UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

"REDUCCIÓN DE EVENTOS TKPH PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA MINA DE COBRE"

PRESENTADA POR:

BACH. DANITZA MARÍA ARIZABAL RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 046

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 0001 - 2025 - D - FACIA - UNAM

Fecha: 07/01/2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

" REDUCCIÓN DE EVENTOS TKPH PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA MINA DE COBRE"

Bachiller: DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS

Asesor Principal: Dr. CHRIST JESUS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 16:40 horas, del 07 de ENERO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Dr. MARCOS CUTI QUISPE PEREZ
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Dr. Arquímedes L. VARGAS LUQUÉ
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MSC. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Danitza María Arizabal Ramos
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi fuente infinita de apoyo, inspiración y amor. Su esfuerzo, sacrificio y valores han guiado cada paso en mi formación académica y personal. A mi hermano, por ser mi alegría diaria y recordarme siempre la importancia de los pequeños momentos de felicidad. Dedico este trabajo también a mis maestros, cuyas enseñanzas y ejemplo forjaron en mí el compromiso y la pasión por la Ingeniería de Minas, a mis amigos y compañeros, quienes hicieron de este camino una experiencia enriquecedora e inolvidable.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para completar esta etapa de mi vida.

A mis padres y a mi hermano, cuyo amor, apoyo incondicional y confianza en mis capacidades han sido el motor para alcanzar este logro. A mis demás familiares, quienes con sus palabras de aliento y gestos de cariño me acompañaron en este recorrido, brindándome siempre un motivo para continuar.

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por proporcionarme las bases académicas y éticas para el desarrollo de esta investigación.

A Anglo American Quellaveco, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales y por el apoyo necesario para llevar a cabo este estudio.

A mi asesor, cuyo conocimiento, orientación y paciencia fueron cruciales para culminar este trabajo con éxito. De igual manera, agradezco a mi familia, amigos y colegas por su motivación constante y palabras de aliento en los momentos más desafiantes.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron a mi formación académica y profesional, les expreso mi más profundo agradecimiento.

Resumen

En una mina de cobre a cielo abierto se ha identificado un desafío relacionado con el rendimiento de los camiones autónomos, afectados por eventos TKPH (Toneladas Kilómetro Por Hora) altos. Estos eventos generan paradas imprevistas, reduciendo la eficiencia operativa y velocidad media de los vehículos. Durante mayo, estos eventos causaron 293 horas de inactividad. El objetivo principal de esta investigación fue diseñar un mejor control de eventos TKPH alto que optimice los indicadores de rendimiento Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones mineros. Con un enfoque cuantitativo y correlacional transversal, se analizaron los ciclos de acarreo de 30 camiones autónomos CAT 794AC entre junio y septiembre de 2024. Los resultados indicaron las rutas con pendientes pronunciadas y la velocidad inciden en el índice TKPH aumentando el estrés térmico de los neumáticos (correlación de Pearson de 0.64 y 0.961 respectivamente), y tiene una correlación negativa con la eficiencia operativa (-0.443). Estrategias como el monitoreo en tiempo real del TKPH, la planificación de rutas y la regulación de velocidad permitieron reducir eventos de alto TKPH, logrando mejoras en la eficiencia operativa del 5.85%, lo que incrementó el acarreo de mineral 127.5 mil a 135 mil ton/día y desmonte de 246.9 mil a 261.6 mil ton/día, además de generar un ahorro anual de 197.5 mil USD en costos directos de carguío y acarreo.

Palabras clave: TKPH, camiones autónomos, minería, KPI.

Abstract

In an open-pit copper mine, a challenge has been identified related to the performance of autonomous trucks, impacted by high TKPH (Tonnes Kilometer Per Hour) events. These events cause unplanned stoppages, reducing the operational efficiency and average speed of the vehicles. In May, these events resulted in 293 hours of downtime. The main objective of this research was to design a better control for high TKPH events to optimize the performance indicators Operational Efficiency and Average Speed of the mining trucks. Using a quantitative and cross-sectional correlational approach, the haulage cycles of 30 autonomous CAT 794AC trucks were analyzed between June and September 2024. The results indicated that routes with steep gradients and speed significantly influence the TKPH index by increasing thermal stress on the tires (Pearson correlation of 0.64 and 0.961, respectively) and exhibit a negative correlation with operational efficiency (-0.443). Strategies such as real-time TKPH monitoring, route planning, and speed regulation successfully reduced high TKPH events, leading to a 5.85% improvement in operational efficiency. This improvement increased ore haulage from 127.5 thousand to 135 thousand tons/day and waste material haulage from 246.9 thousand to 261.6 thousand tons/day, generating annual savings of USD 197,500 in direct loading and haulage costs.

Keywords: TKPH, autonomous trucks, mining, KPI.

Índice

Pág.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5
1.1. Descripción y Formulación del Problema 5
1.2. Objetivos 7
1.2.1. Objetivo General 7
1.2.2. Objetivos Específicos 7
1.3. Justificación e Importancia 7
1.3.1. Justificación Práctica 7
1.3.2. Justificación Económica 8
1.3.3. Justificación Ambiental 8
1.3.4. Justificación Social 8
1.3.5. Justificación Científica 9
1.4. Hipótesis de la Investigación 10
1.4.1. Hipótesis General 10
1.4.2. Hipótesis Específicas 10
1.5. Variables 10
1.5.1. Variable Dependiente 10
1.5.2. Variable Independiente 10
II. MARCO TEÓRICO 12
2.1. Antecedentes del Problema 12
2.1.1. Antecedentes Internacionales 12
2.1.2. Antecedentes Nacionales 17
2.1.3. Antecedentes Locales 19
2.2. Bases Teóricas 21
2.2.1. Eventos TKPH en Camiones Autónomos Mineros 21
2.2.1.1. TKPH 21
2.2.1.2. Factores Operacionales en el Cálculo del TKPH 22
2.2.1.3. Neumáticos OTR y TKPH 25
2.2.1.4. Temperatura de los Neumáticos OTR 25
2.2.1.5. Neumáticos 53/80 R63 XDR3 29
2.2.1.6. Vida Útil de Neumáticos OTR 30

2.2.1.7. Causas del Desgate de Neumáticos OTR 34
2.2.2. Indicadores de Rendimiento de Camiones Autónomos Mineros 35
2.2.2.1. Modelo de Uso de Tiempo (TUM) 35
2.2.2.2. Ventajas del TUM 37
2.2.2.3. Uso del TUM en Minería a Cielo Abierto 37
2.2.2.4. Medidas de Utilización de Camiones 38
2.2.2.5. Ciclo de Acarreo 40
2.2.2.6. Camiones CAT 794AC 42
2.3. Definición de Términos 43
2.3.1. Aculatamiento 43
2.3.2. Camiones autónomos 43
2.3.3. Carguío y Acarreo 44
2.3.4. Ciclo de Carguío y Acarreo 44
2.3.5. Disponibilidad 44
2.3.6. Indicadores de rendimiento 44
2.3.7. Pérdida de Producción 44
2.3.8. Pérdida Interna 45
2.3.9. Producción Primaria 45
2.3.10. Producción Secundaria 45
2.3.11. TKPH 45
2.3.12. Tiempo de Ciclo 45
2.3.13. Tiempo Calendario 46
2.3.14. Tiempo Disponible / No Disponible 46
2.3.15. Tiempo No Utilizado 46
2.3.16. Tiempo Utilizado 46
2.3.17. TUM 46
2.3.18. Uso de la Disponibilidad 46
2.3.19. Viaje Vacío 46
III. MÉTODO 47
3.1. Tipo y Nivel de Investigación 47
3.2. Ámbito Temporal y Espacial 48
3.3. Población y muestra 50

3.3.1. Población 50
3.3.2. Muestra 50
3.4. Instrumentos 50
3.4.1. Plataforma de datos integrados 50
3.4.2. Sistema de monitoreo y control de equipos MineStar. 50
3.4.3. Técnicas de Recolección de los Datos 51
3.4.3.1. Observación Directa. 51
3.4.3.2. Registros de Datos. 52
3.4.4. Materiales 52
3.5. Procedimientos 52
3.6. Análisis de Datos 53
3.6.1. Análisis Estadístico 53
3.6.1.1. Estadística Descriptiva 54
3.6.1.2. Estadística Inferencial 54
3.6.2. Procesamiento de la Información 55
3.6.3. Presentación de los Datos 55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57
4.1. Análisis de datos de TKPH de ciclos de acarreo con camiones mineros 57
4.1.1. Relación entre TKPH y Velocidad Media 59
4.1.2. Comprobación de hipótesis de velocidad media de acarreo con 95% de confianza. 61
4.1.3. Relación entre TKPH y Distancia Equivalente Recorrida 62
4.1.4. Relación entre TKPH y Distancia Recorrida en Pendiente 63
4.1.5. Relación entre Índice TKPH y Tiempo Operativo del Ciclo de Acarreo .. 65
4.1.6. Relación entre Índice TKPH y el Factor K1 66
4.1.7. Relación entre Índice TKPH y el Factor K 2 67
4.1.8. TKPH y Rutas de Acarreo 68
4.2. Reducción de eventos TKPH y mejora de indicadores de rendimiento de camiones mineros y TKPH 72
4.2.1. Cuadro comparativo de productividad 75
4.2.2. Reducción de TKPH acumulado 75
4.2.3. Comprobación de hipótesis con un nivel de confianza del 95% 77

4.3. TKPH Alto y Costos por Paradas de Camiones 78
4.3.1. Cuadro comparativo de costos 81
4.4. Discusión 83
V. CONCLUSIONES 86
VI. RECOMENDACIONES 88
VII. REFERENCIAS 90
VIII. ANEXOS 95
8.1. Anexo 01. Matriz de Consistencia 95
8.2. Anexo 02. Ficha técnica de Camión CAT794AC 96
8.3. Anexo 03. Registros de ciclos de acarreo 98

Índice de Tablas

Pág.

Tabla 1 Incidencias de Eventos TKPH alto en la unidad minera y duración de las paradas de camiones autónomos. 6

Tabla 2 Operacionalización de variables 11

Tabla 3 Coeficiente K1 de acuerdo al fabricante Michelin. 23

Tabla 4 Factor K2 para el cálculo de TKPH de Michelin 24

Tabla 5 Características Técnicas de los Neumáticos OTR 53/80 R63 XDR3 de Michelin 29

Tabla 6 Aceleraciones laterales y efectos en los neumáticos OTR para minería de acuerdo a Michelin 32

Tabla 7 Cálculo de indicadores de rendimiento o métricas primarias de rendimiento 39

Tabla 8 Indicadores de rendimiento secundarias o métricas secundarias 39

Tabla 9 Resultados de correlación de Pearson de TKPH periodo de junio a septiembre de 2024. 57

Tabla 10 Estadística descriptiva del TKPH de los ciclos de acarreo con camiones del periodo de junio a septiembre. 58

Tabla 11 Estadística descriptiva y normalidad de velocidad media 61

Tabla 12 Prueba de comprobación de hipótesis de reducción de TKPH 62

Tabla 13 Análisis de rutas de acarreo y eventos TKPH>1300 68

Tabla 14 Horas de operación, utilización y disponibles de los camiones mineros durante los meses de junio a septiembre de 2024. 72

Tabla 15 Indicadores de rendimiento de camiones mineros meses de junio a septiembre de 2024. 74

Tabla 16 Cuadro comparativo de productividad de acuerdo a material acarreado por día 75

Tabla 17 Estadística descriptiva y normalidad de reducción de TKPH 77

Tabla 18 Prueba de comprobación de hipótesis de eficiencia operativa 78

Tabla 19 Estimación de costos de producto debido a TKPH alto del mes de mayo 2024..... 79

Tabla 20 Estimación de costos de mano de obra debido a TKPH alto del mes de mayo 2024..... 80

Tabla 21 Total de mineral y desmonte transportado en el año 2024 para el cálculo de los costos totales de carguío y acarreo..... 82

Tabla 22 Precios unitarios típicos de producción de mineral y desmonte en minería a cielo abierto..... 82

Tabla 23 Cuadro comparativo de costos de la aplicación de medidas de reducción de TKPH..... 83

Índice de Figuras

Pág.

Figura 1 Temperatura ambiente y temperatura de neumáticos 28

Figura 2 Neumáticos OTR 53/80 R63 XDR3 de Michelin 30

Figura 3 Diagrama de Ishikawa – Factores de desgaste de neumáticos OTR..... 30

Figura 4 Posición, numeración de neumáticos y distribución de cargas en un camión CAT794AC 32

Figura 5 Modelo de uso de tiempo del Global Mining Guidelines Group 36

Figura 6 Estructura del modelo de uso de tiempo..... 38

Figura 7 Ciclo típico de un camión minero..... 40

Figura 8 Camión minero CAT 794 AC 43

Figura 9 Ubicación de la unidad minera. 48

Figura 10 Rutas de acarreo típicas de la unidad minera..... 49

Figura 11 Relación entre TKPH y Velocidad Media de los camiones Autónomos 59

Figura 12 Velocidad media de los camiones de acarreo durante los meses de junio a septiembre de 2024 60

Figura 13 Relación entre TKPH y Distancia Equivalente Recorrida de los Camiones Autónomos..... 62

Figura 14 Relación entre TKPH y Distancia Recorrida en Pendiente de los Camiones Autónomos..... 64

Figura 15 Número de ciclos de acarreo de acuerdo a la ruta del periodo junio a septiembre del 2024 69

Figura 16 Rutas de acarreo con mayor proporción de eventos TKPH que sobrepasan el umbral de 1300..... 70

Figura 17 Número de eventos TKPH>1300 según rutas de acarreo durante el periodo junio a septiembre de 2024..... 71

Figura 18 Comparación de horas de operación, utilización y disponibles de los camiones mineros de acarreo durante los meses de junio a septiembre de 2024. 73

Figura 19 Incremento de la eficiencia operativa de los camiones mineros en el periodo de junio a septiembre del 2024..... 74

Figura 20 TKPH acumulado meses de junio a septiembre 2024..... 76

Figura 21 Evolución de los costos por TKPH alto desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre del 2024 81

Lista de Abreviaturas y Nomenclaturas

°C	:	Grados Celsius.
CAT 794AC	:	Camión minero del fabricante Caterpillar.
g	:	Aceleración de la gravedad.
GMG	:	Global Mining Guidelines Group.
hr	:	Horas.
HP	:	Caballos de fuerza.
K1	:	Factor de corrección para el cálculo de TKPH.
K2	:	Factor de corrección de temperatura ambiental para el cálculo de TKPH.
km	:	Kilómetros.
Km/h	:	Kilómetros por hora.
KPI	:	Key performance indicator.
kW	:	Kilowatt.
m	:	Metros.
mm	:	Milímetros.
OE	:	Eficiencia Operativa.
OTR	:	Off the road.
Q_m	:	Carga media del neumático.
RTD	:	Profundidad de banda de rodadura restante. (Remaining Tread Depth en inglés)
TA	:	Temperatura ambiente en °C.
TKPH	:	Tonelada kilómetro por hora.
Ton	:	Toneladas.
TR	:	Temperatura de referencia.

TUM	:	Modelo de uso de tiempo.
XD3	:	Serie de neumáticos de Michelin.
V_m	:	Velocidad media del camión.

Introducción

La optimización de los procesos productivos permite maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos. En este sentido, la mina a cielo abierto de cobre estudiada enfrenta un desafío significativo relacionado con el rendimiento de sus camiones autónomos, esenciales para el transporte de mineral y material en la mina. El problema identificado en esta operación es la moderada incidencia de eventos TKPH (Toneladas Kilómetro Por Hora) altos, que afectan negativamente los indicadores de rendimiento de los vehículos. El índice TKPH mide la relación entre la carga transportada y la distancia recorrida por los camiones, y cuando este valor excede ciertos límites, se generan paradas imprevistas que impactan la eficiencia operativa de los equipos. En esta mina, estos eventos han llegado a acumular hasta 293 horas de inactividad de los camiones.

El problema central de esta investigación surge de la necesidad de diseñar un sistema de control más efectivo para reducir la incidencia de eventos TKPH altos, que afectan significativamente los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos en la mina. Estos eventos no solo disminuyen el porcentaje de eficiencia operativa de los camiones, al obligar a estacionarlos o reasignarlos a rutas menos eficientes, sino que también reducen la velocidad media operativa. En ambos casos, los impactos en la operación son críticos, ya que las ineficiencias se traducen en pérdidas de tiempo y un aumento en los costos operativos. Durante el mes de mayo, los eventos TKPH altos ocasionaron un costo acumulado de US$ 343,575.00, lo que impulsa a esta investigación a buscar soluciones que permitan reducir estos incidentes y mejorar la eficiencia de los procesos de carguío y acarreo en la mina.

La relevancia de esta investigación se relaciona con los objetivos planteados. El objetivo general es diseñar un control de eventos TKPH que optimice los indicadores de Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones autónomos, mejorando la operación minera. Para lograrlo, los objetivos específicos buscan evaluar mejoras en la gestión de rutas, tanto largas como cortas, con el fin de incrementar la Eficiencia Operativa de los vehículos, y seleccionar una propuesta que aumente la velocidad media durante la producción

primaria. Se espera no solo reducir las horas de inactividad de los camiones, sino también optimizar su desempeño general, impactando positivamente en los resultados operativos y financieros de la mina.

La investigación tiene una justificación práctica inmediata, ya que se espera que la reducción de estos eventos optimice los indicadores de rendimiento, aumentando la eficiencia operativa y la velocidad media de los camiones, lo que permite una operación más fluida y con menos interrupciones. Esto reduce los costos asociados con las paradas y el sobrecalentamiento de los neumáticos, contribuyendo a un mejor desempeño global de la operación minera. Además, esta investigación ayuda a cubrir vacíos de conocimiento sobre la gestión de flotas autónomas en condiciones reales, lo que puede ser aplicado en otras operaciones mineras que enfrenten desafíos similares.

Desde una perspectiva económica, la optimización del rendimiento de los camiones genera importantes ahorros, permitiendo un mayor transporte de material por día y, por lo tanto, una mayor rentabilidad. En términos ambientales, un manejo más eficiente de los camiones reduce el consumo de combustible y las emisiones, al tiempo que se prolonga la vida útil de los neumáticos, disminuyendo la cantidad de residuos generados. Además, la investigación tiene una justificación social ya que una mayor eficiencia en las operaciones mineras impulsa el desarrollo local a través de iniciativas como un fondo responsabilidad social y la contratación de mano de obra local. Finalmente, en el ámbito académico, este estudio contribuye al avance en la gestión de operaciones y al conocimiento sobre la implementación de tecnologías autónomas en la minería, con un enfoque innovador y aplicable a otras minas en busca de mejorar su eficiencia.

La hipótesis que se plantea en esta investigación sugiere que una mejor gestión de los eventos TKPH alto reducen significativamente las demoras y los tiempos de parada de los camiones autónomos en la mina, lo cual incrementa los indicadores de rendimiento, particularmente la Eficiencia Operativa y la Velocidad Media durante las operaciones de producción primaria. La implementación de estrategias de control y monitoreo de estos eventos, tales como la regulación de rutas largas y cortas y la vigilancia de la temperatura de los neumáticos, optimiza

el desempeño de los camiones, mejorando tanto su tiempo efectivo de operación como su eficiencia en el transporte de material. Esta relación entre una gestión eficiente de eventos TKPH y la mejora de los indicadores de rendimiento puede ser comprada y cuantificada mediante el análisis de datos operacionales registrados en sistemas de monitoreo como Minestar.

En la presente investigación examinan dos variables: el rendimiento de los camiones autónomos como variable dependiente y los eventos TKPH como variable independiente. El rendimiento de los camiones autónomos se define como un conjunto de medidas estandarizadas para optimizar y monitorear la gestión de flotas en operaciones mineras. Se avaluó a través de indicadores como la eficiencia operativa (%) y la velocidad media (km/h), que son métricas numéricas para medir la eficiencia operativa. Por otro lado, los eventos TKPH, que se refieren al momento en que un camión alcanza o se aproxima al límite operativo de TKPH, se consideran pérdidas internas, ya que interrumpen el tiempo de operación de los camiones, afectando su rendimiento. Para medir la variable independiente, se utilizaron métricas numéricas como el índice de eventos TKPH, el TKPH por camión y la temperatura de los neumáticos (°C). La relación entre ambas variables es que la reducción de los eventos TKPH podría optimizar la eficiencia operativa y la velocidad de los camiones, mejorando así el rendimiento general de los camiones autónomos.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos mineros a través de una gestión optimizada de los eventos TKPH. Se adoptó un diseño experimental, en el cual se manipularon variables independientes, como las prácticas de gestión, para evaluar su impacto sobre variables dependientes como la eficiencia operativa y la velocidad media de los camiones autónomos durante la producción primaria. Este enfoque permite establecer relaciones causales entre la gestión de eventos TKPH y los indicadores de rendimiento de los vehículos, midiendo la eficacia de las mejoras implementadas. Para ello, se realizó una recolección de datos numéricos correspondientes a los ciclos de acarreo de 30 camiones autónomos CAT 794AC

en la unidad minera, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2024, con el fin de analizar y verificar estadísticamente la influencia del TKPH sobre la Eficiencia Operativa, la velocidad media de los camiones y los costos.

La tesis se estructura en seis capítulos que abordan la problemática de optimizar los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos en la unidad minera. El Capítulo I se centra en el Planteamiento del problema, donde se describe y formula el problema, estableciendo los objetivos generales y específicos de la investigación. También se justifica la relevancia del estudio y se plantean las hipótesis, identificando las variables clave: los eventos TKPH alto como variable independiente, y los indicadores de eficiencia operativa y velocidad media como variables dependientes. En el Capítulo II, el Marco Teórico, se presentan los antecedentes del tema, las bases teóricas que sustentan la investigación, y se definen los términos esenciales para un correcto entendimiento de la problemática.

El Capítulo III, correspondiente a la Metodología, expone el tipo y nivel de la investigación, aplicando un enfoque cuantitativo de diseño experimental-descriptivo. Aquí se detallan el ámbito espacial y temporal, la población y la muestra, así como los instrumentos y procedimientos utilizados para recolectar y analizar los datos, incluyendo sistemas de monitoreo y control como Minestar y herramientas de análisis estadístico. Los resultados se presentaron en el Capítulo V, donde se discuten los hallazgos en relación con los objetivos planteados. Finalmente, el trabajo concluye con las Conclusiones en el Capítulo VI, y las Recomendaciones en el Capítulo VII, en el cual se establecen sugerencias para mejorar la gestión de los camiones autónomos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y Formulación del Problema

En la mina a cielo abierto de cobre, se ha identificado un problema que afecta los indicadores de rendimiento de sus camiones autónomos: la moderada incidencia de eventos TKPH (Toneladas Kilómetro Por Hora). El índice TKPH sirve para medir la relación entre la carga transportada y la distancia recorrida, y los eventos de TKPH alto han resultado en paradas y una reducción general de la velocidad media. Estos han generado una restricción de la velocidad de los camiones y su eventual parqueo, y se han acumulado hasta 293 horas en las que los camiones han permanecido no disponibles para operación a causa de TKPH alto.

El problema central de esta investigación es, por tanto, la necesidad de diseñar un mejor control de los eventos TKPH para reducir tiempos perdidos en las operaciones de carguío y acarreo. Estos eventos afectan los indicadores de rendimiento de los camiones de dos maneras: En primer lugar, generan una disminución del indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones (medida en porcentaje), ya que los camiones que presentan TKPH muy altos deben ser estacionados (en el peor de los casos) hasta que sus valores regresen a los límites operativos, mientras que en el mejor de los casos estos son reasignados a rutas de acarreo más cortas, generando ineficiencias operativas. En segundo lugar, estos eventos producen una reducción del indicador de rendimiento Velocidad Media durante la producción primaria (medida en km/h), debido a que ante un evento de TKPH alto, se puede optar por reducir su velocidad para aliviar la carga en los neumáticos después de ascender por una rampa.

Los eventos de TKPH alto de camiones autónomos se han observado durante las operaciones en tramos específicos, tales como Curva 4 – Tramo 5 – Fase 3S, Curva 12 y Curva 11 – Rampa Altaranito, Curva 5 – Rampa Murciélago, así como Rampa 13 –Stock alta ley. Las incidencias de los eventos TKPH alto se detallan en la Tabla 1, de acuerdo a la fecha de ocurrencia y duración en segundos.

Tabla 1

Incidencias de Eventos TKPH alto en la unidad minera y duración de las paradas de camiones autónomos.

N°	Día	Categoría TUM	Duración (Segundos)	N°	Día	Categoría TUM	Duración (Segundos)
1	28/05/24	L200	6927	24	08/04/24	L200	14319
2	25/05/24	L200	5378	25	03/04/24	L200	9874
3	24/05/24	L200	36621	26	18/02/24	L200	2593
4	23/05/24	L200	54301	27	17/02/24	L200	19864
5	20/05/24	L200	8291	28	16/02/24	L200	8334
6	19/05/24	L200	99724	29	14/02/24	L200	17006
7	18/05/24	L200	9677	30	13/02/24	L200	12085
8	16/05/24	L200	2471	31	05/02/24	L200	26251
9	15/05/24	L200	7509	32	04/02/24	L200	16517
10	14/05/24	L200	21267	33	03/02/24	L200	13025
11	13/05/24	L200	34396	34	02/02/24	L200	4626
12	12/05/24	L200	30170	35	01/02/24	L200	27764
13	11/05/24	L200	83360	36	31/01/24	L200	13360
14	10/05/24	L200	64746	37	23/01/24	L200	1664
15	09/05/24	L200	137887	38	20/01/24	L200	7716
16	08/05/24	L200	98338	39	19/01/24	L200	6567
17	07/05/24	L200	1517	40	18/01/24	L200	13922
18	06/05/24	L200	3587	41	15/01/24	L200	51393
19	05/05/24	L200	9887	42	14/01/24	L200	4679
20	03/05/24	L200	34090	43	13/01/24	L200	3635
21	25/04/24	L200	4335	44	12/01/24	L200	21326
22	24/04/24	L200	119	45	02/01/24	L200	3127
23	19/04/24	L200	109				
Total (Horas)							**292.8**

Así también se propone investigar métodos para optimizar los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos a través de la reducción de los eventos TKPH, enfocándose en estrategias que permitan un manejo más eficiente de las cargas y las rutas de transporte, particularmente en las rutas críticas ya identificadas.

Se plantea que, a través de un mejor control y soluciones innovadoras, se pueda aumentar la eficiencia operativa a través de los indicadores de porcentaje de Eficiencia Operativa y Velocidad Media de la producción primaria con camiones autónomos. En este sentido los objetivos específicos son: (1) Optimizar la gestión

de eventos TKPH para incrementar el porcentaje de eficiencia operativa de los camiones autónomos y (2) Generar una propuesta de control a fin incrementar la velocidad media de producción primaria con camiones autónomos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un mejor control de eventos TKPH alto que optimice los indicadores de rendimiento Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones autónomos de la unidad minera en el año 2024.

1.2.2. Objetivos Específicos

Evaluar mejoras en la gestión de eventos TKPH por control de rutas largas y cortas para incrementar el indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones autónomos en la unidad minera en el año 2024.

Seleccionar una propuesta de control de eventos TKPH para aumentar el indicador de rendimiento Velocidad Media de la producción primaria de los camiones autónomos en la unidad minera en el año 2024.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Práctica

El estudio contribuyó a conocer cómo la reducción y mejor gestión de los eventos TKPH optimiza el rendimiento de los camiones autónomos a través de la mejora de los indicadores de Eficiencia Operativa y Velocidad Media, permitiendo una operación más eficiente y sin tantas interrupciones debidas a sobrecalentamiento de los neumáticos. Respecto a la métrica de rendimiento Eficiencia Operativa del primer objetivo específico de la investigación, se proyecta un incremento significativo en el porcentaje de eficiencia de los camiones autónomos gracias a una reducción en los tiempos de parada por eventos TKPH.

De acuerdo al segundo objetivo específico de la investigación, se prevé un aumento en la velocidad media debido a que se optimizaría los tiempos de acarreo y mejoraría la eficiencia operativa global de los camiones autónomos a través de un mejor control de eventos TKPH. Los resultados de este estudio sirven como

base para optimizar las operaciones en la unidad minera, aumentando la eficiencia operativa mediante un mejor control de los eventos TKPH.

1.3.2. Justificación Económica

La optimización de la eficiencia operativa de los camiones autónomos mineros tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos. Al gestionar adecuadamente los eventos TKPH y reducir los tiempos de inactividad causados por sobrecalentamiento de neumáticos y demoras por límites operacionales, se puede incrementar la velocidad media y la eficiencia operacional. Esto se traduce en un mayor volumen de material transportado por día y, por ende, en un incremento en la rentabilidad de las operaciones mineras.

1.3.3. Justificación Ambiental

Mejorar la gestión de los eventos TKPH contribuye a la sostenibilidad ambiental de las operaciones mineras. Un manejo eficiente de los camiones reduce el consumo de combustible por tonelada transportada y disminuye las emisiones de gases nocivos. Además, la reducción en la frecuencia de sobrecalentamiento de neumáticos puede extender la vida útil de estos, lo que a su vez disminuye la cantidad de desechos generados, especialmente cuando los eventos TKPH pueden generar el desprendimiento de los neumáticos. Esta mejora en la eficiencia operativa no solo minimiza el impacto ambiental directo, sino que también optimiza el uso de los recursos naturales relacionados a la manufactura de neumáticos OTR para camiones de gran envergadura.

1.3.4. Justificación Social

Las operaciones mineras tienen un impacto positivo en el país en términos de desarrollo económico y especialmente en la comunidad local debido a las políticas de desarrollo local vigente como el Fondo de Responsabilidad Social, la contratación de mano de obra local, las buenas prácticas comunitarias y el plan de relaciones comunitarias en el área de influencia social directa e indirecta de la mina.

1.3.5. Justificación Científica

La investigación contribuyó al campo de la ingeniería de minas y la gestión de operaciones mediante la aplicación de técnicas de investigación experimental y explicativa para evaluar el impacto de los eventos TKPH en la eficiencia operativa. Esto ayudó a profundizar el entendimiento sobre el rendimiento de equipos autónomos de alta tecnología en situaciones reales. Los resultados obtenidos podrían ser aplicables en otras minas a cielo abierto que desean adoptar esta tecnología, contribuyendo al cuerpo de conocimiento en la gestión de activos y operaciones mineras.

Abordar el problema de la gestión de eventos TKPH en camiones autónomos es crucial debido a su impacto directo en la eficiencia operativa y económica de la Unidad Minera. La investigación tiene una relevancia práctica inmediata, ya que se espera que la reducción de estos eventos optimice los indicadores de rendimiento, aumentando la eficiencia operativa y la velocidad media de los camiones, lo que permitió una operación más fluida y con menos interrupciones. Esto redujo los costos asociados con las paradas y el sobrecalentamiento de los neumáticos, contribuyendo a un mejor desempeño global de la operación minera. Además, esta investigación ayudó a cubrir vacíos de conocimiento sobre la gestión de flotas autónomas en condiciones reales, lo que puede ser aplicado en otras operaciones mineras que enfrenten desafíos similares.

Desde una perspectiva económica, la optimización del rendimiento de los camiones genera importantes ahorros, permitiendo un mayor transporte de material por día y, por lo tanto, una mayor rentabilidad. En términos ambientales, un manejo más eficiente de los camiones reduce el consumo de combustible y las emisiones, al tiempo que se prolonga la vida útil de los neumáticos, disminuyendo la cantidad de residuos generados. Además, la investigación tendrá implicaciones sociales positivas, ya que una mayor eficiencia en las operaciones mineras impulsa el desarrollo local a través de iniciativas como el Fondo de Responsabilidad social y la contratación de mano de obra local. Finalmente, en el ámbito académico, este estudio contribuye al avance en la gestión de operaciones y al conocimiento sobre

la implementación de tecnologías autónomas en la minería, aportando un enfoque innovador y aplicable a otras minas en busca de mejorar su eficiencia.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis General

Una mejor gestión de TKPH puede incrementar significativamente los indicadores de rendimiento como Eficiencia Operativa y la Velocidad Media de los camiones autónomos en la unidad minera.

1.4.2. Hipótesis Específicas

Las mejoras de gestión de eventos TKPH por control de rutas largas y cortas reduce significativamente las demoras y paradas, incrementando el indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones autónomos en la unidad minera en el año 2024.

La propuesta de control de eventos TKPH incrementa el indicador de rendimiento Velocidad Media de los camiones durante la producción primaria, permitiendo una operación más fluida con menos paradas y demoras por sobrecalentamiento de neumáticos en la unidad minera en el año 2024.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Dependiente

X1: Rendimiento de Camiones Autónomos

Dimensión Indicadores de rendimiento

Indicadores

- Eficiencia Operativa (%) (Métrica Primaria)
- Velocidad Media (km/h) (Métrica Secundaria)

1.5.2. Variable Independiente

Y1: Eventos TKPH

Dimensión TKPH

Indicadores

- TKPH Acumulado
- Distancia (Factor K1) y temperatura (Factor K2).

