió definir variables operacionales y de mantenimiento (utilización y disponibilidad) mejorando el ritmo de producción en el tiempo programado en el plan de minado. Esta tesis fue relevante para la presente investigación debido a que enfatiza un análisis técnico y económico para optimizar el consumo de combustible, generando así ahorros significativos para la empresa minera.

Escalante J. (2021), cuyo objetivo de estudio fue incrementar la producción en los servicios de transporte de combustible para la Unidad minera Las Bambas de la empresa MC Transportes S.R.L., para dicha investigación, se utilizó la metodología PHVA, más conocido como el ciclo de Deming. Los resultados de la investigación indicaron que se redujeron las variaciones del combustible en un 75 %.

De esta manera, el autor de la investigación concluyó con la mejora de la productividad por medio de una mejor optimización de los tiempos y la maximización de la producción. El estudio en mención

fue relevante para la presente investigación, ya que su objetivo central como mejora productiva en el área de transporte prioriza el indicador del consumo de combustible como un indicador clave de mejora continua.

Alvarez R. (2021), cuyo estudio de tesis tuvo como objetivo el incremento de la rentabilidad económica optimizando la operación transporte de mineral en la E.C.M. Martínez Contratistas e Ingeniería S. A. Unidad Minera Atacocha. Tuvo un diseño experimental de enfoque cuantitativo – cuasiexperimental. Logrando implementar indicadores de gestión (KPI) y optimizando la operación de transporte de mineral, incrementando la disponibilidad mecánica % en 5.47%, rendimiento de volquetes en 12.71 Tm/h y producción de mineral movido en 38 272 Tm, para finalmente reducir el consumo de combustible en 0.08 gal/h y demoras operativas en 660.75 horas. Con ello, se logró incrementar la rentabilidad económica en 7.23% que representa en términos monetarios \$ 22 099.54 y reducir los gastos operacionales en \$ 119 708.40.

De esta manera, el autor concluye que es importante contar con el área de costos y productividad para controlar el proceso y procedimiento de la operación de transporte de mineral. Esta tesis fue relevante para la presente investigación debido a que enfatiza la optimización en la operación de transporte en una unidad minera como un área clave para incrementar la rentabilidad económica de la empresa.

### **2.2.2. Antecedentes internacionales**

Pipon Castro (2023), cuyo estudio tuvo como objetivo implementar servicios para optimizar el consumo de combustible en la industria minera, de esta manera se garantiza la disminución de costos en el consumo de combustible y de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, aplicando innovación tecnológica orientada a la mejora continua y con un equipo humano altamente calificado en minería.

Así mismo, se tuvo resultados en el aumento de la utilización efectiva de los camiones de hasta un 1% y en la reducción del consumo de combustible de un 10%. Los resultados mostraron una correlación positiva y significativa entre el servicio de optimización de consumo de combustible y la satisfacción de las necesidades de los clientes. Los autores concluyeron que la optimización del consumo de combustible en operaciones mineras de tajo abierto, se asocia a la disminución de costos del recurso en mención, en la reducción de emisiones GEI y aumento de la eficiencia operativa. El diseño de investigación correlacional entre las variables mencionadas (consumo de combustible y eficiencia operativa) proporcionó un modelo metodológico de referencia sólido para la obtención y el análisis de datos. A nivel conceptual, el objetivo central de dicho estudio fue relevante para la presente investigación, puesto que subraya la importancia de la optimización del consumo de combustible como un factor clave en la mejora de la eficiencia.

Peralta Ballesta (2024), cuyo objetivo del estudio fue optimizar el consumo de combustible en los equipos mineros de Cerro Matoso a través de inspecciones detalladas para definir mejores mediciones de consumo y fomentar prácticas operacionales eficientes. El enfoque estuvo basado en un modelo predictivo para prever el consumo de

combustible en función de variables operativas. El trabajo realizado permitió ciertos hallazgos en materia de estandarización de operaciones y buenas prácticas para una optimización de procesos y aprovechamiento del combustible. Se logró reducir las pérdidas por fugas de combustible en más de un 56%.

La importancia del presente estudio radicó en su alineación con el objetivo principal de la presente tesis, centrado en la optimización del consumo de combustible. Esta optimización emergió como un factor esencial para mejorar la rentabilidad y reducir el impacto ambiental inherente a la operación minera.

Fortuny (2021), cuya investigación tuvo como finalidad dar a conocer que hay empresas del rubro minero que han implementado de manera limitada el enfoque Lean management. Es por ello que la adopción del Lean Management en el sector minero es de vasto interés para la extensión de las mejores prácticas y de los resultados alcanzados por estas mismas. Para los profesionales del sector, la gestión Lean y sus herramientas se presentan como un instrumento poderoso para relanzar la competitividad del sector en un momento clave. Por otro lado, para los académicos, se abre un camino de investigación sobre las adaptaciones de algunas herramientas concretas sobre la que actualmente no se sabe mucho.

Así mismo, señala que, en una empresa brasileña, el volumen extraído mensualmente creció un 43.6%, y al mismo tiempo el coste por tonelada disminuyó un 32.9%. Este estudio es relevante para la tesis ya que incentiva a la implementación de una metodología Lean de mejora continua para los procesos que intervienen en la empresa y así buscar reducir los desperdicios, para el presente estudio mediante la optimización del consumo de combustible en los

camiones de acarreo.

Villarroel (2015) cuyo trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar la metodología Lean Management dentro de la Operación Rajo de DET, para establecer el camino hacia una Operación de excelencia, basándose en disminuir los tiempos no operacionales y/o pérdidas, como también una optimización de estos, logrando así, altos niveles de productividad sobre lo proyectado, y detectando aquellos (as) actividades que no agregan valor, como también ver alternativas distintas de realización, captando de esta manera un valor distinto a lo realizado siempre. La aplicación de la metodología Lean Management logra situar a una operación de explotación a Rajo Abierto con parámetros distintos y optimizados, que impactan directamente en los costos de producción. Este tipo de aplicación, es válida para cualquiera de las Operaciones Unitarias de una Operación Rajo, como la Tronadura, el Carguío, la Perforación, los Servicios, etc., como también el Área de Mantenimiento o Mantención (ej. Aplicación de las 5S en Taller de Mantención), y con más razón a nivel de una compañía minera para cada uno de sus procesos. Finalmente, en los resultados que se obtuvieron, se destaca un aumento de la productividad de 41 ktpd (miles de toneladas por día) a 43 ktpd (miles de toneladas por día), es decir, 720 kton al año, que se realiza con menos recursos y en forma productiva. Así mismo, demostraron con creces que la excelencia operacional, basada en una aplicación de una metodología Lean Management, es factible en la Industria Minera Rajo, dejando las formas actuales de hacer las cosas o las pérdidas, y sobre todo estandarizando los procesos con la importante incorporación de las personas que están involucradas en la solución de la problemática. Este trabajo de tesis en mención

fue relevante para la tesis, ya que mostró la estrecha relación de causa efecto entre la excelencia operacional y la aplicación de Lean Management.

Langlois (2018) cuya investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un simulador dinámico para el proceso productivo de relaves en pasta que pueda ser utilizado en el estudio de estrategias de control avanzado multivariable. El simulador dinámico fue implementado en un contexto de programación Simulink de MathWorks y posteriormente fue validado cualitativamente a través de pruebas de lazo abierto y algunas simulaciones de estrategias de control convencional simples. Los modelos que se seleccionaron demostraron ser capaces de simular de una forma muy correcta las variables relevantes del proceso de producción de relaves en pasta y el simulador desarrollado demostró ser una herramienta confiable para el estudio de estrategias de control avanzado multivariable.

Se concluyó en el trabajo de tesis en mención, que el simulador desarrollado se aprovechó para el entrenamiento de operadores vía simulación, mejorando en la concentración de sólidos en la descarga, de 69.23% a 72.00%. De esta manera, el simulador contiene todas las variables relevantes para un sistema de manejo de relaves en pasta, lo que lo hace una herramienta muy ideal para que los operadores puedan distinguir las correlaciones dinámicas entre estas. Adicionalmente a ello, se desarrollaron escenarios de entrenamiento y un programa para probar esta herramienta en la práctica. Esta investigación fue relevante para la presente tesis, debido a que compartió en común un elemento importante como: las pruebas de simuladores para operadores, para lo cual nos brindó un ejemplo claro del impacto que tiene frente a la operación y su

posterior aplicación al desarrollo de programas y escenarios de entrenamiento.

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. La Operación Minera a Cielo Abierto (Open Pit):**

- Definición:

La minería a tajo abierto, también conocida como minería a cielo abierto, es una técnica de minería que extrae minerales desde un tajo abierto en el suelo. La minería a cielo abierto es el método más frecuente en todo el mundo para la extracción de minerales y no requiere de túneles, ni de métodos de extracción. Esta técnica de minería a tajo abierto se utiliza cuando los yacimientos de los minerales se encuentran cerca de la superficie terrestre. Las minas a cielo abierto son también denominadas "canteras" cuando producen materiales de construcción y piedra dimensional (AngloAmerican, s.f.).

- Etapas principales:

A) Perforación y Voladura

A través de la perforación se obtienen muestras de roca que posteriormente son analizadas en el laboratorio. Una vez ubicado la presencia de los minerales, se realiza el minado y posteriormente la voladura que va a permitir fragmentar el terreno.

B) Carguío y Acarreo

Las rocas que fueron fragmentadas son trasladadas o transportadas hacia la chancadora primaria.

C) Chancado

En este proceso se tiene como finalidad reducir el tamaño de los grandes bloques a uno no mayor que el de un casco.

#### D) Molienda

En este proceso ingresa el mineral a los molinos ubicados en la planta concentradora, este mineral es mezclado con agua para generar una pulpa. Reduciendo de esta manera el tamaño del mineral.

#### E) Flotación

La pulpa es trasladada a las celdas de flotación donde posteriormente se recupera la plata, el plomo, el cobre, el molibdeno y el zinc.

#### F) Transporte al Mineroducto

Obra de alta tecnología y un sistema de monitoreo automático por fibra óptica que sirve para trasladar los concentrados de cobre y zinc a un destino final que puede ser un puerto.

#### G) Filtrado

El producto que pasa al filtrado viene con 65% de sólido a través del mineroducto. Luego del filtrado, el producto queda con 9.5% de humedad. Por lo que esto garantiza un proceso de alta calidad.

(Antamina, s.f.).

- Importancia de las operaciones de acarreo y transporte:

Las operaciones de transporte y acarreo son una parte importante de las operaciones mineras de tajo abierto o superficiales, ya que permite el movimiento eficaz de los materiales que han sido extraídos desde el punto de extracción hasta el área de almacenamiento o procesamiento. Estas operaciones contribuyen a la productividad, rentabilidad y eficiencia de la operación minera (ISE Academy, 2023).

#### **2.3.2. Equipos de acarreo minero:**

- Tipos de equipos (camiones volquete, palas mecánicas, etc.):

Se utiliza una gran diversidad de equipos de transporte para trasladar los materiales desde las áreas de extracción hasta las zonas de procesamiento, acopio, o disposición final. Entre los más resaltantes

tenemos:

- Camiones volquete: Los camiones volquete o camiones de volteo, son vehículos de gran tamaño diseñados para transportar grandes cantidades de material a través de la mina. Estos camiones tienen una capacidad de transporte importante y son utilizados para trasladar el mineral o material extraído desde la zona de extracción hasta las áreas de procesamiento o acopio. Como ejemplo para esta tesis tenemos al Komatsu 930 E, con un peso vehicular bruto de 501.974 kilogramos (1.106.670 libras), una potencia neta al volante (SAE) de 2.550 caballos de fuerza (1.902 kilowatts) @1.900 rpm, una capacidad de carga de 290 toneladas, una capacidad de la tolva (SAE 2:1) de 211 metros cúbicos (276 yardas cúbicas) y una capacidad neta de la tolva (2:1) de 161 metros cúbicos (211 yardas cúbicas) (Komatsu Mitsui, s. f.).

## **Figura 2.**

*Camión volquete Komatsu.*



Nota. Imagen tomada de Komatsu Mitsui. Fuente:

<https://komatsu.pe/index.php/equipos/nuevos/komatsu/mineria/camiones-electricos>

○ Palas mecánicas: También llamadas excavadoras, son aquellas máquinas que cuentan con una gran pala frontal que se utiliza para excavar y posteriormente cargar los materiales a los camiones volquete. Estas máquinas son muy útiles para mover y trasladar grandes volúmenes de tierra, rocas y minerales de manera eficiente. Por su tamaño podemos categorizarlas en: Minicargadora: que se puede emplear en espacios limitados, por lo que son multifuncionales, tenemos la Pequeña: que cuenta con una cuchara de carga de un metro cúbico, la Mediana: que cuenta con una cuchara de entre uno y tres metros cúbicos y la Grande: que en su cubo o cuchara tiene una capacidad para carga de material de entre tres y cinco metros cúbicos (Ferrovial, s.f.).

**Figura 3.**

*Pala mecánica CAT.*



Nota. Imagen tomada de ISE Blog. Fuente: <https://ise-latam.com/blog/transporte-minero>

### **2.3.3. Fundamentos del Pensamiento Lean (*Lean Thinking*):**

- **Definición y origen (Sistema de Producción Toyota - TPS)**

El Sistema de Producción Toyota (TPS) de Toyota Motor Corporation es una metodología que se ha vuelto muy conocida y estudiada en casi todo el mundo.