La Tabla 2 presenta la definición y estructura de las variables a fin de cumplir con los objetivos del estudio.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador	Numérica/ Categórica	Unidad de Medida
Variable Dependiente					
Rendimiento de Camiones Autónomos	Conjunto de medidas estandarizadas que buscan optimizar y monitorizar de manera eficiente la gestión de flotas en operaciones mineras. Este sistema ayuda a mantener una perspectiva clara sobre la eficiencia y rendimiento de los equipos, así como a identificar necesidades de ajuste para alcanzar la eficiencia óptima.	Indicadores de rendimiento	- Eficiencia Operativa (%) (Métrica Primaria) - Velocidad Media (km/h) (Métrica Secundaria)	Numéricas	Porcentaje km/h
Variable Independiente					
Eventos TKPH	Evento que ocurre cuando un camión alcanza o se aproxima al límite operativo establecido de TKPH que puede generar que se detenga para evitar sobrecalentamiento y daños. Estos eventos se clasifican como pérdidas internas porque reducen la métrica de tiempo utilizado de los camiones, impactando directamente en la eficiencia operativa de la flota.	TKPH	- TKPH acumulado. - Distancias (Factor K1) - Temperatura (Factor K2)	Numérica	Unidades °C

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

El estudio realizado por Wibowo y Santosa (2019) tuvo como objetivo investigar el TKPH y su relación con el indicador de rendimiento de tiempo operativo en horas de los camiones de acarreo autónomos utilizados en una operación minera de níquel. El propósito principal fue minimizar el tiempo de inactividad de los camiones, relacionado con daños en los neumáticos, para incrementar el indicador de rendimiento eficiencia operativa de los camiones. Los autores emplearon un método de planificación por metas, con el fin de desarrollar un modelo matemático que optimizara tres objetivos clave: maximizar las horas anuales de operación, minimizar el tiempo de inactividad ocasionado por fallas en los neumáticos y, en última instancia, reducir los costos asociados. Este enfoque permitió evaluar el TKPH de distintos tipos de neumáticos, incluyendo nuevos, reencauchados y alquilados, y su impacto en los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos.

En primer lugar, se determinó la vida útil óptima de los diferentes tipos de neumáticos: 5,909 horas para neumáticos nuevos, 2,501 horas para los reencauchados y 2,200 horas para los alquilados. Además, la implementación del modelo condujo a una reducción significativa en los costos, logrando un ahorro potencial de $499,907.91 en comparación con los costos operativos reales registrados en 2019. Igualmente, el tiempo de inactividad de los camiones se redujo en un 7% por debajo del límite permitido, lo que incrementó la disponibilidad de los camiones del 98% al 98.14%. También se identificó un ahorro adicional de $760,403 mensuales debido a la disminución del tiempo de inactividad.

Ghadimi (2024), estudió el TKPH de los camiones volquete HD 325-6 en la mina de plomo y zinc de Angoran, ubicada en Mahenshan, a 135 km al oeste de la ciudad de Zanjan, Irán. El objetivo principal fue gestionar el índice TKPH y analizar su efecto sobre indicadores de rendimiento de los camiones en las condiciones

operativas de la mina. Se utilizó una simulación Monte Carlo, ejecutada mediante el software MATLAB. El índice TKPH operativo fue calculado y comparado con los valores recomendados por los fabricantes de los neumáticos utilizados, aplicando los ajustes necesarios para adecuar el TKPH a las condiciones específicas de operación en la mina. Los resultados revelaron que existía una probabilidad del 21.6% de que el TKPH del neumático Tianli TUE400 excediera su límite, en consecuencia, se recomendó el uso de neumáticos con un TKPH superior a 170 para los camiones volquete HD 325-6, a fin de mejorar su rendimiento y durabilidad. Además, se concluyó que la vida útil de los neumáticos era considerablemente menor a la vida útil nominal que los fabricantes especificaban, una situación que podría deberse a las difíciles condiciones de las rampas en la mina.

Kvasova et al. (2017), analizaron las condiciones de TKPH de los neumáticos de los camiones mineros de acarreo, con el objetivo de optimizar su rendimiento en términos de velocidad, carga y disponibilidad, a través del indicador TKPH (toneladas-kilómetros por hora). El estudio se llevó a cabo en la mina de carbón a cielo abierto JSC "Razrez Berezovskiy", ubicada en Kuzbass, Rusia. El método utilizado incluyó la aplicación de la fórmula en relación a la carga promedio del neumático en toneladas, y la velocidad promedio del camión.

Los resultados demostraron que es posible reducir las fallas de los neumáticos si se sigue adecuadamente el manual de operación de los neumáticos OTR, evitando superar el indicador de capacidad de trabajo "toneladas-kilómetros por hora" (TKPH). La empresa, sin embargo, calcula este indicador solo después de que ocurren fallas, pero se recomendó un control proactivo, pronosticando y ajustando el TKPH antes de alcanzar niveles críticos. Para ello, se podrían ajustar factores como la carga del neumático, la velocidad del camión, la distancia de transporte o los tiempos de inactividad. Si el valor pronosticado del TKPH excede el estándar, se debe intervenir para evitar la generación excesiva de calor. Los valores TKPH recomendados hallados son 680 y 598, mientras que los camiones Komatsu HD830E recorren una distancia promedio de 4.5 km a una velocidad de trabajo de 14.5 km/h. Según los cálculos, estos camiones deberían hacer entre 14

y 16 recorridos por turno para no exceder el valor TKPH permitido, aunque en la práctica realizan entre 22 y 25 recorridos, lo que equivale a un TKPH de 913-1038, superando el límite seguro. En contraste, los camiones BelAZ-75306, con una velocidad de trabajo de 12.6 km/h, realizan menos recorridos por turno, lo que permite que los neumáticos mencionados funcionen mejor en ellos.

El estudio internacional de Shakenov et al. (2022) analizó el TKPH de los camiones mineros a fin de optimizar el indicador de rendimiento velocidad media en la unidad minera superficial de carbón de Bogatyr Komir, ubicada en el norte de Kazajistán. La metodología empleada consistió en el análisis de nuevas tecnologías digitales modernas para el monitoreo de TKPH, la condición de las rutas de acarreo en la mina, las condiciones operativas de temperatura, la presión de los neumáticos entre otros. Se halló que los picos de temperatura superiores a 38 °C durante el verano pueden incrementar los valores TKPH, superando los límites. Se recomendó limitar el indicador de rendimiento de velocidad de movimiento de los camiones cargados a 30 km/h durante este período para reducir la tasa de desgaste durante el verano y mantener los indicadores de rendimiento. Se determinó que pendientes de hasta el 8 % ofrecen el mejor compromiso entre velocidad, producción y vida útil del neumático, mientras que pendientes del 8 al 12 % reducen la vida útil del neumático en un 19 % y 36 % respectivamente, desaconsejándose pendientes superiores al 12 %.

En el estudio llevado a cabo por Galatia (2020) se abordó la problemática de eventos TKPH alto que provocaba en camiones CAT789B y que afectaban los indicadores de rendimiento de la mina. El objetivo principal de esta investigación fue explorar y entender las causas detrás de estas fallas recurrentes como el valor TKPH alto. Se realizó en la Mina ABC a cielo abierto ubicada en el noreste de África, utilizando como instrumentos de recopilación de datos el Sistema de Gestión de Información Vehicular (VIMS). La metodología empleada combinó enfoques cuantitativos y cualitativos, analizando los datos mediante estadísticas descriptivas. Los resultados obtenidos revelaron que la causa principal de la falla prematura de los neumáticos radicaba en la selección incorrecta de estos,

destacando que el valor de Tonelada-Kilómetro por Hora (TKPH) de los neumáticos seleccionados era inferior al TKPH real requerido en el sitio minero.

A pesar de que la dirección de la mina atribuía las fallas a prácticas inadecuadas por parte de los operadores y a las duras condiciones ambientales, los hallazgos del estudio indicaron deficiencias significativas en el programa de gestión de TKPH de la mina. No se llevó a cabo un análisis detallado para determinar la causa real de las fallas, las carreteras de transporte y las áreas de carga no se mantenían adecuadamente y la gestión de mantenimiento de neumáticos resultó ser ineficaz. Además, el estudio evidenció una falta de registros de auditoría de mantenimiento de carreteras, lo cual impedía tomar decisiones informadas. El autor recomendó seleccionar adecuadamente los neumáticos en función del TKPH que la mina requería y de mantener un sistema de gestión de TKPH efectivo y bien auditado para prevenir eventos de TKPH alto.

La tesis doctoral de Ma (2023) en los Estados Unidos, analiza el índice TKPH en condiciones reales de camiones mineros de gran tamaño con el fin de incrementar los indicadores de rendimiento de la mina. Para lograr este objetivo general, se plantearon objetivos específicos como identificar la pérdida por histéresis del caucho de los camiones, desarrollar un modelo para predecir esta pérdida, evaluar las tasas de generación de calor y las temperaturas de los neumáticos OTR bajo condiciones operativas del sitio, especialmente en ciclos largos y en temperaturas ambiente frías, y examinar los efectos de los largos ciclos y bajas temperaturas en los TKPH reales de los neumáticos OTR. Para llevar a cabo la investigación, se utilizó una muestra de neumático en forma de mancuerna de un neumático Michelin56/80R63, considerando la norma ASTM D412-16.

Los resultados del estudio revelaron que la pérdida por histéresis del caucho de los camiones mineros es afectada significativamente por las tasas de deformación y su TKPH. Se desarrolló un modelo HLSRT (modelo de pérdida por histéresis considerando niveles de deformación, tasas de deformación y temperaturas del caucho) que predice con un error medio absoluto porcentual de menos del 13.6% la pérdida por histéresis del caucho de los neumáticos. Además, se construyó un modelo termal de elemento finito para neumáticos OTR para predecir las

temperaturas en los neumáticos, cuyas predicciones desviaron menos del 8.63% respecto a las temperaturas monitoreadas in situ. Finalmente, los coeficientes de longitud de ciclo K1 y de temperatura ambiente del sitio K2 en los TKPH reales fueron refinados a fin de aumentar los indicadores de rendimiento de la mina. Bajo condiciones de un ciclo de 20 km a una temperatura ambiente de 38 °C, se recomendó reducir la carga útil del camión en 31.8 toneladas debido al aumento del TKPH real. Asimismo, en temperaturas ambiente frías, se observó la posibilidad de aumentar la capacidad de carga de los camiones en sitios mineros.

Mamani et al. (2023) realizaron un estudio en Chile en el cual abordaron la reducción de los indicadores de rendimiento de camiones en minería a cielo abierto. Realizado en una empresa minera, este estudio busca optimizar los indicadores de rendimiento de los camiones mineros reduciendo los eventos de desgaste de neumáticos. Se busca mitigar el desperdicio de producción por daño de neumáticos en cargadores frontales (FEL) y camiones de acarreo (MT), y mejorar los indicadores económicos asociados con el rendimiento de la vida útil de los neumáticos. La metodología empleada fue un enfoque de estudio de caso que se llevó a cabo entre 2019 y 2021. Utilizando análisis estadístico y la regla de Pareto, los autores identificaron las causas primarias de daño a los neumáticos, analizaron los parámetros que afectan el rendimiento de los mismos y cuantificaron las pérdidas asociadas.

Los resultados revelaron que se presentó una pérdida de la eficiencia operativa de los camiones mineros debido a que un neumático promedio requiere 6395 horas de operación para desgastar el 95% de su banda de rodadura, mientras que el 50% de los neumáticos alcanzaron este nivel de desgaste en 5435 horas. El estudio concluye que se debe proteger los neumáticos mediante medidas adecuadas de control de TKPH (es decir, temperatura y velocidad), principalmente en los neumáticos delanteros para equipos FEL y los traseros para equipos MT. El estudio sugiere que el uso de cadenas reduce el costo unitario de los neumáticos, lo que representa una mejora del 28% en comparación con el costo unitario de los neumáticos del 50% más afectados. Esto se traduce en un ahorro superior a 200

mil USD en gastos de neumáticos debido a la pérdida prematura de su vida útil durante el periodo de estudio.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cruz (2021) estudió la efectividad del análisis TKPH en la determinación del cumplimiento de los parámetros de carga útil y las sobrecargas en los neumáticos utilizados en la unidad minera de Constancia, Cusco. Así también se propuso determinar la velocidad media para verificar si estas se ajustan a las especificaciones técnicas de los neumáticos evaluados. La metodología consistió en emplear la información proporcionada por el sistema VIMS, que muestra la exigencia de trabajo que soportan los neumáticos y previamente al análisis TKPH, se realizó un estudio de cargas y velocidades medias para determinar si se superaba la capacidad de los neumáticos y su influencia en el TKPH.

Los resultados revelaron que, bajo la política de gestión de cargas del año 2020, la mayoría de las cargas se encontraron dentro del rango de rendimiento aceptable y un 7.9% dentro del rango tolerable, sin cargas que excedieran los límites permitidos. En cuanto a las cargas por ejes, un 62% de estas superaron las especificaciones de carga de los neumáticos posteriores, y en los meses de aumento de la velocidad media, se registró un incremento correspondiente en los índices de TKPH operacional, lo cual podría provocar calentamiento de los neumáticos, reducción de rendimiento y posibles fallos por separaciones térmicas o accidentes. El autor señala la importancia de controlar las presiones y temperaturas de los neumáticos en tiempo real de manera remota, así como monitorizar las velocidades de los camiones en diferentes zonas de la mina mediante geocercas virtuales configuradas con límites de velocidad específicos. De esta forma, se pueden prevenir alertas por temperatura e incrementos del TKPH que afectarían adversamente el rendimiento de los neumáticos.

Camacllanqui (2022) realizó un estudio en la compañía minera Antamina, ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Áncash, con el objetivo de incrementar el indicador de rendimiento de eficiencia operativa de los camiones mineros Liebherr T284 y estimar los índices de los factores que influyen en su

indisponibilidad. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó la recopilación documental como principal instrumento, mientras que la metodología fue científica y de tipo aplicada, con un enfoque descriptivo en cuanto a su nivel de investigación.

Se determinó que, entre noviembre de 2020 y noviembre de 2022, la disponibilidad promedio mensual de los camiones mineros Liebherr T284 fue del 83,31%. En cuanto a los factores que influyeron en la indisponibilidad, se encontró que los internos representaban un 17,09% del tiempo total, mientras que las causas externas solo contribuían con un 3,58%. Aunque la disponibilidad general de los camiones es relativamente alta, los factores internos son los principales responsables de la indisponibilidad observada, por lo que estos deben ser enfocados para incrementar los indicadores de rendimiento de la flota de camiones mineros en Antamina.

La investigación de Asillo (2022), abordó la optimización de los indicadores de rendimiento de los equipos 785C y HD 1500. Este estudio se llevó a cabo en la Unidad Minera Antapaccay en Cusco y el fin del estudio fue incrementar la Disponibilidad de los camiones evaluando el retiro prematuro de los neumáticos. La metodología consistió en la identificación de las principales causas y su relación con factores penalizantes como la separación mecánica debido a altas velocidades en curvas y la separación térmica por exceder los valores TKPH.

Los resultados obtenidos mostraron que las velocidades excesivas en curvas, los excesivos índices TKPH, un inadecuado mantenimiento de vías y maniobras por parte de los operadores fueron las principales causas de reducción de los indicadores de rendimiento por una menor Disponibilidad de los camiones debido a retiro prematuro de neumáticos. Se establecieron los seguimientos adecuados para cada causa y se utilizaron estudios de velocidad en curva mediante tecnología GPS, análisis de software MATLAB, presentados a través de mapas de calor, estudios semestrales de TKPH para los camiones 785C y HD 1500 y programas de capacitación y mejora en el mantenimiento de vías para reducir los cortes.

Minaya (2021) llevó a cabo un estudio en el proyecto Mina Justa, cuyo objetivo fue mejorar los indicadores de rendimiento de los camiones 793D, utilizando la metodología Six Sigma. Este estudio se centró en la implementación de Six Sigma para reducir los costos asociados a los neumáticos y aumentar la disponibilidad de la flota de camiones, además de disminuir la demanda de neumáticos nuevos. Para recopilar datos, se utilizó un cuestionario que investigaba los factores que afectan el rendimiento de los camiones mineros. La metodología aplicada fue descriptiva, basada en la observación de fenómenos sin alterar variables independientes, en un diseño no experimental y transversal descriptivo.

Los resultados del estudio, recogidos durante un período de diez meses, identificaron causas, daños y factores que influyeron en los indicadores de rendimiento de los camiones causados por fallas en los neumáticos. Se concluyó que se debe reevaluar anualmente los compuestos y modelos de neumáticos, de acuerdo a la simulación del plan de minado para los siguientes dos años. Además, el uso de herramientas estadísticas, como los diagramas de Pareto y de correlación permitieron determinar las causas específicas que afectan a los indicadores de rendimiento por reducción de la disponibilidad de los camiones mineros.

2.1.3. Antecedentes Locales

Davila (2022) realizó un estudio en la unidad minera Cuajone en Moquegua, cuyo objetivo principal fue definir los límites máximos de TKPH en relación a los indicadores de rendimiento de camiones mineros de acarreo. La investigación se centró en tres aspectos principales: determinar el impacto del TKPH máximo en el tonelaje de producción diario, analizar su efecto sobre los costos por horas de los neumáticos, y establecer cómo varían los costos de acarreo con los cambios de TKPH entre diferentes rutas dentro de la unidad minera. La investigación fue de tipo aplicada, descriptiva y comparativa con un diseño correlacional, y se utilizó el software Hexagon Mine Operation para analizar datos de rutas de acarreo, tonelaje movido por cada camión, tiempos de ciclo y velocidades. Además, el software Klinge proporcionó información sobre la ubicación de los neumáticos, sus posiciones de rotación en los volquetes y el número de horas trabajadas en cada posición.

La muestra estudiada fue la flota de volquetes Komatsu 980E y Cat 797F y se encontraron diferencias significativas en los índices TKPH para distintas rutas dentro de la mina, siendo clave para tomar decisiones sobre cambios de ruta que permitieran mantener el TKPH dentro de rangos óptimos y evitar el desgaste prematuro de los neumáticos. En particular, se identificaron valores promedio de TKPH de 1202.50 para la ruta R-01 y de 1286.50 para la ruta R-02, ambas ubicadas en la fase 07, mientras que la ruta en el fondo de la mina en la fase 06 presentó un TKPH promedio de 1704.70. El autor concluye que gestión adecuada del TKPH tiene un impacto directo en los indicadores de rendimiento de los camiones mineros, lo cual se traduce en 1109 horas adicionales de uso de los neumáticos y un ahorro de 60, 560 USD. Además, se observaron diferencias en la incidencia de eventos que exceden el límite de TKPH entre las flotas de volquetes estudiadas, indicando la necesidad de adaptar las estrategias de mantenimiento y operación por equipo y por ruta dentro de la mina.

Hilasaca (2021) estudió cómo optimizar el indicador de rendimiento Disponibilidad de los equipos de acarreo en la zona de descarga de mineral sulfurado de la chancadora primaria, con el fin de incrementar tanto los indicadores de rendimiento de estos camiones en la mina Cuajone, ubicada en Moquegua. Los objetivos específicos incluyeron determinar la distribución de tiempos en la zona de descarga y establecer los parámetros ideales para lograr una eficiencia óptima en esta tarea. Llevó a cabo un análisis estadístico que permitió identificar las principales causas de demora que provocaban colas de volquetes. Basándose en los resultados de este análisis, se propuso el número adecuado de volquetes necesarios para el acarreo de mineral sulfurado y se planteó la estandarización de los mantenimientos, entre otras mejoras. Se logró incrementar el indicador de rendimiento Disponibilidad de los camiones en la zona de descarga de mineral sulfurado de la chancadora primaria reduciendo las demoras de 4.45 minutos a 1.22 minutos, lo que presentó una disminución del 72.6% en retrasos. Esta optimización se tradujo en una reducción de costos estimada en US$ 2,287,400 al año. Además, se determinó que el tiempo de espera para la descarga, que inicialmente representaba el 11.6% del tiempo total del ciclo de acarreo, se redujo

a un 4% tras las mejoras implementadas, evidenciando una reducción considerable. Se logró aumentar los indicadores de rendimiento de los volquetes en un 23.7%, pasando de 511.17 a 632.36 toneladas en promedio.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Eventos TKPH en Camiones Autónomos Mineros

Estos se definen como eventos que ocurren cuando un camión alcanza o se aproxima al límite operativo establecido de TKPH que puede generar que se detenga para evitar sobrecalentamiento y daños en los neumáticos. De acuerdo al Modelo de Uso de Tiempo, estos eventos se clasifican como pérdidas internas en la unidad minera e impactan directamente la eficiencia operativa del carguío y acarreo de la mina.

2.2.1.1. TKPH

TKPH, o índice de Toneladas Kilómetros por Hora, es un indicador de la acumulación de calor en un neumático, que depende directamente de la carga que debe transportar y la velocidad a la que se desplaza. Es una medida importante que influye en la selección de neumáticos para camiones mineros y permite determinar la capacidad máxima de carga que un neumático puede manejar durante una hora de operación sin comprometer su vida útil o rendimiento. Su cálculo se realiza a través de la Ecuación 1.

$$TKPH = (Carga\ media\ de\ los\ neumáticos)\ x\ (Velocidad\ media\ del\ turno\ ) \quad (1)$$

Para obtener la carga media que soportan los neumáticos, se suma el peso total del vehículo cargado y sin carga, y se divide entre dos de acuerdo a la Ecuación (3).

$$Carga\ media\ de\ los\ neumáticos \quad (2)$$
$$= \left(\frac{Peso\ del\ camión\ vacío + Peso\ del\ camión\ con\ carga}{2}\right)$$

La velocidad media se calcula tomando la distancia total recorrida por los neumáticos en un turno y dividiéndola por el total de horas de ese turno de acuerdo a la Ecuación (3).

$$Velocidad\ media\ del\ turno\ de\ trabajo = \left(\frac{Distancia\ de\ ida\ y\ vuelta * N°\ de\ ciclos}{Horas\ totales\ de\ funcionamiento}\right) \quad (3)$$

Usando estos dos cálculos en la fórmula principal del TKPH, se obtiene un valor que indica la capacidad de carga por hora de los neumáticos. Es importante que este valor sea siempre inferior al índice de carga máxima recomendada por el fabricante y los límites establecidos operativamente en campo.

2.2.1.2. Factores Operacionales en el Cálculo del TKPH

Bridgestone y Michelin, dos fabricantes de neumáticos, tienen enfoques específicos para calcular el TKPH en condiciones específicas de operación. Para Bridgestone, el cálculo de TKPH se basa en la adaptación del TKPH nominal del neumático a las condiciones ambientales específicas de la mina donde se utilizaron los neumáticos. El TKPH nominal se refiere al rendimiento del neumático a una temperatura estándar de 38°C.

El TKPH, de acuerdo a Bridgestone(2018), se rige por la Ecuación (4).

$$TKPH_{Operacional} = TKPH_{Nominal} * F \quad (4)$$

Donde:

$TKPH_{nominal}$: Valor base a 38°C.

F : Factor de ajuste basado en la temperatura ambiente promedio en la mina de acuerdo a Bridgestone.

Michelin (2023) introduce dos factores ajustables, K1 y K2, a la ecuación del TKPH que consideran tanto la longitud del ciclo operativo como las condiciones ambientales de la mina, respectivamente, de acuerdo a la Ecuación (5).

$$TKPH = Q_m * V_m * K1 * K2 \quad (5)$$

Q_m : Carga media transportada por el neumático de la Ecuación (2).

V_m : Velocidad media del camión de la Ecuación (3).

$K1$: Ajusta el TKPH en función de la distancia del ciclo operativo. Si la distancia es menor a 5 km es 1 mientras que para distancias mayores se utiliza el coeficiente de ajuste de TKPH de Michelin, que va desde 1 hasta 1.23 de la Tabla 3.

$K2$: Ajusta el TKPH en función de la temperatura ambiente y la velocidad media del ciclo. Se determina de acuerdo al coeficiente K2 de la guía de Michelin.

Para longitudes de ciclos de acarreo que excedan los 5 kilómetros (o 3 millas) se aplica el coeficiente K1 a los valores básicos de TKPH del sitio. El factor K1 es un coeficiente que representa la capacidad térmica del neumático. Específicamente, este factor indica la capacidad del neumático para disipar el calor generado por la carga y la velocidad a la que opera. La Tabla 3 presenta los valores de K1 calculados para neumáticos Michellin en uso en la unidad minera.

Tabla 3

Coeficiente K1 de acuerdo al fabricante Michelin.

L (km)	K1	L (km)	K1	L (km)	K1	L (km)	K1	L (km)	K1
-	-	11	1.13	21	1.19	31	1.21	41	1.23
-	-	12	1.14	22	1.19	32	1.21	42	1.23
-	-	13	1.15	23	1.2	33	1.21	43	1.23
-	-	14	1.16	24	1.2	34	1.21	44	1.23
5	1	15	1.16	25	1.2	35	1.21	45	1.23
6	1.04	16	1.17	26	1.2	36	1.22	46	1.23
7	1.08	17	1.18	27	1.2	37	1.22	47	1.23
8	1.09	18	1.18	28	1.21	38	1.22	48	1.23
9	1.1	19	1.18	29	1.21	39	1.22	49	1.23
10	1.12	20	1.2	30	1.21	40	1.22	50	1.23

Nota. Cálculo de factor K1 en kilómetros y millas. Adaptado de Michelin (2023, p.174)

Para el cálculo del factor K2, relacionado a la temperatura se utilizaron las Ecuaciones 6 y 7.

Si la temperatura ambiente es menor que 38°C :

$$K2 = \frac{1}{1 - \frac{[0.25 * (TA - TR)]}{V_m}} \quad (6)$$

Si la temperatura ambiente es mayor a 38°C:

$$K2 = \frac{1}{1 - \frac{[0.40 * (TA - TR)]}{V_m}} \quad (7)$$

Donde:

V_m : Velocidad media del camión.

TA : Temperatura ambiente en °C.

TR : Temperatura de referencia (38°C para el cálculo de TKPH)

No obstante lo anterior, Michelin (2023) ha desarrollado la Tabla 4 con los valores calculados de referencia para el factor K2.

Tabla 4

Factor K2 para el cálculo de TKPH de Michelin

Vm	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
10	0.635	0.69	0.755	0.833	0.93	1.087	1.389	1.923
12	0.676	0.727	0.787	0.861	0.961	1.071	1.304	1.667
14	0.709	0.757	0.812	0.875	0.971	1.061	1.25	1.522
16	0.736	0.78	0.831	0.889	0.955	1.053	1.212	1.429
18	0.758	0.8	0.848	0.9	0.96	1.047	1.184	1.364
20	0.777	0.816	0.861	0.91	0.973	1.042	1.163	1.316
21	0.785	0.823	0.867	0.915	0.976	1.04	1.154	1.296
22	0.793	0.83	0.873	0.921	0.981	1.038	1.146	1.279
24	0.807	0.842	0.881	0.923	0.975	1.034	1.132	1.25
26	0.819	0.852	0.889	0.929	0.979	1.032	1.121	1.226
28	0.83	0.862	0.896	0.933	0.979	1.029	1.111	1.207
30	0.839	0.869	0.902	0.938	0.981	1.027	1.103	1.19
32	0.848	0.877	0.909	0.944	0.987	1.026	1.096	1.176
34	0.855	0.883	0.913	0.947	0.991	1.024	1.09	1.164
36	0.862	0.889	0.917	0.947	0.989	1.023	1.084	1.154
38	0.869	0.894	0.921	0.95	0.991	1.022	1.08	1.145
40	0.874	0.899	0.925	0.952	0.994	1.02	1.075	1.136
42	0.88	0.904	0.929	0.957	0.997	1.019	1.071	1.129
44	0.884	0.907	0.931	0.957	0.998	1.019	1.068	1.122
46	0.888	0.911	0.935	0.961	1.001	1.018	1.065	1.117
48	0.893	0.916	0.937	0.963	1.001	1.017	1.062	1.111
50	0.897	0.917	0.939	0.962	0.985	1.016	1.059	1.106

Nota. Valores en °C y velocidad en km/h. Adaptado de Michelin (2023, p.176)

2.2.1.3. Neumáticos OTR y TKPH

En minería, la gestión de la vida útil de los neumáticos OTR es una actividad importante para las operaciones de carguío y acarreo, e influyen significativamente en los costos operativos (Davila et al., 2023, p. 1398). Uno de los aspectos más críticos en el manejo de los neumáticos es el control de su temperatura y la operatividad de los camiones, ya que estos factores tienen un impacto directo en su vida útil. En tal sentido optimizar su rendimiento no solo es una necesidad operativa sino también de viabilidad económica.

Para esto el parámetro más importante para optimización del rendimiento y vida útil de los neumáticos es el TKPH. El control de este valor sirve para asegurar que los neumáticos no solo soporten las duras condiciones del suelo minero, sino también para prevenir su deterioro prematuro debido a un sobrecalentamiento. Maximizar su vida útil incide directamente en reducir los costos asociados al carguío y acarreo. Así, la gestión efectiva de TKPH en la unidad minera es una herramienta para la eficiencia del ciclo de minado, no solo para la conservación de los equipos sino también para el manejo eficiente de los recursos.

Todos los fabricantes de neumáticos recomiendan que los operadores de camiones de acarreo mantengan las condiciones de conducción por debajo de un límite asignado de TKPH para cada tipo de neumático. Una vez que se determina el TKPH operativo de cada neumático, se deben realizar ajustes en uno de ellos para planificar la ruta de acarreo. Esto es importante para evaluar la idoneidad del neumático deseado en una condición operativa específica. Para este propósito, se aplican los ajustes según las instrucciones proporcionadas por las empresas de fabricación de neumáticos.

2.2.1.4. Temperatura de los Neumáticos OTR

Trabajar bajo condiciones severas provoca un aumento en la temperatura de los neumáticos. A medida que la temperatura de operación de los neumáticos aumenta, la resistencia del caucho y la carcasa disminuye considerablemente. Los problemas surgen cuando los neumáticos operan a temperaturas superiores a las

diseñadas, aumentando la probabilidad de separación térmica y, en consecuencia, de fallos.

Factores que Intervienen en la Temperatura de los Neumáticos

La generación de calor en un neumático depende de varios factores: el peso que soporta, la velocidad de desplazamiento y la temperatura del aire ambiente. En condiciones de operación la temperatura de los neumáticos puede aumentar debido a la fricción entre la banda de rodadura y la superficie del camino, así como por la flexión cíclica de los costados del neumático durante su rotación. A mayor velocidad, el calor entra más rápidamente en el neumático, lo que incrementa la flexión de los costados y provoca sobrecalentamiento. La temperatura de los neumáticos se ve influenciada tanto por la carga que soportan como por la velocidad del vehículo, mientras que la temperatura ambiental juega un papel importante en la velocidad de enfriamiento (transferencia de calor del neumático hacia el entorno) (Ghadimi, 2023).

La velocidad de enfriamiento aumenta con la diferencia de temperatura entre el neumático y la atmósfera. Por ejemplo, cuando la temperatura ambiente desciende por la noche, la transferencia de calor desde el neumático caliente al aire se acelera, lo que puede hacer que la temperatura del neumático disminuya rápidamente.

Monitoreo de TKPH y Temperatura

El cálculo convencional del TKPH ofrece muy poca información real sobre las condiciones de temperatura. Operativamente, su función es meramente de alerta y si los conductores/operadores superan el límite recomendado de manera regular, se puede deshabilitar la quinta marcha del vehículo para prevenir velocidades excesivas. Este cálculo puede realizarse automáticamente mediante un sistema de monitoreo de vehículos, aunque depende de datos que pueden no ser de alta calidad (por problemas de retraso en la información) y rara vez se aplica de manera precisa en condiciones dinámicas. Sin embargo, el uso de sensores de temperatura de neumáticos está ganando popularidad y probablemente reemplace este enfoque en el futuro (Meech y Parreira, 2013).

Sobrecalentamiento de Neumáticos

Mientras el camión se desplaza, se genera calor por el contacto con la superficie de la carretera y por la flexión de los costados del neumático. Este calor se produce más rápido de lo que se disipa en el ambiente, concentrándose en las capas internas del neumático o en la banda de rodadura. Si el neumático no se enfría adecuadamente, el exceso de calor puede provocar fallos en el mismo.

Cuando la temperatura del neumático aumenta, el caucho pierde resistencia, lo que puede ocasionar fallos al girar, frenar, o debido a impactos o cortes causados por rocas en el camino. También puede provocar la fatiga de las bandas de acero o la separación entre las bandas y el caucho. A temperaturas superiores a los 93°C, los neumáticos son más susceptibles a fallos por impactos, cortes y fatiga. Por encima de los 132°C, se produce una reversión del caucho (desvulcanización), lo que provoca separaciones y fisuras (Meech y Parreira, 2013).