Esta metodología se basa en una premisa que facilita el trabajo de los trabajadores. La finalidad es acortar los plazos de entrega y eliminar por completo el desperdicio, de esta manera se entrega los vehículos a los clientes con bajo coste, rapidez y alta calidad. Este sistema productivo es aplicado en todas las áreas de Toyota Motor Corporation, que incluye a su vez los vehículos y servicios, y a todos los empleados que implementan kaizen incremental diario.

El Sistema de Producción Toyota (también conocido como TPS), está basado en una filosofía de la eliminación total de desperdicios que busca los métodos más eficientes, este sistema tiene sus raíces en el telar automático que fue inventado por Sakichi Toyoda, fundador del Grupo Toyota. El Sistema de Producción Toyota ha evolucionado a través de muchos años de ensayo y error para poder mejorar la eficiencia basándose en el concepto "Justo a Tiempo" desarrollado por Kiichiro Toyoda, fundador de Toyota Motor Corporation.

En la raíz de todo esto se encuentra la idea de Sakichi Toyoda de "hacer cosas por los demás". En el afán de buscar algo que pudiera hacer para poder beneficiar al mundo, se focalizó en facilitarle las cosas a su madre, quien trabajaba hasta altas horas de la noche operando un telar manual. El telar automático que inventó no solo automatizó el trabajo que se realizaba

manualmente, sino que también le incorporó la capacidad de tomar decisiones. Al eliminar tanto los productos defectuosos como las prácticas desperdiciadoras asociadas, Sakichi logró mejorar eficazmente la productividad y la eficiencia laboral. De ahí nació el concepto de jidoka (Toyota, s.f.).

- **2.3.4. Los Siete Tipos de Desperdicio (*Muda*) Aplicados a la Minería:**

- **Inventario:** Este tipo de desperdicio hace referencia a aquellos productos acabados que no se han vendido o materiales que no se utilizan. El almacenamiento del inventario puede resultar costoso debido a que este puede ocupar mucho espacio. Los productos acabados que están en el almacén pueden deteriorarse o pueden vencer en caso sean perecederos. Así mismo, el inventario de trabajo actual también puede transformarse en residuos si es que no se utiliza activamente en la producción o si se desecha. En minería puede hacer referencia a los inventarios del área de almacenes de insumos y piezas de reparo en operaciones mina.
- **Desperdicio de tiempo de espera (esperas):** Este tipo de residuo se genera cuando hay tiempos muertos o tareas ociosas. Muchas veces se cree que solo queda esperar hasta que finalicen algunas actividades. Entre ellos tenemos que, los trabajadores suelen hacer algunas pausas entre tareas. Otro claro ejemplo, es que en una línea de producción suele haber cola para el siguiente proceso que muchas veces es causado por la capacidad que tiene el equipo para poder finalizar la carga actual. En minería hace referencia al ralentí innecesario de camiones.

- **Desperdicio de transporte innecesario:** Este tipo de residuos representa las actividades realizadas que son innecesarias entre los procesos de producción. Entre ellas tenemos, en el transporte de materiales de un lugar a otro, ¿Existe algún tipo de movimiento que pueda reducirse o eliminarse? Además, es considerado una muda si la cantidad cargada en el vehículo es inferior a su capacidad. En el ámbito minero esto se debe en su mayoría a las rutas subóptimas y a las excesivas distancias de acarreo.
- **Desperdicio de sobreproducción/sobrepocesamiento:** La sobreproducción hace referencia al despilfarro cuando se produce más de aquello que se puede enviar o entregar, y el Sobreprocesamiento hace referencia a los residuos generados cuando se realiza actividades extras para finalizar una tarea o producto. Un criterio utilizado para poder eliminar este tipo de muda se basa en identificar el origen de los procesos o pasos que se consideren adicionales. En minería se refiere al movimiento de material no planificado, lo que ocasiona problemas en la línea de producción y en los procesos.
- **Desperdicio de defectos:** Este tipo de desperdicio hace referencia a cuando un producto acabado tiene defectos. Usualmente, los productos defectuosos se desechan y se tiran; esto lleva a la reproducción y aumenta los costes. En minería es muy frecuente este desperdicio cuando existen daños a equipos por el mal manejo o uso, impactando indirectamente en la disponibilidad.
- **Énfasis en el desperdicio de movimiento:** Hace referencia al derroche cuando se realiza un movimiento irrelevante dentro de

un proceso. Por lo que el transporte se refiere al movimiento de productos y materiales, mientras que el movimiento son residuos de personas y equipos. En minería son aquellos movimientos erráticos del operador que consumen energía y combustible sin añadir valor. (SafetyCulture, (28 de marzo de 2025). 7 Mudass. SafetyCulture Content Team. <https://safetyculture.com/es/temas/7-mudas>).

- **2.3.5. Herramientas Lean aplicables al manejo de Equipos:**
  - **Estandarización de tareas (*Standard Work*):** hace referencia a una de las disciplinas principales del Sistema de Producción Toyota (TPS) y al Lean Manufacturing o la manufactura esbelta. También llamado trabajo estandarizado, es importante para resolver problemas de forma científica y eficaz, mantener la estabilidad y para la mejora continua (kaizen). Es la base para el programa de buenas prácticas usado en la presente tesis.
  - **Gestión Visual (*Visual Management*):** La gestión visual, es una metodología que emplea señales visuales para comunicar información de forma rápida y eficaz en el entorno laboral. Un sistema de gestión visual abarca una gama de herramientas y técnicas diseñadas para que los procesos, el rendimiento y los estándares sean fácilmente visibles y comprensibles para todos los involucrados. La función principal de la gestión visual en Lean es simplificar la información compleja, transformándola en formatos visuales fácilmente accesibles que facilitan la toma de decisiones, la resolución de problemas y una mejor comprensión operativa. En la presente tesis, esto estaría aplicado al uso de *dashboards* y semáforos para el control productivo del operador.

### **2.3.6. Programas de Buenas Prácticas de Manejo (PBPM)**

- **2.3.6.1. Definición y estructura de un programa de BP de manejo:**

Un programa de buenas prácticas de manejo de camiones de carga, permite economizar positivamente en el consumo de combustible, detección de fallas y mantenimiento de vehículos, permitiendo a su vez, cuidar tanto de los activos como de los operadores. Componentes esenciales:

- **Capacitación:** El manejo de camiones de carga requiere de conocimientos teórico-prácticos y sensibilización en áreas como educación y seguridad vial, normatividad vigente y operación de kits de seguridad. La empresa debe implementar programas desde la Escuela de Operadores y capacitación especializada en transporte de carga y gestión de flotas. También es clave realizar simulaciones en condiciones climáticas adversas y tráfico denso, así como cursos sobre manejo de materiales peligrosos y sistemas de navegación. El uso de herramientas tecnológicas como sistemas de navegación, sistemas de gestión de flotas y control de combustible facilita una conducción eficiente.
- **Monitoreo:** El rastreo satelital GPS, sistemas de navegación por satélite y plataformas digitales de gestión de flotas son herramientas clave. Permiten supervisar rutas, consumo de combustible, detectar exceso de velocidad e identificar paradas de camiones no autorizadas. La tecnología también incluye dispositivos conectados que verifican niveles del tanque lleno, presión de neumáticos y uso de rastrapaderos. Esto mejora el control y la prevención ante posibles

irregularidades.

- **Coaching:** El coaching es un proceso activo y generalmente continuo que puede emplearse en actividades estructuradas y no estructuradas. Requiere un seguimiento rutinario y una evaluación continua del desempeño.

El coaching es diferente de la instrucción tradicional. En esta última, la enseñanza suele finalizar al dominar el nuevo contenido o habilidad. Sin embargo, el coaching continúa incluso después de dominar el contenido o habilidad para garantizar su sostenibilidad. El coaching debe considerarse una actividad importante para todos los líderes y el personal capacitado.

- **2.3.6.2. Pilares de las Buenas prácticas en el acarreo:**

- **Técnicas de carguío óptimas:** Estas técnicas se clasifican en función a: Disponibilidad del área del trabajo y forma del banco, requerimientos de control de la ley del material o mineral, el tipo del carguío y el camión, así mismo por la experiencia y capacitación de operadores (Runge Latin America, s. f.).
- **Técnicas de Conducción Eficiente (Eco-driving):** Conducir ecológicamente mejora la eficiencia de combustible y reduce los costos operativos, a su vez promueve la sostenibilidad de las flotas. Las prácticas en mención ayudan a optimizar el desempeño de una flota y con ello poder alinearse con las demandas que exige el mercado. La corrección de la ineficiencia en las técnicas de conducción ayuda a reducir los costos de la operación y a disminuir el impacto ambiental, contribuyendo a las metas de sostenibilidad de la empresa.

Entre las técnicas más importantes se tiene: 1. Evitar los frenados bruscos para mejorar el rendimiento de la flota, 2. Acelerar de forma leve o suave para ahorrar combustible, 3. Mantener una velocidad constante para tener una mayor eficiencia, 4. Reducir el peso extra de la carga para mejorar la eficiencia de combustible, 5. Planificar y usar rutas optimizadas para ahorrar tiempo y dinero, 6. Evitar los tiempos de inactividad del vehículo para obtener un mejor rendimiento del combustible, 7. Minimizar el arrastre del vehículo para menguar el consumo de combustible, 8. Realizar un mantenimiento regular a la flota para una mejor eficiencia del combustible (Geotab, 2024).

- **Mantenimiento preventivo y predictivo:**

El mantenimiento preventivo está basado en la programación de controles regulares para la inspección y el reemplazo de algunos componentes previo a que estos puedan producir fallos. Para ello se debe organizar con antelación y se debe ejecutar de acuerdo con un calendario previamente establecido, indistintamente si el equipo ha mostrado signos de desgaste o no. Dentro de lo planeado se debe tener: un calendario o cronograma para los procesos de confirmación, y un listado de los protocolos que se usarán en las inspecciones de rutina. El objetivo principal es disminuir el riesgo de los fallos inesperados para así aprovechar al máximo el tiempo de vida de la maquinaria. Entre las acciones más comunes tenemos: la lubricación de piezas móviles, la inspección de los sistemas hidráulicos, la renovación de los filtros y la rectificación del alineamiento de los componentes.

Esta perspectiva requiere una importante inversión inicial en tiempo y recursos, que a largo plazo puede resultar beneficioso en ahorros importantes, que se debe a la mejora de los tiempos de reposo no planificados y averías.

Por otro lado, el mantenimiento predictivo hace uso de tecnologías muy avanzadas en análisis de datos y monitoreo, con ello se puede pronosticar cuándo es posible que suceda un fallo en algún componente. Haciendo uso del análisis de vibraciones, de sensores, termografía, entre otras técnicas, es posible evaluar la situación de la maquinaria en el presente y con ello determinar cuándo se debería realizar las intervenciones. Este enfoque nos va a permitir una planificación del mantenimiento con mayor exactitud y puede ayudar a disminuir los costos que están asociados a reparaciones de emergencia y procesos innecesarios. Aun así, para ello se requiere una inversión de capacitación y tecnología para el personal, así como una infraestructura adecuada para el análisis de datos (Cruz, 2024).

Como se puede observar, ambos tipos de mantenimiento son relevantes para obtener un impacto positivo en el rendimiento del combustible en una operación minera de tajo abierto.

### ***2.3.7. Programa de buenas prácticas de manejo de equipos de acarreo minero***

Un programa de buenas prácticas de manejo de equipos de acarreo minero es un conjunto de procedimientos y estándares diseñados para optimizar la seguridad, eficiencia y vida útil de la maquinaria pesada utilizada para el transporte de materiales en minería. Este programa se enfoca en la inspección periódica, mantenimiento

preventivo, y el uso correcto de equipos como camiones de acarreo y cargadores, utilizando cronogramas de trabajo, listas de verificación y seguimiento de componentes críticos para evitar fallas, asegurar la operación continua y proteger a los trabajadores.

Entre sus componentes tenemos:

- Mantenimiento preventivo y periódico: Incluye inspecciones regulares (diarias, semanales, mensuales) y el reemplazo oportuno de componentes para evitar fallas mayores.
- Seguimiento de componentes críticos: Monitoreo constante de partes clave como motores, sistemas hidráulicos y frenos.
- Capacitación del personal: Asegura que los operadores y técnicos conozcan las buenas prácticas para el manejo seguro y eficiente de los equipos.
- Uso de tecnología: Incorporación de herramientas y tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia del mantenimiento y la operación.
- Gestión de riesgos: Identificación y control de riesgos asociados al manejo de maquinaria en condiciones mineras, ya sean en cielo abierto o subterráneas (Pallette, 2019).

#### **2.3.8. Optimización de consumo de combustible en una empresa minera**

La optimización del consumo de combustible en una empresa minera es un conjunto de estrategias y prácticas para reducir la cantidad de combustible utilizado, lo que se traduce en un ahorro de costes, una menor huella de carbono y una operación más eficiente. Esto se logra mediante una combinación de gestión de flotas, como optimización de rutas y mantenimiento de vehículos, el

uso de tecnología avanzada, como software de control y electrificación de maquinaria, y la capacitación del personal para mejorar las prácticas de conducción.