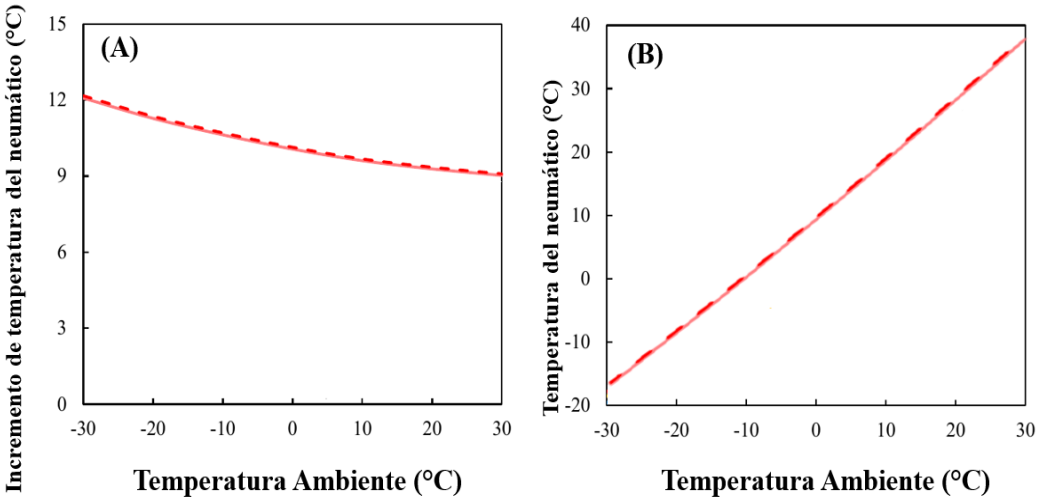
Temperatura de los Neumáticos y Temperatura Ambiental

La temperatura del caucho en los neumáticos OTR varía bajo diferentes temperaturas ambientales de acuerdo a la Figura 1. Existe una relación inversamente proporcional entre los incrementos de temperatura del caucho y las temperaturas ambientales en un rango de -30 a 30 °C. Esto indica que el incremento de temperatura del caucho disminuye de manera pronunciada en temperaturas ambientales bajas, de -30 a 0 °C, pero esta disminución es más leve cuando la temperatura ambiental supera los 0 °C.

Esta tendencia decreciente en los incrementos de temperatura del caucho en (A) se puede explicar parcialmente por la disminución de las tasas de generación de calor a temperaturas ambientales más altas. Al aumentar la temperatura ambiente de -30 a 30 °C, la tasa de generación de calor disminuye y estudios sugieren que tasas de generación de calor reducidas pueden disminuir la acumulación de calor y mitigar el aumento de la temperatura en el caucho de los neumáticos. Además, la conductividad térmica y la difusividad térmica del caucho tienden a cambiar con el aumento de las temperaturas ambientales (Ma, 2023).

Figura 1

Temperatura ambiente y temperatura de neumáticos



Nota. El gráfico (A) representa el incremento de la temperatura del caucho del neumático cuando aumenta la temperatura ambiente mientras que (B) representa la temperatura del neumático de acuerdo a la temperatura ambiente. Adaptado de Ma (2023, p. 115)

Temperatura de los Neumáticos y Deformación

Existe una relación importante entre la temperatura de los neumáticos y la tasa de deformación explicada por la comprensión del comportamiento del caucho bajo condiciones operativas intensas, como las que se experimentan en los neumáticos OTR durante su uso diario.

La temperatura del caucho aumenta significativamente con tasas de deformación más altas, especialmente a niveles de deformación elevados. En condiciones de mayor deformación, como un 100% de elongación, el incremento en la temperatura del caucho es más pronunciado en comparación con niveles más bajos como el 40%. Este comportamiento se atribuye a las propiedades térmicas del caucho, como la conductividad térmica y la difusividad térmica, que varían con la temperatura. A temperaturas más altas, la conductividad térmica puede aumentar, lo que ayuda a disipar algo del calor generado, mientras que la disminución de la difusividad térmica podría impedir una dispersión rápida del calor, resultando en temperaturas más elevadas dentro del caucho.

2.2.1.5. Neumáticos 53/80 R63 XDR3

En este estudio se utilizan neumáticos OTR 53/80 R63 XDR3 del fabricante Michelin cuyas características generales se observan en la Tabla 5. El neumático Michelin XDR3 53/80 R63 es un producto de alto rendimiento diseñado específicamente para camiones rígidos de acarreo empleados en operaciones mineras. Este neumático forma parte de la línea XDR3 de Michelin, la cual destaca por ofrecer una vida útil excepcionalmente prolongada, con un incremento mínimo del 8-10% en durabilidad comparado con sus predecesores de acuerdo al fabricante.

Tabla 5

Características Técnicas de los Neumáticos OTR 53/80 R63 XDR3 de Michelin

Característica	Valor
Diámetro total	2730 mm
Ancho de la sección	730 mm
Radio cargado	1235 mm
Diámetro del asiento	49
Circunferencia de rodamiento	8257
Profundidad de la banda de rodadura	90 mm
Compuesto	B4
Peso	1390 kg
Ruedas recomendadas	19.50/4.0 [3.2]
Ruedas aprobadas	19.50/4.0 [2.7]
Código TRA	E-4
TKPH	528
Ancho máximo total de la sección	730 mm
Distancia mínima entre los dos lados	892 mm

Nota. Adaptado de Michelin (s.f.)

En cuanto a sus características principales, el neumático presenta un tamaño de 53/80 R63 (Figura 2) , lo que lo hace adecuado para grandes camiones de minería. Incorpora un diseño innovador con compuestos y patrones de banda de rodadura y cuenta con cables de acero compuesto resistentes a la corrosión, mejorados en un 10% en términos de fortaleza y durabilidad contra la corrosión.

Figura 2

Neumáticos OTR 53/80 R63 XDR3 de Michelin



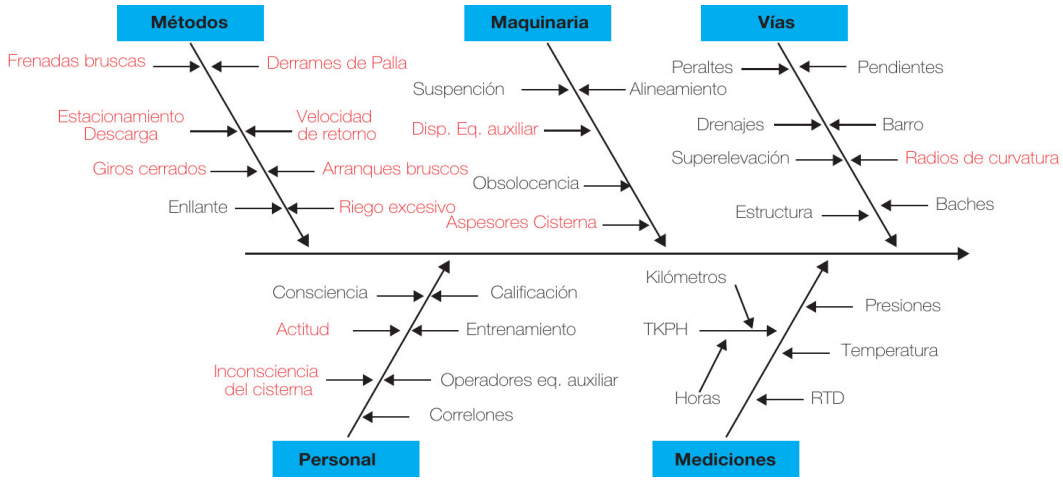
Nota. Adaptado de Michelin (s.f.)

2.2.1.6. Vida Útil de Neumáticos OTR

Los neumáticos OTR (del inglés *Off The Road*) para camiones mineros tienen una vida útil que depende factores, agrupados en varias categorías de acuerdo a la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de Ishikawa – Factores de desgaste de neumáticos OTR



Nota. Tomado de Delgado (2019, p. 61)

Estos pueden ser métodos de operación, maquinaria utilizada, condiciones de las vías, y el factor humano junto con las estrategias de medición. En el caso de métodos se tiene las prácticas como las frenadas bruscas y el estacionamiento o

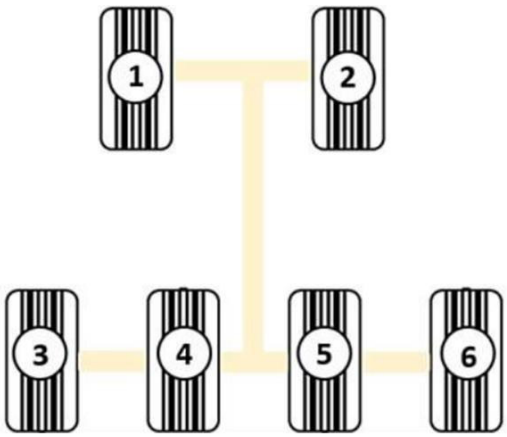
descarga intensivos que implican un uso agresivo de los frenos que acelera el desgaste del neumático. Además, los giros cerrados y enllante pueden ejercer estrés adicional en áreas específicas, deteriorando el neumático de manera desigual. Otros hábitos de manejo, como los derrames de palla, la alta velocidad de retroceso y los arranques bruscos pueden mermar rápidamente la integridad de los neumáticos. Por último, el riego excesivo y las condiciones de caminos húmedos y barrosos aumentan la resistencia al rodaje, disminuyendo la eficiencia de los neumáticos OTR (Delgado, 2019).

Otro grupo de factores son el tipo y estado de la maquinaria, por ejemplo, una suspensión inadecuada puede resultar en una transmisión excesiva de impactos y vibraciones a los neumáticos, comprometiendo su durabilidad. Asimismo, el uso de maquinaria obsoleta o con mantenimiento deficiente puede impedir que los neumáticos funcionen a su máximo rendimiento, acelerando su deterioro. En tercer lugar, las condiciones de vías como las características de las carreteras o caminos por donde transitan estos vehículos pesados afectan el desgaste de los neumáticos. La presencia de peraltes, alineamientos incorrectos, pendientes pronunciadas y sistemas de drenaje ineficientes pueden afectar negativamente la interacción del neumático con el suelo. Además, condiciones adversas como barro, radios de curvatura inadecuados y la presencia de baches contribuyen a un desgaste irregular y acelerado. Finalmente se tiene el factor humano y las mediciones operativas como la consciencia, actitud, calificación y entrenamiento del personal operativo. Las prácticas de monitoreo como las correcciones, kilómetros recorridos, TKPH, horas de uso, y RTD (*Remaining Tread Depth*) son monitoreados para evaluar y optimizar el rendimiento de los neumáticos, permitiendo identificar y mitigar problemas antes de que resulten en un desgaste prematuro (Delgado, 2019).

Ahora bien, otro factor importante en el desgaste de los neumáticos OTR es la posición y la distribución de la carga. Los neumáticos sufren un nivel de desgaste diferente de acuerdo a su posición en los camiones (Figura 4) y al factor de distribución de peso que son influidos a su vez por el diseño del vehículo.

Figura 4

Posición, numeración de neumáticos y distribución de cargas en un camión CAT794AC



N° de Neumático	Factor de Distribución
1	0.16
2	0.16
3	0.17
4	0.17
5	0.17
6	0.17
Total	1

Nota. Adaptado de Davila et al. (2023, p. 1396)

Aceleraciones Laterales

En la operación de vehículos mineros como el camión CAT797AC, las aceleraciones laterales tienen un impacto significativo en la durabilidad de los neumáticos OTR. Durante el acarreo, especialmente en curvas, es importante mantener las velocidades dentro de límites recomendados para minimizar las aceleraciones laterales que pueden causar daño estructural a los neumáticos. Se ha observado que aceleraciones superiores a 0.05g pueden exponer a los neumáticos a riesgos como separaciones mecánicas y otros tipos de daño estructural. La Tabla 6 muestra

Tabla 6

Aceleraciones laterales y efectos en los neumáticos OTR para minería de acuerdo a Michelin

Rango	Efecto en los Neumáticos
<0.05g	Eventos por debajo de la curva verde, esfuerzos laterales dentro los parámetros normales.
0.05g-0.015g	Eventos ubicados entre las curvas roja y verde, donde usualmente se registran la mayor cantidad de eventos penalizantes para los neumáticos, incrementa la posibilidad de daños estructurales.
>0.15g	Los eventos sobre la curva roja son de mayor severidad y es posible que causen daños estructurales en el corto plazo.

Nota. De acuerdo a las recomendaciones del Michelin para sus neumáticos.

Los valores de aceleración lateral se dan por efecto de la fuerza centrífuga. Eventos que registran aceleraciones entre 0.05g y 0.15g representan una zona de riesgo moderado, donde es más probable la ocurrencia de daños estructurales. Aquellos eventos que exceden 0.15g son especialmente perjudiciales para los neumáticos, ya que posiblemente causan daños severos en el corto plazo. Para gestionar este riesgo, se pueden implementar ajustes en la infraestructura de las vías, como la inclusión de peraltes adecuados, que ayuden a reducir la aceleración lateral generada al tomar las curvas. Este tipo de modificaciones permite a los camiones mantener las velocidades de ingreso actuales sin comprometer la integridad de los neumáticos.

Incremento de la Vida Útil de los Neumáticos OTR

Las siguientes prácticas y factores influyen en la conservación y prolongación de la vida útil de los neumáticos OTR (Morales, 2020, p,46):

Identificación y monitoreo de sectores críticos. Recoger datos sobre la variación de presión en las suspensiones y determinar los sectores de las rutas que generan esfuerzos excesivos sobre los equipos y neumáticos, y realizar un seguimiento diario de estos datos para identificar y atacar los sectores problemáticos de las rutas.

Diseño de caminos. Mejoras en el diseño de radios de giro, distancias mínimas de frenado, distancias de visibilidad, pendientes, peraltes, entre otros aspectos; con el fin de contribuir a una operación más segura y eficiente, reduciendo el estrés sobre los neumáticos.

Prácticas operacionales. Determinar si los eventos adversos que afectan a los neumáticos son causados por las condiciones del camino o por malas prácticas operacionales, como frenazos y acelerones bruscos. Se debe elaborar una lista de estas y realizar medidas correctivas como capacitación y cultura de cuidado de neumáticos.

Monitoreo del TKPH. Comparar el TKPH operativo con el establecido por el fabricante y realizar medidas correctivas para no superar los límites operaciones de los neumáticos.

Selección de Neumáticos OTR. El factor más importante para el uso eficiente de los neumáticos es su selección adecuada según las condiciones de trabajo. La tracción requerida y la vida útil del neumático se logran eligiendo correctamente el tamaño, el patrón de la banda de rodadura y la presión de aire en los neumáticos. Los neumáticos para camiones mineros están sujetos a requisitos especiales, ya que operan en condiciones de carretera difíciles. La durabilidad y el rendimiento de los neumáticos se ven influenciados por la densidad promedio y la resistencia de las rocas transportadas, la carga correcta del camión volquete y la uniformidad de la masa de roca, la condición y tipo de superficie de la carretera, el perfil de la carretera y el nivel de organización del mantenimiento actual de las carreteras. Para lograr el máximo rendimiento, los neumáticos deben utilizarse y mantenerse adecuadamente (Shakenov et al., 2022, p.25).

2.2.1.7. Causas del Desgate de Neumáticos OTR

El desgaste de los neumáticos depende de una variedad de factores, como la habilidad del conductor, las condiciones climáticas, el mantenimiento, entre otros. La selección adecuada del neumático, que incluye el tamaño, el diseño de la banda de rodadura, el material del neumático y el diseño de la carcasa, así como un buen mantenimiento, son características importantes a considerar.

Principales Causas del desgate

El desgaste de los neumáticos es principalmente causado por la fatiga, ya que las paredes laterales se flexionan hacia adelante y hacia atrás con el movimiento del camión. Este desgaste se produce de tres maneras principales en las que los factores intrínsecos de carga, velocidad y temperatura del neumático interactúan a través de los siguientes mecanismos (Meech y Parreira, 2013):

Abrasión (Erosión). La abrasión ocurre por la atrición del caucho a medida que la superficie del neumático roza contra la superficie del camino. La rugosidad de la superficie de la carretera afecta sustancialmente este mecanismo, pero su impacto se reduce en condiciones de lluvia. La erosión es más intensa en superficies rocosas y menos en superficies lisas o arenosas.

Corte e Impacto. Los fallos por corte e impacto ocurren cuando un neumático pasa sobre una roca grande y afilada a alta velocidad. Este tipo de fallo puede ser catastrófico si la temperatura del neumático es alta en el momento del impacto, lo que generalmente resulta en un reventón o una explosión.

Desgaste Desigual. Un desgaste desigual de los neumáticos ocurre durante el giro. Cuantos más giros haya en la carretera y más larga sea la curva, mayor es el desgaste del neumático debido al deslizamiento lateral mientras el camión navega a través de la curva. La elevación de la carretera puede eliminar o minimizar este efecto, permitiendo que los vehículos mantengan la velocidad al tomar las curvas.

Otros factores a tener en cuenta son la resistencia al rodaje de la carretera y del neumático. Dado que los estudios se centran carreteras de “tierra”, la frecuencia con la que los camiones pasan por la superficie, junto con las prácticas de mantenimiento (nivelación y riego), afecta la resistencia al rodaje de manera significativa.

2.2.2. Indicadores de Rendimiento de Camiones Autónomos Mineros

Los indicadores de rendimiento para camiones mineros son KPI permiten medir y hacer seguimiento del desempeño de los camiones y equipos en aspectos clave como eficiencia operativa, disponibilidad, utilización y efectividad en producción. Son útiles para identificar oportunidades de mejora operativa permitiendo medir la actividad de minera, controlar y dirigir el proceso y cumplir con los objetivos de producción. La unidad minera ha implementado para este fin la metodología del Modelo de Uso de Tiempo (TUM por sus siglas en inglés).

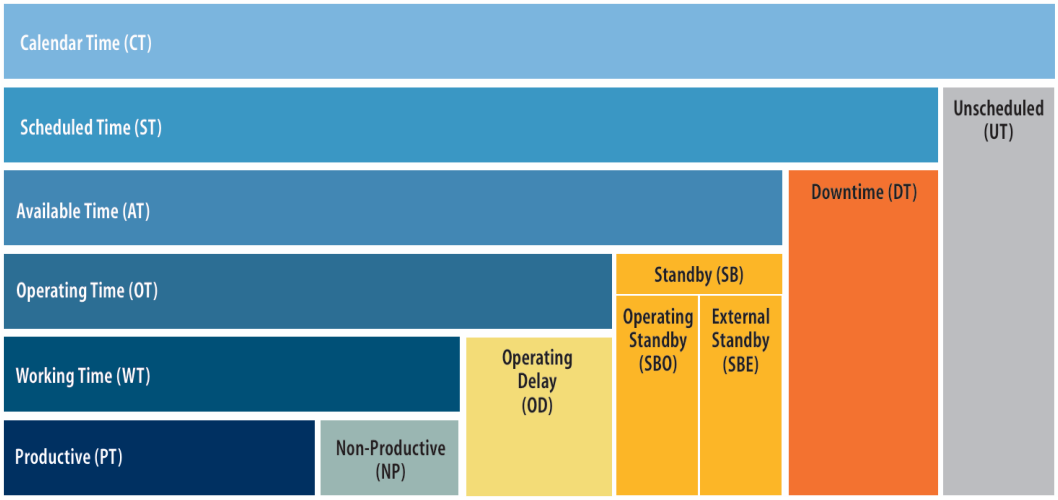
2.2.2.1. Modelo de Uso de Tiempo (TUM)

El Modelo de Uso de Tiempo o TUM(Time Usage Model) es un marco de clasificación de actividades operacionales en categorías de tiempo. Los TUM’s han sido usados desde hace más de 40 años (Ballantyne, 2019) y el modelo más utilizado actualmente se basó inicialmente en el modelo de KPI y definiciones de tiempo de la Asociación de Investigación y Tecnología de Minería Superficial (SMART, por sus siglas en inglés), alrededor de 1999, el cual a su vez se fundamentaba en el modelo de Pfleider en su libro "Surface Mining" de 1968.

GMG (Global Mining Guidelines Group) comenzó las consultas con la industria utilizando el modelo SMART y estas definiciones de KPI como punto de partida. Con la retroalimentación recibida por parte de la industria minera, se generó el modelo de consenso de la Figura 5 basado en las descripciones, categorías de tiempo, definiciones de KPI y la intención detrás de los modelos enviados por las empresas (Moore, 2020).

Figura 5

Modelo de uso de tiempo del Global Mining Guidelines Group



Nota. Tomado de Global Mining Guidelines Group (2020, p.5)

El objetivo de esta herramienta es ofrecer un marco estructurado de gestión de actividades productivas y no productivas, estados y eventos que ocurren en una operación minera clasificándolas en categorías de tiempo. Sus principales características son:

- Clasifica todas las actividades operacionales en categorías de tiempo definidas.
- Las categorías de tiempo reflejan si el tiempo se está usando productiva o no productivamente.
- Permite contabilizar todo el tiempo mediante la clasificación en categorías como Tiempo Calendario, Tiempo Programado, Tiempo Operativo, Tiempo Productivo, etc.
- Al identificar y eliminar los tiempos no productivos, las operaciones pueden hacer un mejor uso de sus activos.

- Proporciona la base para calcular los KPI operacionales comunes como eficiencia operativa, disponibilidad, utilización y efectividad.
- Permite un mayor nivel de detalle en la captura de demoras y tiempo productivo según la capacidad de recopilación de datos.

2.2.2.2. Ventajas del TUM

Este marco común de clasificación posee muchas ventajas al mejorar la recopilación de datos y aprovechar la capacidad de los sistemas autónomos para integrar diversas fuentes de información de manera continua. Unido a los sistemas de información resulta en una acumulación de datos en tiempo real sobre la condición y el rendimiento de los equipos, proporcionando datos operativos más completos y precisos. Al ser un modelo común, permite comparar las operaciones de distintas minas ya sean convencionales o autónomas permitiendo identificar demoras evitables causadas por operadores y adoptar soluciones a las misma.

Este modelo es muy útil para la gestión de equipos de nuevas operaciones y proyectos mineros en tanto que ofrece una guía clara sobre la configuración de sistemas de recolección y reporte de datos de producción. La información derivada del TUM no solo apoya los sistemas de mantenimiento, sino que también permite establecer sistemas de costeo basado en actividades y sistemas de reporte de rendimiento. Además, las definiciones estándar facilitan el establecimiento de acuerdos con proveedores, así como las comparaciones externas y *benchmarking*, ayudando a las operaciones a alinearse con las mejores prácticas de la industria y a mejorar su competitividad.

2.2.2.3. Uso del TUM en Minería a Cielo Abierto

Las empresas mineras en el Perú han adoptado similares Modelos de Uso de Tiempo a sus operaciones (Energiminas, 2023) y la mina de cobre en estudio no es la excepción. La Figura 6 presenta el Modelo de Uso de Tiempo utilizado y adaptado en la unidad minera, la cual considera los eventos TKPH dentro de la categoría de tiempo primario “Perdida Interna”, que a su vez influye en los indicadores de rendimiento de Tiempo Utilizado y Tiempo Operativo.

Figura 6

Estructura del modelo de uso de tiempo

<table>
<tr><th colspan="10">Tiempo Calendario</th></tr>
<tr><th colspan="5">Tiempo Disponible</th><th colspan="3" rowspan="2">Tiempo no disponible</th><th colspan="2" rowspan="3">Tiempo no controlable</th></tr>
<tr><th colspan="2">Tiempo Operativo</th><th colspan="3">Tiempo perdido</th></tr>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">Tiempo Utilizado</th><th colspan="2" rowspan="2">Tiempo no utilizado</th><td colspan="2">Tiempo no programado</td><td>Tiempo programado</td></tr>
<tr><td>Otro tiempo</td><td colspan="2">Tiempo de mantenimiento</td></tr>
<tr><td>Producción primaria</td><td>Producción secundaria</td><td>Pérdida de producción</td><td>Pérdida Interna (Incluye eventos TKPH)</td><td>Pérdida externa.</td><td>Mantenimiento Operacional</td><td>Mantenimiento no programado</td><td>Mantenimiento programado</td><td>Eventos no controlables</td><td>No programado para producir</td></tr>
</table>

Nota. Elaboración propia en base al TUM de una mina a cielo abierto.

2.2.2.4. Medidas de Utilización de Camiones

El Global Mining Group propone las siguientes medidas de utilización de activos:

(1) **Utilización**. Mide el uso del activo, y los siguientes indicadores clave de rendimiento ofrecen diferentes formas de medir esto.

(2) **Uso de la Disponibilidad**. Mide qué tan bien una operación utiliza el equipo disponible (Pfleider, 1968, como se citó en GMG, 2020).

(3) **Utilización del Activo.** Mide el uso general del activo como un porcentaje del tiempo total que está disponible (es decir, tiempo calendario). Medir el uso general del activo proporciona un indicador de qué tan bien se están utilizando los activos de capital.

(4) **Utilización Operativa.** Mide el uso del activo cuando se requiere o está programado para operar.

(5) **Utilización Efectiva**. Mide el tiempo durante el cual el activo se utiliza para su función prevista.

Por su parte, la unidad minera ha adoptado un Modelo de Uso de Tiempo, estandarizándolo exitosamente en sus operaciones. El cálculo de los principales indicadores de rendimiento o métricas primarias aplicadas al uso de sus camiones se realiza conforme a la Tabla 7.

Tabla 7

Cálculo de indicadores de rendimiento o métricas primarias de rendimiento

Métrica de tiempo primaria	Fórmula
Disponibilidad (%)	Disponibilidad de Tiempo /Tiempo Calendario
Utilización (%)	Tiempo Utilizado / Tiempo Calendario
Eficiencia Operativa (%)	Tiempo Operativo / Tiempo Utilizado
Uso de la Disponibilidad (%)	Tiempo Utilizado / Tiempo Disponible

Nota. Fórmulas de tiempos primarios de acuerdo al estándar de una unidad minera a cielo abierto, el cual se encuentra alineado al Modelo de Uso de Tiempo internacional.

Así también existen otras medidas primarias importantes que en conjunto permiten evaluar íntegramente la gestión de tiempos de carguío y acarreo de acuerdo a la Tabla 8.

Tabla 8

Indicadores de rendimiento secundarias o métricas secundarias

Métrica de tiempo primaria	Fórmula
Uso Efectivo de Disponibilidad (%)	(Tiempo Operativo)/(Tiempo Disponible)
Eficiencia Operacional (%)	(Tiempo Operativo)/(Tiempo Disponible)
Taza de Producción	(Toneladas de Producción)/(Producción Primaria)o
Tiempo Medio entre Paradas (%)	Tiempo Utilizado * (P.Primaria + P.Secundaria + Pérdida de Producción) / Eventos de paradas
Tiempo Medio por Paradas (%)	(Tiempo No Utilizado + Tiempo No Disponible) / Eventos de paradas
Integridad (%)	(Tiempo Utilizado) / (Tiempo Utilizado + Mantenimiento No Programado)

Nota. Fórmulas de tiempos secundarios de acuerdo al estándar interno de una unidad minera a cielo abierto.

2.2.2.5. Ciclo de Acarreo

Carguío y Acarreo

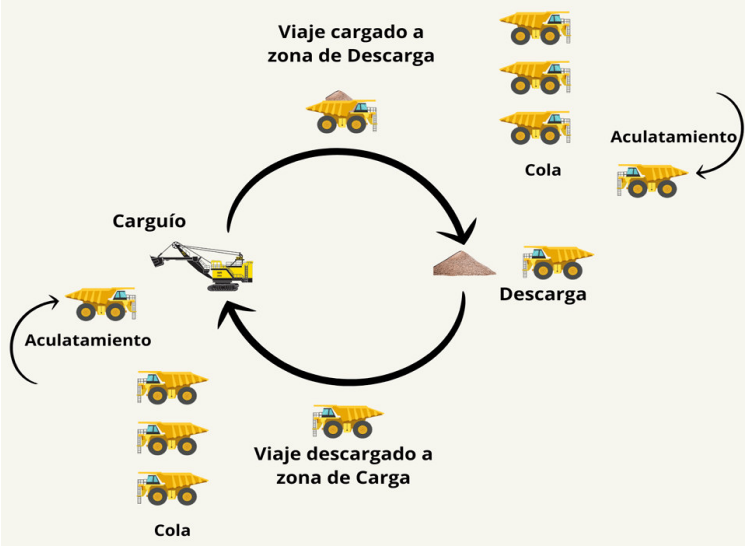
Para definir el ciclo los camiones mineros es necesario partir del concepto de las operaciones de carguío y acarreo de la industria minera, o también denominado carguío y transporte. El carguío y acarreo es el conjunto de actividades para llevar a cabo el movimiento de material, sea desmonte, mineral u otro producto del proceso de voladura hacia su destino, que puede ser una planta de beneficio, una desmontera o un proyecto de desarrollo de la mina. En una operación minera superficial típica, este proceso se realiza principalmente por camiones de gran envergadura y palas hidráulicas o mecánicas. A su vez, estas operaciones pueden llegar a representar entre el 15% y el 65% de todos los costos de una operación minera, lo que demuestra el valor e importancia que se atribuye a la búsqueda de la eficiencia de este proceso (Tapia, 2023).

Concepto

En este sentido el tiempo de ciclo de acarreo es el tiempo que tarda un camión volquete en completar una ronda de carga y descarga. Este proceso incluye tiempo para cargar, maniobrar, transportar (lleno y vacío), aculatarse y tiempo de espera (Mnzool, et al., 2024) de acuerdo a la Figura 7.

Figura 7

Ciclo típico de un camión minero



Nota. Tomado de Tapia (2023).

Estudiar el ciclo del camión es un requisito para conocer el rendimiento exacto de una flota de transporte y las posibles variaciones, no obstante, esto a veces requiere datos a largo plazo. La mayoría de las minas son complejas con ubicaciones de excavación y descarga que cambian progresivamente y debido a esto, se pueden observar grandes variaciones en los gradientes y la distancia total recorrida que afectan significativamente el rendimiento de los camiones (Doig y Kizil, 2013).

Por lo tanto, es muy importante que se realicen de estudios de tiempo para el cálculo de los tiempos de ciclo de los camiones utilizando estrategias predeterminadas de excavación y descarga como el software MineStar. Muchas compañías mineras han adoptado sistemas de control automatizado de camiones para ayudar en la creación de planes de mina más precisos y estimaciones de costos.

Componentes del Ciclo de Acarreo con Camiones Mineros

Viaje Vacío. El camión ha terminado de descargar el material o ha comenzado su turno de trabajo y se encuentra vacío. En este estado, el camión está viajando desde el área de descarga hacia la unidad de carguío para ser recargado. Este es el primer estado del ciclo donde el camión se desplaza sin carga, preparado para recibir material en la unidad de carguío. Es importante optimizar este viaje para minimizar el tiempo y el consumo de combustible.

Cola en Unidad de Carguío. El camión ha llegado a la unidad de carguío, pero debe esperar porque uno o más camiones están siendo cargados antes que él. Este estado representa un tiempo de espera que puede o no ocurrir en cada ciclo. Las colas son indeseables ya que representan tiempos muertos en los que el camión no está produciendo.

Aculatamiento en Unidad de Carguío. El camión está maniobrando para posicionarse adecuadamente al lado de la pala o equipo de carga. En este estado, el camión realiza movimientos precisos para colocarse en la posición óptima para ser cargado. Una maniobra eficiente minimiza el tiempo en esta etapa y facilita una carga rápida y segura.

Cargando. El camión está siendo cargado por la pala. El proceso continúa hasta que el camión está lleno a su capacidad. Este es el estado donde el camión recibe el material, generalmente en pases sucesivos con la pala o equipo de carga. La eficiencia en la carga depende tanto del operador de la pala como de la capacidad del camión.

Viaje Lleno. El camión ha sido completamente cargado y está viajando desde la unidad de carguío hacia el botadero (desmontera), *stockpile*, o chancadora. Durante este viaje, el camión transporta el material extraído al lugar designado para su descarga. La ruta y la velocidad son factores importantes para asegurar la entrega rápida y segura del material.

Cola en Botadero o Chancadora. El camión ha llegado al botadero o chancadora, pero debe esperar porque hay otros camiones descargando. Similar a la cola en la unidad de carguío, este estado representa tiempo de espera. Las colas en el botadero o trituradora no son ideales ya que los camiones no están descargando ni regresando a la unidad de carguío.

Aculatamiento en Botadero o Trituradora. El camión está maniobrando para posicionarse adecuadamente en el botadero o trituradora para descargar el material. En este estado, el camión realiza maniobras para colocarse en la posición correcta para descargar. Una maniobra eficiente reduce el tiempo total del ciclo y asegura una descarga segura y efectiva.

Descargando. El camión está descargando su carga, levantando y bajando la tolva según sea necesario. Este es el estado final donde el camión vacía su carga en el botadero o trituradora. La eficiencia en este proceso incide en minimizar el tiempo de descarga y preparar el camión para el siguiente ciclo.

2.2.2.6. Camiones CAT 794AC

El camión minero CAT 794AC., mostrado en la Figura 8, es un vehículo diseñado con una capacidad de carga nominal de hasta 320 toneladas métricas y un peso bruto máximo de 521,631 kg. Posee un motor Cat C175-16 de 20 cilindros y cuatro tiempos, con una potencia bruta de 2,504 kW (3405 HP), permitiéndole alcanzar velocidades de hasta 60 km/h incluso en pendientes y condiciones adversas.

Cuenta con un chasis robusto compuesto por más del 80% de piezas fundidas, diseñado para soportar más de 100,000 horas de operación. Equipado con sistemas de frenado en las cuatro ruedas y tecnologías avanzadas de seguridad como detección de proximidad, el 794AC asegura operaciones seguras y eficientes.

Este camión es compatible con sistemas autónomos Cat MineStar Command y ofrece configuraciones adaptadas para altitudes elevadas y cumplimiento de estándares de emisiones. Con opciones de tolvas especializadas para diversas aplicaciones, el 794AC se destaca como una opción versátil en minería. Se adjunta como Anexo 02 la ficha técnica del camión minero CAT794AC del distribuidor Ferreyros en Perú.

Figura 8

Camión minero CAT 794 AC



Nota. Tomado de Ferreyros (s.f.).

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Aculatamiento

Tiempo en el que un equipo realiza maniobras de posicionamiento para comenzar a ser cargado, o para iniciar una descarga (Hilasaca, 2021).

2.3.2. Camiones autónomos

Son los camiones mineros de gran envergadura Caterpillar 794AC que han sido adaptados con tecnología autónoma (Huamán y Herrera, 2022).

2.3.3. Carguío y Acarreo

En minería, es el proceso de transporte del material producido en la voladura desde un frente de excavación hasta un punto de descarga como planta de beneficio, plataforma, desmontera, etc (Matos, 2020).

2.3.4. Ciclo de Carguío y Acarreo

Son todos los procesos y actividades realizadas por los equipos de carguío y acarreo para completar una ronda de carga y descarga. Generalmente referido a palas y camiones mineros (Tapia, 2023).

2.3.5. Disponibilidad

Porcentaje del tiempo total calendario en el que un equipo determinado se encuentra disponible para realizar su función. Para calcularla, se compara el tiempo en que el equipo estuvo disponible con el tiempo total del período considerado, que puede ser un día, una semana o un mes. El cálculo parte del total de horas que abarca el período seleccionado, conocido como tiempo total calendario, que incluye todas las horas posibles de operación. Luego, se determina el tiempo disponible, que es el tiempo en que el equipo efectivamente estuvo en condiciones de trabajar, excluyendo las paradas por mantenimiento programado, fallas, u otros factores que impiden su operación (Hilasaca, 2021).

2.3.6. Indicadores de rendimiento

KPI, son indicadores clave que permiten evaluar la eficiencia de los equipos utilizados en las operaciones, como los camiones autónomos. Estos se basan en la capacidad de los equipos para realizar tareas en el tiempo, minimizando los tiempos improductivos y maximizando la disponibilidad y el uso eficiente de los recursos (Doig y Kizil, 2013).

2.3.7. Pérdida de Producción

Todas las pérdidas que ocurren cuando el equipo está en uso, pero no está realizando funciones primarias o secundarias. Ejemplos incluyen paradas que interrumpen temporalmente el flujo de producción, siendo parte normal de las

operaciones. Esta categoría abarca pérdidas de ciclo, como los tiempos de espera de un camión en cola o de espera a camión. Se alinea con el tiempo en el que un operador está asignado a un equipo y el motor está encendido (Matos, 2020).

2.3.8. Pérdida Interna

Tiempo en el que el equipo está disponible pero no se utiliza. Las pérdidas internas son controlables por la operación. Por ejemplo, la gestión de las guardias, la fuerza de trabajo disponible, prácticas operativas, sistemas y condiciones, recarga de combustible, cambio de turno, paradas de refrigerio, TKPH, falta de pala, falta de botadero, falta de operador y falta de material. Se alinea con el tiempo en que el motor está apagado y el equipo está estacionario. Esta categoría de tiempo puede incluir estados de demora y *standby* (Delgado, 2019).

2.3.9. Producción Primaria

Tiempo que se usa un activo para desempeñar su función primaria y hay un rendimiento medible (Carguío/Acarreo) mediante el sistema, o actividad primaria lo cual incluye tiempo de carga y aculatamiento (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.10. Producción Secundaria

El tiempo que un activo está operacional, pero realizando una función no primaria donde no hay rendimiento medible (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.11. TKPH

Tonelada Kilómetro Por Hora es la medida de la capacidad de carga de un neumático que indica la cantidad máxima de peso que puede transportar a cierta velocidad (Ma, 2023).

2.3.12. Tiempo de Ciclo

Es el tiempo que demora un camión en ser cargado, trasladar la carga, descargar y regresar al punto de carga. Incluye los tiempos de espera, aculatamiento, maniobras y las demoras incurridas en la realización de estas actividades (Ballantyne, 2019) .

2.3.13. Tiempo Calendario

Total, de horas posibles, es decir 365 días por 24 horas (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.14. Tiempo Disponible / No Disponible

Tiempo que un equipo está disponible/no disponible para producción (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.15. Tiempo No Utilizado

Tiempo que el equipo está disponible para ser utilizado, pero no se utiliza (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.16. Tiempo Utilizado

Tiempo durante el cual el equipo se utiliza incluyendo pérdidas de producción (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.17. TUM

Modelo de Uso de Tiempo, es un marco de categorías de tiempo para la estandarización del control de los tiempos de utilización y disponibilidad de los equipos de la mina, incluyendo los camiones autónomos (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.18. Uso de la Disponibilidad

Porcentaje del tiempo disponible que un equipo es efectivamente utilizad que indica cuánto se usó un equipo mientras se encontraba listo para trabajar (Global Mining Guidelines Group, 2020).

2.3.19. Viaje Vacío

Tiempo que transcurre desde que el camión termina de realizar la descarga hasta que llega a la unidad de carguío (pala) (Hilasaca, 2021.).

III. MÉTODO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

Una investigación se cataloga como aplicada cuando está diseñada para resolver problemas prácticos o para desarrollar innovaciones que tienen aplicaciones directas en la vida real. Por tanto, la presente investigación es aplicada porque se busca identificar oportunidades de mejora aplicando soluciones prácticas que mejoren los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos a través de una mejora en el control de eventos TKPH.

Una investigación de nivel explicativo se centra en determinar las causas y los efectos de los fenómenos estudiados, buscando profundizar en el entendimiento de las relaciones entre variables. El nivel de la investigación explicativa en tanto como resultado de la investigación se obtendrá una visión general acerca de cómo la gestión de eventos TKPH influye en los indicadores de rendimiento, identificando cómo puntos clave para la mejora de los indicadores de la gestión de acarreo.

Esta investigación es experimental puesto que se aplicaron prácticas de gestión para incrementar la disponibilidad y la velocidad media de los camiones durante la producción primaria y se evaluó el resultado de las medidas implementadas encontrando en cada caso la influencia o eficacia. La investigación experimental se caracteriza por manipular una o más variables independientes para observar el efecto sobre una o más variables dependientes, dentro de un entorno controlado. Este método permite a los investigadores establecer relaciones causales entre variables al controlar otros factores que podrían afectar los resultados

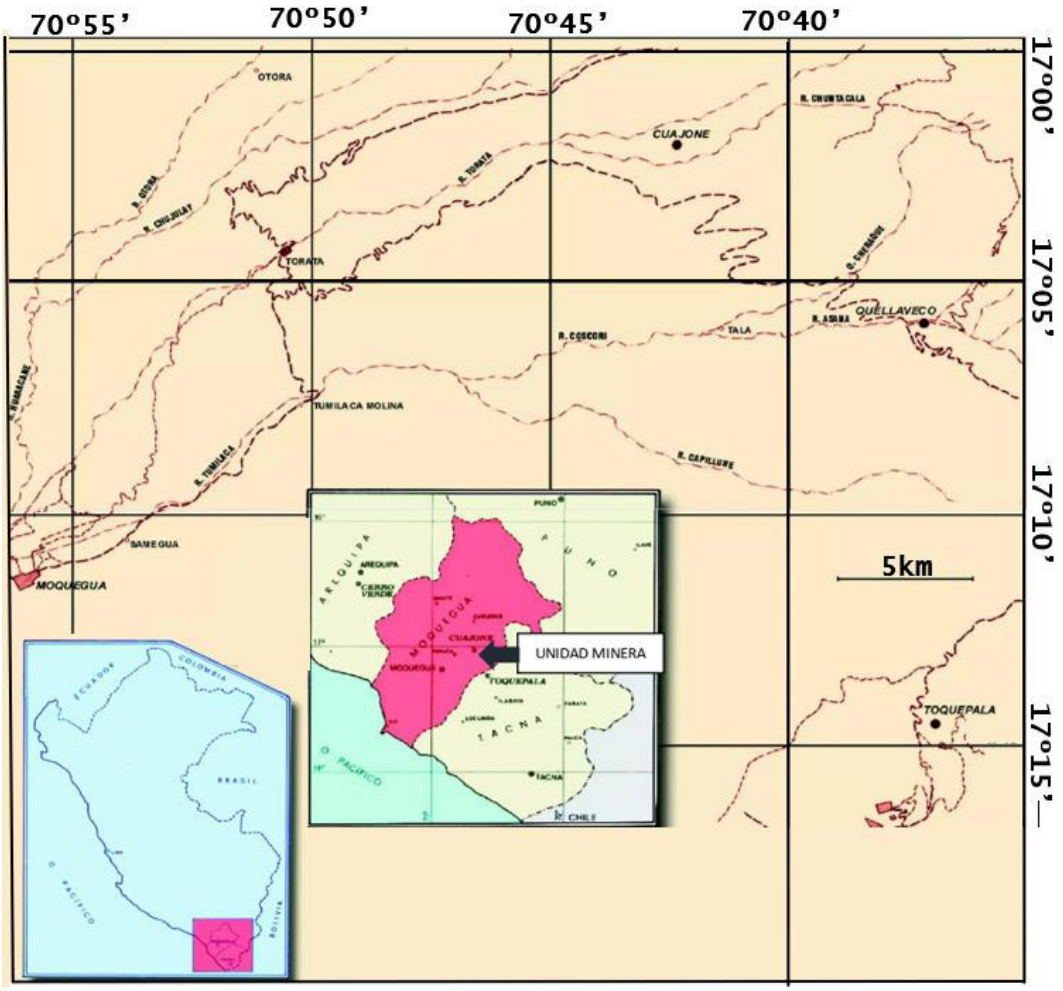
Una investigación de enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos para establecer patrones y verificar hipótesis a través de técnicas estadísticas. Nuestras variables estudiadas a través de TKPH como los indicadores de rendimiento Disponibilidad y Velocidad Media poseen medidas que pueden ser cuantificables por lo que este estudio puede ser considerado bajo este enfoque.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

El área de estudio es una unidad minera a cielo abierto de cobre perteneciente al departamento de Moquegua en Perú de acuerdo a la Figura 9.

Figura 9

Ubicación de la unidad minera.



Nota. Adaptado de Arce (2000). Sistema de coordenadas geográficas.

Geográficamente, la mina se asienta en el valle del río Asana, situada aproximadamente a 40 km al noreste de Moquegua, a altitudes que oscilan entre los 3,100 y 4,300 metros sobre el nivel del mar. La extensión de esta área de operaciones alcanza cerca de 39,000 hectáreas.

El área de abastecimiento de agua para la mina pertenece políticamente a los distritos de Carumas y San Cristóbal, en la misma provincia y departamento. Esta zona se encuentra a unos 66 km en línea recta al noreste de la mina, accesible por

camioneta en un trayecto de aproximadamente tres horas desde Moquegua. Las altitudes en esta área varían entre los 4,300 y 4,500 metros.

Operaciones de acarreo.

Por su parte, las rutas de acarreo y el mapa de la unidad minera se presentan en la Figura 10. Como se puede observar las operaciones de acarreo se concentran principalmente en las zonas Fase 1, 2 y 3, con destino final la Chancadora Primaria, Botadero Asana y Botadero Sur.

Figura 10

Rutas de acarreo típicas de la unidad minera



Nota. Las líneas en rojo representan el recorrido típico en un turno de un camión.

Clima

En relación al clima, la mina experimenta temperaturas medias que fluctúan entre 9.0°C y 12.5°C, con una precipitación media anual de 169 mm y una humedad relativa media del 40.7%. Los vientos predominantes varían entre el este durante la noche y el oeste durante el día. En contraste, el área de abastecimiento de agua presenta condiciones más extremas, con una temperatura promedio anual de 2.1°C, extremos que van desde los 18.1°C hasta los -23.3°C, y una precipitación anual media considerablemente mayor, de 521.2 mm.

Geología

En cuanto al relieve y geomorfología, la región de la mina se caracteriza por una diversidad de formas terrestres, incluyendo áreas montañosas, escarpas de laderas, y distintos tipos de depósitos como los aluviales y coluviales, además de pampas tanto sobre roca como costeras. Por otro lado, la zona de abastecimiento de agua se distingue por sus montañas, laderas montañosas, pampas altoandinas y valles glaciares-aluviales, complementados por cauces superficiales de régimen permanente y bofedales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

En la presente investigación la población comprendió todos los ciclos de acarreo con camiones autónomos mineros CAT 794AC de la unidad minera Quellaveco.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por los ciclos de acarreo de los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2024 con 30 camiones autónomos mineros CAT 794AC de la unidad minera Quellaveco los cuales se adjuntan en el Anexo 03 .

3.4. Instrumentos

3.4.1. Plataforma de datos integrados

El sistema interno que utiliza la unidad minera es una herramienta de información integrada con indicadores del rendimiento de los equipos de carguío y acarreo. Esta es la principal fuente de recolección de datos, para su posterior análisis y procesamiento.

3.4.2. Sistema de monitoreo y control de equipos MineStar.

Es un sistema tecnológico desarrollado por Caterpillar que permite la operación autónoma de camiones mineros sin la necesidad de un operador a bordo. Este sistema forma parte de la suite de soluciones MineStar Command for Hauling de Caterpillar y está compuesto por varios módulos y componentes que permiten el funcionamiento autónomo de los camiones mineros (Huamán y Herrera, 2022):

(1) Módulos de control electrónico (ECM) que incorporan la lógica, algoritmos y patrones de comunicación para que los camiones operen de forma autónoma.

(2) Sensores como LiDAR y radares que escanean el entorno y detectan objetos, equipos y personas a cientos de metros a la redonda, actuando como los "ojos" del camión autónomo.

(3) Receptores y antenas GNSS de alta precisión que determinan la ubicación exacta del camión con precisión de centímetros.

(4) Un servidor central llamado MineStar Fleet Command que controla toda la flota de camiones autónomos y tripulados dentro de la Zona de Operación Autónoma (AOZ). Este servidor tiene un modelo digital de toda la operación minera.

(5) Una red inalámbrica que permite la comunicación eficiente entre los camiones autónomos y el servidor MineStar Fleet Command.

3.4.3. Técnicas de Recolección de los Datos

A continuación, se presentan los métodos sistemáticos que se utilizan para recopilar información necesaria en esta investigación.

3.4.3.1. Observación Directa.

***Dashboard Interno*.** El uso de un dashboard interno permitió monitorear en tiempo real los diferentes indicadores de desempeño de los camiones autónomos. Este dashboard puede incluir datos como la eficiencia operativa de cada camión en tiempo real, la velocidad media durante las operaciones de producción primaria y el TKPH.

***Estándares Operacionales*.** Mediante la observación directa de cómo las operaciones se alinean con los estándares operacionales establecidos, se podrá identificar dónde ocurren desviaciones que resulten en tiempos perdidos. Este proceso incluyó comparación entre las prácticas actuales y los estándares a fin de identificar patrones de desviación que puedan indicar ineficiencias o uso ineficiente de los equipos.

3.4.3.2. Registros de Datos.

Reportes de Operación. Son documentos que proporcionan un resumen de las actividades diarias, incluyendo incidentes o anomalías, los cuales ayudaron a detectar correlaciones entre los eventos de alto TKPH y los tiempos improductivos. Además, permitió evaluar la efectividad de las medidas implementadas para controlar los eventos TKPH.

MS Excel. Los datos extraídos del dashboard y los reportes operacionales fueron exportados a este programa para ser después procesados.

3.4.4. Materiales

Se usaron los siguientes materiales para el desarrollo de la investigación:

- Documentación Técnica sobre TKPH, camiones y estándares operativos de acarreo.
- Tableta para el acceso al dashboard interno.
- Laptop para el registro y procesamiento de la información.
- Formularios para el registro de información sobre las variables.

3.5. Procedimientos

El presente estudio busca investigar cómo la optimización en la gestión de eventos TKPH puede mejorar dos indicadores clave de rendimiento: la Eficiencia Operativa de los camiones autónomos y su Velocidad Media durante la operación minera. El TKPH está relacionado con el sobrecalentamiento de neumáticos, lo cual produce retrasos y tiempos muertos, impactando negativamente el rendimiento global de los camiones autónomos. Para esto se midió el efecto de los valores TKPH en los siguientes indicadores de rendimiento de camiones autónomos:

(1) Eficiencia Operativa (%) (métrica primaria).

(2) Velocidad Media durante la producción primaria (km/h) (métrica secundaria).

Se utilizaron los sistemas de monitoreo como Dashboard para recopilar información sobre Eficiencia Operativa y Velocidad Media antes de aplicar el control mejorado de eventos TKPH. Asimismo, se registraron los eventos TKPH (cantidad por día), temperatura de los neumáticos, y tiempos de retraso causados por sobrecalentamiento. Se plantearon mejoras en la gestión de rutas cortas y largas, ajustes en la operación para reducir eventos TKPH, y control de la temperatura de los neumáticos.

3.6. Análisis de Datos

Se emplearon herramientas estadísticas para evaluar la relación entre la gestión de eventos TKPH y el rendimiento de los camiones. Análisis comparativo entre la situación antes y después de la intervención utilizando herramientas como ANOVA o t-test para determinar si las diferencias en los indicadores de rendimiento son significativas. Respecto al indicador de rendimiento Eficiencia Operativa, se espera un incremento significativo en el porcentaje de eficiencia operativa de los camiones autónomos gracias a una reducción en los tiempos de parada por eventos TKPH. Por su parte, el indicador de rendimiento velocidad media aumentaría, lo que optimizaría los tiempos de acarreo e incrementaría la eficiencia de los procesos. El estudio demostró que la reducción y mejor gestión de los eventos TKPH incrementa el rendimiento de los camiones autónomos en términos de eficiencia operativa y velocidad media, permitiendo una operación más eficiente y sin tantas interrupciones debidas a sobrecalentamiento de los neumáticos (TKPH alto).

3.6.1. Análisis Estadístico

Inicialmente se realizó el análisis descriptivo y se evaluaron los promedios de las variables dependientes (eficiencia operativa y velocidad) en función de los eventos TKPH (frecuencia y duración de los eventos) para establecer una línea base. Este análisis incluyó gráficos de barras que muestren la evolución de la velocidad media y la eficiencia operativa en el periodo estudiado.

3.6.1.1. Estadística Descriptiva

Este tipo de análisis se utilizó para describir y resumir las variables principales del estudio. Esto incluye:

- Eficiencia operativa de los camiones autónomos (%).
- Velocidad Media durante la producción primaria (km/h).
- Eventos TKPH (cantidad de eventos por día).

Las técnicas descriptivas que se emplearon incluyen:

- Medidas de tendencia central: Media, mediana y moda para cada variable.
- Medidas de dispersión: Desviación estándar, rango, varianza, percentiles.

3.6.1.2. Estadística Inferencial

Se utilizó para validar las hipótesis y determinar si los eventos TKPH afectan de manera significativa los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos.

Para validar la hipótesis principal, que indica que una mejor gestión de los eventos TKPH se incrementó la Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones, se realizaron pruebas de comprobación de hipótesis. Dado que los datos de las muestras fueron normales se utilizaron estas pruebas para comparar los promedios de velocidad y eficiencia operativa de los camiones antes y después de implementar el control de eventos TKPH. En caso de comparar periodos con y sin el control de eventos TKPH, también se puede emplear un diseño de medidas repetidas para analizar el impacto en la misma muestra de camiones a lo largo del tiempo.

Los resultados estadísticos permitieron validar o rechazar las hipótesis planteadas. Si los valores p de las pruebas son menores que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), para concluir que los eventos TKPH tienen un efecto significativo en los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos. Además, los coeficientes de la regresión permitieron interpretar el peso relativo de cada variable independiente en el rendimiento.

3.6.2. Procesamiento de la Información

Se realizó el análisis de reportes de operación para medir los tiempos perdidos y su relación con los eventos TKPH. Se realizó el procesamiento y análisis de los datos mediante MS Excel, SPSS u otros softwares estadísticos para facilitar la evaluación estadística. Los datos recolectados fueron procesados para medir las relaciones entre los eventos TKPH y los indicadores de rendimiento de los camiones autónomos. El análisis se centró en establecer si las mejoras propuestas en la gestión de eventos TKPH conducen a incrementos significativos en la eficiencia operativa y velocidad de los camiones.

Se evaluaron los eventos TKPH que superan los límites de operación de los camiones autónomos y se realizaron comparaciones antes y después de la implementación de mejoras en la gestión de estos eventos. Se analizó cómo la mejora en la gestión de eventos TKPH afecta los indicadores de rendimiento de Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones. Esto se hizo mediante análisis estadísticos, evaluando si las diferencias son significativas tras la implementación de la gestión mejorada.

3.6.3. Presentación de los Datos

Antes de mostrar los resultados, se realizó una breve descripción de los datos recogidos, especificando las fuentes de datos como Sistemas como el Dashboard Interno de la unidad minera y MINESTAR. Se detalló la muestra utilizada respecto a ciclos de acarreo del periodo junio-septiembre de 2024 con 30 camiones autónomos CAT 794AC. En este sentido, para la presentación de los resultados se utilizaron las siguientes herramientas:

Tablas Resumen

Se presentaron tablas que muestran las medidas de tendencia central y dispersión para cada una de las variables principales: Eficiencia Operativa (%), Velocidad Media (km/h), TKPH acumulado, Costos.

Gráficos Descriptivos

Se incluyeron gráficos como histogramas para observar la distribución de las variables como la Eficiencia Operativa y la Velocidad Media. Gráficos de barras para mostrar la frecuencia de eventos TKPH por día y los tiempos de retraso. Y finalmente, se utilizaron gráficos de líneas para visualizar la evolución de la Eficiencia Operativa y la Velocidad Media en función del tiempo y los eventos TKPH.

Integración de Tablas, Gráficos y Texto

La presentación final de los resultados integra gráficos, tablas y texto interpretativo para que los datos sean accesibles y comprensibles a fin de asegurar que se comunique adecuadamente los hallazgos de investigación. La claridad en la presentación de los datos también ayuda a que los responsables de la gestión de los camiones autónomos puedan implementar mejoras basadas en evidencias estadísticas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de datos de TKPH de ciclos de acarreo con camiones mineros

Para hallar el impacto del TKPH en la eficiencia operativa de los camiones mineros se realizó el análisis de la correlación de Pearson del índice de TKPH con la distancia equivalente o EFH, la distancia recorrida en pendiente, el tiempo operativo de ciclo, el factor K1 que toma en cuenta la distancia recorrida y el factor K2 que toma en cuenta la temperatura ambiental. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de correlación de Pearson de TKPH periodo de junio a septiembre de 2024.

	Distancia Equivalente (KM)	Distancia en pendiente (KM)	Tiempo Operativo (Minutos)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2
Distancia Equivalente (KM)	1					
Distancia en pendiente (KM)	0.98	1				
Tiempo Operativo (Minutos)	0.85	0.85	1			
Velocidad Media (Km/h)	0.53	0.57	0.20	1		
Factor K1	0.94	0.96	0.81	0.57	1	
Factor K2	0.38	0.41	0.20	0.72	0.40	1
TKPH	0.60	0.64	0.30	0.96	0.65	0.82

Nota. Elaboración propia.

Así también se realizó el análisis de la estadística descriptiva de los datos obtenidos de 162 mil registros de ciclos de acarreo incluyendo distancias, velocidad media, factores K1 y K2 de los camiones mineros CAT de los meses de junio a septiembre de 2024 (Tabla 10).

Tabla 10

Estadística descriptiva del TKPH de los ciclos de acarreo con camiones del periodo de junio a septiembre.

	Distancia Equivalente (KM)	Distancia en pendiente (KM)	Tiempo Operativo (Minutos)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH
Media	12.76	8.50	29.98	29.98	1.08	0.67	872.49
Error típico	0.0116	0.0081	0.0216	0.0216	0.0001	0.0002	0.7941
Mediana	13.2	8.6	30.3	30.3	1.1	0.7	896.2
Moda	0.37	0.05	31.13	31.13	1.00	0.65	903.37
Desviación estándar	4.69	3.24	8.68	8.68	0.05	0.10	319.69
Varianza de la muestra	21.98	10.52	75.33	75.33	0.00	0.01	102202.59
Curtosis	-0.16	-0.36	1.14	1.14	-1.14	4.29	-0.34
Coeficiente de asimetría	0.03	-0.05	0.10	0.10	-0.44	-1.42	-0.22
Rango	43.23	31.50	171.27	171.27	0.21	0.89	2775.22
Mínimo	0.02	0.02	0.37	0.37	1.00	0.01	0.02
Máximo	43.25	31.53	171.63	171.63	1.21	0.89	2775.24

Nota. Elaboración propia.

El índice TKPH mide la capacidad de un neumático para soportar cargas y velocidades en camiones mineros, siendo importante para prevenir sobrecargas y garantizar su durabilidad. En este caso, se analizaron 162 mil ciclos de acarreo entre junio y septiembre, obteniendo una media de 872.49, lo que indica que la mayoría de los eventos se sitúan por debajo del umbral de 1300 necesario para considerar un TKPH alto. Esto se refuerza con la mediana (896.2) y la moda (903.37), que también reflejan valores predominantemente bajos.

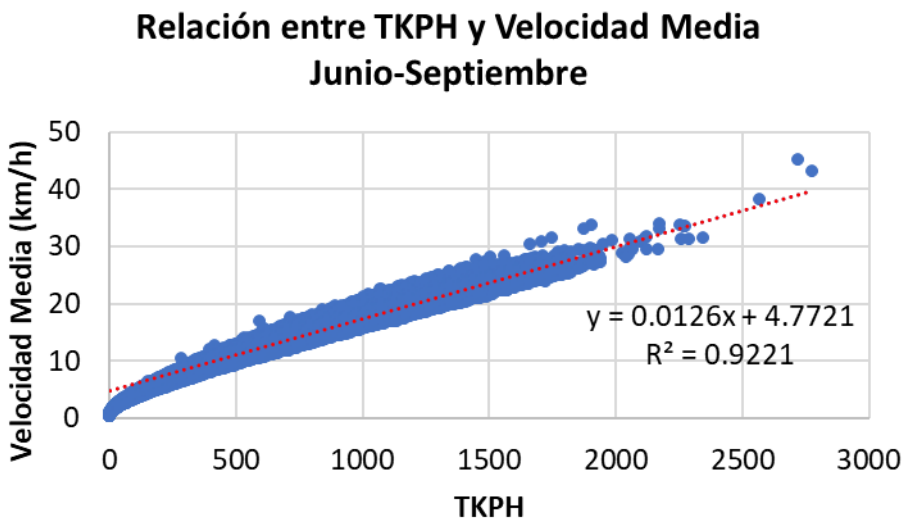
Si bien los valores de TKPH altos (>1300) son poco frecuentes en la distribución analizada, se puede concluir que los eventos de alta demanda sobre los neumáticos son poco frecuentes. No obstante, si bien los eventos TKPH alto son raros estos pueden tener consecuencias graves para la eficiencia operativa de los camiones que podría generar rotura o desprendimiento de neumáticos, paradas de camiones y otros que generan tiempos no operativos.

4.1.1. Relación entre TKPH y Velocidad Media

Se analizaron 162 mil ciclos de acarreo de camiones mineros entre junio y septiembre de 2024, obteniéndose una correlación de Pearson de 0.961 y una relación R cuadrado de 0.922 entre el índice TKPH y la velocidad media como se muestra en la Figura 11. Este valor indica una relación positiva y muy fuerte, es decir, a medida que aumenta la velocidad media de los camiones, también lo hace el índice TKPH, un indicador que combina la velocidad, carga y distancia recorrida, y que tiene implicaciones directas en la resistencia y durabilidad de los neumáticos.

Figura 11

Relación entre TKPH y Velocidad Media de los camiones Autónomos



Nota. Elaboración propia

El comportamiento de los datos muestra que, aunque la mayoría de los ciclos se agrupan cerca del promedio, existen casos excepcionales de velocidades mucho mayores. Esta variabilidad puede afectar el índice TKPH, ya que velocidades elevadas incrementan el estrés térmico en los neumáticos, reduciendo su vida útil y aumentando el riesgo de paradas imprevistas, desprendimiento del caucho hasta incendios de neumáticos.

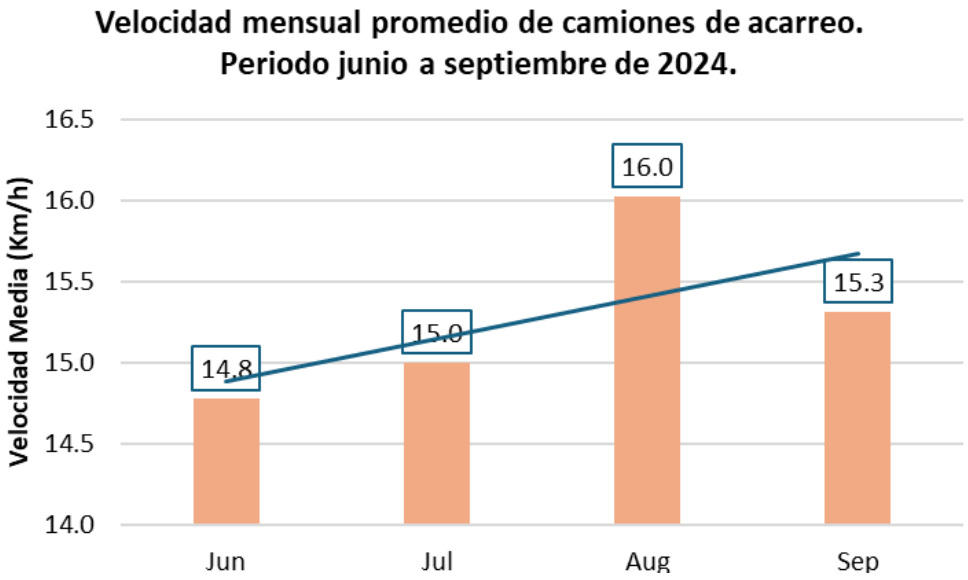
La estadística descriptiva de la velocidad media revela que el promedio fue de 29.98 km/h, con una mediana de 30.3 km/h y una moda de 31.13 km/h, sugiriendo

un comportamiento centralizado cercano a estos valores. La desviación estándar de 8.68 indica una variabilidad moderada, mientras que el rango (171.27) y el valor máximo (171.63 km/h) sugieren la existencia de datos atípicos o situaciones extremas. La curtosis de 1.14 y el coeficiente de asimetría de 0.10 reflejan una distribución ligeramente más concentrada que la normal, con una tendencia simétrica.

La Figura 11 muestra la evolución de la velocidad media durante los meses de junio a septiembre, se observa una tendencia positiva de incremento de la velocidad media de 14.8 y 15 km/h en junio y julio a 16 y 15.3 km/h en agostos y septiembre.

Figura 12

Velocidad media de los camiones de acarreo durante los meses de junio a septiembre de 2024



Nota. Elaboración propia.

Para maximizar la eficiencia operativa de los camiones y evitar eventos relacionados con el TKPH, se recomienda:

- Establecer y controlar límites de velocidad operativos que minimicen el estrés en los neumáticos.
- Monitorear y analizar en tiempo real la velocidad media y el índice TKPH para identificar patrones de riesgo.

- Revisar los ciclos atípicos, evaluando si son necesarios o si se pueden evitar mediante ajustes operativos.
- Evaluar la velocidad óptima de los camiones mineros en pendientes, en tanto que la distancia recorrida en pendiente tiene una fuerte influencia.

4.1.2. Comprobación de hipótesis de velocidad media de acarreo con 95% de confianza.

Para la comprobación de la hipótesis se utilizó un nivel de confianza del 95%, se realizó la prueba de normalidad de la Tabla 11 y posteriormente se aplicó la prueba t, para probar estadísticamente que la reducción de eventos TKPH tuvieron un efecto en la velocidad media de los camiones mineros.