La medición de la optimización del consumo de combustible en una empresa minera se realiza monitorizando en tiempo real el consumo de los vehículos a través de sistemas telemáticos y medidores de flujo, analizando datos de variables como la distancia recorrida, la altura, la velocidad y las características del vehículo, e implementando planes de mantenimiento, formación de conductores y optimización de rutas para mejorar la eficiencia. Algunos de los indicadores más usados son: el consumo específico de combustible (litros/tonelada o litros/km), el costo por kilómetro recorrido (CPK), la eficiencia de combustible (MPG o km/L), el tiempo medio entre fallos (MTBF) de equipos y el índice de carga y transporte para mejorar la eficiencia en el transporte de mineral y material. (Santillán, 2024).

#### **2.3.9. Consumo de combustible como indicador clave de rendimiento (KPI).**

Cuando hablamos sobre indicadores relevantes o claves en la eficiencia del combustible, se puede hacer desde dos puntos de vista diferentes, en primer lugar, desde la sostenibilidad o en segundo lugar desde la reducción de costes, estando los dos directamente relacionados. Ya que la reducción del consumo de combustible tiene un impacto en la disminución de los costes operativos y a su vez un impacto positivo ambiental, ya que se reducen las emisiones de gases contaminantes.

El combustible trae consigo una de las más altas inversiones para la flota, y por ende, con la ejecución de un plan de acción basado en los indicadores adecuados se puede reducir su consumo y de esta manera el coste asociado a este valioso recurso.

Al definir los indicadores relevantes o claves de gestión para el consumo de combustible, ya sea para la disminución de costes o para la mejora en la sostenibilidad, los administradores de las flotas deben considerar factores como la planificación o programación de rutas, en la que se tiene los kilómetros recorridos como indicador clave. El comportamiento del conductor en carretera, el cual se puede expresar a través de indicadores claves basados en incidencias ocurridas cada cierto tramo de kilómetros, por ejemplo, acontecimientos ocurridos cada 1000 km. También tenemos el mantenimiento de la flota como indicador relevante o clave, que está basado en eventos asociado a averías o al mal funcionamiento de los vehículos.

(Identec Solutions, s. f.).

#### **2.3.10. *Simulador Immersive PRO4-B***

Es una plataforma de simulación de alta fidelidad para la capacitación de operadores de equipos mineros creada por Immersive Technologies. Los Simuladores de los equipos avanzados de Immersive Technologies están elaborados para poder aguantar las peores condiciones en operaciones mineras y a pesar de ello, se puede lograr algunas mejoras reales en el función de los operadores. Estos equipos fueron optimizados para la minería a tajo abierto: para ello se integró una pantalla más alta y con el doble de resolución que su antecesor, esta plataforma ofrecerá una visibilidad eficiente para las tareas mineras como

empuje, excavación y nivelación. La plataforma contiene una pantalla continua y curva de 180° que ayuda a que los operarios no se distraigan con los márgenes de la pantalla (Immersive Technologies, 2020).

**Figura 4.**

*Simulador Immersive PRO4-B.*



Nota. Imagen tomada de Immersive Technologies. Fuente:

<https://www.immersivetechnologies.pe/products/surface-simulator.htm>

#### **2.4. Definición de términos.**

**Camiones mineros:** Son unidades diseñadas para llevar de un lugar a otros grandes volúmenes de material, lo que es crucial en operaciones a gran escala. De esta manera transportan el material excavado, como minerales, rocas y tierra, desde el lugar de extracción incluyendo las áreas de almacenamiento y procesamiento (Cruz, 2024).

**Eficiencia Minera:** Para mejorar la productividad y obtener una buena eficiencia de recursos, las empresas mineras pueden:

- Reenfocarse en la producción de alta calidad aumentando los grados de corte.
- Disminuir los gastos de capital en propiedades con menor potencial de producción y vidas útiles de las minas más cortas.
- Evaluar los beneficios (y los riesgos potenciales) de reducir las reservas.
- Optimice los sitios mineros mediante una secuenciación mejorada.
- Aumentar la producción de minas de menor costo y priorizar los proyectos de menor costo.
- Atraer y retener a planificadores de minas experimentados y capacitados para mejorar el desempeño operativo y el seguimiento diario del cumplimiento de los volúmenes de producción, las áreas de explotación y el contenido mineral (Identec Solutions, s. f.).

**Mineral:** Un mineral es una sustancia inorgánica natural, que posee estructura atómica y composición definida, que en ocasiones se puede hallar relacionado con otros tipos de roca. La organización de un mineral está basada en su estructura química y en su composición interna, obteniendo como resultado una gran variedad de clasificaciones, estas se pueden dividir en familias (de acuerdo a su clasificación química), estos se subdividen en grupos (según su clasificación estructural y cristalográfica), estos a su vez se pueden clasificar, por su especie (que tiene la misma estructura, aunque distinta composición química). Finalmente, se puede subdividir en

variedades (que contienen estructura química no usuales)  
(Universidad Arturo Prat, 2014).

**Productividad minera:** La minería a tajo abierto es la más adecuada para extraer minerales que están cerca de la superficie terrestre. Además, suele ser un método de minería más rentable que la minería subterránea. Los minerales comunes extraídos mediante minería a cielo abierto se encuentran entre los más explotados, como el carbón, el hierro y la bauxita. Las minas a cielo abierto presentan ventajas y desventajas en comparación con la minería subterránea. Entre las ventajas se encuentran su menor costo, la posibilidad de recuperar una mayor cantidad del recurso (generalmente hasta el 100 % dentro de la excavación), la mayor seguridad y la posibilidad de utilizar equipos de minería de mayor escala, lo que se traduce en mayores tasas de producción (Identec Solutions. s. f.).

**Simulación:** La simulación se define como un proceso computacional que permite asimilar el comportamiento de un sistema o proceso, a menudo complejo, haciendo uso de un modelo matemático o estadístico. Adicional a ello, la simulación puede ser útil para simular y modelar el comportamiento de sistemas complejos, como la economía, el tráfico o el clima, por lo que puede proporcionar una información valiosa para la toma de decisiones (Gamco, s.f.).

## **CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **3.1. Hipótesis principal**

#### **3.1.1. Hipótesis principal**

La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina en Huaraz.

#### **3.1.2. Hipótesis secundarias**

- HE1. La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la optimización del consumo de combustible por tramo recorrido en el área de operaciones mina en Huaraz.
- HE2. La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la productividad estimada en el área de operaciones mina en Huaraz.

### **3.2. Variables**

- Variable independiente: Programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo.
- Variable dependiente: Optimización en el consumo de combustible en el área de operaciones mina.

### 3.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 1.**

*Matriz de Operacionalización de Variable Independiente*

| Variable                                                          | Definición                                                                                                                                                                                                                                     | Dimensiones                                           | Indicador                                                                         | Instrumento                                         |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo. | Hace referencia a un conjunto de procedimientos y normas diseñadas para optimizar el rendimiento y la seguridad en el transporte de materiales, especialmente en operaciones mineras, utilizando vehículos como camiones de acarreo o carguío. | Cantidad de instancias de error / escenario de prueba | Data de cantidad de instancias de error de cada operario por escenario de prueba. | Reporte brindado por el Simulador Immersive PRO 4-B |
|                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                | Galones / hora                                        | Histórico de consumo de combustible por tramo recorrido.                          | Datos brindados por el Simulador Immersive PRO 4-B  |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.**

*Matriz de Operacionalización de Variable Dependiente*

| Variable                                                                | Definición                                                                                                                                                                                                                            | Dimensiones    | Indicador                                                | Instrumento                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina. | Se refiere a la cantidad de combustible que se utiliza en las actividades de extracción, procesamiento y transporte de minerales. Este consumo es un factor importante en los costos operativos y el impacto ambiental de la minería. | Galones / hora | Histórico de consumo de combustible por tramo recorrido. | Reportes del consumo de combustible del Sistema de Despacho (Línea Base). |
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                       |                | Productividad estimada.                                  | Proyección basada en datos de la Línea Base del Sistema de Despacho.      |

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Área de estudio**

Según las áreas de conocimiento de la OCDE adoptadas por CONCYTEC, se optaron por las siguientes áreas de estudio: Minería, Procesamiento de minerales, Ingeniería de producción, Otras ingenierías y tecnologías, e Ingeniería industrial.

### **4.2. Tipo y diseño de investigación**

#### **Enfoque: Experimental**

Según Sreekumar (2024), el enfoque experimental en una investigación es un método científico que ayuda a demostrar la relación entre variables dependientes e independientes. También, se utiliza para establecer una relación de causa y efecto entre las variables para poner a prueba hipótesis, y utiliza el análisis estadístico de datos cuantitativos, por lo tanto, posee un alto grado de precisión.

#### **Tipo: Aplicada**

Según Ortega (2025), la investigación aplicada es aquella que aplica los resultados de la investigación científica para mejorar la calidad de vida de las personas, impulsar el desarrollo económico y social, y solucionar problemas específicos de la sociedad.

#### **Nivel de investigación: relacional y explicativo**

Según Supo (2023), la investigación relacional plantea la relación entre variables, independientemente de la naturaleza de las mismas, y la investigación explicativa plantea relaciones de causalidad, donde el experimento es el criterio más importante, aunque no es indispensable para llegar a una conclusión.

#### **Diseño de investigación: relacional y experimental**

Según Sreekumar (2024), Este diseño de investigación se utiliza para examinar los cambios en uno o más grupos de variables dependientes en

función de un cambio en la variable independiente.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Unidad de análisis**

Se optó por considerar a un operario de transporte de carga que hace uso del consumo de combustible (Galones / hora) como la unidad de análisis, esto debido a que el enfoque del trabajo presente fue buscar optimizar la eficiencia en el consumo de combustible, considerando este elemento como el más relevante para las operaciones mineras, no solo para los camiones de acarreo, sino también para las palas cargadoras, las excavadoras, las perforadoras y los camiones de transporte.

#### **4.3.2. Población de estudio**

Para la presente investigación tuvo como población a un universo de 24 operarios, que fueron medidos en el Simulador Immersive PRO 4-B en los meses de marzo y abril del 2024.

#### **4.3.3. Tamaño de muestra**

El tamaño de muestra fue de 24 operarios que fueron mencionados anteriormente, de ellos se tomó una muestra censal para obtener las cantidades de instancias de error y tipo de error por cada operario, teniendo en consideración el mismo escenario, estos datos se obtuvieron de 2 Simuladores Immersive PRO 4-B en simultáneo.

#### **4.3.4. Selección de la muestra**

En el presente trabajo de investigación se tuvo en consideración como datos bases a un universo de 24 operarios, 6 por cada guardia o turno (A, B, C y D) y 2 rutas significativas: Fase 8 a botadero 4508 y Fase 9 a botadero 4508, se optaron algunos criterios como: totalidad de guardias para las muestras (A, B, C y D), rutas que contengan pendiente y tierra firme y operarios relativamente nuevos y que tengan antigüedad en la empresa.

#### **4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Como procedimientos, inicialmente se analizaron los datos brindados por el sistema SimControl del Simulador Immersive PRO4-B (Immersive Technologies, 2024) para determinar los factores más relevantes de las malas prácticas de manejo, mediante los puntos por instancia de error que presentaron los operarios sometidos a las pruebas de manejo. Con estos errores identificados se elaboraron documentos informativos y se brindaron charlas de las buenas prácticas de manejo para camiones de acarreo, y con ello finalmente se analizaron los resultados obtenidos y poder reconocer algunas posibles malas prácticas que puedan ser oportunidades de mejora.

La técnica usada para la recolección de data estuvo basada en un constante monitoreo de las pruebas de los 24 operarios de camiones Komatsu 930E en los 2 Simuladores Immersive PRO 4-B, con apoyo del área de Entrenamiento mina que pertenece a la gerencia de Operaciones Mina de la Compañía.

Los instrumentos de recolección de datos usados fueron:

- El sistema SimControl del Simulador Immersive PRO 4-B.
- Cronograma de pruebas de camiones.
- Plantilla en formato Excel para la recolección de datos del Simulador Immersive PRO 4-B.
- Información del área de Operaciones Mina acerca del tajo, operadores y turnos operativos.

**Figura 5.**

*Simulador Immersive PRO 4-B.*



Fuente: Imagen tomada del área de Entrenamiento Mina de la Compañía Minera.