Tabla 11

Estadística descriptiva y normalidad de los datos de velocidad media de los camiones

Descriptivas	Velocidad Media
N	4
Media	15.3
Mediana	15.2
Desviación estándar	0.525
Mínimo	14.8
Máximo	16.0
W de Shapiro-Wilk	0.924
Valor p de Shapiro-Wilk	0.562
Normalidad	0.562>0.05 (Los datos son normales)

Nota. Elaborado con SPSS en base a los datos de TKPH acumulado.

Una vez comprobada la normalidad de los datos se aplicó la prueba t de student para los valores de TKPH antes y después de la reducción de eventos TKPH en la Tabla 12. Como resultado se obtuvo un p valor de 0.344, este es mayor que el umbral de significancia de 0.05, por lo que no hay evidencia estadísticamente

significativa para rechazar la hipótesis nula, es decir los controles TKPH incrementaron la velocidad media de los 30 camiones CAT 794 AC.

Tabla 12

Prueba de comprobación de hipótesis de reducción de TKPH

Prueba T para Muestras Apareadas			estadístico	gl	p
Velocidad 1	Velocidad 2	T de Student	-1.67	1.00	0.344

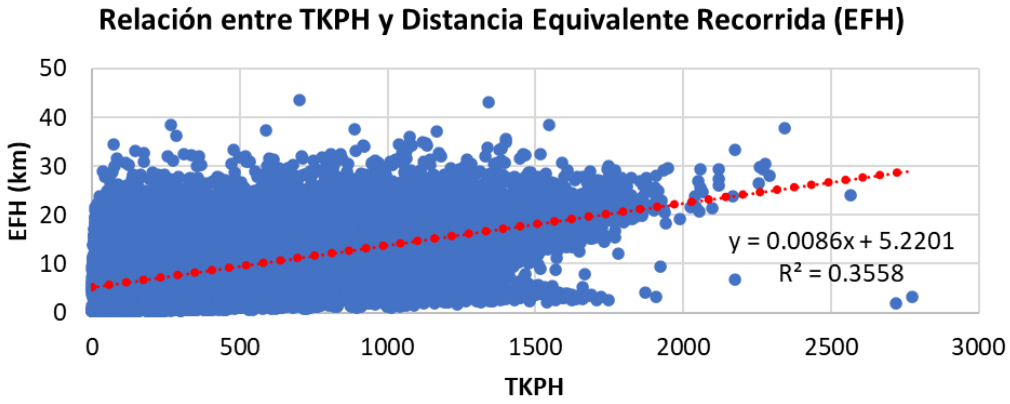
Nota. H_a $\mu_{\text{Medida 1 - Medida 2}} \neq 0$

4.1.3. Relación entre TKPH y Distancia Equivalente Recorrida

El análisis estadístico descriptivo realizado sobre los 162 mil registros de ciclos de acarreo en el periodo junio a septiembre de 2024 permitió obtener una correlación de Pearson de 0.6 y un R cuadrado de 0.356 de acuerdo a la Figura 13, lo cual indica una relación moderada y positiva entre la Distancia Recorrida Equivalente de los camiones y el índice TKPH, es decir a mayor distancia equivalente mayores índices TKPH.

Figura 13

Relación entre TKPH y Distancia Equivalente Recorrida de los Camiones Autónomos



Nota. Elaboración propia.

Por tanto, se debe tomar en cuenta las distancias asignadas y las longitudes de las rutas de acarreo al momento de diseñar estrategias de gestión para minimizar los eventos de TKPH alto. Aquí se plantea que se debe asignar rutas más cortas a

camiones con problemas de TKPH y así mejorar la eficiencia de los camiones, para esto se evalúa más adelante la relación del TKPH alto con las rutas de acarreo de la unidad minera.

En cuanto a la estadística descriptiva de la distancia equivalente, esta muestra que su distribución tiene una media de 12.76 km, con un error típico muy bajo de 0.0116, lo que sugiere una alta precisión en la estimación de esta medida central. La mediana, ligeramente mayor que la media, con un valor de 13.2 km por ciclo de acarreo, indica una ligera inclinación hacia valores mayores, aunque el coeficiente de asimetría cercano a 0 (0.03) confirma que la distribución es prácticamente simétrica. La moda, significativamente más baja, con un valor de 0.37 km, evidencia la presencia de una alta concentración de ciclos con rutas cortas de acarreo.

La dispersión en los datos es notable, con una desviación estándar de 4.69 km y una varianza de 21.98, lo que refleja la diversidad de las distancias recorridas por los camiones en los distintos ciclos. El rango de 43.23 km, junto con los valores mínimos y máximos de 0.02 km y 43.25 km respectivamente, muestran cierta amplitud de los datos analizados. Sin embargo, la curtosis de -0.16 indica una distribución ligeramente más plana que la normal, lo que sugiere menos valores extremos de lo esperado en una curva normal.

4.1.4. Relación entre TKPH y Distancia Recorrida en Pendiente

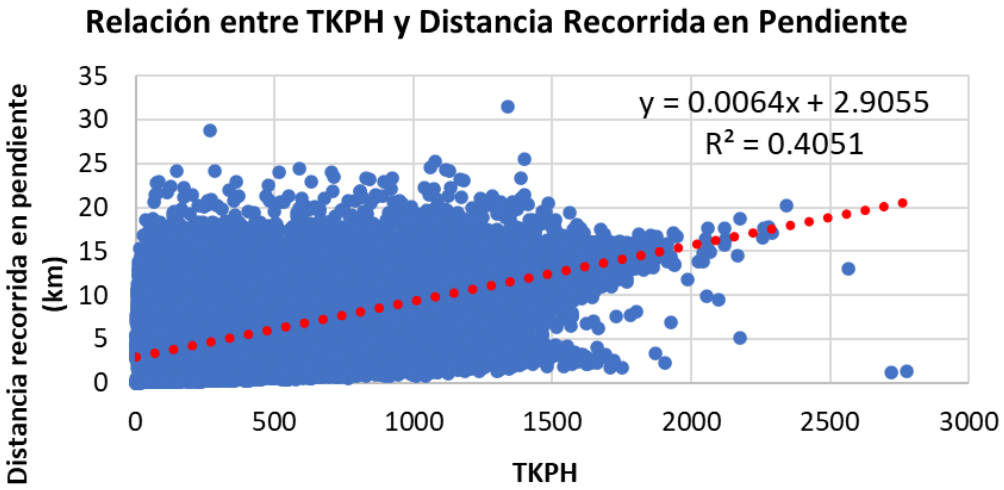
La correlación de Pearson obtenida entre el índice TKPH y la distancia recorrida en pendiente, con un valor de 0.64 y un R cuadrado de 0.405 como se muestra en la Figura 14. Esto muestra una relación positiva moderada entre ambas variables en los 162 mil registros de ciclos de acarreo de camiones mineros analizados. Este coeficiente supera ligeramente la correlación calculada entre el índice TKPH y la Distancia Recorrida Equivalente, que fue de 0.60, lo que indica que la distancia recorrida en pendientes tiene una mayor influencia relativa sobre el índice TKPH en los camiones mineros de la unidad minera.

Por otro lado, al analizar la estadística descriptiva de la distancia recorrida en pendiente por los camiones entre los meses de junio a septiembre, se observa una

distribución centrada en una media de 8.50 kilómetros, muy cercana a la mediana de 8.6 kilómetros, lo que refleja una distribución aproximadamente simétrica, corroborada por un coeficiente de asimetría de -0.05. La curtosis de -0.36 sugiere que la distribución es ligeramente menos concentrada alrededor de la media que una distribución normal.

Figura 14

Relación entre TKPH y Distancia Recorrida en Pendiente de los Camiones Autónomos



Nota. Elaboración propia.

Sin embargo, la desviación estándar de 3.24 kilómetros y un rango de 31.50 kilómetros indican una variabilidad considerable en las distancias recorridas, con valores que oscilan entre un mínimo de 0.02 kilómetros y un máximo de 31.53 kilómetros. A pesar de esta amplitud, la moda de 0.05 kilómetros señala una alta frecuencia de trayectos cortos, posiblemente asociados a operaciones específicas. El error típico de 0.0081 kilómetros refleja una alta precisión en la estimación de la media, respaldado por una varianza de 10.52 kilómetros cuadrados, que cuantifica la dispersión de los datos.

En resumen, la distancia recorrida en pendientes es un factor más importante que la distancia equivalente plana para el análisis del desempeño de los camiones mineros, especialmente al considerar su relación con el índice TKPH, un parámetro que afecta la eficiencia de los ciclos de acarreo. La variabilidad observada en las

distancias también sugiere la necesidad de estrategias de gestión que optimicen el rendimiento en función de las condiciones específicas de las pendientes y de las rutas.

4.1.5. Relación entre Índice TKPH y Tiempo Operativo del Ciclo de Acarreo

El análisis de los datos de 162 mil ciclos de acarreo con camiones mineros en la unidad a cielo abierto arroja una correlación de Pearson de 0.30 entre el índice de TKPH (Toneladas Kilómetros por Hora) registrado de los camiones y el tiempo operativo o duración de la ruta de acarreo. Este valor de correlación indica una relación positiva débil entre ambas variables; es decir, cuando el TKPH aumenta, el tiempo operativo tiende a incrementarse ligeramente, aunque esta relación no es particularmente fuerte. En términos prácticos, sugiere que la duración de los ciclos de acarreo influye limitadamente el desempeño del índice TKPH, posiblemente debido a otros factores más significativos como las condiciones de la ruta o la velocidad de los camiones.

En cuanto a la estadística descriptiva, se observa que la duración promedio de un ciclo de acarreo es de 29.98 minutos, con una mediana cercana de 30.3 minutos, lo que sugiere que los datos están bastante centrados en torno a este valor. La moda de 31.13 minutos también confirma una tendencia central similar. Sin embargo, la desviación estándar de 8.68 minutos muestra que hay una variación significativa en los tiempos de los ciclos. El rango, que va desde un mínimo de 0.37 minutos hasta un máximo de 171.63 minutos, refuerza la existencia de valores extremos que podrían estar influenciados por eventos atípicos como interrupciones operativas o rutas particularmente largas.

El coeficiente de asimetría de 0.10 indica que los datos están casi simétricos, mientras que la curtosis de 1.14 muestra una distribución levemente más concentrada que la normal. En conjunto, los datos sugieren una distribución razonablemente consistente, aunque con variabilidad significativa debido a factores inherentes a las operaciones mineras.

4.1.6. Relación entre Índice TKPH y el Factor K1

Los datos analizados corresponden a una población bastante robusta con 162 mil ciclos de acarreo analizados entre junio y septiembre de 2024. La correlación de Pearson obtenida, con un valor de 0.65 entre el índice TKPH y el factor K1 calculado por monitoreo digital, indica una relación positiva moderada entre ambas variables. Es decir, a medida que aumenta el TKPH, también lo hace el factor K1, aunque no de manera proporcional. Este patrón es consistente con las correlaciones observadas entre TKPH y Distancia equivalente (0.6), así como entre TKPH y la distancia recorrida en pendiente (0.65), lo que demuestra la influencia de la longitud de las rutas de acarreo en el comportamiento del TKPH de los camiones.

La estadística descriptiva del factor K1 calculado muestra una media de 1.08, con una desviación estándar de 0.05, lo que indica una baja dispersión en los datos. El rango es limitado (0.21), con un mínimo de 1.00 y un máximo de 1.21, lo que evidencia estabilidad en los valores del factor K1. La curtosis negativa (-1.14) señala una distribución más plana que la normal, mientras que el coeficiente de asimetría (-0.44) indica una ligera tendencia hacia valores menores a la media. Estos datos reflejan un comportamiento uniforme, sin variaciones significativas, lo que facilita la interpretación y la toma de decisiones.

A partir de estos resultados, es recomendable optimizar las condiciones de operación a través de la gestión de las rutas de acarreo para maximizar la eficiencia operativa de los camiones y minimizar eventos de TKPH altos, que podrían causar paradas no programadas. Esto incluye monitorear en tiempo real el factor K1 y el TKPH, ajustando los ciclos de acarreo para evitar sobrecargar los camiones, especialmente en tramos con pendientes pronunciadas. Además, se sugiere analizar las condiciones del terreno y mantener una programación eficiente de los tiempos de operación, asegurando que los camiones trabajen dentro de los límites óptimos definidos por el monitoreo digital.

4.1.7. Relación entre Índice TKPH y el Factor K 2

Se analizaron los ciclos de acarreo de la flota de camiones mineros, con un total de 162 mil registros entre junio y septiembre de 2024. Como resultado, se identificó una correlación de Pearson de 0.82 entre el Índice TKPH de los camiones y el factor K2, calculado mediante monitoreo digital. Esta correlación sugiere una relación positiva fuerte: a medida que aumenta el factor K2, también tiende a incrementarse el TKPH. Para calcular el factor K2, se utilizan datos obtenidos de sensores que monitorean parámetros como temperatura ambiental, carga, velocidad, distancia y pendientes, integrados en un modelo matemático que considera las condiciones operativas específicas del acarreo.

El índice TKPH es un indicador importante que mide la capacidad térmica de los neumáticos frente a las exigencias de operación. La temperatura ambiental afecta significativamente este índice, ya que temperaturas elevadas incrementan el calor acumulado en los neumáticos, elevando el riesgo de sobrecalentamiento y desgaste acelerado. Por lo tanto, una mayor temperatura ambiental puede limitar la operación de los camiones para prevenir fallas en los neumáticos.

La estadística descriptiva del factor K2 calculado revela que la media es 0.67, con una desviación estándar de 0.10, indicando que la mayoría de los valores están cercanos al promedio. Sin embargo, la asimetría negativa (-1.42) y la curtosis elevada (4.29) sugieren una distribución sesgada hacia valores más bajos y con una mayor concentración de datos alrededor de la moda (0.65). El rango es amplio (0.89), con un mínimo de 0.01 y un máximo de 0.89, lo que refleja variabilidad considerable en las condiciones operativas de los camiones.

A partir de estos datos, se puede recomendar ajustar las operaciones para minimizar eventos de TKPH altos. Esto incluye evitar sobrecargas y reducir velocidades en pendientes pronunciadas, especialmente en condiciones de alta temperatura ambiental. También se podría implementar un sistema de monitoreo predictivo que anticipe desviaciones críticas del factor K2 y optimice las rutas y tiempos de operación, maximizando así la eficiencia operativa de los camiones y reduciendo riesgos asociados al desgaste térmico de los neumáticos.

4.1.8. TKPH y Rutas de Acarreo

La Tabla 13 presenta datos sobre el número de eventos con valores de TKPH superiores a 1300, clasificados por ruta, así como el total de ciclos de acarreo y el porcentaje de estos ciclos que superaron dicho umbral. El periodo evaluado de esta información corresponde a los meses de junio a septiembre del año 2024.

Tabla 13

Análisis de rutas de acarreo y eventos TKPH>1300

Ruta	N° de eventos TKPH>1300	N° de ciclos de acarreo	Proporción de eventos TKPH>1300
BOTADERO EST 1	245	572	42.8%
BOTADERO EST 2	221	574	38.5%
BOTADERO EST 3	2330	8277	28.2%
BOTADERO EST 4	3069	11331	27.1%
BOTADERO EST 5	1331	4924	27.0%
BOTADERO EST 6	526	2074	25.4%
BOTADERO EST 7	252	1225	20.6%
BOTADERO EST 8	332	1709	19.4%
BOTADERO EST 9	360	4200	8.6%
BOTADERO EST 10	321	3750	8.6%
BOTADERO EST 11	373	5348	7.0%
BOTADERO SUREST 1	700	10442	6.7%
BOTADERO SUREST 2	449	7001	6.4%
BOTADERO SUREST 3	84	1389	6.0%
BOTADERO R	39	701	5.6%
BOTADERO ALT 1	55	1090	5.0%
BOTADERO EST 12	117	2878	4.1%
BOTADERO ALT 2	95	2586	3.7%
BOTADERO SUREST 4	51	1619	3.2%
BOTADERO ALT 3	31	1082	2.9%
BOTADERO ALT 4	36	1343	2.7%
BOTADERO EST 13	35	1514	2.3%
BOTADERO ALT 5	47	2069	2.3%
BOTADERO ALT 6	52	2461	2.1%
BOTADERO ALT 7	10	501	2.0%
BOTADERO ALT 8	2	550	0.4%
CHANCADORA	135	53786	0.3%

Nota. Elaboración propia.

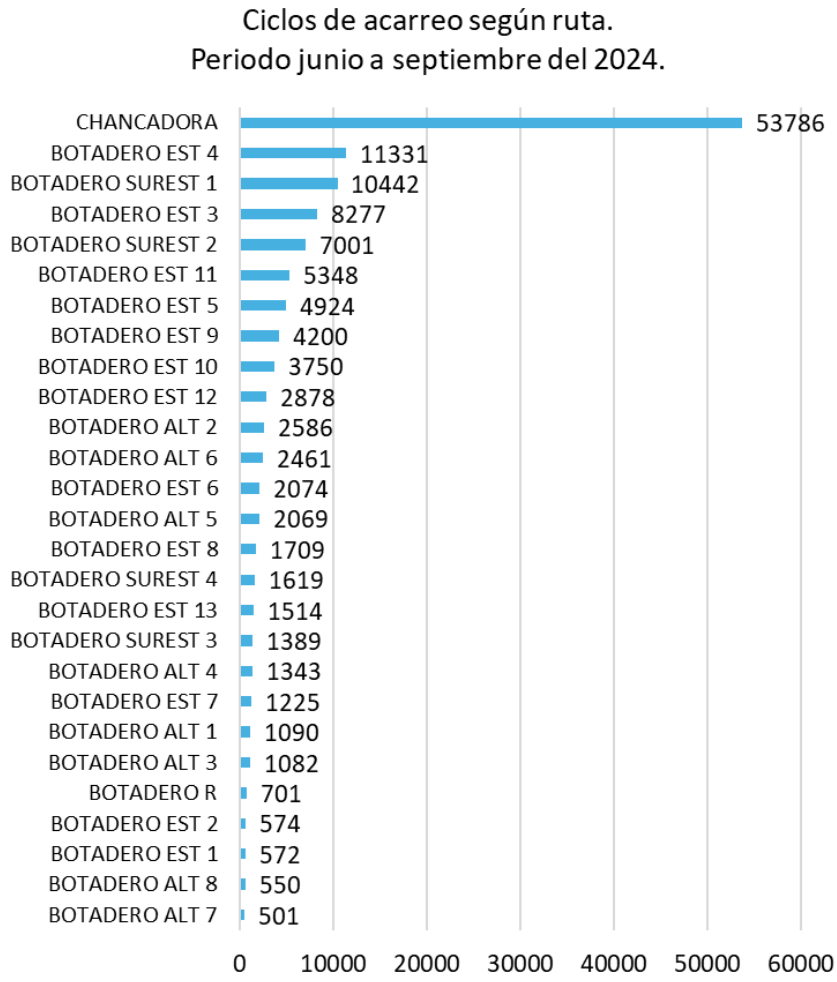
En general, los valores de TKPH superiores a 1300 son considerados altos y reflejan eventos de mayor esfuerzo o desgaste para los equipos. El análisis del cuadro muestra datos resaltantes sobre las rutas de los botaderos, especialmente en relación con la distribución de los eventos de TKPH elevado, aquellos con un valor de TKPH superior a 1300. Entre las rutas con un mayor porcentaje de estos eventos, se encuentran el Botadero EST 1, con un 42.8%, seguido de cerca por el

Botadero EST 2, con un 38.5%. Estos porcentajes indican que en estas rutas se presentan más frecuentemente situaciones con una alta carga de trabajo.

Las rutas que presentan un mayor número de eventos con TKPH alto son principalmente las que tienen un mayor número total de ciclos. Por ejemplo, en la ruta "BOTADERO EST 4" se registraron 3069 eventos con más de 1300 TKPH, que corresponden al 27.1% de un total de 11331 ciclos de acarreo. De manera similar, en la ruta "BOTADERO EST 5", con 1331 eventos y un porcentaje del 27.0%, el número de eventos altos también es significativo en relación al total de ciclos (4924).

Figura 15

Número de ciclos de acarreo de acuerdo a la ruta del periodo junio a septiembre del 2024



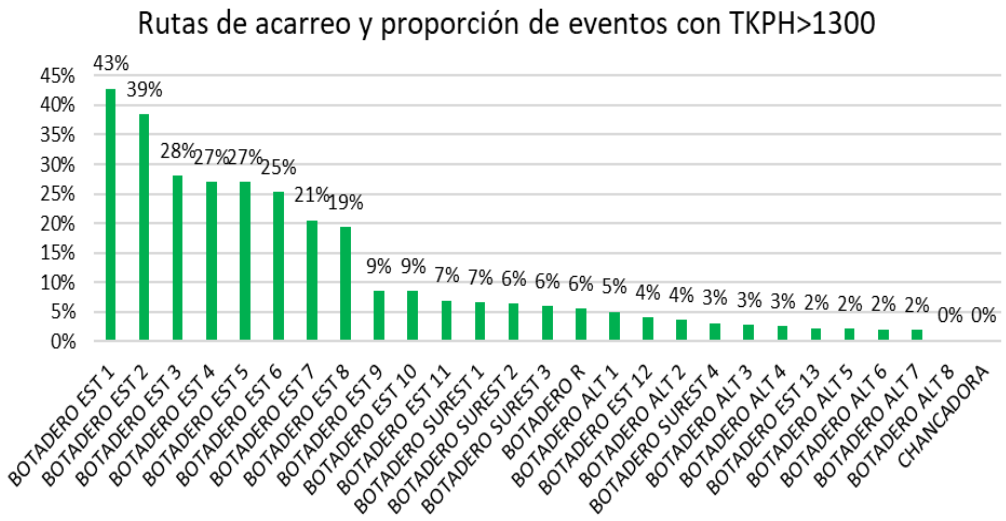
Nota. Elaboración propia.

La Figura 15 muestra las rutas con mayor número de ciclos de acarreo de acuerdo a los datos analizados de junio a septiembre del año 2024. La ruta con mayor número de ciclos fue la ruta hacia la chancadora primaria con 53,786 ciclos en 4 meses, lo que equivale a 13,446 ciclos de acarreo al mes. En segundo lugar, se encuentran las rutas de acarreo hacia los distintos puntos del botadero ubicado al este de la unidad minera como “BOTADERO EST” 3, 4, y 11; así como “BOTADERO SUREST” 1 y 2.

Por otra parte, como se puede observar en la Figura 16, la ruta "BOTADERO EST 1" tiene el mayor porcentaje de eventos altos (42.8%) y su número total de eventos es 245, lo que indica una proporción alta de ciclos que superan los 1300 TKPH, sin embargo, tuvo un total más reducido de ciclos (572). Esta tendencia también se observa en otras rutas como "BOTADERO EST 2" y "BOTADERO EST 3", con porcentajes del 38.5% y 28.2%, respectivamente, aunque con diferencias notables en el número total de ciclos.

Figura 16

Rutas de acarreo con mayor proporción de eventos TKPH que sobrepasan el umbral de 1300



Nota. *Elaboración propia.*

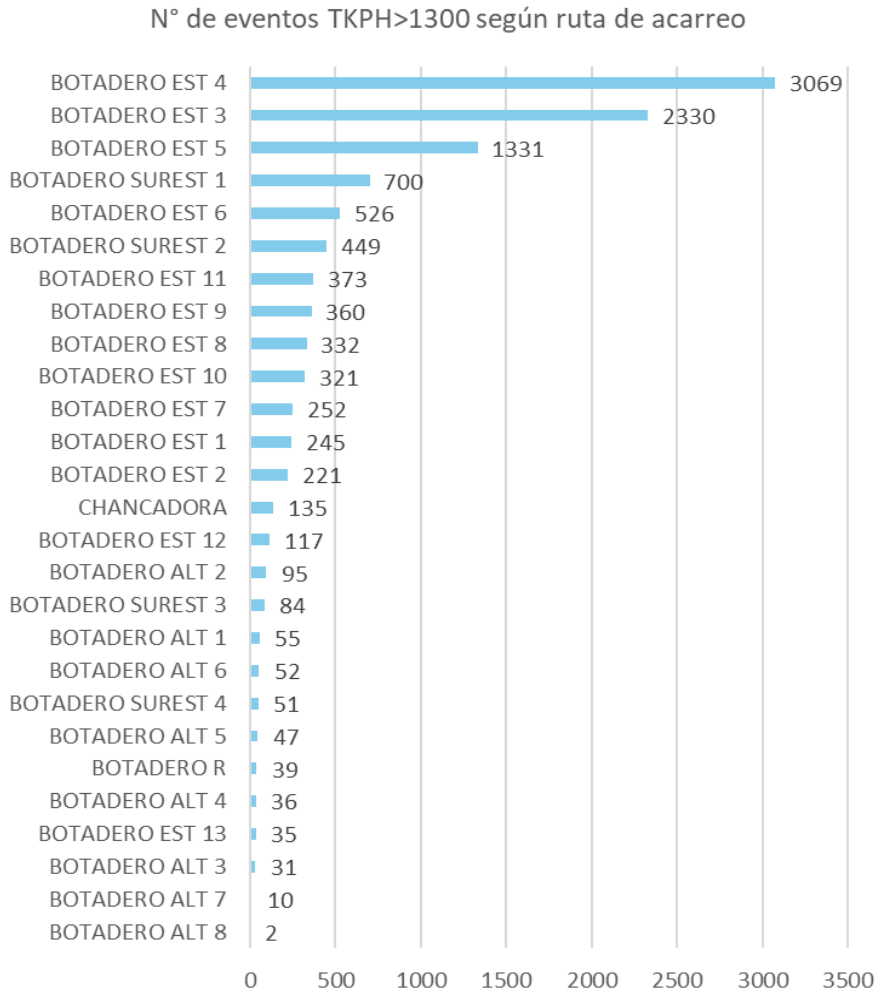
Por otro lado, existen rutas como "BOTADERO EST 13" y "BOTADERO ALT 8" y otras nueve rutas, donde el porcentaje de ciclos que superan el umbral de 1300 TKPH es muy bajo (por debajo del 5%), reflejando un número pequeño de eventos altos

en comparación con el total de ciclos. La ruta hacia la Chancadora presenta solo 135 eventos altos, lo que representa el 0.3% de un total de 53786 ciclos de acarreo, lo que la convierte en la ruta con la menor proporción de eventos altos. Esto se debe a que la planificación de la mina tomó en cuenta las distancias de los puntos de extracción, y se diseñó la chancadora en un punto cercano, lo que reduce las distancias equivalentes y en pendientes, reduciendo así el TKPH.

La Figura 17 muestra en términos absolutos aquellas rutas de acarreo con mayor ocurrencia de eventos TKPH que sobrepasan el umbral de seguridad operativa de 1300 TKPH.

Figura 17

Número de eventos TKPH>1300 según rutas de acarreo durante el periodo junio a septiembre de 2024.



Nota. *Elaboración propia.*

Entre los meses de junio a septiembre de 2024 el botadero ubicado al este de la unidad minera presentó el mayor número de eventos TKPH alto en varios de sus puntos. Es importante señalar que, aunque la ruta hacia la chancadora es la ruta más utilizada por los camiones mineros esta presenta una pequeña cantidad de eventos con 135 incidencias en cuatro meses.

4.2. Reducción de eventos TKPH y mejora de indicadores de rendimiento de camiones mineros y TKPH

Para analizar los indicadores de rendimiento se realizó la recolección de datos de horas de operación, utilización y total de horas disponibles por mes, en el periodo de junio a septiembre de 2024. Se analizaron alrededor de 162 mil datos de ciclos de camiones mineros y se obtuvieron los datos de la Tabla 14.

Tabla 14

Horas de operación, utilización y disponibles de los camiones mineros durante los meses de junio a septiembre de 2024.

Mes	Horas Operativas	Horas Utilizadas	Horas Disponibles
junio	15609	18906	19562
julio	15542	18988	20257
agosto	16620	18912	20195
septiembre	16516	18668	19552

Nota. Elaboración propia.

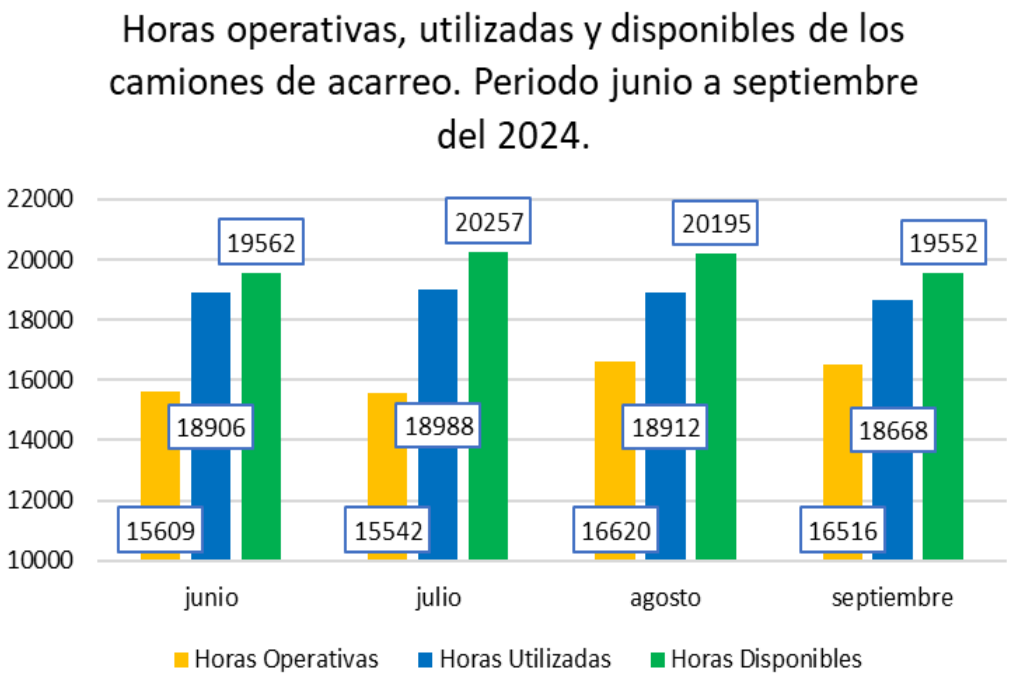
Entre junio y septiembre de 2024, los camiones mineros de una unidad minera a cielo abierto presentaron un comportamiento relativamente similar en sus horas de operación, utilización y disponibilidad. En junio, las horas operativas fueron 15,609, mientras que las horas utilizadas alcanzaron 18,906, con una disponibilidad total de 19,562 horas. En julio, las horas operativas disminuyeron ligeramente a 15,542, pero las utilizadas aumentaron a 18,988, con una disponibilidad de 20,257 horas, el valor más alto del período. Agosto mostró un incremento en las horas operativas, llegando a 16,620, mientras que las utilizadas se mantuvieron estables en 18,912, con una disponibilidad de 20,195 horas.

Finalmente, en septiembre, las horas operativas fueron similares a las de agosto, con 16,516 horas, aunque las horas utilizadas disminuyeron levemente a 18,668, y las horas disponibles se redujeron a 19,552.

Por su parte la Figura 18 compara las horas totales de operación, utilización y disponibilidad por cada mes. Se debe mencionar que durante los meses de junio y septiembre el total de horas disponibles es menor debido a que esos meses tienen 30 días. No obstante, se realizaron los cálculos de los indicadores de rendimiento los cuales homogeneizan la información.

Figura 18

Comparación de horas de operación, utilización y disponibles de los camiones mineros de acarreo durante los meses de junio a septiembre de 2024.



Nota. Elaboración propia.

En el análisis de los indicadores de rendimiento se utilizaron los datos de la Tabla 14 para calcular la Eficiencia Operativa, Utilización de la Disponibilidad y la Disponibilidad de los camiones de acarreo de la mina (Tabla 15).

Tabla 15

Indicadores de rendimiento de camiones mineros meses de junio a septiembre de 2024.