**Figura 6.**

*Cronograma de pruebas de simuladores.*

|                  | 27-Mar                                                                                                                                                           | 28-Mar | 29-Mar | 30-Mar | 31-Mar | 1-Apr | 2-Apr | 3-Apr | 4-Apr | 5-Apr | 6-Apr | 7-Apr | 8-Apr | 9-Apr | 10-Apr | 11-Apr | 12-Apr | 13-Apr | 14-Apr | 15-Apr | 16-Apr | 17-Apr | 18-Apr | 19-Apr | 20-Apr | 21-Apr | 22-Apr | 23-Apr | 24-Apr | 25-Apr |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D                | D                                                                                                                                                                | D      | D      | D      | D      | N     | N     | N     | N     | N     |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        | D      | D      | D      | D      | D      | N      | N      | N      | N      | N      |
| N                | N                                                                                                                                                                | N      | N      | N      | N      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        | D      | D      | D      | D      | D      | N      | N      | N      | N      | N      |        |        |        |        |        |
|                  |                                                                                                                                                                  |        |        |        |        |       |       |       |       |       | D     | D     | D     | D     | D      | N      | N      | N      | N      | N      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                  |                                                                                                                                                                  |        |        |        |        | D     | D     | D     | D     | D     | N     | N     | N     | N     | N      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | D      | D      | D      | D      | D      |
| Inicio de prueba | Entrenamiento teórico, aplicación de buenas prácticas de manejo y charlas informativas.                                                                          |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                  | -Charla informativa de buenas prácticas (BP): 2 horas para todos los operadores por guardia<br>-Prácticas en simulador(PS): 2 horas por operador (02 escenarios) |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5. Análisis estadístico**

Inicialmente en el presente trabajo se analizaron los datos brindados por el sistema SimControl del Simulador Immersive PRO4-B para determinar los factores más relevantes de las malas prácticas de manejo, mediante los puntos por instancia de error que presentaron los operarios sometidos a las pruebas de manejo haciendo uso de la herramienta Pareto. Con estos errores identificados se elaboraron documentos informativos y se brindaron charlas de las buenas prácticas de manejo para camiones de acarreo, y con ello finalmente se analizaron los resultados obtenidos con el método estadístico de T-Student (t de 2 muestras) de los indicadores de la optimización del consumo de combustible por tramo recorrido y la productividad estimada en el área de operaciones mina en Huaraz, concluyendo finalmente en que el programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo tuvo un impacto significativo y positivo en la optimización del consumo de combustible.

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS**

### **5.1. Diagnóstico situacional de la Empresa:**

#### **5.1.1. Descripción de la Empresa**

La operación minera Antamina está ubicada en la Cordillera de los Andes, en el callejón de Conchucos, perteneciente al distrito de San Marcos, Provincia de Huari, ubicada en la región de Ancash a 270 Km al noreste de Lima, en el campamento minero de Yanacancha, cerca del pueblo de San Marcos, a una altitud de entre 4,200 y 4,500 metros. Su acceso es por vía terrestre, recorriendo así, la Panamericana Norte hasta Pativilca, a partir de ahí existe una vía hacia la laguna Conococha que dirige a la mina, este viaje se promedia en aproximadamente 3 horas y media. Antamina destaca su fortaleza como uno de los mayores productores de concentrados de cobre y zinc, con un sólido desempeño en seguridad y gestión ambiental, implementando iniciativas de sostenibilidad en las áreas social y ambiental, como la reducción de la desnutrición infantil y la reforestación.

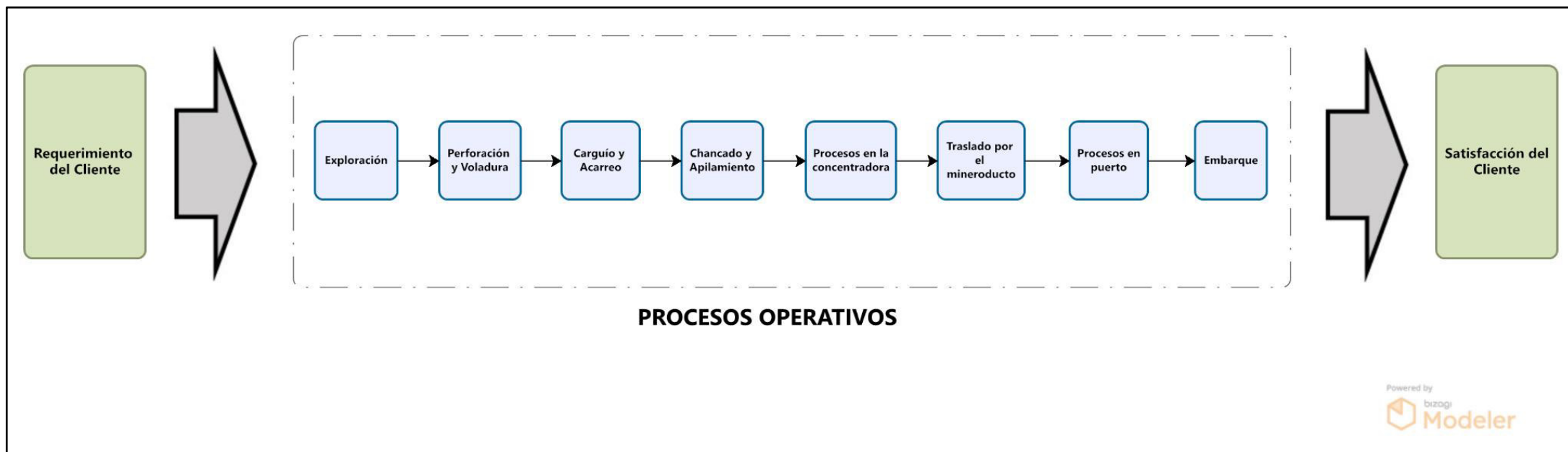
#### **5.1.2. Descripción del proceso en estudio**

El proceso de acarreo en una empresa minera de tajo abierto se realiza principalmente mediante volquetes mineros que transportan material desde las voladuras hasta la chancadora primaria. Este proceso utiliza una flota de camiones de alto tonelaje, como los Cat de 240 y Komatsu de 320 toneladas, además de otras unidades más grandes.

Una vez que el mineral es reducido en tamaño por las chancadoras y molinos, es transportado en forma de pulpa a través de un mineroducto de 304 km hasta el puerto Punta Lobitos ubicado en Huarmey.

**Figura 7.**

*Mapa de procesos operativos de Antamina.*



Fuente: Mapa de procesos operativos de Antamina generado en Bizagi Modeler.

## **5.2. De la Implementación Del Tratamiento:**

Para la implementación del programa de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo para la optimización en el consumo de combustible se procedió inicialmente con el análisis de los datos de las pruebas del SimControl del Simulador Immersive PRO4-B que fueron descargados en formato Excel, los datos que se observaron fueron: Usuario o conductor del camión de prueba, Entrenador o encargado del área de Entrenamiento, Hora de inicio y fin de la prueba, tiempo empleado y escenario, consumo de combustible y errores presentados en el manejo.

Una vez descargada la data en formato Excel, se procedió a consolidar la información en dos cuadros resumen, en el primer cuadro se tuvo en cuenta al operador o usuario, la guardia o turno al que pertenece el usuario, la fecha, el tiempo de inicio y fin de la prueba, y el consumo de combustible; en el segundo cuadro se tuvieron en cuenta las instancias de error por cada operario o usuario y la cantidad de tipos de instancias de error.

### Detalles de las pruebas con el SimControl del Simulador Immersive PRO4-B.

Fuente: Elaboración propia.

### Detalles de las pruebas con el SimControl del Simulador Immersive PRO 4-B.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.***Cuadro resumen de consumo y tiempos por usuario.*

| <b>Guardia</b> | <b>Usuario</b> | <b>Id Del Usuario</b> | <b>Fecha</b> | <b>Hora De Inicio</b> | <b>Hora De Término</b> | <b>Tiempo Total De Operación (Minutos)</b> | <b>Minutos Totales (Minutos)</b> | <b>Consumo Total De Combustible (Litro)</b> | <b>Tarifa Media De Consumo De Combustible (Litro / Hora)</b> | <b>Tiempo Dedicado Al Consumo De Combustible (Minutos)</b> |
|----------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| A              | Operario 1     | 8312                  | 30/03/2024   | 16:32:29              | 17:16:00               | 43                                         | 43                               | 85.42 l                                     | 132.58 l/h                                                   | 39                                                         |
| A              | Operario 2     | 8588                  | 29/03/2024   | 10:23:57              | 11:17:06               | 52                                         | 53                               | 109.84 l                                    | 134.44 l/h                                                   | 49                                                         |
| A              | Operario 3     | 8647                  | 28/03/2024   | 15:53:22              | 16:31:47               | 37                                         | 38                               | 81.72 l                                     | 150.28 l/h                                                   | 33                                                         |
| A              | Operario 4     | 8651                  | 29/03/2024   | 14:51:30              | 15:37:19               | 44                                         | 45                               | 77.05 l                                     | 121.54 l/h                                                   | 38                                                         |
| A              | Operario 5     | 8790                  | 29/03/2024   | 15:38:29              | 16:26:49               | 47                                         | 48                               | 79.94 l                                     | 116.8 l/h                                                    | 41                                                         |
| A              | Operario 6     | 8850                  | 29/03/2024   | 11:20:18              | 12:00:33               | 39                                         | 40                               | 87.89 l                                     | 151.31 l/h                                                   | 35                                                         |
| B              | Operario 7     | 2146                  | 02/04/2024   | 23:04:39              | 23:47:38               | 42                                         | 42                               | 80.04 l                                     | 133.79 l/h                                                   | 36                                                         |
| B              | Operario 8     | 3908                  | 02/04/2024   | 04:26:26              | 05:22:40               | 55                                         | 56                               | 77.41 l                                     | 118.2 l/h                                                    | 39                                                         |
| B              | Operario 9     | 4631                  | 02/04/2024   | 22:19:32              | 23:03:08               | 43                                         | 43                               | 79.47 l                                     | 128.4 l/h                                                    | 37                                                         |
| B              | Operario 10    | 5284                  | 03/04/2024   | 22:51:39              | 23:39:34               | 46                                         | 47                               | 84.13 l                                     | 121.97 l/h                                                   | 41                                                         |
| B              | Operario 11    | 8811                  | 03/04/2024   | 00:47:56              | 01:33:29               | 45                                         | 45                               | 79.43 l                                     | 118.42 l/h                                                   | 40                                                         |

|   |             |      |            |          |          |    |    |          |            |    |
|---|-------------|------|------------|----------|----------|----|----|----------|------------|----|
| B | Operario 12 | 8813 | 03/04/2024 | 01:35:13 | 02:21:30 | 45 | 46 | 75.1 l   | 113.16 l/h | 40 |
| C | Operario 13 | 2110 | 08/04/2024 | 09:36:53 | 10:38:37 | 60 | 61 | 80.15 l  | 95.16 l/h  | 51 |
| C | Operario 14 | 8729 | 08/04/2024 | 09:11:28 | 10:02:26 | 35 | 50 | 77.41 l  | 143.04 l/h | 32 |
| C | Operario 15 | 5928 | 08/04/2024 | 10:09:32 | 11:02:39 | 37 | 53 | 77.39 l  | 137.79 l/h | 34 |
| C | Operario 16 | 8205 | 08/04/2024 | 07:17:47 | 08:16:03 | 53 | 58 | 97.4 l   | 120.09 l/h | 49 |
| C | Operario 17 | 7533 | 10/04/2024 | 09:45:39 | 10:50:43 | 46 | 65 | 82.87 l  | 122.63 l/h | 41 |
| C | Operario 18 | 2951 | 10/04/2024 | 07:49:00 | 09:14:44 | 60 | 85 | 83.62 l  | 97.09 l/h  | 52 |
| D | Operario 19 | 3248 | 13/04/2024 | 15:38:54 | 16:32:54 | 50 | 54 | 82.01 l  | 112.88 l/h | 44 |
| D | Operario 20 | 3494 | 14/04/2024 | 09:32:52 | 10:29:20 | 55 | 56 | 117.27 l | 143.45 l/h | 49 |
| D | Operario 21 | 6297 | 14/04/2024 | 09:28:52 | 10:32:13 | 45 | 63 | 77.69 l  | 115.15 l/h | 40 |
| D | Operario 22 | 8105 | 14/04/2024 | 16:45:59 | 17:50:42 | 46 | 64 | 78.88 l  | 129.64 l/h | 37 |
| D | Operario 23 | 8663 | 14/04/2024 | 17:30:07 | 18:11:44 | 41 | 41 | 80.24 l  | 131.07 l/h | 37 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.***Cuadro resumen de instancias de error por usuario.*

| Guardia | Usuario     | Id Del Usuario | Frenado Agresivo | Las Rpm No Se Redujeron Antes De Que La Tolva Se Acercara A La Elevación Total | No Está En Posición Neutra Al Cargar | Presión Agresiva Del Acelerador | Uso Excesivo Del Acelerador Al Levantar La Tolva | Acelerador Presionado Mientras Baja La Tolva | Aceleró Mientras El Retardador Estaba Activo | Marcha Atrás No Precisa | Exceso De Velocidad | Total De Instancias | # Cantidad De Tipos De Errores |
|---------|-------------|----------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| A       | Operario 1  | 8312           | 8                | 0                                                                              | 0                                    | 1                               | 1                                                | 0                                            | 1                                            | 0                       | 0                   | 11                  | 4                              |
| A       | Operario 2  | 8588           | 2                | 0                                                                              | 0                                    | 0                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 6                       | 0                   | 9                   | 3                              |
| A       | Operario 3  | 8647           | 2                | 0                                                                              | 0                                    | 15                              | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 18                  | 3                              |
| A       | Operario 4  | 8651           | 0                | 0                                                                              | 0                                    | 0                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 1                   | 1                              |
| A       | Operario 5  | 8790           | 9                | 0                                                                              | 0                                    | 2                               | 0                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 11                  | 2                              |
| A       | Operario 6  | 8850           | 10               | 0                                                                              | 0                                    | 12                              | 1                                                | 0                                            | 2                                            | 6                       | 12                  | 43                  | 6                              |
| B       | Operario 7  | 2146           | 1                | 3                                                                              | 3                                    | 8                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 16                  | 5                              |
| B       | Operario 8  | 3908           | 0                | 3                                                                              | 0                                    | 1                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 5                   | 3                              |
| B       | Operario 9  | 4631           | 3                | 0                                                                              | 0                                    | 3                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 0                   | 7                   | 3                              |
| B       | Operario 10 | 5284           | 3                | 0                                                                              | 0                                    | 0                               | 1                                                | 0                                            | 0                                            | 0                       | 20                  | 24                  | 3                              |
| B       | Operario 11 | 8811           | 3                | 0                                                                              | 0                                    | 0                               | 1                                                | 0                                            | 1                                            | 0                       | 0                   | 5                   | 3                              |