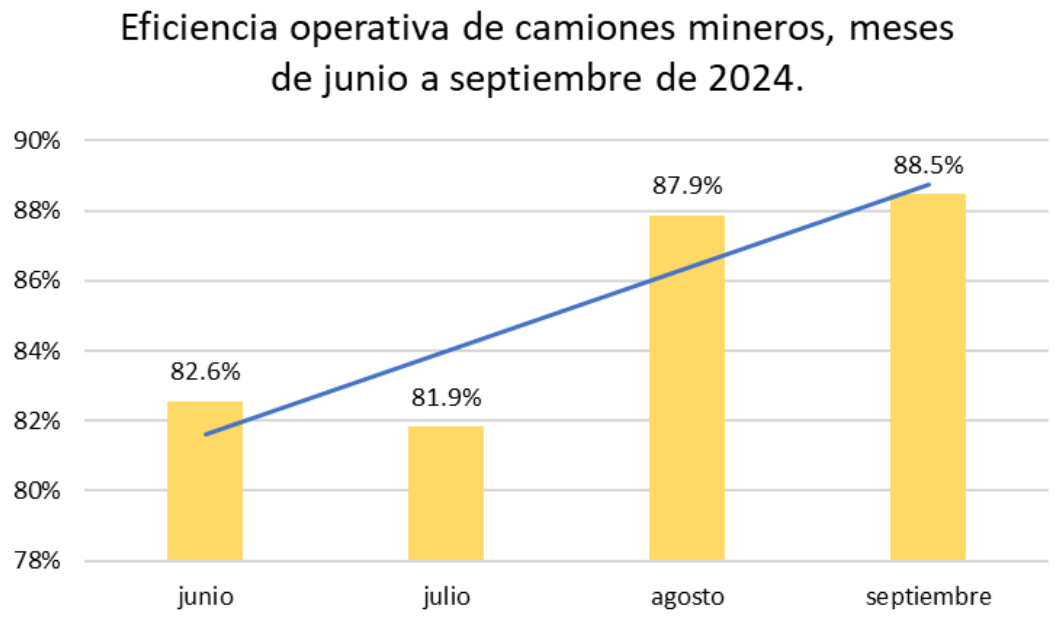
Mes	Eficiencia Operativa	Utilización de la Disponibilidad	Disponibilidad
junio	82.6%	96.6%	92.4%
julio	81.9%	93.7%	90.8%
agosto	87.9%	93.6%	90.6%
septiembre	88.5%	95.5%	90.5%

Nota. Elaboración propia.

Entre los meses de junio y septiembre, se evaluó la eficiencia operativa de los camiones mineros CAT utilizados en la operación de una mina a cielo abierto (Figura 19). Los resultados mostraron un comportamiento positivo, con un incremento gradual en la eficiencia a lo largo del período evaluado.

Figura 19

Incremento de la eficiencia operativa de los camiones mineros en el periodo de junio a septiembre del 2024.



Nota. Elaboración propia.

En junio, la eficiencia operativa fue de 82.6%, mientras que en julio disminuyó levemente a 81.9%. Sin embargo, a partir de agosto, se evidenció una mejora significativa, alcanzando un 87.9%, y en septiembre el nivel continuó aumentando, llegando al 88.5%. Este comportamiento refleja una tendencia positiva sostenida. El análisis señala que el aumento observado entre junio y agosto se debe, en gran parte, a los ajustes en la gestión de operaciones implementados. Estos ajustes incrementaron el uso eficiente de los recursos y redujeron tiempos muertos, lo que permitió aumentar las horas operativas efectivas de los camiones.

4.2.1. Cuadro comparativo de productividad

Para calcular el incremento de la productividad se proyectó el mineral y desmonte total acarreado de acuerdo a la Tabla 16, en base a la capacidad de procesamiento de la Planta de Beneficio y los registros de acarreo. Posteriormente se calculó el incremento de eficiencia operativa de 5.95% aplicado de la Figura 19, como resultado el acarreo se incrementó de 127.5 mil ton/día a 135.1 mil ton/día de mineral acarreado. Por su parte el transporte de desmonte se incrementó de 246.9 mil a 261.6 mil ton/día.

Tabla 16

Cuadro comparativo de productividad de acuerdo a material acarreado por día

Material transportado	Total al año (ton)	Ton/Día Antes	Ton/Día Después
Mineral – Proyección (ton)	46537500	127500	135086.25
Desmonte - Proyección (ton)	90124242.54	246916	261607.22

Nota. Elaboración propia en base al incremento de Eficiencia Operativa de 5.85% y los registros de acarreo de junio a septiembre de 2024.

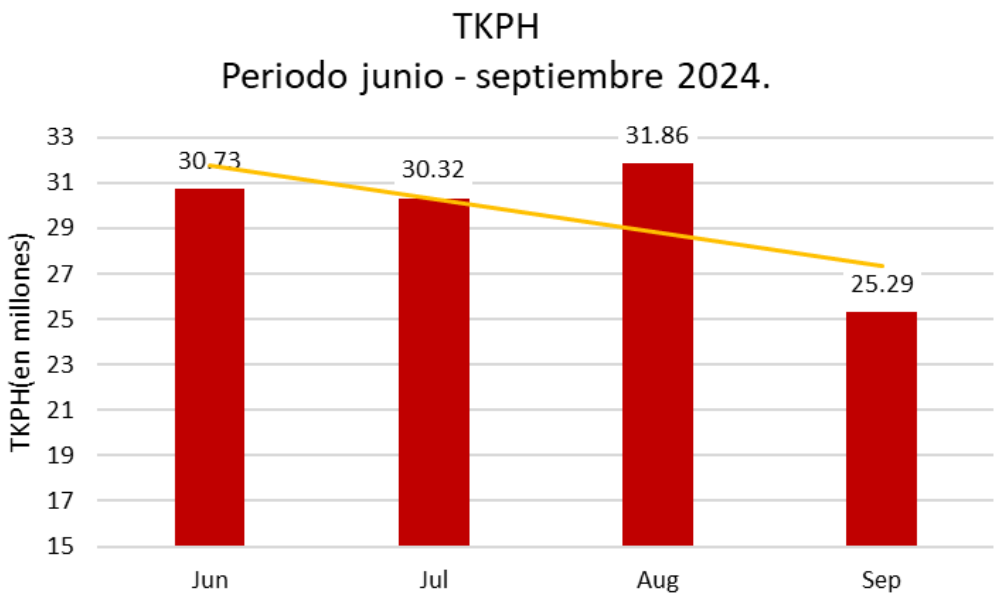
4.2.2. Reducción de TKPH acumulado

El próximo paso es examinar el TKPH acumulado (Figura 20), esto permitió correlacionar el aumento en la eficiencia operativa con el TKPH que a menudo está relacionado al desgaste y la resistencia de los equipos a las demandas operativas.

Como se puede observar existe una disminución del TKPH acumulado a nivel general, demostrado por la línea de tendencia del gráfico.

Figura 20

TKPH acumulado meses de junio a septiembre 2024



Nota. Elaboración propia.

No obstante, en el mes de agosto hubo un TKPH acumulado bastante alto de 31.86 millones, comparado con 30.32 millones del mes anterior. Esto quiere decir que puede haber simultáneamente un incremento del indicador de rendimiento eficiencia operativa y un incremento del TKPH, por otra parte, en el mes de septiembre se registró el TKPH acumulado más bajo de los cuatro meses evaluados con 25.29 millones comparado con 31.86 millones. Esto significa que lo contrario también sucede, es decir se puede incrementar la eficiencia operativa y también disminuir el TKPH operativo.

Antes de la implementación de medidas de reducción de eventos TKPH, el TKPH acumulado promedio era 30.5 millones (calculado en base al periodo enero a julio), posteriormente el TKPH acumulado promedio disminuyó 6.82% es decir a 28.6 M (calculado en base a los resultados de agosto y septiembre).

No obstante, para corroborar la correlación entre TKPH y el indicador de rendimiento de eficiencia operativa se aplicó la prueba de correlación de Pearson

y se obtuvo un resultado de -0.443. Este resultado indica una correlación negativa moderada entre ambos indicadores. Es decir, a medida que el TKPH acumulado aumenta, la eficiencia operativa tiende a disminuir de forma proporcional, aunque no de manera estrictamente lineal.

Este comportamiento puede interpretarse como un posible efecto del mayor desgaste de los neumáticos y del estrés operativo asociado a mayores valores de TKPH, lo que podría impactar negativamente en la capacidad de los camiones para mantener un rendimiento constante. Sin embargo, la correlación moderada sugiere que otros factores, además del TKPH, también influyen en el desempeño del indicador eficiencia operativa, como la gestión de recursos o las condiciones de mantenimiento.

4.2.3. Comprobación de hipótesis con un nivel de confianza del 95%

Para la comprobación de la hipótesis se utilizó un nivel de confianza del 95% y se realizó la prueba de normalidad de la Tabla 17, posteriormente se aplicó la prueba t, para probar estadísticamente que las medidas de control tuvieron un efecto en la reducción del TKPH acumulado.

Tabla 17

Estadística descriptiva y normalidad de los datos de reducción de TKPH

Descriptivas	TKPH Acumulado
N	4
Media	85.2
Mediana	85.3
Desviación estándar	3.46
Mínimo	81.9
Máximo	88.5
W de Shapiro-Wilk	0.819
Valor p de Shapiro-Wilk	0.141
Normalidad	0.141>0.05 (Los datos son normales)

Nota. Elaborado con SPSS en base a los datos de TKPH acumulado.

Una vez comprobada la normalidad de los datos se aplicó la prueba t de student para los valores de TKPH antes y después de la reducción de eventos TKPH en la Tabla 18. Como resultado se obtuvo un p valor de 0.069, este es mayor que el umbral típico de significancia de 0.05, lo que sugiere que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula, es decir se comprueba que los controles TKPH incrementaron significativamente la eficiencia operativa de los 30 camiones CAT 794 AC.

Tabla 18

Prueba de comprobación de hipótesis de eficiencia operativa

Prueba T para Muestras Apareadas			Estadístico	gl	p
Eficiencia Operativa 1	Eficiencia Operativa 2	T de Student	-9.15	1.00	0.069

Nota. $H_a\ \mu_{\text{Medida 1 - Medida 2}} \neq 0$

4.3. TKPH Alto y Costos por Paradas de Camiones

Para hallar los costos asociados a los eventos de TKPH altos que se estimaron los costos por paradas de vehículos en el mes de mayo, como resultado se calculó que se incurrió en un costo US$ 343,575.00, de acuerdo a la Tabla 19. El mayor costo fue la pérdida de productividad de los camiones con un monto de US$ 148,551.00, debido a los costos fijos de los camiones autónomos que se aplican cuando están o no realizando funciones de acarreo o se encuentran parados. En segundo lugar están los costos por reemplazo de neumáticos OTR con US$ 79,000.00 los cuales se han obtenido de la probabilidad de que un neumático se desprenda o tenga que ser reemplazado debido al intenso uso y las condiciones extremas de temperatura que ocurren durante un evento TKPH elevado.

Tabla 19

Estimación de costos de producto debido a TKPH alto del mes de mayo 2024.

Nombre del artículo	Descripción del artículo	Unid.	$/unidad	Total
Combustible 794 AC	Combustible camiones por cambio de ruta. (Galones)	2990	5.00	14,950.00
Paradas de camiones	Pérdida de productividad. (Horas)	293	507.00	148,551.00
Mantenimiento Inspección	Mantenimiento inspección de neumáticos. (por Evento)	23	220.00	5,060.00
Neumáticos OTR 794AC	Neumático OTR por reemplazo. (Unidad)	2	34,500.00	79,000.00
Vida útil Neumático OTR 794AC	Reducción de vida útil del neumático. (Mes)	9	4,388.89	39,500.00
Cisterna	Traslado de cisterna. Combustible. Agua. Mantenimiento. Operación. (horas)	23	500.00	11,500.00
Mantenimiento Neumático	Mantenimiento de los neumáticos dañados. (por Evento)	23	450.00	10,350.00
Monitorear y gestionar el TKPH	Controles. Software, GPS. Dashboard. Sistema Minestar. (horas).	184	120.00	22,080.00
Total, mes de mayo (US$)			**330,991.00**	

Nota. Elaboración propia con estimación de costos a precio de mercado considerando los eventos TKPH de mayo. Cantidades en USD.

Asimismo, los eventos TKPH han causado algunas pérdidas por costos asociados a los profesionales, técnicos y personal encargado de controlar, mitigar y gestionar los eventos TKPH alto, antes, durante y después de que estos ocurran, de acuerdo a la Tabla 20.

Tabla 20

Estimación de costos de mano de obra debido a TKPH alto del mes de mayo 2024.

Nombre de la tarea	Descripción de la tarea	Horas	$/hora	Total (USD)	Observación
Mantenimiento Inspección	Inspección de neumáticos afectados por eventos TKPH alto.	276	15.00	4,140	Inspección de neumáticos OTR CAT 794AC. Operario de mantenimiento.
Mantenimiento Neumático	Reparación, mantenimiento de neumáticos afectados.	368	15.00	5,520	Reemplazo, o reparación de neumáticos OTR 794 AC. Operario de mantenimiento.
Supervisión Mina	Supervisión y coordinación de eventos de parada de camiones.	92	25.00	2,300	Las paradas de camiones requieren de la supervisión en campo. Supervisor mina.
Costos Administrativos	Gestión de eventos TKPH. Reuniones, logística, RRHH.	48	13.00	624	La gestión de eventos TKPH altos requiere de gastos administrativos, debido a reuniones operativas, elaboración de estándares, costos de los controles, recursos humanos no relacionados directamente a la operación mina.
Total, mes de mayo (US$)				**$12,584.00**	

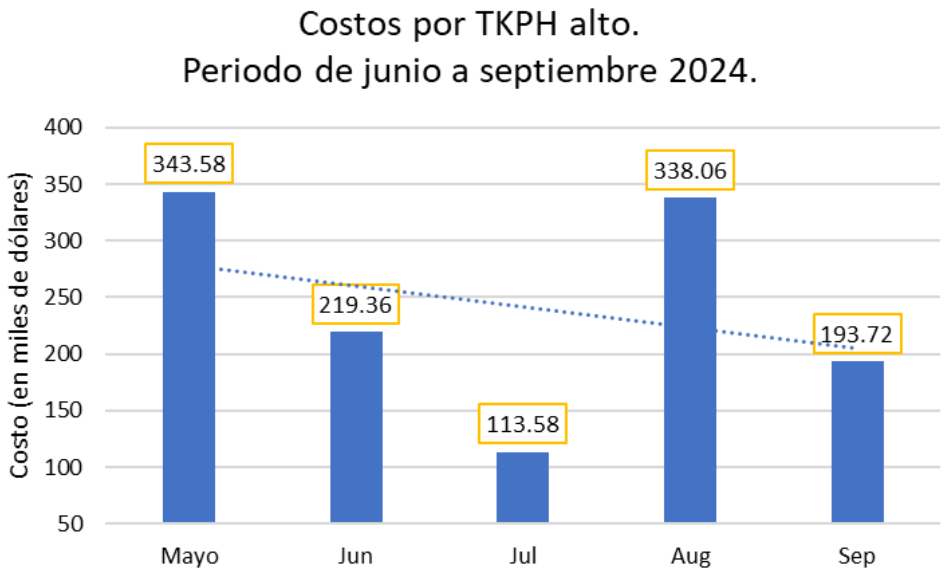
Nota. Elaboración propia con estimación de costos a precio de mercado considerando los eventos TKPH del mes de mayo. Cantidades en USD.

Tomando como línea base el mes de mayo se estimaron los costos por TKPH alto de los meses de junio a septiembre del 2024 de acuerdo a la Figura 21. De la estimación de costos del mes de mayo se propone que a mayor número de eventos de TKPH alto mayores costos incurridos debido a pérdida de productividad y pérdida de vida útil de los neumáticos. Para corroborar este punto se realizó la prueba de correlación de Pearson y se halló que existe una correlación positiva de 0.372 entre el TKPH acumulado mensual y el costo incurrido por

eventos TKPH alto mensual. Esto quiere decir que a mayor acumulación de TKPH operativo se incurre en mayores costos por pérdidas de productividad, no obstante, la relación no es perfecta 1:1, sino que existen otros factores influyentes. Por ejemplo, los eventos TKPH alto no siempre producen roturas o desprendimientos de neumáticos, o paradas de camiones, sino que depende de las circunstancias operativas en campo.

Figura 21

Evolución de los costos por TKPH alto desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre del 2024



Nota. Elaboración propia.

4.3.1. Cuadro comparativo de costos

Para hallar los costos antes y después primero se calculó el tonelaje total transportado de mineral y desmonte en el año 2024 de acuerdo a la Tabla 21. Estos datos se calcularon del promedio de material transportado entre los meses de abril, mayo, junio y julio, que fueron 11.3 millones de toneladas entre mineral y desmonte, con una proyección de 136.6 millones de toneladas. Para calcular la cantidad de mineral se proyectó la capacidad instalada de planta de beneficio de 12,7500 toneladas diarias, lo que equivale a 46.5 millones de toneladas tratadas al año, mientras que el restante 90.1 millones de material correspondería a

desmonte. Por tanto, la razón de mineral y desmonte sería 1: 1.94 para la mina estudiada.

Tabla 21

Total de mineral y desmonte transportado en el año 2024 para el cálculo de los costos totales de carguío y acarreo

Mineral y desmonte	Valor
Promedio de material transportado mensual (ton)	11388478.5
Total Anual de material transportado Mineral y Desmonte-Proyección (Ton)	136661743
Capacidad instalada de planta (TMD)	127500
Total Anual Mineral procesado - Proyección (ton)	46537500
Total Anual Desmonte - Proyección (ton)	90124242.5
Relación Mineral/Desmonte	1 : 1.94

Nota. Elaboración propia en base a datos proyectados.

Ahora bien, para calcular los costos unitarios de carguío y acarreo se utilizó la Tabla 22 de costos unitarios típicos para minería a cielo abierto.

Tabla 22

Precios unitarios típicos de producción de mineral y desmonte en minería a cielo abierto.

Ítem	Costos	COSTO DIRECTO (USD/TM)	Gastos Generales (25%)	Utilidad (10%)	TOTAL (USD/TM)
1	Producción de material				
1.1	Perforación	0.183	0.045864	0.018	0.248
1.2	Voladura	0.223	0.05584163	0.022	0.302
1.3	Remoción	0.085	0.02122313	0.008	0.115
1.4	Carguío	0.192	0.04812413	0.019	0.260
1.5	Acarreo (d = 10 km)	0.486	0.12141281	0.049	0.656
1.6	Mantenimiento de botadero	0.042	0.01052888	0.004	0.057
1.7	Mantenimiento de vías	0.032	0.00807581	0.003	0.044
Total producción de material		**1.24**	**0.31**	**0.12**	**1.68**

Nota. Elaborado en base a Matos (2020, p.47)

Por tanto, para la elaboración del cuadro de costos del antes y después se tomaron como referencia los costos directos de carguío y acarreo de acuerdo a la Tabla 23.

Tabla 23

Cuadro comparativo de costos de la aplicación de medidas de reducción de TKPH

Material transportado	Ton	Precio Unitario de Carguío y Acarreo (USD/TON)	Total Costos Directos Antes (USD)	Total Costos Directos Después (USD)	Diferencia
Mineral - Proyección (ton)	46537500	0.678	$ 31,552,425	$31,477,764	$74,661
Desmonte - Proyección (ton)	90124243	0.5763	$ 51,938,601	$51,815,701	$122,900
	Total		**$83,491,026**	**$83,293,464**	**$197,562**

Nota. Elaborado en base a la reducción de 6.82% de TKPH acumulado.

Como resultado de las medidas de reducción de TKPH se logró una reducción del 6.8% del TKPH acumulado que se traduce en USD 197,562 de reducción de costos directos de Carguío y Acarreo. Esto debido a que la reducción de eventos TKPH trae una reducción de los eventos de paradas, sobrecalentamiento de neumáticos, mantenimientos correctivos, una menor pérdida de productividad entre otros. No obstante, se debe mencionar que en la investigación se determinó que la velocidad media de los camiones mineros tiene una relación positiva con el TKPH, por lo que si se desea aumentar la velocidad se debe gestionar otros factores como las distancias, pendientes, condiciones de la ruta, etc., con el fin de mantener o reducir los costos por TKPH elevado. Por tanto, es necesario evaluar los demás factores para determinar balancear los costos de TKPH elevado y el incremento de la productividad

4.4. Discusión

Los resultados obtenidos coinciden con hallazgos previos en cuanto al monitoreo y control de los índices TKPH como una estrategia para optimizar la gestión de neumáticos y mejorar el desempeño de camiones mineros. Wibowo y Santosa

(2019) lograron importantes reducciones en costos operativos y aumentos en la disponibilidad de los camiones, demostrando que una adecuada gestión de los ciclos de trabajo y el estrés térmico de los neumáticos impacta positivamente en los indicadores de rendimiento de los camiones y la rentabilidad de la operación. Ghadimi (2024) y Kvasova et al. (2017) también demostraron la importancia de prevenir el exceso de TKPH a través de la selección adecuada de neumáticos y monitoreo constante, en línea con nuestras recomendaciones de establecer límites operativos por tramo y capacitar a los supervisores.

Los efectos de la temperatura y la topografía sobre el TKPH, identificados por Shakenov et al. (2022) y confirmados en este estudio, coinciden en la necesidad de adaptar las estrategias de operación a las condiciones climáticas y del terreno de la mina. La correlación positiva entre velocidad media y TKPH, con un coeficiente de Pearson de 0.961, respalda las observaciones de autores como Cruz (2021), quien destacó el incremento de estrés térmico con el aumento de la velocidad. Esto refuerza la recomendación de ajustar las condiciones de las rutas y limitar la velocidad en pendientes pronunciadas y climas cálidos para prolongar la vida útil de los neumáticos.

Asimismo, el análisis de rutas críticas realizado en esta investigación complementa los hallazgos de Davila (2022), quien evidenció diferencias significativas en el TKPH entre rutas. Las rutas con mayor incidencia de eventos críticos, como las del Botadero Este, representan un desafío operativo que, si no se gestiona adecuadamente, puede generar pérdidas económicas importantes, como se observó en mayo de 2024 con costos asociados a eventos de alto TKPH que superaron los 343,575 USD. Estas observaciones coinciden con los resultados de Hilasaca (2021) y Mamani et al. (2023), quienes lograron reducciones significativas en costos mediante optimizaciones en la operación y la gestión del TKPH con el uso adecuado de neumáticos.

Por último, los impactos negativos del estrés térmico acumulado en la eficiencia operativa, evidenciados en este estudio mediante una correlación negativa moderada (-0.443), coinciden con las conclusiones de autores como Asillo (2022) y Galatia (2020), quienes señalaron la importancia de una gestión proactiva del

mantenimiento y el control del TKPH para evitar una reducción en los indicadores de rendimiento de los camiones. Los resultados destacan que un enfoque transversal, que combine mejoras en las rutas, el monitoreo y respuesta de eventos TKPH alto y capacitación, es significativo para maximizar la disponibilidad, incrementar la velocidad media y reducir costos en operaciones mineras.

V. CONCLUSIONES

La presente investigación encontró estrategias de control eficaz del TKPH con el fin de mejorar los indicadores de rendimiento como Eficiencia Operativa, velocidad media y costos de los camiones mineros de acarreo en minería a cielo abierto. Se encontró que se requiere una gestión integral del TKPH, enfocada en la identificación y mitigación de los factores que contribuyen al estrés térmico de los neumáticos como las condiciones de las rutas, la distancia recorrida en pendientes, la velocidad en rutas planas y la temperatura ambiental. Se halló que estos factores influyen significativamente en el TKPH y por tanto, en los indicadores de rendimiento de los camiones. La implementación de estrategias como el monitoreo en tiempo real del TKPH, la planificación dinámica de rutas, el establecimiento de límites de velocidad operativa y la capacitación del personal puede minimizar el impacto de eventos de alto TKPH, incrementando los indicadores de rendimiento de los camiones y reduciendo costos operativos.

La reducción de eventos TKPH y TKPH acumulado incide directamente en la Eficiencia Operativa con una correlación negativa moderada de -0.443, indicando que a medida que aumenta el estrés térmico acumulado en los neumáticos, la eficiencia operativa tiende a disminuir. Otro factor importante es la distancia recorrida en pendientes, con mayor influencia en el TKPH que la distancia equivalente en terreno plano, con una correlación de Pearson de 0.64 versus 0.60. Se identificaron rutas de acarreo críticas como las del Botadero Este con porcentajes elevados de ciclos que superan el umbral de 1300 TKPH de hasta 42.8%. La aplicación de estrategias de reducción de TKPH de rutas, distancias y velocidad tuvieron como resultado un aumento significativo del indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de 5.85%, lo que se tradujo en un incremento del acarreo de mineral de 127.5 mil a 135 mil ton/día, mientras que el acarreo de desmonte se incrementó de 246.9 mil a 261.6 mil ton/día. Por su parte, esto se significó un ahorro anual de costos directos de 197.5 mil USD al año por reducción de eventos TKPH y TKPH acumulado.

Basado en el análisis del índice TKPH en ciclos de acarreo de camiones mineros de la unidad minera se encontró una correlación positiva muy fuerte entre el índice

TKPH y la velocidad media de los camiones, alcanzando un coeficiente de Pearson de 0.961, es decir, incrementos en la velocidad generan aumentos casi proporcionales en el TKPH debido al estrés térmico de los neumáticos. Como resultado de los controles aplicados la velocidad media se incrementó de 14.8 y 15 km/h en junio y julio a 16 y 15.3 km/h en agosto y septiembre. No obstante, el aumento de velocidad incide en el índice TKPH, y este a su vez en los costos directos, por tanto, si se desea aumentar la velocidad de los camiones se deben aplicar mejoras de las condiciones de las rutas como favorecer las distancias recorridas en terreno plano, disminuir las pendientes, mejorar las condiciones de los caminos, alternar entre rutas cortas y largas e incrementar la velocidad ligeramente durante la noche cuando la temperatura ambiental es menor o disminuir la carga durante las horas más calurosas del día.

VI. RECOMENDACIONES

Para mejorar los indicadores de rendimiento de los se debe implementar una gestión integral del índice TKPH, optimizando las operaciones, rutas y reduciendo el estrés térmico en los neumáticos. Esto requiere establecer límites de velocidad según las condiciones del terreno y monitorear la velocidad media, las distancias recorridas y la temperatura ambiental. En el caso operaciones de acarreo con camiones no autónomos (tripulados) se debe capacitar a los operadores en prácticas de manejo óptimas particularmente en tramos con pendientes pronunciadas, donde el TKPH muestra mayor sensibilidad. También se recomienda priorizar rutas planas o reducir las pendientes y mejorar el mantenimiento de los caminos para minimizar la incidencia de eventos de alto TKPH.

Se identificaron rutas críticas como las del Botadero Este que deben ser evaluadas para reducir las distancias en pendientes y mejorar las condiciones del camino. En términos de planificación minera se deben diseñar en el futuro rutas eficientes que reduzcan el impacto del TKPH como la ruta actual hacia la chancadora primaria, por lo que se deben considerar tanto las distancias recorridas como las condiciones topográficas al planificar operaciones de acarreo.

La relación negativa entre el TKPH acumulado y la eficiencia operativa demuestras que se deben diseñar estrategias para reducir el estrés térmico de los neumáticos para mantener altos niveles de eficiencia de los camiones. Mejorar las condiciones de operación, como ajustar cargas durante las horas más calurosas, incrementar la velocidad moderadamente en la noche, y monitorear factores como temperatura y carga, permitió prolongar la vida útil de los neumáticos, reducir los tiempos muertos por mantenimiento o cambio de neumático, incrementa la eficiencia de los ciclos de acarreo.

Se deben implementar sistemas para identificar rápidamente desviaciones críticas del índice TKPH y tomar decisiones informadas para evitar paradas no programadas. Dado el impacto económico significativo de los eventos de alto TKPH, con costos estimados en 343,575 USD mensuales por costos fijos de los camiones, mantenimiento y otros, una gestión eficiente de este indicador mejora

el rendimiento de los camiones y reduce los costos operativos, es decir tendrá un doble beneficio en la operación.

La presente investigación concluye que existe una correlación positiva muy fuerte entre la velocidad media de los camiones mineros y el índice TKPH, el cual se traduce en mayores costos operativos debido al estrés térmico de los neumáticos. No obstante, el aumento de velocidad también genera incrementos en la el tonelaje acarreado, como se evidenció en la mejora de los indicadores de rendimiento de acarreo de mineral y desmonte. Por tanto, se recomienda que en el diseño de gestión estratégico de las unidades mineras se balanceen los costos derivados de la reducción de eventos TKPH elevado y los beneficios de un mayor tonelaje acarreado. Antes de implementar controles de reducción de TKPH se debe realizar una evaluación de acuerdo a las condiciones de cada mina desde un enfoque multivariable. La reducción de TKPH y el aumento de velocidad de acarreo deben ir de la mano con controles, monitoreo y supervisión a fin de determinar el mejor uso de la maquinaria de acarreo.

VII. REFERENCIAS

Arce, J. (2000). La exploración geofísica del yacimiento Quellaveco entre 1972-1999. Instituto de Ingenieros de Minas del Peru. [Archivo pdf]. Disponible en https://onemine.org/documents/la-exploraci-n-geof-sica-del-yacimiento-quellaveco-entre-1972-1999

Asillo, J. (2022). *Optimización de los Costos Operativos en Neumáticos reduciendo las Prácticas Penalizantes de Operación de los equipos 785C y HD 1500*. [Informe de suficiencia profesional, UNAM]. Repositorio de la Universidad Nacional de Moquegua. Disponible en https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/358

Ballantyne (2019). *Challenging the Norms - Time Usage Model for Mobile Underground Mining Equipment*. [Archivo pdf]. RAK Developments 2019. Disponible en https://www.ausimmbulletin.com/feature/challenging-the-norms-time-usage-model-mobile-underground-mining-equipment/

Bridgestone (2018). *Data book 2018 Off The Road Tires*. [Archivo pdf]. Bridgestone Corporation. Japón. Disponible en https://commercial. bridgestone.com/content/dam/bcs-sites/bridgestone-ex/products/ Databooks/Archive/Bridgestone-OTR-Databook-2018-09-06-2018.pdf

Cruz, C. (2021). *Aplicación del análisis TKPH para determinar los neumáticos OTR óptimos para la operación en la flota de acarreo Caterpillar 793F – mina Constancia*. [Informe de suficiencia profesional, UNAM]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Moquegua. Disponible en https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/254

Davila E. (2022). *Optimización de costos de acarreo y transporte de mineral mediante el Incremento de tiempo de vida de los neumáticos en una unidad minera Superficial – 2021*. [Tesis de pregrado, UNAM]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Moquegua. Disponible en https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/471

Davila, E., Barriga, C., Silva, A., Rivera, L., Sanga, L. Tumba, R., Ripas, R., Tumba, A. y Rios, N. (2023). Influencia del Impacto del TKPH en la Producción Diaria en una Unidad Minera. *Eur. Chem. Bull*. 12(13), 1394 – 1400. Doi: 10.53555/ecb/2023.12.Si13.233

Delgado, R. (2019). Modelo matemático para la gestión de la vida útil de neumáticos OTR en minería. *Investigación aplicada e innovación, TECSUP.* Disponible en https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Modelo%20matem%C3%A1tico%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20vida%20de%20neum%C3%A1ticos%20OTR_Revista%20Tecsup_V13_2019.pdf

Doig, P. y Kizil, M. (2013). Improvements in truck requirement estimations using detailed haulage analysis, en Naj Aziz y Bob Kininmonth (Eds.), *Proceedings of the 2013 Coal Operators' Conference, Mining Engineering*, *Universidad de Wollongong*, 18-20. https://ro.uow.edu.au/coal/475

Energiminas (12 de setiembre de 2023). Antapaccay implementa modelo H-TUM para alcanzar mayores niveles de eficiencia. *Energiminas*. https://energiminas.com/2023/09/12/antapaccay-implementa-modelo-h-tum-para-alcanzar-mayores-niveles-de-eficiencia/

Ferreyros S.A.(s.f.). *Camiones para Minería 794 AC.* Ferreyros S.A.. Consultado el 01 de julio de 2024 en https://www.ferreyros.com.pe/equipo/794-ac/?parent=761#ancla

Galatia, D. (2020). Investing the Cause of Premature Tyre Failure of Open Pit Mine Dump Trucks : A Case of ABC Mine , Northeast Africa. *International Journal of Novel Research in Engineering and Science.* 7 (1), 20-42. Disponible en https://www.noveltyjournals.com/upload/paper/Investigating%20the%20Cause-2370.pdf

Global Mining Guidelines Group (2020). *Guideline for A Standardized Time Classification Framework for Mobile Equipment in Surface Mining:*

Operational Definitions, Time Usage Model, and Key Performance Indicators.[Archivo pdf]. Disponible en https://gmggroup.org/publication-guideline-for-a-standardized-time-classification-framework-for-mobile-equipment-in-surface-mining-operational-definitions-time-usage-model-and-key-performance-indicators/

Gómez, T., Crabtree, J., Paredes, M., Reyes-Hurt, A., Thorp, R., Zambrano, G., y Hurtado, E. (2019). *Dialogue and Human Rights in the Mining Sector. Learning from Peru*. The Peru Support Group. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/355040752_Dialogue_and_Human_Rights_in_the_Mining_Sector_Learning_from_Peru

Hilasaca, H. (2021). *Optimización de Tiempos de Espera de Volquetes en la Zona de Descarga de Mineral, para El Incremento de la Productividad en la Unidad Operativa Cuajone*. [Informe de suficiencia profesional; UNAM]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua. https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/267

Huamán, L. y Herrera L. (2022). *Implementación y Puesta en Marcha de los Primeros Camiones Autónomos en el Perú*. PERUMIN 35 Convención Minera Foro de Tecnología, Innovación y Sostenibilidad. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-223.pdf

Kvasova, A., Gerike, B., Murko, E., y Skurdanov, D. (2017). Forecasting of a Thermal Condition of Pneumatic Tires of Dump Trucks. En IInd International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment, (21). https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172103016

Ma, S. (2023). *Refining real site TKPH (tonne-kilometer-per-hour) of ultra-large off-the-road tires at mine sites*. [Tesis doctoral, Universidad de Alberta]. Repositorio institucional de la Universidad de Alberta, Estados Unidos. https://doi.org/10.7939/r3-18eh-j308

Mamani, I., Vivanco, A. y Avendaño, E. (2023). Assessing Operational Damage Impact on Mining Tires (Case Study). *Journal of Mining and Environment* (JME) 15, (3), 845-861. DOI: 10.22044/jme.2023.13811.2566

Matos, D. (2020). *Reducción de costos unitarios de carguío y acarreo mediante programación de equipos – Mina Constancia*. [Tesis de grado, UNCP]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en http://hdl.handle.net/20.500.12894/7129

Meech, J. y Parreira, J. (2013). Predicting Wear and Temperature of Autonomous Haulage Truck Tires. *16th IFAC Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing*. DOI: https://doi.org/10.3182/20130825-4-US-2038.00078

Michelin (2023). *Michelin technical data 2022-23 Edition Earthmover Tires. Michelin*. [Archivo pdf]. Disponible en https://cxf-prod.azureedge.net/b2b-experience-production/attachments/cl8d9rrdm00b001pu7kziui7t-michelin-gc-data-book.pdf

Michelin (s.f.). *Michelin XDR 3*. Michelin. México. Consultado el 01 de julio de https://pro.michelin.com.mx/llantas/michelin-xdr-3#specifications

Minaya M. (2021*). Implementación de la Metodología Six Sigma para Mejorar la Vida Útil de Neumáticos de Camiones Mineros en el Proyecto Mina Justa*. [Tesis de pregrado, UNSA]. Repositorio de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Disponible en http://hdl.handle.net/20.500.12773/13400

Mnzool, M., Almujibaj, H., Bakri, M., Gaafar, A., Elhassan, A. y Gomaa, E. (2024). Optimization of cycle time for loading and hauling trucks in open-pit mining. *Mining of Mineral Deposits.* 18(1), 18-26. Doi:10.33271/mining18.01.018

Morales, J. (2020). *Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de Minera Centinela.* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional de la Universidad de Chile. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177975

Moore, P. (01 de setiembre de 2020). *GMG publishes standardised time classification framework for mobile equipment in surface mining.* International Mining. Consultado el 20 de julio de 2024 en https://im-mining.com/2020/09/01/gmg-publishes-standardised-time-classification-framework-mobile-equipment-surface-mining/

Shakenov, A., Sładkowski, A., y Stolpovskih, I. (2022). Haul road condition impact on tire life of mining dump truck. *Boletín Científico de la Universidad Nacional de Minería*, Ucrania, 192, 25–29. doi:10.33271/nvngu/20226/025

Tapia, E. (2023). *Sistemas de despacho minero*. [Archivo pdf]. Disponible en https://www.inglomayor.cl/edicion22/Sistema%20de%20despacho%20minero_V2.pdf

Wibosa, D. y Santosa, B. (2021). *Maintenance Cost Optimization on Heavy Equipment Tires by Goal Programming Method at Nickel Mine Operation*. En Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. San Paulo, Brasil, Abril 5 - 8, 2021. Disponible en http://www.ieomsociety.org/brazil2020/papers/655.pdf

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo 01. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
General ¿De qué manera se puede optimizar los indicadores de rendimiento Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones autónomos en la unidad minera 2024?	**General** Diseñar un mejor control de eventos TKPH alto que optimice los indicadores de rendimiento Eficiencia Operativa y Velocidad Media de los camiones autónomos de la unidad minera en el año 2024.	**Principal** Una mejor gestión de eventos TKPH alto aumenta significativamente los indicadores de rendimiento de Eficiencia Operativa y la Velocidad Media de los camiones autónomos en la unidad minera.	**Variable dependiente:** Indicadores de rendimiento de camiones autónomos **Indicadores:** - Eficiencia Operativa (%) (Indicador primario) - Velocidad media del camión durante producción primaria (km/h) (Indicador secundario) **Variable independiente:** Eventos TKPH alto **Indicadores:** - TKPH. - Eventos/día. - Tiempo de retraso (segundos). - Temperatura de los neumáticos.	**A. Tipo de investigación** Aplicada. **B. Diseño de la investigación** Experimental, descriptivo. Enfoque cuantitativo. **C. Ámbito de estudio** Unidad minera a cielo abierto de cobre. **D. Población** Ciclos de acarreo con camiones autónomos mineros CAT 794AC en minería superficial. **E. Muestra** Ciclos de acarreo del periodo junio a septiembre del año 2024 con 30 camiones autónomos mineros CAT 794AC en la unidad minera. **F. Técnicas de recolección de datos** - Observación Directa. o Dashboard Interno. o Estándares operacionales. - Registros de datos. o Reportes de operación. o MS Excel. **G. Instrumentos** - Base de datos integrados. - Sistema de monitoreo y control de equipos MINESTAR.
Específicos (1) ¿Cuál es el impacto de los eventos TKPH alto en el indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones autónomos mineros en la unidad minera en el año 2024?	**Específicos** (1) Evaluar mejoras en la gestión de eventos TKPH por control de rutas largas y cortas para incrementar el indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones autónomos en la unidad minera en el año 2024.	**Específicas** (1) La gestión de eventos TKPH por control de rutas largas y cortas reduce significativamente las demoras y paradas, incrementando el indicador de rendimiento Eficiencia Operativa de los camiones autónomos en la unidad minera en el año 2024.		
(2) ¿Cómo afectan los eventos TKPH el indicador de rendimiento Velocidad Media de los camiones autónomos mineros durante las operaciones de producción primaria en la unidad minera en el año 2024?	(2) Seleccionar una propuesta de control de eventos TKPH para aumentar el indicador de rendimiento Velocidad Media de la producción primaria de los camiones autónomos respecto en la unidad minera en el año 2024.	(2) La propuesta de control de eventos TKPH incrementa el indicador de rendimiento Velocidad Media de los camiones durante la producción primaria, permitiendo una operación más fluida con menos paradas y demoras por sobrecalentamiento de neumáticos en la unidad minera en el año 2024.		

8.2. Anexo 02. Ficha técnica de Camión CAT794AC

794 AC Mining Truck Specifications

Engine

Engine Model	Cat C175-16	
Standard Gross Power – SAE J1995	2610 kW	3,500 hp
Bore	175 mm	6.9 in
Stroke	220 mm	8.7 in
Displacement	85 L	5,187 in³

- Power ratings apply at 1,800 rpm when tested under the specified conditions for the specified standard.
- Ratings based on SAE J1995 standard air conditions of 25° C (77° F) and 99 kPa (29.61 Hg) dry barometer. Power based on fuel having API gravity of 35 at 16° C (60° F) and an LHV of 42 780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) when engine used at 30° C (86° F).
- Optional 2,750 hp and 3,100 hp ratings. Optional emission ratings. Contact factory for available offerings.
- High altitude configurations available for altitudes up to 4267 m, (14,000 ft) without derate.

Weights – approximate

Gross Machine Operating Weight	521 631 kg	1,150,000 lb
Chassis Weight	189 233 kg	417,187 lb
Body Weight	28 186 kg	62,140 lb

- Consult your tire manufacturer for maximum tire load.
- Chassis weight with 100% fuel, hoist, body mounting group, rims, and tires.
- Body weight varies depending on how body is equipped.

Operating Specifications

Nominal Payload Capacity	291 tonnes	320 tons
Top Speed – Loaded	60 km/h	37 mph
Steer Angle	39 degrees	
Minimum Turning Radius	16.2 m	53 ft

- Payload assumes no debris, no extra options or attachments.
- Refer to the Cat Mining Truck 10/10/20 Overload Policy (AEXQ0250) for maximum gross machine weight limitations.

Final Drives

Total Reduction Ratio	35:1

AC Drive System

Generator/Alternator	Brushless, engine mounted, dual bearing
Controls	IGBT Inverter Technology, air cooled, pressurized cabinet with filtration
Wheel Motor	Cat AC induction, rear axle mounted
Cooling System	Variable speed, hydraulically driven cooling system

Tires

- 53/80 R63.
- Production capabilities of the 794 AC truck are such that, under certain job conditions, TKPH (TMPH) capabilities could be exceeded and, therefore, limit production.
- Caterpillar recommends the customer evaluate all job conditions and consult tire manufacturer for proper tire selection.

Braking System

Front Wet Disc Brake Surface Area	131 473 cm²	20,378 in²
Rear Wet Disc Brake Surface Area	198 388 cm²	30,750 in²
Standards	ISO 3450:2011	
Electric Retarding – Radial Grid Design		
Dynamic Retarding Power		
Continuous	4086 kW	5,480 hp

Weight Distributions – approximate

Front Axle – Empty	49%
Rear Axle – Empty	51%
Front Axle – Loaded	33%
Rear Axle – Loaded	67%

Body Hoists

Pump Flow – High Idle (LAA @ 1,960 rpm)	910 L/min	240 gal/min
Pump Flow – High Idle (HAA @ 1,800 rpm)	840 L/min	221 gal/min
Relief Valve Setting – Raise	20 884 kPa	3,029 psi
Body Raise Time – High Idle	24 Seconds	
High Idle Body Lower Time – Float	20 Seconds	
Total Cycle Time	44 Seconds	

- Twin, two-stage hydraulic cylinders mounted inside main frame; double-acting cylinders in both stages.
- Power raise in both stages; power down in both stages possible.
- Automatic body-lower modulation reduces impact on frame.

794 AC Mining Truck Specifications

Capacity – HE Body – 100% fill factor

Struck	108-133 m^3	142-175 yd^3
Heaped (SAE 2:1)	180-222 m^3	236-290 yd^3
Dump Body Plate Thickness Varies Depending on Body Selection		
Floor Plate	16 mm	0.63 in
Front Plate	9 mm	0.35 in
Side Plate	8 mm	0.31 in
Canopy Plate	5 mm	0.20 in

- Contact your local Cat dealer for body recommendations.

Service Refill Capacities

Fuel Tank	4922 L	1,300 gal
Cooling System	799 L	211 gal
Crankcase	310 L	82 gal
Final Drives, each	254 L	67 gal
Hydraulic Tank	1121 L	296 gal
Hydraulic System (includes tank)	1458 L	385 gal

ROPS

ROPS Standards

- ROPS (Rollover Protective Structure) meets ISO 3471:1994.
- FOPS (Falling Object Protective Structure) meets ISO 3449:1992.

Sound

Sound Standard

- The operator sound pressure level measured according to work cycle procedures specified in ISO 6394 and 6396 is 75 dB(A) for cab offered by Caterpillar when properly installed, maintained, and tested with doors and windows closed.
- Hearing protection may be needed when operating with an open operator station and cab (when not properly maintained or doors/windows open) for extended periods or in a noisy environment.

Steering

Steering Standards ISO 5010:2007

- Gross Machine Operating Weight is 521 631 kg (1,150,000 lb).

8.3. Anexo 03. Registros de ciclos de acarreo

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	008	CAT 794AC	0.62	18.79	12.07	19.36	1.14	0.68	1071.20	71.70
01-06-24	005	CAT 794AC	0.54	4.36	2.53	4.65	1.00	0.33	117.02	75.20
01-06-24	019	CAT 794AC	0.30	8.15	4.53	15.07	1.00	0.62	642.85	68.83
01-06-24	006	CAT 794AC	0.49	15.04	9.78	20.12	1.12	0.69	1120.70	72.58
01-06-24	029	CAT 794AC	0.80	22.69	14.78	18.44	1.16	0.67	1001.63	70.29
01-06-24	013	CAT 794AC	0.22	6.12	3.26	14.70	1.00	0.61	667.62	73.99
01-06-24	030	CAT 794AC	0.67	18.72	12.07	17.90	1.14	0.66	988.37	73.49
01-06-24	026	CAT 794AC	0.74	17.63	12.03	16.36	1.14	0.64	859.37	72.11
01-06-24	011	CAT 794AC	0.24	6.11	3.23	13.59	1.00	0.59	591.54	73.17
01-06-24	014	CAT 794AC	0.27	8.16	4.56	16.93	1.00	0.65	806.01	73.62
01-06-24	017	CAT 794AC	1.26	34.75	24.35	19.28	1.20	0.68	1117.50	71.47
01-06-24	024	CAT 794AC	0.74	17.57	12.02	16.19	1.14	0.64	835.88	71.16
01-06-24	007	CAT 794AC	0.28	6.20	3.27	11.47	1.00	0.55	461.34	72.67
01-06-24	020	CAT 794AC	0.72	17.55	11.73	16.32	1.14	0.64	828.90	69.80
01-06-24	023	CAT 794AC	0.27	8.26	4.60	16.78	1.00	0.64	788.53	72.92
01-06-24	003	CAT 794AC	0.62	14.94	9.80	15.77	1.12	0.63	802.97	72.10
01-06-24	025	CAT 794AC	0.89	16.24	10.11	11.36	1.12	0.55	516.52	73.62
01-06-24	013	CAT 794AC	0.24	6.11	3.23	13.22	1.00	0.59	560.17	72.04
01-06-24	019	CAT 794AC	0.29	8.11	4.51	15.56	1.00	0.63	700.83	71.81
01-06-24	012	CAT 794AC	0.41	11.71	7.70	18.76	1.09	0.67	986.09	72.01

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	011	CAT 794AC	0.24	5.96	3.18	13.13	1.00	0.59	561.17	72.83
01-06-24	014	CAT 794AC	0.27	8.08	4.56	17.01	1.00	0.65	808.87	73.41
01-06-24	007	CAT 794AC	0.28	8.14	4.55	16.48	1.00	0.64	769.09	72.84
01-06-24	018	CAT 794AC	0.86	20.14	11.96	13.87	1.14	0.60	703.12	74.11
01-06-24	001	CAT 794AC	0.65	21.41	14.35	22.24	1.16	0.71	1299.93	71.34
01-06-24	016	CAT 794AC	0.29	6.56	4.00	13.66	1.00	0.60	603.61	74.12
01-06-24	006	CAT 794AC	0.58	17.51	12.04	20.57	1.14	0.69	1137.59	70.31
01-06-24	023	CAT 794AC	0.32	6.12	3.25	10.20	1.00	0.52	368.21	68.80
01-06-24	005	CAT 794AC	0.41	6.21	3.29	7.99	1.00	0.46	263.14	71.03
01-06-24	013	CAT 794AC	0.36	4.12	2.47	6.80	1.00	0.42	214.24	74.29
01-06-24	022	CAT 794AC	0.74	21.32	14.26	19.18	1.16	0.67	1050.48	70.00
01-06-24	008	CAT 794AC	0.50	8.19	5.26	10.56	1.00	0.53	402.83	71.53
01-06-24	019	CAT 794AC	0.43	8.24	4.60	10.78	1.00	0.54	408.61	70.41
01-06-24	011	CAT 794AC	0.62	18.61	12.55	20.37	1.15	0.69	1139.68	70.77
01-06-24	021	CAT 794AC	0.70	19.99	12.36	17.64	1.14	0.66	962.98	73.02
01-06-24	014	CAT 794AC	0.50	5.99	3.17	6.29	1.00	0.40	186.70	73.32
01-06-24	007	CAT 794AC	0.39	8.17	4.60	11.66	1.00	0.56	483.84	74.46
01-06-24	030	CAT 794AC	0.50	14.98	9.81	19.64	1.12	0.68	1068.04	71.41
01-06-24	012	CAT 794AC	0.70	17.30	10.11	14.48	1.12	0.61	728.84	73.63
01-06-24	016	CAT 794AC	0.73	17.54	10.22	14.07	1.12	0.60	702.39	73.85
01-06-24	023	CAT 794AC	0.27	4.16	2.50	9.40	1.00	0.50	352.44	74.36
01-06-24	026	CAT 794AC	0.66	10.38	6.43	9.82	1.04	0.51	387.06	73.65

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	003	CAT 794AC	0.53	14.93	9.77	18.43	1.12	0.67	991.98	72.17
01-06-24	029	CAT 794AC	0.56	18.63	12.05	21.43	1.14	0.70	1184.33	69.42
01-06-24	013	CAT 794AC	0.36	8.14	4.56	12.62	1.00	0.58	538.13	73.89
01-06-24	020	CAT 794AC	0.59	17.63	12.06	20.50	1.14	0.69	1144.45	71.08
01-06-24	024	CAT 794AC	0.71	21.63	13.03	18.28	1.15	0.66	1048.10	75.07
01-06-24	005	CAT 794AC	0.29	4.16	2.50	8.51	1.00	0.48	302.76	74.29
01-06-24	027	CAT 794AC	0.43	6.19	3.26	7.66	1.00	0.45	253.15	72.94
01-06-24	019	CAT 794AC	0.26	8.16	4.57	17.77	1.00	0.66	835.54	71.52
01-06-24	008	CAT 794AC	0.32	8.26	4.63	14.64	1.00	0.61	656.55	73.18
01-06-24	006	CAT 794AC	0.72	21.53	12.97	18.06	1.15	0.66	1030.18	75.02
01-06-24	023	CAT 794AC	0.32	4.17	2.49	7.80	1.00	0.46	270.42	75.78
01-06-24	001	CAT 794AC	0.80	21.63	13.02	16.36	1.15	0.64	891.72	74.19
01-06-24	007	CAT 794AC	0.47	8.16	4.58	9.64	1.00	0.51	356.61	72.50
01-06-24	025	CAT 794AC	0.33	6.93	3.93	11.76	1.00	0.56	480.50	72.96
01-06-24	014	CAT 794AC	0.43	6.19	3.26	7.59	1.00	0.45	244.08	71.40
01-06-24	005	CAT 794AC	0.64	18.53	12.47	19.38	1.14	0.68	1063.30	71.12
01-06-24	011	CAT 794AC	0.68	21.38	14.36	21.20	1.16	0.70	1226.64	71.65
01-06-24	030	CAT 794AC	0.71	20.43	12.70	17.77	1.15	0.66	1008.88	75.05
01-06-24	013	CAT 794AC	0.34	7.49	4.13	12.22	1.00	0.57	515.82	74.16
01-06-24	019	CAT 794AC	0.42	4.10	2.46	5.86	1.00	0.39	166.04	73.02
01-06-24	022	CAT 794AC	0.73	21.37	14.36	19.72	1.16	0.68	1128.81	72.49
01-06-24	018	CAT 794AC	0.69	18.98	11.29	16.31	1.13	0.64	848.01	72.08

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	021	CAT 794AC	0.64	17.28	11.86	18.42	1.14	0.67	1021.42	73.07
01-06-24	027	CAT 794AC	0.38	8.11	4.51	11.85	1.00	0.56	480.09	72.13
01-06-24	003	CAT 794AC	1.13	19.40	12.09	10.75	1.14	0.54	477.83	72.54
01-06-24	008	CAT 794AC	0.66	18.82	11.23	17.13	1.13	0.65	945.53	75.21
01-06-24	017	CAT 794AC	0.78	22.58	14.69	18.84	1.16	0.67	1096.13	74.76
01-06-24	023	CAT 794AC	0.69	18.64	12.55	18.22	1.15	0.66	1022.43	73.60
01-06-24	029	CAT 794AC	0.74	17.46	12.05	16.19	1.14	0.64	841.02	71.59
01-06-24	025	CAT 794AC	0.29	4.27	2.53	8.76	1.00	0.49	317.00	74.34
01-06-24	012	CAT 794AC	0.28	8.12	4.54	16.40	1.00	0.64	773.64	73.77
01-06-24	020	CAT 794AC	0.38	10.77	6.28	16.41	1.04	0.64	807.05	73.97
01-06-24	026	CAT 794AC	0.70	15.96	10.26	14.70	1.12	0.61	738.33	73.07
01-06-24	016	CAT 794AC	0.63	17.35	10.65	16.91	1.13	0.65	916.98	74.21
01-06-24	007	CAT 794AC	0.54	9.59	5.12	9.47	1.00	0.51	344.89	71.99
01-06-24	013	CAT 794AC	0.37	8.04	4.41	11.79	1.00	0.56	477.50	72.28
01-06-24	014	CAT 794AC	0.67	18.59	12.48	18.61	1.14	0.67	1022.56	72.14
01-06-24	024	CAT 794AC	0.63	16.05	10.29	16.33	1.12	0.64	848.48	72.68
01-06-24	019	CAT 794AC	0.43	8.26	4.58	10.61	1.00	0.53	403.63	71.23
01-06-24	027	CAT 794AC	0.34	4.13	2.50	7.45	1.00	0.45	241.82	72.74
01-06-24	012	CAT 794AC	0.62	17.42	10.24	16.55	1.12	0.64	865.13	72.78
01-06-24	025	CAT 794AC	0.55	17.50	10.25	18.50	1.12	0.67	998.75	72.30
01-06-24	006	CAT 794AC	0.36	6.14	3.24	8.95	1.00	0.49	315.49	71.64
01-06-24	005	CAT 794AC	0.61	18.88	12.15	19.87	1.14	0.68	1118.28	72.34

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	020	CAT 794AC	0.34	8.12	4.54	13.47	1.00	0.59	590.23	73.87
01-06-24	001	CAT 794AC	0.58	17.48	10.24	17.73	1.12	0.66	940.23	72.04
01-06-24	011	CAT 794AC	0.69	21.20	14.22	20.52	1.16	0.69	1173.60	71.53
01-06-24	030	CAT 794AC	0.72	18.64	12.51	17.43	1.15	0.65	921.69	70.37
01-06-24	013	CAT 794AC	0.34	6.17	3.23	9.60	1.00	0.51	352.15	72.04
01-06-24	021	CAT 794AC	0.44	10.02	6.06	13.90	1.04	0.60	645.03	74.33
01-06-24	018	CAT 794AC	0.81	17.51	10.27	12.67	1.12	0.58	593.00	72.32
01-06-24	022	CAT 794AC	0.58	18.68	12.02	20.64	1.14	0.69	1167.87	71.88
01-06-24	008	CAT 794AC	0.73	19.94	11.71	16.08	1.14	0.63	869.84	74.73
01-06-24	027	CAT 794AC	0.32	4.26	2.54	8.05	1.00	0.47	271.65	72.58
01-06-24	023	CAT 794AC	0.59	10.01	6.08	10.37	1.04	0.53	423.31	74.30
01-06-24	019	CAT 794AC	0.44	6.22	3.25	7.34	1.00	0.44	233.18	71.81
01-06-24	007	CAT 794AC	0.54	18.83	11.23	20.73	1.13	0.69	1192.97	73.66
01-06-24	016	CAT 794AC	0.53	15.08	9.86	18.46	1.12	0.67	982.61	71.36
01-06-24	006	CAT 794AC	1.22	20.88	13.80	11.32	1.16	0.55	527.86	73.05
01-06-24	029	CAT 794AC	0.58	6.64	4.01	6.87	1.00	0.43	202.33	69.06
01-06-24	017	CAT 794AC	0.70	21.51	12.99	18.58	1.15	0.67	1056.28	74.03
01-06-24	026	CAT 794AC	0.63	17.39	11.97	19.03	1.14	0.67	1044.05	71.51
01-06-24	020	CAT 794AC	0.65	18.76	12.58	19.21	1.15	0.67	1035.60	69.46
01-06-24	024	CAT 794AC	0.65	17.43	12.00	18.39	1.14	0.67	963.83	69.08
01-06-24	009	CAT 794AC	0.33	5.90	3.18	9.57	1.00	0.51	358.41	73.65
01-06-24	014	CAT 794AC	0.73	21.71	14.50	19.90	1.16	0.68	1111.18	70.49

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	025	CAT 794AC	0.33	8.73	5.01	14.97	1.00	0.62	673.39	72.77
01-06-24	013	CAT 794AC	0.50	4.34	2.57	5.11	1.00	0.36	127.12	69.87
01-06-24	012	CAT 794AC	0.45	7.57	4.15	9.25	1.00	0.50	335.86	72.67
01-06-24	027	CAT 794AC	0.52	6.16	3.23	6.24	1.00	0.40	182.85	72.79
01-06-24	002	CAT 794AC	0.69	17.62	12.09	17.53	1.14	0.65	951.88	72.78
01-06-24	021	CAT 794AC	0.29	8.31	4.61	15.76	1.00	0.63	722.96	72.77
01-06-24	005	CAT 794AC	0.57	16.26	9.65	17.01	1.12	0.65	890.90	72.19
01-06-24	001	CAT 794AC	0.40	8.18	4.49	11.37	1.00	0.55	445.61	71.08
01-06-24	003	CAT 794AC	1.02	21.83	12.67	12.48	1.15	0.57	615.07	74.63
01-06-24	019	CAT 794AC	0.36	4.21	2.50	7.02	1.00	0.43	219.38	72.38
01-06-24	009	CAT 794AC	0.70	18.81	11.22	15.96	1.13	0.63	828.59	72.58
01-06-24	011	CAT 794AC	0.84	21.52	13.00	15.55	1.15	0.63	799.93	71.37
01-06-24	022	CAT 794AC	0.42	6.93	3.93	9.41	1.00	0.50	349.27	73.58
01-06-24	025	CAT 794AC	0.66	20.31	13.11	19.98	1.15	0.68	1151.71	73.34
01-06-24	016	CAT 794AC	1.06	17.40	11.97	11.29	1.14	0.55	504.24	71.23
01-06-24	007	CAT 794AC	1.00	18.75	12.61	12.63	1.15	0.58	590.71	70.45
01-06-24	023	CAT 794AC	0.26	6.30	3.27	12.45	1.00	0.57	529.21	74.13
01-06-24	028	CAT 794AC	0.72	9.35	5.65	7.81	1.04	0.46	275.13	74.06
01-06-24	030	CAT 794AC	0.74	22.42	14.60	19.80	1.16	0.68	1133.87	72.45
01-06-24	021	CAT 794AC	0.42	8.23	4.60	10.91	1.00	0.54	426.11	72.22
01-06-24	029	CAT 794AC	0.30	7.54	4.12	13.85	1.00	0.60	603.00	72.61
01-06-24	010	CAT 794AC	0.38	7.20	4.13	10.81	1.00	0.54	433.56	74.47

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	008	CAT 794AC	0.70	17.41	10.24	14.59	1.12	0.61	730.05	72.98
01-06-24	013	CAT 794AC	0.29	8.14	4.56	15.86	1.00	0.63	740.47	73.94
01-06-24	012	CAT 794AC	0.36	8.63	5.07	14.09	1.00	0.60	626.88	73.70
01-06-24	018	CAT 794AC	0.38	4.08	2.49	6.60	1.00	0.42	201.18	73.19
01-06-24	026	CAT 794AC	0.71	22.52	14.64	20.58	1.16	0.69	1180.05	71.63
01-06-24	020	CAT 794AC	0.99	21.24	14.24	14.37	1.16	0.61	714.09	70.39
01-06-24	017	CAT 794AC	0.92	18.70	12.51	13.53	1.15	0.59	654.24	70.79
01-06-24	001	CAT 794AC	0.68	19.89	12.88	18.81	1.15	0.67	1018.69	70.24
01-06-24	024	CAT 794AC	0.73	22.53	14.64	20.19	1.16	0.69	1179.20	73.43
01-06-24	027	CAT 794AC	0.30	8.17	4.59	15.45	1.00	0.63	708.98	73.38
01-06-24	019	CAT 794AC	0.53	4.15	2.49	4.68	1.00	0.34	115.02	73.20
01-06-24	023	CAT 794AC	0.45	8.23	4.59	10.30	1.00	0.53	407.94	75.18
01-06-24	014	CAT 794AC	1.13	21.75	14.75	13.06	1.16	0.59	617.65	69.62
01-06-24	022	CAT 794AC	0.38	7.57	4.15	10.95	1.00	0.54	434.70	73.21
01-06-24	005	CAT 794AC	0.49	8.09	4.52	9.14	1.00	0.50	340.24	74.87
01-06-24	029	CAT 794AC	0.41	8.72	5.07	12.30	1.00	0.57	517.80	73.74
01-06-24	002	CAT 794AC	1.33	19.10	12.47	9.41	1.14	0.50	384.52	71.11
01-06-24	013	CAT 794AC	0.70	19.06	12.06	17.21	1.14	0.65	926.16	72.56
01-06-24	010	CAT 794AC	0.47	8.21	4.58	9.66	1.00	0.51	366.40	74.27
01-06-24	021	CAT 794AC	0.42	8.34	4.62	11.11	1.00	0.55	448.62	74.02
01-06-24	012	CAT 794AC	0.63	16.03	10.17	16.03	1.12	0.63	811.16	71.25
01-06-24	018	CAT 794AC	0.43	6.15	3.20	7.53	1.00	0.45	254.64	75.39

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	027	CAT 794AC	0.49	5.60	3.07	6.32	1.00	0.41	186.53	72.77
01-06-24	009	CAT 794AC	0.63	18.57	12.51	19.87	1.15	0.68	1108.83	71.12
01-06-24	025	CAT 794AC	0.80	21.47	14.34	18.02	1.16	0.66	975.84	70.62
01-06-24	006	CAT 794AC	0.66	21.32	14.33	21.57	1.16	0.70	1240.70	70.86
01-06-24	023	CAT 794AC	0.41	8.30	4.62	11.37	1.00	0.55	473.19	75.43
01-06-24	028	CAT 794AC	0.63	17.14	10.55	16.82	1.13	0.65	889.31	72.52
01-06-24	022	CAT 794AC	0.63	17.07	10.42	16.43	1.12	0.64	850.17	72.20
01-06-24	030	CAT 794AC	0.69	18.60	12.04	17.41	1.14	0.65	915.71	70.67
01-06-24	011	CAT 794AC	0.74	18.85	12.61	17.07	1.15	0.65	885.47	69.57
01-06-24	019	CAT 794AC	0.27	6.30	3.27	12.21	1.00	0.57	515.19	74.14
01-06-24	029	CAT 794AC	0.35	7.25	4.16	11.81	1.00	0.56	496.27	74.97
01-06-24	008	CAT 794AC	0.36	8.27	4.61	12.96	1.00	0.58	549.55	72.71
01-06-24	003	CAT 794AC	0.57	19.04	12.35	21.58	1.14	0.70	1283.26	74.52
01-06-24	026	CAT 794AC	0.60	19.92	12.40	20.60	1.14	0.69	1158.19	71.45
01-06-24	005	CAT 794AC	0.35	8.23	4.59	13.16	1.00	0.59	567.27	73.38
01-06-24	021	CAT 794AC	0.32	6.29	3.30	10.16	1.00	0.52	403.10	75.80
01-06-24	001	CAT 794AC	0.67	20.06	11.99	17.79	1.14	0.66	956.27	71.65
01-06-24	010	CAT 794AC	0.34	8.27	4.59	13.62	1.00	0.60	583.23	71.92
01-06-24	018	CAT 794AC	0.69	17.37	10.17	14.76	1.12	0.61	746.13	73.40
01-06-24	024	CAT 794AC	0.33	6.67	4.04	12.39	1.00	0.57	520.30	73.36
01-06-24	007	CAT 794AC	0.40	10.08	6.08	15.39	1.04	0.62	747.27	74.73
01-06-24	027	CAT 794AC	0.34	6.19	3.24	9.46	1.00	0.51	352.68	73.75