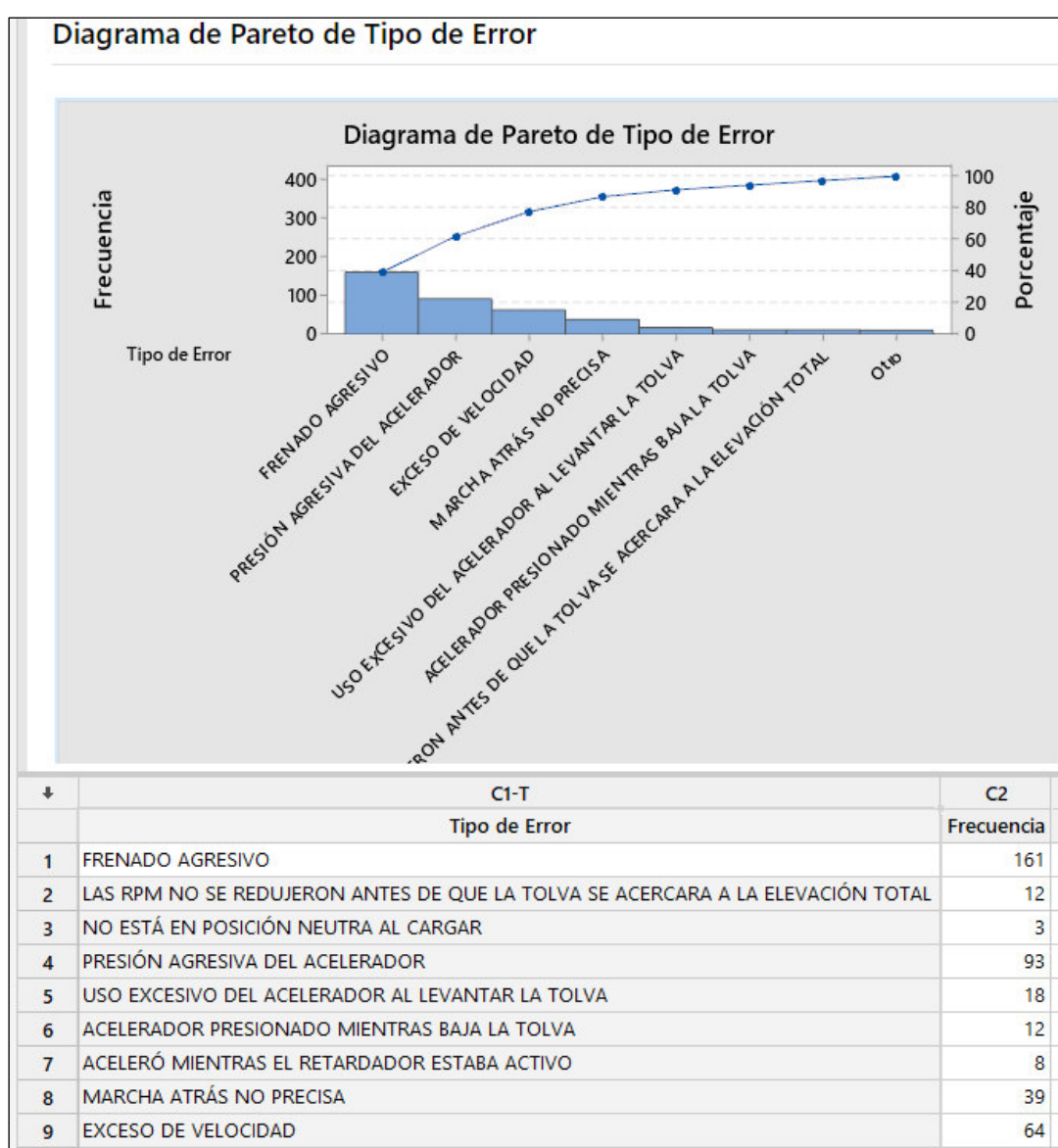
|   |             |      |    |   |   |    |   |   |   |    |    |    |   |
|---|-------------|------|----|---|---|----|---|---|---|----|----|----|---|
| B | Operario 12 | 8813 | 1  | 0 | 0 | 2  | 1 | 3 | 0 | 0  | 0  | 7  | 4 |
| C | Operario 13 | 2110 | 9  | 0 | 0 | 1  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 10 | 2 |
| C | Operario 14 | 8729 | 15 | 0 | 0 | 6  | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 22 | 3 |
| C | Operario 15 | 5928 | 20 | 0 | 0 | 9  | 0 | 0 | 0 | 3  | 0  | 32 | 3 |
| C | Operario 16 | 8205 | 8  | 0 | 0 | 1  | 0 | 0 | 0 | 0  | 4  | 13 | 3 |
| C | Operario 17 | 7533 | 5  | 3 | 0 | 2  | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 11 | 4 |
| C | Operario 18 | 2951 | 20 | 0 | 0 | 11 | 1 | 0 | 0 | 12 | 4  | 48 | 5 |
| D | Operario 19 | 3248 | 2  | 0 | 0 | 5  | 0 | 0 | 0 | 9  | 24 | 40 | 4 |
| D | Operario 20 | 3494 | 3  | 3 | 0 | 3  | 1 | 6 | 0 | 0  | 0  | 16 | 5 |
| D | Operario 21 | 6297 | 20 | 0 | 0 | 8  | 1 | 0 | 0 | 3  | 0  | 32 | 4 |
| D | Operario 22 | 8105 | 5  | 0 | 0 | 3  | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 9  | 3 |
| D | Operario 23 | 8663 | 12 | 0 | 0 | 0  | 1 | 3 | 4 | 0  | 0  | 20 | 4 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de los cuadros resúmenes se pudieron obtener las malas prácticas más relevantes haciendo uso del Diagrama de Pareto en Minitab a las instancias o veces de error que ha presentado cada operario al momento de usar el simulador. Los tipos de instancias de error mostrados muestran los posibles errores que identificó el sistema SimControl del Simulador.

**Figura 10.**

*Diagrama de Pareto de instancias de error.*



Fuente: Diagrama de Pareto generado a partir de un modelo simulado en Minitab.

Con el análisis previo, se consideró el principio de Pareto (aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas), y con ello se observó que el enfoque debería ser en los 3 tipos de error mostrados a continuación:

1. Frenado agresivo.
2. Presión agresiva del acelerador.
3. Exceso de velocidad.

Adicional a los 3 tipos de error mencionados anteriormente, se acordó con el área de entrenamiento colocar un 4to tipo de error: “Motor encendido innecesariamente”, que ha sido un error común en los operarios pero que no se muestra en el simulador.

Con esta información se procedió a elaborar un documento informativo que posteriormente se usaría en las charlas de buenas prácticas de manejo para los operarios, buscando así la reducción de los costos del consumo de combustible al tener un enfoque adecuado y concientización por parte del personal operativo.

Las charlas operativas se realizaron por diez días contando lunes a viernes y por dos semanas seguidas que comprendieron desde los días 01 de mayo hasta el 14 de mayo del 2024, estas sesiones de charlas tuvieron una duración estimada de 2 horas cada una, como agenda se tuvo: el contexto, objetivos de las charlas, presentación del documento informativo de Buenas prácticas, posibles problemas de malas prácticas, resolución de problemas y cuestionarios, dinámicas grupales, entre otros.

**Tabla 5.**

*Cronograma para ejecución de charlas de buenas prácticas.*

| <b>CHARLAS DE BUENAS PRÁCTICAS</b>                                           | <b>Duración<br/>(hrs)</b> | <b>Fecha</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|
| Charla de Buenas Prácticas 1-Contexto y Objetivos                            | 2                         | 01/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 2-Presentación de documento de Buenas Prácticas   | 2                         | 02/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 3-Posibles problemas de malas Prácticas           | 2                         | 03/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 4-Dinámica grupal de Buenas Prácticas             | 2                         | 06/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 5-Resolución de problemas y cuestionarios         | 2                         | 07/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 6-Identificación de Instancias de error           | 2                         | 08/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 7-Planes de mitigación de instancias de error     | 2                         | 09/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 8-Dinámica grupal de Buenas Prácticas             | 2                         | 10/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 9-Resolución de problemas y cuestionarios         | 2                         | 13/05/2024   |
| Charla de Buenas Prácticas 10-Impacto en operaciones de las buenas prácticas | 2                         | 14/05/2024   |

**20 hrs**

**10 días**

El documento informativo constó de los ítems o buenas prácticas identificadas, las instancias de error a mitigar (Frenado agresivo, Presión agresiva del acelerador, Exceso de velocidad y Motor encendido innecesariamente), las buenas prácticas aplicadas con una breve explicación de los motivos con la finalidad de que el operador pueda entender al relacionarlo con sus actividades diarias y pueda concientizarlo dentro de sus hábitos de buenas prácticas, y por último el alcance o a quienes fue dirigido estas buenas prácticas, que en este caso sería a todos los operarios que conducen los camiones Komatsu 930E.

**Figura 11.**

*Documento informativo de buenas prácticas.*

| <b>Buenas prácticas</b> |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Ítem</b>             | <b>Instancia de Error</b>           | <b>Buena práctica aplicada</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Operador</b>                 |
| 1                       | 1. Frenado agresivo                 | El frenado del camión se deberá utilizar cerca a una distancia aproximada de 20 metros de cualquier pendiente negativa para disminuir la velocidad del camión gradualmente y no esperar estar muy cerca de dicha pendiente. Así evitaríamos usar innecesariamente el freno de emergencia que actualmente es mal usado por los operarios de camiones. | Conductor de camión Komatsu 930 |
| 2                       | 2. Presión agresiva del acelerador  | El acelerador se dejará de usar cerca a una distancia aproximada de 20 metros a la pendiente negativa y no esperar estar muy cerca de la pendiente. Actualmente se utiliza erróneamente el acelerador, esperando estar muy cerca de la pendiente negativa para usar como respuesta ante esto, el freno de emergencia.                                | Conductor de camión Komatsu 930 |
| 3                       | 2. Presión agresiva del acelerador  | Cuando el camión está en pendiente negativa se deberá evitar usar el acelerador en todo momento para que el camión aproveche la inercia, teniendo en cuenta la velocidad máxima del camión.                                                                                                                                                          | Conductor de camión Komatsu 930 |
| 4                       | 3. Exceso de velocidad              | El acelerador se deberá usar conscientemente debido a que llega a un punto en el que el motor no puede ofrecer más velocidad al camión, pero este sigue consumiendo combustible excesivamente. Actualmente la mayoría de operarios desconocen de la velocidad máxima que ofrece un camión siendo este de 64.5 km/h.                                  | Conductor de camión Komatsu 930 |
| 5                       | 4. Motor encendido innecesariamente | El motor del camión se deberá apagar pasado los 5 minutos de que el camión esté estacionado. En la actualidad hay muchos operarios que mantienen encendido el motor del camión cuando está estacionado por más de 30 minutos, siendo uno de los motivos la reparación de carreteras que suelen originar largas colas de camiones.                    | Conductor de camión Komatsu 930 |

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.**

*Charla informativa sobre buenas prácticas de manejo.*



Fuente: Área de entrenamiento de la compañía minera.

Posteriormente a la aplicación de las charlas de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo para la optimización en el consumo de combustible y la aplicación del documento informativo, se solicitaron algunos indicadores reales de consumo de cada operario que fue sometido a las pruebas de simulador, estos indicadores son: el consumo de combustible por tramo recorrido (GL consumido por cada 100 km) y la productividad estimada (tonelada movida por hora) antes y después de aplicar el Programa de buenas prácticas de manejo, ambos obtenidos del Sistema de Despacho o Dispatch correspondientes al mes de junio del 2024.

**Tabla 6.***Reporte junio 2024, consumo de combustible y productividad estimada.*

| Operario | PRE TEST                                               |                                | POST TEST                                              |                                |
|----------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|
|          | Consumo de combustible por tramo recorrido (GL/100 km) | Productividad estimada (tn/hr) | Consumo de combustible por tramo recorrido (GL/100 km) | Productividad estimada (tn/hr) |
| 1        | 7.798936427                                            | 289.2                          | 7.267510399                                            | 289.5                          |
| 2        | 9.255008051                                            | 288.6                          | 8.735551948                                            | 287.2                          |
| 3        | 7.900205761                                            | 285                            | 9.854001664                                            | 284.0                          |
| 4        | 9.938650533                                            | 286                            | 9.993500107                                            | 289.0                          |
| 5        | 8.842709232                                            | 285.4                          | 8.841838326                                            | 286.3                          |
| 6        | 8.294026944                                            | 286.7                          | 8.509937951                                            | 287.1                          |
| 7        | 10.17629739                                            | 288                            | 9.199291518                                            | 293.3                          |
| 8        | 10.45012293                                            | 289                            | 8.654065653                                            | 290.0                          |
| 9        | 9.486051021                                            | 285                            | 8.469835032                                            | 293.1                          |
| 10       | 8.904356874                                            | 286.7                          | 7.1430134                                              | 287.0                          |
| 11       | 8.77418521                                             | 286                            | 7.757967423                                            | 290.9                          |
| 12       | 9.172465235                                            | 285                            | 8.747600353                                            | 295.0                          |
| 13       | 8.809734716                                            | 285.2                          | 9.954748974                                            | 286.4                          |
| 14       | 8.929759909                                            | 286                            | 8.518807694                                            | 287.0                          |
| 15       | 9.936793231                                            | 286.5                          | 7.074110302                                            | 286.0                          |
| 16       | 10.1493988                                             | 287                            | 9.290887924                                            | 289.2                          |
| 17       | 10.97915685                                            | 286                            | 9.132232543                                            | 286.7                          |
| 18       | 9.275193627                                            | 288                            | 8.625501129                                            | 285.4                          |
| 19       | 10.53304222                                            | 289.2                          | 9.607470906                                            | 292.0                          |
| 20       | 9.654532113                                            | 288                            | 9.231813422                                            | 295.0                          |
| 21       | 10.21674902                                            | 289                            | 8.048722735                                            | 287.6                          |
| 22       | 8.00514145                                             | 289.5                          | 8.286484301                                            | 295.2                          |

|                                  |             |          |             |             |
|----------------------------------|-------------|----------|-------------|-------------|
| 23                               | 10.70623602 | 287.2    | 9.539851227 | 291.2       |
| 24                               | 8.129007354 | 286.1    | 7.304168578 | 290.6       |
| Promedio                         | 9.34657337  | 287.0125 | 8.6578714   | 289.3625    |
| Mejora en Productividad Estimada |             |          |             | <b>2.35</b> |

Fuente: Sala de despacho de la compañía minera.

Se analizaron los datos según el método estadístico T-student haciendo uso del programa minitab (V.19.1), adicional a ello, se consideró la media de las muestras: consumo de combustible por tramo recorrido antes del test (Pre Test) y después del test (Post Test) con un nivel de confianza de 0.95.

### Figura 13.

*Datos de consumo de combustible por tramo recorrido pre y post test.*

| ↓  | C1                           | C2                            |
|----|------------------------------|-------------------------------|
|    | Consumo Combustible Pre Test | Consumo Combustible Post Test |
| 1  | 7.7989                       | 7.26751                       |
| 2  | 9.2550                       | 8.73555                       |
| 3  | 7.9002                       | 9.85400                       |
| 4  | 9.9387                       | 9.99350                       |
| 5  | 8.8427                       | 8.84184                       |
| 6  | 8.2940                       | 8.50994                       |
| 7  | 10.1763                      | 9.19929                       |
| 8  | 10.4501                      | 8.65407                       |
| 9  | 9.4861                       | 8.46984                       |
| 10 | 8.9044                       | 7.14301                       |
| 11 | 8.7742                       | 7.75797                       |
| 12 | 9.1725                       | 8.74760                       |
| 13 | 8.8097                       | 9.95475                       |
| 14 | 8.9298                       | 8.51881                       |
| 15 | 9.9368                       | 7.07411                       |
| 16 | 10.1494                      | 9.29089                       |
| 17 | 10.9792                      | 9.13223                       |
| 18 | 9.2752                       | 8.62550                       |
| 19 | 10.5330                      | 9.60747                       |
| 20 | 9.6545                       | 9.23181                       |
| 21 | 10.2167                      | 8.04872                       |
| 22 | 8.0051                       | 8.28648                       |
| 23 | 10.7062                      | 9.53985                       |
| 24 | 8.1290                       | 7.30417                       |

Fuente: Minitab.

### 5.2.1. Contrastación de hipótesis:

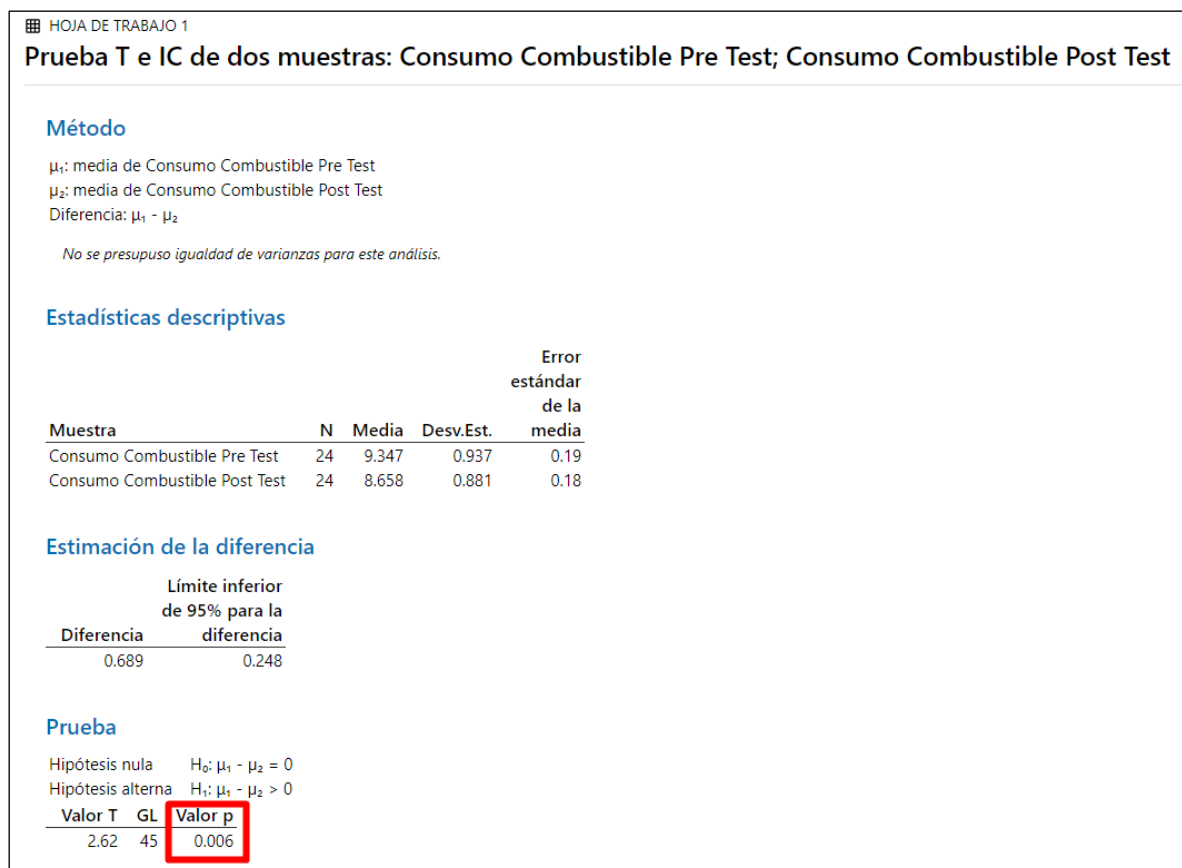
#### 5.2.1.1. Contrastación de hipótesis específica 1:

Ho: No existe diferencia entre las medias del consumo de combustible por tramo recorrido antes del test (Pre Test) y después del test (Post Test).

H1: La media del consumo de combustible por tramo recorrido antes del Test (Pre Test) es mayor la media del promedio del consumo de combustible por tramo recorrido después del Test (Post Test).

**Figura 14.**

*Prueba estadística T-student.*



Fuente: Minitab.

Con el valor p de 0.006 y un nivel de significancia de 0.05, se concluye que el valor p es menor al nivel de significancia, por lo que se rechaza la  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que podemos decir que la media del consumo de combustible por tramo recorrido antes del Test (Pre Test) es mayor la media del promedio del consumo de combustible por tramo recorrido después del Test (Post Test), concluyendo así que existe una mejora significativa en el consumo de combustible por tramo recorrido luego de implementar el programa de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo en una empresa minera de tajo abierto en Huaraz.

Así mismo, con el mismo método estadístico T-student y haciendo uso del programa minitab (V.19.1) se consideraron la media de las muestras: productividad estimada antes del test (Pre Test) y después del test (Post Test) con un nivel de confianza de 0.95:

**Figura 15.**

*Datos de productividad pre y post test.*

| +  | C1                          | C2                           |
|----|-----------------------------|------------------------------|
|    | Productividad Est. Pre Test | Productividad Est. Post Test |
| 1  | 289.2                       | 298.6                        |
| 2  | 288.6                       | 298.3                        |
| 3  | 285.0                       | 291.5                        |
| 4  | 286.0                       | 294.1                        |
| 5  | 285.4                       | 292.2                        |
| 6  | 286.7                       | 295.8                        |
| 7  | 288.0                       | 293.3                        |
| 8  | 289.0                       | 300.5                        |
| 9  | 285.0                       | 293.1                        |
| 10 | 286.7                       | 293.2                        |
| 11 | 286.0                       | 290.9                        |
| 12 | 285.0                       | 300.0                        |
| 13 | 285.2                       | 300.0                        |
| 14 | 286.0                       | 297.2                        |
| 15 | 286.5                       | 297.2                        |
| 16 | 287.0                       | 295.8                        |
| 17 | 286.0                       | 293.3                        |
| 18 | 288.0                       | 293.3                        |
| 19 | 289.2                       | 292.0                        |
| 20 | 288.0                       | 295.0                        |
| 21 | 289.0                       | 297.2                        |
| 22 | 289.5                       | 295.2                        |
| 23 | 287.2                       | 291.2                        |
| 24 | 286.1                       | 290.6                        |

Fuente: Minitab.

### 5.2.1.2. Contrastación de hipótesis específica 2:

Ho: No existe diferencia entre las medias de la productividad estimada antes del test (Pre Test) y después del test (Post Test).

H1: La media de la productividad estimada después del Test (Post Test) es mayor a la media de la productividad estimada antes del Test (Pre Test).

**Figura 16.**

*Prueba estadística T-student.*

|                                                                                          |    |         |           |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------|-----------|----------------------------|
| HOJA DE TRABAJO 1                                                                        |    |         |           |                            |
| Prueba T e IC de dos muestras: Productividad Est. Pre Test; Productividad Est. Post Test |    |         |           |                            |
| <b>Método</b>                                                                            |    |         |           |                            |
| $\mu_1$ : media de Productividad Est. Pre Test                                           |    |         |           |                            |
| $\mu_2$ : media de Productividad Est. Post Test                                          |    |         |           |                            |
| Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$                                                              |    |         |           |                            |
| No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.                                |    |         |           |                            |
| <b>Estadísticas descriptivas</b>                                                         |    |         |           |                            |
| Muestra                                                                                  | N  | Media   | Desv.Est. | Error estándar de la media |
| Productividad Est. Pre Test                                                              | 24 | 287.01  | 1.51      | 0.31                       |
| Productividad Est. Post Test                                                             | 24 | 289.36  | 3.28      | 0.67                       |
| <b>Estimación de la diferencia</b>                                                       |    |         |           |                            |
| Límite superior de 95% para la diferencia                                                |    |         |           |                            |
| Diferencia                                                                               |    |         |           |                            |
| -2.350                                                                                   |    |         |           | -1.101                     |
| <b>Prueba</b>                                                                            |    |         |           |                            |
| Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$                                                  |    |         |           |                            |
| Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$                                               |    |         |           |                            |
| Valor T                                                                                  | GL | Valor p |           |                            |
| -3.19                                                                                    | 32 | 0.002   |           |                            |

Fuente: Minitab.

Con el valor p de 0.002 y un nivel de significancia de 0.05, se concluye que el valor p es menor al nivel de significancia, por lo que se rechaza la  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que podemos decir que la media de la productividad estimada después del Test (Post Test) es mayor a la media de la productividad estimada antes del Test (Pre Test), concluyendo así que existe una mejora significativa en la productividad estimada luego de implementar el programa de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo en una empresa minera de tajo abierto en Huaraz.

También se utilizaron datos del área de Finanzas para obtener el precio del combustible, para ello se hicieron proyecciones del precio por galón de acuerdo a los contratos y comportamiento histórico del precio del combustible.

**Figura 17.**

*Reporte de Proyección de Combustible.*

| Evidencia 1                                                 |            |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Proyecciones de Volumen de consumo de Diesel para 2024-2028 |            |             |             |             |             |             |
| Fuente: Finanzas                                            |            |             |             |             |             |             |
| Proyecciones Combustible                                    |            |             |             |             |             |             |
| Consumption                                                 | Litros     | 2024        | 2025        | 2026        | 2027        | 2028        |
|                                                             |            | 258,401,057 | 272,051,643 | 280,879,596 | 305,520,811 | 317,487,353 |
|                                                             | Galones    | 68,269,764  | 71,876,260  | 74,208,612  | 80,718,840  | 83,880,410  |
| Fuel - Base Case antes de la licitación                     |            |             |             |             |             |             |
| Price                                                       | US\$/Litro | 2024        | 2025        | 2026        | 2027        | 2028        |
|                                                             |            | 1.228       | 1.160       | 1.128       | 1.095       | 1.088       |
|                                                             | US\$/Gal   | 4.649       | 4.389       | 4.268       | 4.146       | 4.120       |
| Fuel - Budget (Despues de la licitación)                    |            |             |             |             |             |             |
| Price                                                       | US\$/Litro | 2024        | 2025        | 2026        | 2027        | 2028        |
|                                                             |            | 1.017       | 1.048       | 1.048       | 1.048       | 1.048       |
|                                                             | US\$/Gal   | 3.849       | 3.967       | 3.967       | 3.967       | 3.967       |
| Fuel - LOM (Despues de la licitación)                       |            |             |             |             |             |             |
| Price                                                       | US\$/Litro | 2024        | 2025        | 2026        | 2027        | 2028        |
|                                                             |            | 0.914       | 0.911       | 0.927       | 0.925       | 0.956       |
|                                                             | US\$/Gal   | 3.460       | 3.450       | 3.510       | 3.500       | 3.620       |

Fuente: Área de Finanzas de la compañía minera.

Adicional a estos reportes de la Sala de Despacho, se utilizó información de los reportes de Operaciones Mina para obtener los kilómetros recorridos de los camiones Komatsu 930E desde julio del 2023 a abril del 2024.

**Figura 18.**

*Reporte de recorrido en km de camiones kom 930.*

| <b>Línea Base Komatsu 930E por camión</b> |                                      |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Mes</b>                                | <b>Recorrido en km<br/>(Kom 930)</b> |
| Jul-23                                    | 12123.00                             |
| Ago-23                                    | 12369.00                             |
| Set-23                                    | 12282.00                             |
| Oct-23                                    | 11840.00                             |
| Nov-23                                    | 11815.00                             |
| Dic-23                                    | 12018.00                             |
| Ene-24                                    | 11729.00                             |
| Feb-24                                    | 12179.00                             |
| Mar-24                                    | 12159.00                             |
| Abr-24                                    | 11543.00                             |
| <b>Recorrido anual</b>                    | <b>120057.00</b>                     |

Fuente: Dispatch (Operación minera)

Finalmente se hallaron los cálculos del beneficio del programa, teniendo en cuenta las cantidades de camiones Komatsu 930E (92), el recorrido anual por camión de aproximadamente 120,057 km (obtenido de la Figura 17 (*Reporte de recorrido en km de camiones kom 930*)) y el ahorro de combustible por cada 100 km calculado por camión de 826.83 después de la implementación el programa.

Finalmente, se hizo el cálculo del beneficio monetario en la que se consideró el precio del combustible de 3.46 (obtenido de la Figura 16 (*Reporte de Proyección de Combustible*)). Finalmente, se obtuvo un beneficio estimado un total de 263,198\$.

**Tabla 7. Cálculo ahorro de combustible por cada 100 km por operario.**

| Operario                                                       | PRE TEST                                               | POST TEST                                              | Ahorro de combustible<br>(GL/100 km) |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                | Consumo de combustible por tramo recorrido (GL/100 km) | Consumo de combustible por tramo recorrido (GL/100 km) |                                      |
| 1                                                              | 7.798936427                                            | 7.267510399                                            | 0.531426028                          |
| 2                                                              | 9.255008051                                            | 8.735551948                                            | 0.519456103                          |
| 3                                                              | 7.900205761                                            | 9.854001664                                            | -1.953795903                         |
| 4                                                              | 9.938650533                                            | 9.993500107                                            | -0.054849574                         |
| 5                                                              | 8.842709232                                            | 8.841838326                                            | 0.000870907                          |
| 6                                                              | 8.294026944                                            | 8.509937951                                            | -0.215911007                         |
| 7                                                              | 10.17629739                                            | 9.199291518                                            | 0.977005873                          |
| 8                                                              | 10.45012293                                            | 8.654065653                                            | 1.796057279                          |
| 9                                                              | 9.486051021                                            | 8.469835032                                            | 1.016215988                          |
| 10                                                             | 8.904356874                                            | 7.1430134                                              | 1.761343475                          |
| 11                                                             | 8.77418521                                             | 7.757967423                                            | 1.016217787                          |
| 12                                                             | 9.172465235                                            | 8.747600353                                            | 0.424864882                          |
| 13                                                             | 8.809734716                                            | 9.954748974                                            | -1.145014258                         |
| 14                                                             | 8.929759909                                            | 8.518807694                                            | 0.410952215                          |
| 15                                                             | 9.936793231                                            | 7.074110302                                            | 2.862682929                          |
| 16                                                             | 10.1493988                                             | 9.290887924                                            | 0.858510881                          |
| 17                                                             | 10.97915685                                            | 9.132232543                                            | 1.846924307                          |
| 18                                                             | 9.275193627                                            | 8.625501129                                            | 0.649692498                          |
| 19                                                             | 10.53304222                                            | 9.607470906                                            | 0.925571316                          |
| 20                                                             | 9.654532113                                            | 9.231813422                                            | 0.422718692                          |
| 21                                                             | 10.21674902                                            | 8.048722735                                            | 2.168026282                          |
| 22                                                             | 8.00514145                                             | 8.286484301                                            | -0.281342852                         |
| 23                                                             | 10.70623602                                            | 9.539851227                                            | 1.166384796                          |
| 24                                                             | 8.129007354                                            | 7.304168578                                            | 0.824838776                          |
| <b>Ahorro GL/100 km x camión (promedio de los 24 camiones)</b> |                                                        |                                                        | 0.688701976                          |
| <b>Recorrido al año de camión kom 930 en km</b>                |                                                        |                                                        | 120057                               |
| <b>Ahorro combustible GL por camión en un año</b>              |                                                        |                                                        | 826.83                               |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 8.**

*Reporte final de beneficio.*

| <i>Descripción</i>                | <i>Cantidad</i> | <i>Unidad</i>   |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| <i>Cantidad de HTs Kom 930</i>    | 92              | <i>HT</i>       |
| <i>Ahorro x camion</i>            | 826.83          | <i>GL/HT</i>    |
| <i>Ahorro anual para la flota</i> | 76,068.81       | <i>GL / año</i> |

|                                         |                       |                 |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Precio Diésel (Precios LOM 2024)</i> | 3.46                  | <i>US\$/gal</i> |
| <i>Total</i>                            | <b>USD 263,198.10</b> | <i>US\$/año</i> |

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

La evidencia estadística, derivada de las pruebas de hipótesis presentadas en las Secciones 5.2.1. y 5.2.2., demostró que la aplicación del programa de buenas prácticas generó un efecto positivo y significativo en los indicadores clave de desempeño. Específicamente, se observó una mejora sustancial tanto en el consumo de combustible por tramo recorrido como en la productividad estimada de los equipos.

Por lo tanto, se concluyó que la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influyó positivamente en la optimización del consumo de combustible en las operaciones mineras de Huaraz. Este resultado estuvo en plena concordancia con lo indicado por Maita Y. & Quispe A. (2020), quienes sostienen que una mejora en el área de transporte bajo una metodología de recolección y análisis de datos, tiene un efecto importante frente al indicador de ahorro en el consumo de combustible.

Los resultados de la prueba de hipótesis presentados en la Sección 5.2.1. confirmó una **reducción estadísticamente significativa** en la media del consumo de combustible al comparar el periodo posterior al programa con el periodo basal. La aplicación de las buenas prácticas de manejo (como el control del ralentí, el uso optimizado de la potencia y la gestión de la velocidad) impactó directamente en el indicador de consumo por tramo. Por lo tanto, se **acepta la Hipótesis Específica 1**, confirmando la eficacia del programa como estrategia para la eficiencia del consumo de combustible.

El análisis estadístico (Sección 5.2.2.) reveló que, tras la implementación del programa, la media de la **productividad estimada se incrementó** de manera positiva y significativa respecto al periodo previo. Este aumento demuestra que las buenas prácticas de manejo no solo mejoran la eficiencia energética,

sino que también optimizan el tiempo de ciclo y la gestión de la carga, resultando en una mayor producción general.

Estos resultados difieren con lo expresado por los autores Rivas C. & Zamora H. (2019), quienes no encontraron una relación directa entre la implementación de un programa frente a la productividad estimada, esto puede explicarse debido a que la presente tesis se desarrolló con un enfoque más pedagógico que influyera de forma determinante en los conductores.

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

Con lo presentado en este documento se concluyó principalmente que la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influyó positivamente frente al consumo de combustible en el área de operaciones mina, ahorrando así 76,068.81 galones al año, que en términos monetarios asciende a un total de 263,198.10\$, demostrando una importancia significativa en el área de Operaciones dentro de una empresa minera.

Por otro lado, se concluyó también que la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo tuvo un impacto positivo frente al consumo de combustible por tramo recorrido, ahorrando así 826.83 galones por camión por cada 100 km recorridos.

Así mismo, se concluyó también que la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo impactó positivamente en la productividad estimada mejorando en 2.35 tn/hr (según lo indicado en la tabla 6). Por otro lado, se tuvo beneficios ambientales y sociales, ya que, al ahorrar combustible, hubo un impacto positivo en el medio ambiente por la reducción de los gases de efecto invernadero y otros gases que causa el uso de estos combustibles, esto impactó a su vez en el ámbito social ya que dio una buena imagen a la empresa frente a las sociedades comunitarias.

### **7.2. Recomendaciones**

Principalmente, se recomienda implementar un programa de buenas prácticas de manejo en los equipos de acarreo en una operación minera de tajo abierto para disminuir el consumo de combustible en el área de operaciones y para ello se debe tener un plan de trabajo antes de empezar a ejecutar el programa, revisar este plan de trabajo con los dueños del proceso, en este caso fueron

el gerente de Operaciones Mina y el Superintendente.

Por otro lado, se recomienda implementar un programa de buenas prácticas de manejo en los equipos de acarreo en una operación minera de tajo abierto para disminuir el consumo de combustible por tramo recorrido en el área de operaciones, con ello se recomienda también hacer el seguimiento respectivo a los problemas que puedan presentarse al momento de ejecutar el programa. Finalmente se recomienda implementar un programa de buenas prácticas de manejo en los equipos de acarreo en una operación minera de tajo abierto para aumentar la productividad estimada en la operación y con ello se recomienda usar planes de manejo para la revisión de la implementación del programa (Kpis o indicadores), estos pueden ser de frecuencia mensual o quincenal, adicional a ello, se debe buscar concientizar al personal y hacer de estas buenas prácticas una cultura por ello no debemos descuidar las charlas informativas.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez R. (2021). *Incremento de la rentabilidad económica optimizando la operación transporte de mineral en la E.C.M. Martínez Contratistas e Ingeniería S. A. Unidad Minera Atacocha*. [Tesis de grado, Universidad Continental].  
<https://repositorio.continental.edu.pe/item/1ec0f17f-2158-4aed-8588-b11c1c7bbe66/full>
- Anglo American. (s. f.). *Open-pit mining definition*. [Blog].  
<https://www.angloamerican.com/futuresmart/stories/our-industry/mining-explained/mining-terms-explained-a-to-z/open-pit-mining-definition>
- Antamina. (s. f.). *Proceso de producción*. [Blog].  
<https://www.antamina.com/proceso-productivo/>
- AngloAmerican, (s.f.). *Definición de minería a cielo abierto*. [Blog AngloAmerican].  
<https://www.angloamerican.com/futuresmart/stories/our-industry/mining-explained/mining-terms-explained-a-to-z/open-pit-mining-definition>.
- Barzola M. & Marcelino Y. (2020). *Evaluación técnico-económica de los equipos de transporte de mineral de la veta Pablo, nivel 4328-4402, Unidad Minera Pallancata a fin de optimizar dicho sistema de transporte*. [Tesis de grado, Universidad Continental].  
<https://repositorio.continental.edu.pe/item/a5ff9c75-4341-44cb-b2ee-3f68f9f7d545/full>
- Cruz, E. (16 de agosto de 2024). *Mantenimiento de maquinaria minera: Mercado de repuestos, accesorios y servicios*. [Rumbo Minero Blog].  
<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/columnistas/mantenimi>

[ento-maquinaria-minera-repuestos-accesorios/](#)

Escalante J. (2021). *Optimización de la gestión operativa logística de vehículos basado en el Ciclo de PHVA en la empresa MC Transportes S.R.L.* [Tesis de grado, Universidad Continental].  
<https://repositorio.continental.edu.pe/item/1e9a8eda-d209-4281-b060-56e0bf24dff0>

Ferrovial. (s. f.). *Pala cargadora: qué es, características, tipos y usos.* [Blog].  
<https://www.ferrovial.com/es/stem/pala-cargadora/>

Fortuny, J. (2021). *Estudio de la aplicabilidad de Lean Management en la industria minera. Dirección y Organización*, (75), 5-15. [Blog].  
<https://www.revistadyo.es/DyO/index.php/dyo/article/view/595>

Gamco. (s. f.). *Simulación.* [Blog]. <https://gamco.es/glosario/simulacion/>

Geotab. (31 de diciembre de 2024). *Guía rápida para manejar de forma ecológica y ahorrar combustible para su flota.* [Geotab Blog].  
<https://www.geotab.com/es-latam/blog/ocho-consejos-conduccion-ecologica-ahorrar-combustible-flota/>

Identec Solutions. (s. f.). *Mine productivity: How to identify areas for cost-effective mine growth.* [Blog].  
<https://www.identecsolutions.com/news/mine-productivity-how-to-identify-areas-for-cost-effective-mine-growth>

Immersive Technologies. (23 de julio de 2020). *El último y más avanzado simulador disponible para la minería: PRO4-B.* [Immersive Technologies Blog].  
<https://www.immersivetechologies.pe/products/surface-simulator.htm>

Immersive Technologies. (2024). *SimControl (Versión 2024.1)* [Software de computación]. [Blog].  
<https://www.immersivetechologies.pe/products/simcontrol.htm>

- ISE Academy. (30 de mayo de 2023). *Transporte Minero en Minería Superficial*. [Blog ISE]. <https://ise-latam.com/blog/transporte-minero>
- Komatsu Mitsui, (s.f.). *Camiones eléctricos (2021-2025)*. [Blog Komatsu Mitsui].  
<https://komatsu.pe/index.php/equipos/nuevos/komatsu/mineria/camiones-electricos>.
- Langlois, J. (2018). *Desarrollo e implementación de un simulador dinámico del proceso de producción de relaves en pasta para aplicaciones de control* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, Repositorio UC]. <https://repositorio.uc.cl/handle/11673/45213>
- La República. (14 de diciembre de 2024). *Los retos que la minería peruana enfrentará en 2025: ¿qué cambios tendría que hacer?* [Blog].  
<https://larepublica.pe/economia/2024/12/14/la-retos-que-la-mineria-peruana-enfrentara-en-2025-que-cambios-tendria-que-hacer-atmp-609252>
- Meng G. & Chavez J. & Quispe J. & Torres P. (2025). *Optimización de la eficiencia en el consumo de combustible en camiones mineros de capacidad de 320 a 400 toneladas para operaciones de tajo abierto mediante la aplicación de aditivo sintético*. [Tesis de Maestría, Universidad Continental].  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/687249>
- Minitab. (2019). *Minitab* (Versión 19.1) [Software de computación, Blog].  
<https://www.minitab.com/>
- Onifade, M., Tawanda, Z., John, A., Khadija, O., Oluwatobi, D., Abiodun, I., & Manoj, K. (2024). *Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices*. *Next Sustainability*, 2, Artículo 100033. [Blog].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S29505550240003>

38

Ortega C. (2025). *Investigación aplicada: Definición, tipos y ejemplos*. [Blog].

<https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-aplicada/>

Pallete, A. (2019). *Seguridad en carguío y acarreo en minería a cielo abierto*

[Blog Instituto de Seguridad Minera (ISEM)].

<https://www.isem.org.pe/files-public/portal/reuseg/2019/acarreo.pdf>

Peralta Ballesta, J. (2024). *Optimización del consumo de combustible y*

*prácticas operativas en una empresa minera a cielo abierto* [Tesis de

grado, Universidad Francisco de Paula Santander, Repositorio

Institucional UFPS]. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/9130>

Pipon Castro, A. (2023). *Servicio de optimización de combustible en*

*camiones de transporte en minería* [Tesis de maestría, Universidad

de Chile, Repositorio Académico de la Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/196634>

Rivas C. & Zamora H. (2019). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORA*

*PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL PROCESO DE*

*TRANSPORTE DE INVERSIONES ZAMCAR S.A.C.* [Tesis de

grado, Ricardo Palma].

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/URPU\\_7a1bc12b2806c](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/URPU_7a1bc12b2806c55b96564c0aa130356e)

[55b96564c0aa130356e](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/URPU_7a1bc12b2806c55b96564c0aa130356e)

Runge Latin America. (s. f.). *Coaching de implementación: Planificación y*

*operación de un sistema de carguío y transporte* [Informe técnico].

Santillán, A. (19 de diciembre de 2024). *Optimización del uso de*

*combustibles en la Minería*. [Blog Mining Mexico].

[https://miningmexico.com/optimizacion-del-uso-de-combustibles-en-](https://miningmexico.com/optimizacion-del-uso-de-combustibles-en-la-mineria/)

[la-mineria/](https://miningmexico.com/optimizacion-del-uso-de-combustibles-en-la-mineria/)

Segovia, J., Fernández, V., & Berrones, N. (2023). *Mejora de procesos para*

*la optimización del consumo de combustible y neumáticos en una empresa de transporte de carga pesada* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Repositorio Institucional UPS].  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26654>

Sreekumar, D. (18 de diciembre de 2024). *What is experimental research design? Definition, examples & types of designs*. [Researcher.Life Blog]. <https://researcher.life/blog/article/what-is-experimental-research-design-definition-examples-types/>

Supo, J. (02 de abril de 2023). *Niveles de investigación*. [BIOESTADISTICO Blog]. <https://bioestadistico.com/niveles-de-investigacion>

Toyota, (s.f.). *Sistema de producción de Toyota*. [Toyota Blog].  
<https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>

Universidad Arturo Prat. (29 de octubre de 2014). *¿Qué es un mineral?* Museo Mineralógico. [Blog].  
[https://www.unap.cl/prontus\\_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html](https://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html)

Villarroel, C. (2015). *Aplicación de Lean Management en una mina rajo abierto División El Teniente – Codelco Chile* [Tesis de grado, Universidad de Chile, Scribd].  
<https://es.scribd.com/document/623300501/Aplicacion-de-Lean-Management-en-una-mina-rajo-abierto-Division>

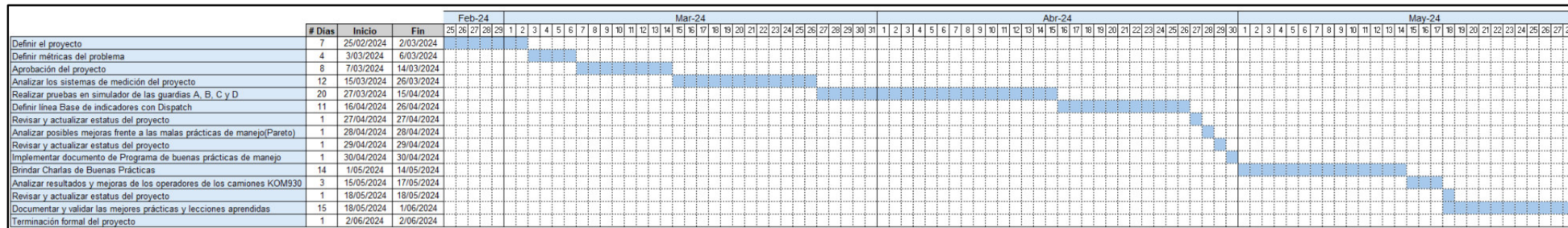
## IX. ANEXOS

### 1. Matriz de Consistencia

| PROBLEMAS                                                                                                                                                                                                   | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                                                      | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                                                   | VARIABLES E INDICADORES                                                                                                                                                                                                                                                         | MÉTODO DE INVESTIGACIÓN                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. PROBLEMA PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo frente al consumo de combustible en el área de operaciones mina?</p> | <p>1. OBJETIVO PRINCIPAL</p> <p>Determinar en qué medida influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo frente al consumo de combustible en el área de operaciones mina.</p> | <p>1. HIPÓTESIS PRINCIPAL</p> <p>La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina en Huaraz.</p> | <p>1. VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo.</li> </ul> <p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad de instancias de error / escenario de prueba</li> </ul> | <p>1. TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación experimental.</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2. PROBLEMAS SECUNDARIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo frente al consumo de combustible por tramo recorrido?</li> <li>• ¿De qué manera influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la productividad estimada?</li> </ul> | <p>2. OBJETIVOS SECUNDARIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar en qué medida influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo frente al consumo de combustible por tramo recorrido.</li> <li>• Determinar de qué manera influye la implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo en la productividad estimada.</li> </ul> | <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la optimización del consumo de combustible por tramo recorrido en el área de operaciones mina en Huaraz.</li> <li>• La implementación de un programa de buenas prácticas de manejo de los equipos de acarreo influye positivamente en la productividad estimada en el área de operaciones mina en Huaraz.</li> </ul> | <p>2. VARIABLE DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización del consumo de combustible en el área de operaciones mina.</li> </ul> <p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Galones / hora</li> </ul> | <p>2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño experimental y relacional.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

2. Diagrama Gantt del proyecto: "Programa de buenas prácticas de manejo en equipos de acarreo para la optimización en el consumo de combustible en una empresa minera de tajo abierto, Huaraz".



Fuente: Elaboración propia.

3. Plan de Manejo.

| Plan de manejo de proyecto Ahorro de combustible |                                                              |            |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|
| #                                                | Descripción                                                  | Frecuencia |
| 1                                                | Solicitar la data de consumo de combustible a despacho       | mensual    |
| 2                                                | Revisar data de consumo de combustible brindada por despacho | mensual    |
| 3                                                | Charlas acerca de las buenas prácticas de manejo             | mensual    |
| 4                                                | Evaluar a los operadores en los simuladores                  | semestral  |

Fuente: Elaboración propia.

4. Simulador Immersive PRO4-B en área de Entrenamiento.



Fuente: Área de Entrenamiento Mina de la compañía minera.

5. Interior del Simulador Immersive PRO4-B en área de Entrenamiento.



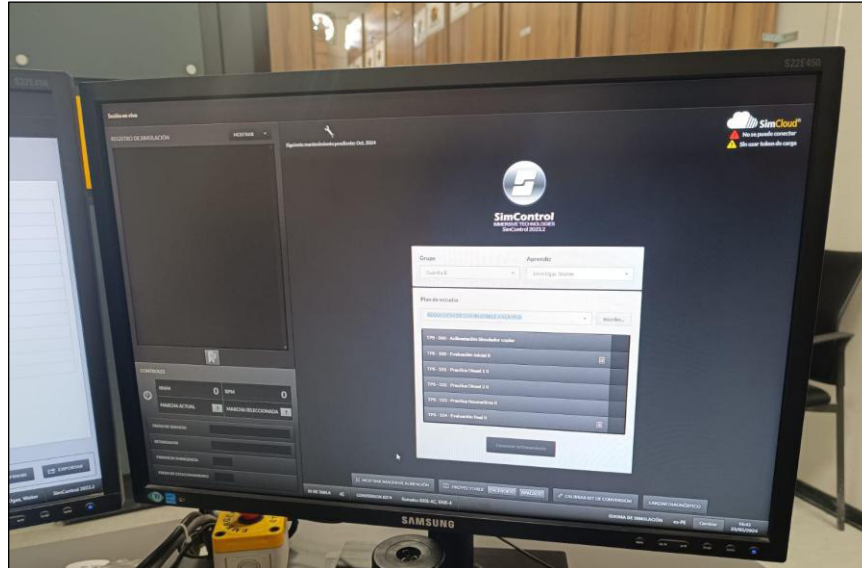
Fuente: Área de Entrenamiento Mina de la compañía minera.

6. Escenario realista de la mina en el Simulador Immersive PRO4-B en área de Entrenamiento.



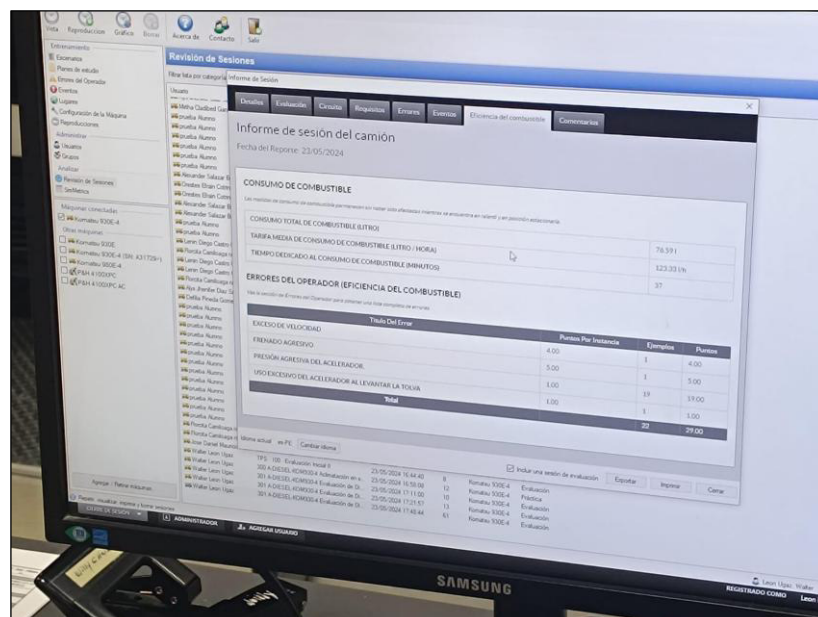
Fuente: Área de Entrenamiento Mina de la compañía minera.

7. Software SimControl del Simulador Immersive PRO4-B en área de Entrenamiento.



Fuente: Área de Entrenamiento Mina de la compañía minera.

8. Resultados de la evaluación en el Software SimControl del Simulador Immersive PRO4-B en área de Entrenamiento.



Fuente: Área de Entrenamiento Mina de la compañía minera.

9. Tajo general de una minera de tajo abierto.



Fuente: Compañía minera.

10. Camión Komatsu 930E.



Fuente: Komatsu.

11. Área Operaciones Mina de la compañía minera.



Fuente: Área de Operaciones de la compañía minera.