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	019	CAT 794AC	0.32	8.33	4.64	14.44	1.00	0.61	639.46	72.62
01-06-24	016	CAT 794AC	0.62	21.81	14.53	23.50	1.16	0.72	1381.50	70.64
01-06-24	023	CAT 794AC	0.33	8.21	4.58	13.71	1.00	0.60	610.15	74.53
01-06-24	013	CAT 794AC	0.47	16.14	10.10	21.27	1.12	0.70	1216.68	73.29
01-06-24	017	CAT 794AC	0.58	20.03	11.92	20.39	1.14	0.69	1143.74	71.53
01-06-24	012	CAT 794AC	0.61	17.74	12.09	19.98	1.14	0.68	1106.42	71.08
01-06-24	029	CAT 794AC	0.30	4.15	2.49	8.34	1.00	0.47	290.13	73.36
01-06-24	008	CAT 794AC	0.36	6.32	3.30	9.08	1.00	0.50	323.06	71.86
01-06-24	020	CAT 794AC	1.08	21.84	14.72	13.63	1.16	0.60	653.17	69.36
01-06-24	021	CAT 794AC	0.32	8.22	4.58	14.19	1.00	0.61	633.69	73.77
01-06-24	005	CAT 794AC	0.41	8.19	4.54	11.04	1.00	0.54	446.96	74.43
01-06-24	009	CAT 794AC	0.68	20.12	11.98	17.69	1.14	0.66	977.67	73.84
01-06-24	024	CAT 794AC	0.60	19.24	12.82	21.24	1.15	0.70	1202.63	70.67
01-06-24	010	CAT 794AC	0.28	4.25	2.53	8.99	1.00	0.49	328.59	74.11
01-06-24	028	CAT 794AC	0.63	18.04	12.21	19.40	1.14	0.68	1089.75	72.77
01-06-24	027	CAT 794AC	0.43	6.13	3.20	7.43	1.00	0.45	236.44	71.50
01-06-24	019	CAT 794AC	0.31	8.23	4.61	14.98	1.00	0.62	684.58	73.89
01-06-24	006	CAT 794AC	0.68	21.53	14.39	21.07	1.16	0.69	1210.06	71.23
01-06-24	022	CAT 794AC	0.75	16.33	9.70	12.93	1.12	0.58	621.73	73.67
01-06-24	007	CAT 794AC	0.46	4.30	2.56	5.62	1.00	0.38	159.02	74.95
01-06-24	003	CAT 794AC	0.48	5.54	3.74	7.74	1.00	0.46	259.65	73.60
01-06-24	025	CAT 794AC	0.78	21.50	14.37	18.34	1.16	0.66	1011.54	71.53

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	029	CAT 794AC	0.38	6.26	3.27	8.62	1.00	0.48	303.71	73.03
01-06-24	030	CAT 794AC	0.55	17.79	10.58	19.38	1.13	0.68	1094.65	73.82
01-06-24	023	CAT 794AC	0.40	8.27	4.60	11.42	1.00	0.55	468.03	74.22
01-06-24	014	CAT 794AC	0.64	22.54	14.64	22.85	1.16	0.71	1376.41	72.97
01-06-24	026	CAT 794AC	0.68	17.75	12.08	17.82	1.14	0.66	961.45	71.92
01-06-24	011	CAT 794AC	0.70	22.52	14.61	20.99	1.16	0.69	1232.38	72.91
01-06-24	008	CAT 794AC	0.45	6.28	3.27	7.21	1.00	0.44	227.93	72.18
01-06-24	021	CAT 794AC	0.43	8.17	4.56	10.68	1.00	0.54	423.49	74.04
01-06-24	001	CAT 794AC	0.35	7.66	4.16	11.86	1.00	0.56	485.76	72.87
01-06-24	010	CAT 794AC	0.70	19.83	12.81	18.40	1.15	0.67	1022.38	72.62
01-06-24	013	CAT 794AC	1.53	19.35	12.03	7.87	1.14	0.46	305.07	73.96
01-06-24	005	CAT 794AC	0.50	8.19	4.56	9.19	1.00	0.50	343.15	74.87
01-06-24	018	CAT 794AC	0.36	4.31	2.59	7.11	1.00	0.43	225.07	72.77
01-06-24	019	CAT 794AC	0.38	7.70	4.19	11.16	1.00	0.55	443.69	72.74
01-06-24	016	CAT 794AC	0.66	21.46	14.32	21.60	1.16	0.70	1189.01	67.76
01-06-24	017	CAT 794AC	0.68	19.76	12.76	18.87	1.15	0.67	1050.88	72.17
01-06-24	012	CAT 794AC	0.58	18.85	12.12	20.89	1.14	0.69	1142.08	69.20
01-06-24	002	CAT 794AC	0.65	16.28	9.63	14.81	1.12	0.62	743.70	72.86
01-06-24	027	CAT 794AC	0.34	8.30	4.63	13.75	1.00	0.60	615.26	74.88
01-06-24	029	CAT 794AC	0.67	18.72	12.52	18.74	1.15	0.67	1010.87	70.08
01-06-24	007	CAT 794AC	0.62	17.34	10.17	16.29	1.12	0.64	855.03	73.50
01-06-24	023	CAT 794AC	0.45	8.24	4.58	10.07	1.00	0.52	392.91	74.82

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	024	CAT 794AC	0.28	6.67	4.05	14.37	1.00	0.61	591.92	67.72
01-06-24	003	CAT 794AC	0.56	16.16	10.34	18.37	1.12	0.67	983.88	71.91
01-06-24	001	CAT 794AC	0.64	16.06	10.21	15.91	1.12	0.63	797.28	70.77
01-06-24	009	CAT 794AC	0.31	6.32	3.24	10.35	1.00	0.53	400.24	73.26
01-06-24	021	CAT 794AC	0.31	6.30	3.24	10.32	1.00	0.53	403.72	74.21
01-06-24	008	CAT 794AC	0.55	8.20	4.56	8.32	1.00	0.47	279.14	70.82
01-06-24	028	CAT 794AC	0.76	18.84	12.09	15.81	1.14	0.63	800.10	70.38
01-06-24	030	CAT 794AC	0.36	7.30	4.16	11.60	1.00	0.56	470.26	72.86
01-06-24	019	CAT 794AC	0.74	15.90	10.12	13.66	1.12	0.60	639.62	70.12
01-06-24	006	CAT 794AC	1.04	20.08	11.96	11.44	1.14	0.55	528.69	73.27
01-06-24	014	CAT 794AC	0.74	10.07	6.00	8.14	1.04	0.47	295.62	74.60
01-06-24	005	CAT 794AC	0.29	6.11	3.10	10.63	1.00	0.53	414.85	73.02
01-06-24	022	CAT 794AC	0.73	16.22	10.35	14.15	1.12	0.60	683.59	71.36
01-06-24	027	CAT 794AC	0.40	6.27	3.23	8.09	1.00	0.47	272.54	72.23
01-06-24	026	CAT 794AC	1.07	23.24	13.60	12.73	1.16	0.58	626.78	73.25
01-06-24	024	CAT 794AC	0.72	16.12	10.35	14.30	1.12	0.61	679.93	69.94
01-06-24	011	CAT 794AC	1.50	6.62	4.02	2.68	1.00	0.22	43.86	73.08
01-06-24	025	CAT 794AC	0.61	11.38	6.70	10.96	1.06	0.54	451.18	71.65
01-06-24	009	CAT 794AC	1.05	21.13	12.31	11.76	1.14	0.56	545.58	72.75
01-06-24	010	CAT 794AC	0.50	6.60	4.01	8.03	1.00	0.46	279.30	74.87
01-06-24	020	CAT 794AC	1.00	20.03	11.92	11.91	1.14	0.56	577.19	75.49
01-06-24	021	CAT 794AC	1.02	20.48	11.77	11.53	1.14	0.55	545.57	74.79

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	023	CAT 794AC	0.63	8.38	4.64	7.31	1.00	0.44	233.23	72.24
01-06-24	012	CAT 794AC	0.44	7.14	4.00	9.12	1.00	0.50	328.19	72.50
01-06-24	016	CAT 794AC	0.61	10.01	6.03	9.92	1.04	0.52	398.69	74.64
01-06-24	030	CAT 794AC	1.00	20.47	11.77	11.80	1.14	0.56	556.93	73.85
01-06-24	017	CAT 794AC	0.63	6.56	4.00	6.33	1.00	0.41	187.69	73.02
01-06-24	002	CAT 794AC	0.47	6.36	3.26	6.87	1.00	0.43	216.56	73.90
01-06-24	005	CAT 794AC	0.58	8.22	4.57	7.84	1.00	0.46	263.04	73.12
01-06-24	003	CAT 794AC	0.70	17.68	11.81	16.94	1.14	0.65	912.00	73.01
01-06-24	007	CAT 794AC	1.11	8.26	4.62	4.15	1.00	0.31	94.93	73.75
01-06-24	029	CAT 794AC	0.92	20.06	11.94	12.97	1.14	0.58	622.47	72.16
01-06-24	008	CAT 794AC	0.39	7.68	4.13	10.49	1.00	0.53	411.48	73.84
01-06-24	027	CAT 794AC	0.53	8.29	4.62	8.71	1.00	0.49	314.68	74.46
01-06-24	001	CAT 794AC	1.10	20.55	14.36	13.09	1.16	0.59	648.16	72.83
01-06-24	028	CAT 794AC	0.62	17.62	11.98	19.39	1.14	0.68	1067.14	71.33
01-06-24	010	CAT 794AC	0.29	4.31	2.56	8.67	1.00	0.48	309.02	73.65
01-06-24	012	CAT 794AC	0.69	18.75	12.61	18.18	1.15	0.66	1004.72	72.52
01-06-24	019	CAT 794AC	0.51	8.45	5.26	10.28	1.00	0.53	398.22	73.62
01-06-24	025	CAT 794AC	0.42	8.26	4.59	10.99	1.00	0.54	429.26	71.91
01-06-24	014	CAT 794AC	0.63	8.31	4.60	7.30	1.00	0.44	239.27	74.33
01-06-24	022	CAT 794AC	0.36	7.11	3.99	11.20	1.00	0.55	454.39	74.09
01-06-24	002	CAT 794AC	0.69	18.78	12.65	18.43	1.15	0.67	1026.69	72.75
01-06-24	024	CAT 794AC	0.56	17.70	12.06	21.68	1.14	0.70	1249.19	72.11

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	008	CAT 794AC	0.62	18.66	12.43	19.95	1.14	0.68	1100.69	70.83
01-06-24	023	CAT 794AC	0.58	8.39	4.65	8.01	1.00	0.46	274.04	73.74
01-06-24	016	CAT 794AC	0.75	18.75	12.55	16.76	1.15	0.64	886.70	71.41
01-06-24	005	CAT 794AC	0.73	18.71	12.58	17.18	1.15	0.65	935.85	72.86
01-06-24	017	CAT 794AC	0.41	6.31	3.24	7.86	1.00	0.46	267.97	74.19
01-06-24	010	CAT 794AC	0.28	6.38	3.26	11.56	1.00	0.56	473.94	73.76
01-06-24	027	CAT 794AC	0.45	9.57	5.78	12.85	1.04	0.58	567.60	73.05
01-06-24	006	CAT 794AC	0.71	18.74	12.54	17.54	1.15	0.65	929.27	70.34
01-06-24	013	CAT 794AC	0.37	6.28	3.21	8.63	1.00	0.48	307.56	73.83
01-06-24	003	CAT 794AC	0.63	17.63	12.09	19.28	1.14	0.68	1070.72	72.09
01-06-24	026	CAT 794AC	0.67	17.41	11.62	17.40	1.14	0.65	905.68	69.95
01-06-24	022	CAT 794AC	0.68	18.76	12.62	18.48	1.15	0.67	1040.64	73.46
01-06-24	025	CAT 794AC	0.35	8.37	4.62	13.07	1.00	0.59	561.24	73.30
01-06-24	020	CAT 794AC	0.39	6.38	3.26	8.29	1.00	0.47	290.64	74.15
01-06-24	009	CAT 794AC	0.63	16.84	11.30	17.91	1.13	0.66	968.08	72.52
01-06-24	021	CAT 794AC	0.64	16.71	11.30	17.61	1.13	0.66	951.79	72.97
01-06-24	019	CAT 794AC	0.42	6.28	3.21	7.68	1.00	0.45	258.99	74.37
01-06-24	010	CAT 794AC	0.38	8.41	4.66	12.25	1.00	0.57	517.12	74.09
01-06-24	030	CAT 794AC	0.64	16.72	11.26	17.65	1.13	0.66	961.25	73.45
01-06-24	028	CAT 794AC	0.40	11.01	6.41	16.14	1.04	0.64	772.67	72.40
01-06-24	029	CAT 794AC	0.62	18.08	12.28	19.85	1.14	0.68	1098.76	71.16
01-06-24	017	CAT 794AC	0.47	8.32	4.62	9.81	1.00	0.51	362.50	71.80

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	024	CAT 794AC	0.44	11.01	6.41	14.57	1.04	0.61	664.83	71.71
01-06-24	012	CAT 794AC	0.68	21.31	14.25	20.94	1.16	0.69	1228.94	72.97
01-06-24	014	CAT 794AC	0.34	6.21	3.19	9.36	1.00	0.50	346.76	73.64
01-06-24	013	CAT 794AC	0.42	6.25	3.19	7.65	1.00	0.45	260.59	75.23
01-06-24	023	CAT 794AC	0.48	6.38	3.26	6.84	1.00	0.42	219.04	75.41
01-06-24	008	CAT 794AC	0.62	21.33	14.33	23.10	1.16	0.71	1393.89	72.86
01-06-24	002	CAT 794AC	0.66	21.70	14.47	21.85	1.16	0.70	1294.31	72.67
01-06-24	020	CAT 794AC	0.29	8.35	4.65	16.01	1.00	0.63	739.53	72.87
01-06-24	011	CAT 794AC	0.44	6.16	3.15	7.21	1.00	0.44	234.96	74.45
01-06-24	010	CAT 794AC	0.28	8.38	4.69	16.49	1.00	0.64	759.91	71.92
01-06-24	019	CAT 794AC	0.35	8.35	4.66	13.19	1.00	0.59	549.17	70.81
01-06-24	028	CAT 794AC	0.34	6.33	3.24	9.63	1.00	0.51	363.63	74.01
01-06-24	014	CAT 794AC	0.29	8.32	4.62	15.90	1.00	0.63	722.12	71.84
01-06-24	006	CAT 794AC	0.40	10.95	6.38	16.04	1.04	0.63	756.16	71.45
01-06-24	024	CAT 794AC	0.34	4.18	2.52	7.36	1.00	0.44	250.09	76.61
01-06-24	002	CAT 794AC	0.50	4.40	2.73	5.40	1.00	0.51	203.03	74.19
01-06-24	003	CAT 794AC	0.32	9.75	7.05	22.14	1.06	0.81	1368.62	72.13
01-06-24	004	CAT 794AC	8.33	18.24	12.42	1.49	1.14	0.22	27.43	72.90
01-06-24	005	CAT 794AC	8.25	4.44	3.28	0.40	1.00	0.07	1.98	70.42
01-06-24	006	CAT 794AC	0.37	2.76	1.40	3.80	1.00	0.42	116.44	72.98
01-06-24	007	CAT 794AC	3.13	17.77	11.22	3.59	1.13	0.41	116.64	70.87
01-06-24	008	CAT 794AC	0.32	5.99	2.98	9.25	1.00	0.64	421.62	71.48

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	010	CAT 794AC	0.13	4.25	1.95	14.72	1.00	0.74	792.81	73.04
01-06-24	011	CAT 794AC	0.20	4.59	1.68	8.17	1.00	0.61	367.85	73.92
01-06-24	012	CAT 794AC	0.41	4.69	2.05	4.98	1.00	0.49	172.01	70.89
01-06-24	014	CAT 794AC	0.50	11.60	8.09	16.24	1.09	0.76	964.89	72.12
01-06-24	015	CAT 794AC	5.67	8.51	4.88	0.86	1.00	0.14	8.99	73.99
01-06-24	016	CAT 794AC	0.30	8.65	6.29	21.09	1.04	0.80	1274.69	72.59
01-06-24	017	CAT 794AC	0.02	0.16	0.02	0.96	1.00	0.15	10.87	73.36
01-06-24	018	CAT 794AC	1.26	1.21	0.46	0.37	1.00	0.07	1.76	73.75
01-06-24	019	CAT 794AC	0.18	5.30	2.31	12.55	1.00	0.70	632.89	71.55
01-06-24	020	CAT 794AC	0.05	0.98	0.27	5.42	1.00	0.51	204.95	74.38
01-06-24	021	CAT 794AC	0.50	10.35	7.32	14.77	1.06	0.74	840.40	72.78
01-06-24	022	CAT 794AC	1.27	21.06	12.86	10.11	1.15	0.66	560.96	73.27
01-06-24	023	CAT 794AC	0.19	2.53	1.18	6.08	1.00	0.54	239.54	73.49
01-06-24	024	CAT 794AC	0.75	18.08	11.89	15.85	1.14	0.75	988.20	72.82
01-06-24	025	CAT 794AC	1.22	19.25	13.29	10.88	1.15	0.67	605.25	71.70
01-06-24	026	CAT 794AC	0.40	10.48	7.35	18.18	1.06	0.78	1077.19	72.04
01-06-24	027	CAT 794AC	0.84	8.12	5.12	6.08	1.00	0.54	234.48	71.80
01-06-24	028	CAT 794AC	0.73	12.24	8.50	11.66	1.10	0.69	630.09	71.23
01-06-24	029	CAT 794AC	0.26	4.48	1.61	6.12	1.00	0.54	237.77	72.16
01-06-24	030	CAT 794AC	0.14	2.59	1.20	8.50	1.00	0.62	380.84	72.49
01-06-24	001	CAT 794AC	0.83	21.29	14.29	17.20	1.16	0.77	1130.19	73.96
01-06-24	009	CAT 794AC	0.79	18.52	12.47	15.80	1.14	0.75	982.40	72.67

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	017	CAT 794AC	0.38	8.25	4.61	12.06	1.00	0.70	614.95	73.18
01-06-24	020	CAT 794AC	0.43	6.20	3.24	7.47	1.00	0.59	319.79	72.93
01-06-24	013	CAT 794AC	0.53	6.17	3.21	6.06	1.00	0.54	237.70	73.27
01-06-24	010	CAT 794AC	0.40	8.28	4.64	11.74	1.00	0.69	587.82	72.48
01-06-24	030	CAT 794AC	0.49	8.20	4.61	9.48	1.00	0.64	437.34	71.65
01-06-24	019	CAT 794AC	0.73	18.65	12.59	17.18	1.15	0.77	1085.24	71.70
01-06-24	023	CAT 794AC	0.49	4.27	2.55	5.16	1.00	0.50	192.59	75.33
01-06-24	011	CAT 794AC	0.46	8.30	4.64	10.05	1.00	0.66	478.66	72.54
01-06-24	029	CAT 794AC	0.50	8.20	4.61	9.28	1.00	0.64	420.62	70.96
01-06-24	016	CAT 794AC	1.14	20.94	14.19	12.46	1.16	0.70	746.90	73.47
01-06-24	003	CAT 794AC	0.76	21.31	14.32	18.84	1.16	0.78	1255.24	73.46
01-06-24	008	CAT 794AC	0.32	6.16	3.23	10.01	1.00	0.66	484.54	73.76
01-06-24	006	CAT 794AC	0.77	18.74	12.60	16.44	1.15	0.76	1051.03	73.33
01-06-24	026	CAT 794AC	1.00	21.10	14.22	14.19	1.16	0.73	875.44	72.84
01-06-24	017	CAT 794AC	0.37	4.15	2.50	6.71	1.00	0.56	282.83	75.18
01-06-24	012	CAT 794AC	0.54	4.19	2.57	4.77	1.00	0.48	169.26	74.44
01-06-24	020	CAT 794AC	0.27	6.07	3.17	11.71	1.00	0.69	594.14	73.46
01-06-24	021	CAT 794AC	0.89	11.31	6.79	7.67	1.06	0.59	357.27	74.08
01-06-24	014	CAT 794AC	0.51	10.01	6.06	11.92	1.04	0.69	627.00	72.89
01-06-24	002	CAT 794AC	0.34	8.19	4.59	13.62	1.00	0.72	707.39	71.97
01-06-24	010	CAT 794AC	0.42	8.32	4.65	11.01	1.00	0.68	556.98	74.67
01-06-24	013	CAT 794AC	0.30	6.12	3.19	10.72	1.00	0.67	521.40	72.43

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	030	CAT 794AC	0.70	16.09	10.37	14.91	1.12	0.74	894.97	72.49
01-06-24	008	CAT 794AC	0.44	6.21	3.27	7.46	1.00	0.59	327.05	74.66
01-06-24	011	CAT 794AC	0.35	8.30	4.65	13.11	1.00	0.71	691.15	73.85
01-06-24	023	CAT 794AC	0.46	8.19	4.58	10.05	1.00	0.66	490.15	74.27
01-06-24	028	CAT 794AC	0.76	18.60	12.08	15.99	1.14	0.75	998.11	72.72
01-06-24	024	CAT 794AC	0.80	18.72	12.12	15.22	1.14	0.74	943.83	73.19
01-06-24	020	CAT 794AC	0.60	15.98	10.29	17.24	1.12	0.77	1082.36	73.11
01-06-24	029	CAT 794AC	0.27	4.23	2.56	9.51	1.00	0.64	430.65	70.29
01-06-24	017	CAT 794AC	0.35	8.30	4.65	13.10	1.00	0.71	699.24	74.76
01-06-24	009	CAT 794AC	0.80	18.74	12.08	15.16	1.14	0.74	935.20	72.83
01-06-24	002	CAT 794AC	0.34	8.28	4.64	13.61	1.00	0.72	716.92	72.97
01-06-24	027	CAT 794AC	0.44	4.14	2.50	5.68	1.00	0.52	219.12	74.19
01-06-24	001	CAT 794AC	0.90	20.68	13.99	15.51	1.16	0.75	980.03	72.92
01-06-24	013	CAT 794AC	0.26	6.21	3.27	12.37	1.00	0.70	626.09	72.12
01-06-24	019	CAT 794AC	0.73	11.36	6.85	9.44	1.06	0.64	487.56	75.86
01-06-24	010	CAT 794AC	0.30	6.12	3.19	10.64	1.00	0.67	518.71	72.79
01-06-24	012	CAT 794AC	0.45	6.12	3.23	7.21	1.00	0.58	302.39	72.55
01-06-24	014	CAT 794AC	0.39	4.14	2.50	6.42	1.00	0.55	261.59	74.02
01-06-24	011	CAT 794AC	5.88	13.39	9.50	1.62	1.12	0.24	32.92	77.35
01-06-24	029	CAT 794AC	0.34	8.37	4.67	13.74	1.00	0.72	701.43	70.57
01-06-24	003	CAT 794AC	0.69	19.65	12.16	17.76	1.14	0.77	1161.80	74.37
01-06-24	008	CAT 794AC	0.65	16.73	10.18	15.74	1.12	0.75	965.23	73.00

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	017	CAT 794AC	0.35	6.18	3.21	9.14	1.00	0.64	422.62	72.75
01-06-24	006	CAT 794AC	1.00	19.69	12.21	12.23	1.14	0.70	688.64	70.62
01-06-24	013	CAT 794AC	0.46	6.09	3.20	6.91	1.00	0.57	286.28	72.83
01-06-24	023	CAT 794AC	0.44	6.09	3.20	7.25	1.00	0.58	307.49	73.06
01-06-24	002	CAT 794AC	0.29	4.28	2.60	9.09	1.00	0.63	429.54	74.54
01-06-24	025	CAT 794AC	0.81	18.54	11.77	14.52	1.14	0.73	892.37	73.43
01-06-24	010	CAT 794AC	0.83	16.81	10.94	13.10	1.13	0.71	781.73	73.96
01-06-24	018	CAT 794AC	0.80	13.17	8.56	10.68	1.10	0.67	576.28	73.16
01-06-24	022	CAT 794AC	0.64	15.08	9.86	15.52	1.12	0.75	944.60	72.72
01-06-24	027	CAT 794AC	0.39	6.08	3.17	8.17	1.00	0.61	358.26	72.02
01-06-24	030	CAT 794AC	0.59	15.01	9.81	16.57	1.12	0.76	1019.19	72.33
01-06-24	020	CAT 794AC	0.58	15.83	9.79	16.77	1.12	0.76	1033.63	72.28
01-06-24	029	CAT 794AC	0.75	18.75	12.12	16.11	1.14	0.75	956.44	69.04
01-06-24	021	CAT 794AC	0.37	8.27	4.62	12.51	1.00	0.70	660.80	74.97
01-06-24	014	CAT 794AC	0.58	16.01	10.32	17.66	1.12	0.77	1128.04	73.97
01-06-24	012	CAT 794AC	0.69	18.08	12.24	17.69	1.14	0.77	1140.24	73.32
01-06-24	026	CAT 794AC	0.39	7.38	4.98	12.66	1.00	0.71	687.81	76.87
01-06-24	016	CAT 794AC	0.78	19.63	13.66	17.62	1.16	0.77	1135.65	72.12
01-06-24	002	CAT 794AC	0.37	8.23	4.62	12.39	1.00	0.70	634.00	72.84
01-06-24	028	CAT 794AC	0.82	18.14	11.91	14.56	1.14	0.73	881.10	72.22
01-06-24	017	CAT 794AC	0.27	6.09	3.20	11.95	1.00	0.69	599.25	72.19
01-06-24	024	CAT 794AC	1.14	18.14	12.22	10.75	1.14	0.67	596.43	72.39

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	023	CAT 794AC	0.28	4.16	2.53	9.05	1.00	0.63	432.36	75.46
01-06-24	013	CAT 794AC	0.29	6.20	3.26	11.23	1.00	0.68	563.76	73.66
01-06-24	009	CAT 794AC	0.42	7.09	4.03	9.51	1.00	0.64	445.64	72.68
01-06-24	019	CAT 794AC	0.36	4.18	2.54	7.10	1.00	0.57	293.22	71.80
01-06-24	027	CAT 794AC	0.27	6.09	3.21	11.77	1.00	0.69	591.39	72.63
01-06-24	008	CAT 794AC	0.67	18.22	12.00	17.96	1.14	0.77	1149.94	72.58
01-06-24	001	CAT 794AC	5.34	25.14	17.13	3.21	1.17	0.38	102.94	72.38
01-06-24	021	CAT 794AC	0.37	6.19	3.23	8.82	1.00	0.63	398.50	72.07
01-06-24	017	CAT 794AC	0.61	16.04	10.34	17.06	1.12	0.76	1052.59	72.06
01-06-24	003	CAT 794AC	0.50	15.01	9.86	19.52	1.12	0.79	1268.85	73.65
01-06-24	026	CAT 794AC	0.32	5.87	2.88	9.10	1.00	0.63	426.56	73.91
01-06-24	002	CAT 794AC	0.29	8.24	4.60	15.61	1.00	0.75	853.02	73.02
01-06-24	023	CAT 794AC	0.40	6.23	3.25	8.15	1.00	0.61	362.85	73.15
01-06-24	013	CAT 794AC	0.31	8.24	4.64	15.21	1.00	0.74	832.38	73.60
01-06-24	022	CAT 794AC	0.87	18.16	11.93	13.74	1.14	0.72	823.88	72.67
01-06-24	030	CAT 794AC	0.81	18.24	11.95	14.77	1.14	0.74	883.79	71.16
01-06-24	020	CAT 794AC	0.89	18.17	11.85	13.37	1.14	0.72	778.47	71.14
01-06-24	027	CAT 794AC	0.36	6.13	3.25	9.13	1.00	0.63	425.96	73.50
01-06-24	014	CAT 794AC	0.66	15.03	9.86	14.92	1.12	0.74	904.41	73.16
01-06-24	019	CAT 794AC	0.30	8.20	4.58	15.39	1.00	0.75	843.64	73.49
01-06-24	009	CAT 794AC	0.70	16.04	10.32	14.67	1.12	0.74	892.97	73.81
01-06-24	025	CAT 794AC	0.65	15.00	9.88	15.30	1.12	0.74	929.64	72.88

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	018	CAT 794AC	0.27	4.20	2.52	9.19	1.00	0.64	417.53	71.44
01-06-24	010	CAT 794AC	0.41	5.19	3.46	8.35	1.00	0.61	373.72	72.89
01-06-24	012	CAT 794AC	0.81	20.90	13.97	17.18	1.16	0.77	1104.82	72.37
01-06-24	026	CAT 794AC	0.71	15.98	10.29	14.44	1.12	0.73	857.08	72.29
01-06-24	021	CAT 794AC	0.41	6.08	3.19	7.86	1.00	0.60	345.83	73.34
01-06-24	029	CAT 794AC	1.08	21.12	14.32	13.32	1.16	0.72	807.44	72.87
01-06-24	006	CAT 794AC	0.63	14.94	9.78	15.57	1.12	0.75	945.29	72.50
01-06-24	002	CAT 794AC	0.47	8.32	4.65	9.90	1.00	0.65	469.94	72.60
01-06-24	013	CAT 794AC	0.53	6.10	3.22	6.03	1.00	0.53	236.95	73.54
01-06-24	016	CAT 794AC	0.35	9.77	6.02	17.45	1.04	0.77	1013.68	72.67
01-06-24	023	CAT 794AC	0.30	6.26	3.28	10.78	1.00	0.67	532.69	73.48
01-06-24	003	CAT 794AC	0.45	7.08	4.00	8.92	1.00	0.63	405.27	72.19
01-06-24	019	CAT 794AC	0.31	4.21	2.55	8.18	1.00	0.61	361.82	72.57
01-06-24	027	CAT 794AC	0.56	16.93	10.30	18.29	1.12	0.78	1166.18	73.29
01-06-24	028	CAT 794AC	0.63	17.50	11.77	18.70	1.14	0.78	1207.89	72.58
01-06-24	018	CAT 794AC	0.61	16.74	10.21	16.76	1.12	0.76	1057.71	73.99
01-06-24	017	CAT 794AC	0.69	18.26	11.96	17.33	1.14	0.77	1101.28	72.65
01-06-24	008	CAT 794AC	0.62	17.36	11.68	18.80	1.14	0.78	1237.06	73.83
01-06-24	010	CAT 794AC	0.32	6.20	3.22	10.09	1.00	0.66	486.51	73.28
01-06-24	021	CAT 794AC	0.27	8.21	4.61	17.34	1.00	0.77	970.06	72.89
01-06-24	016	CAT 794AC	0.39	6.14	3.23	8.23	1.00	0.61	368.80	73.41
01-06-24	023	CAT 794AC	0.30	8.29	4.64	15.27	1.00	0.74	829.31	72.99

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	002	CAT 794AC	0.34	8.24	4.60	13.63	1.00	0.72	711.97	72.38
01-06-24	019	CAT 794AC	0.43	6.14	3.23	7.54	1.00	0.59	324.45	73.04
01-06-24	014	CAT 794AC	0.61	18.24	11.95	19.64	1.14	0.79	1271.67	71.99
01-06-24	025	CAT 794AC	0.61	15.78	9.77	15.93	1.12	0.75	972.45	72.48
01-06-24	024	CAT 794AC	0.97	18.21	12.02	12.36	1.14	0.70	732.69	74.09
01-06-24	003	CAT 794AC	0.52	15.87	10.18	19.64	1.12	0.79	1259.47	72.57
01-06-24	030	CAT 794AC	0.76	6.22	4.42	5.82	1.00	0.53	223.92	73.16
01-06-24	013	CAT 794AC	0.59	15.93	10.24	17.46	1.12	0.77	1081.20	71.89
01-06-24	009	CAT 794AC	0.38	7.07	4.01	10.61	1.00	0.67	509.11	71.71
01-06-24	006	CAT 794AC	0.38	6.96	3.96	10.31	1.00	0.66	493.88	72.29
01-06-24	022	CAT 794AC	0.62	17.59	11.82	19.02	1.14	0.78	1235.97	72.72
01-06-24	021	CAT 794AC	6.37	11.72	8.05	1.26	1.09	0.19	19.69	73.67
01-06-24	010	CAT 794AC	0.42	6.03	3.22	7.69	1.00	0.59	337.38	73.87
01-06-24	020	CAT 794AC	0.86	20.81	13.93	16.23	1.16	0.76	1027.50	72.21
01-06-24	026	CAT 794AC	0.87	6.12	4.34	5.00	1.00	0.49	176.05	72.19
01-06-24	027	CAT 794AC	0.31	7.08	4.02	13.05	1.00	0.71	679.41	73.00
01-06-24	023	CAT 794AC	1.04	6.32	3.43	3.29	1.00	0.39	94.12	74.38
01-06-24	012	CAT 794AC	0.85	17.45	11.67	13.74	1.14	0.72	816.37	72.05
01-06-24	028	CAT 794AC	0.74	14.96	9.78	13.29	1.12	0.72	765.18	71.74
01-06-24	018	CAT 794AC	0.76	14.87	9.77	12.93	1.12	0.71	741.00	71.98
01-06-24	002	CAT 794AC	0.86	16.38	10.41	12.14	1.12	0.70	695.52	73.28
01-06-24	016	CAT 794AC	0.28	8.23	4.62	16.74	1.00	0.76	921.95	72.34

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	008	CAT 794AC	0.71	18.18	12.01	16.89	1.14	0.76	1067.54	72.66
01-06-24	019	CAT 794AC	0.34	6.06	3.20	9.49	1.00	0.64	449.26	73.52
01-06-24	017	CAT 794AC	0.35	9.75	6.09	17.26	1.04	0.77	1008.01	73.24
01-06-24	009	CAT 794AC	0.40	6.13	3.23	7.98	1.00	0.60	354.42	73.58
01-06-24	007	CAT 794AC	0.30	6.93	3.92	12.99	1.00	0.71	672.52	72.72
01-06-24	006	CAT 794AC	0.66	19.25	12.49	19.02	1.14	0.78	1272.80	74.92
01-06-24	027	CAT 794AC	0.32	8.33	4.68	14.46	1.00	0.73	777.86	73.31
01-06-24	029	CAT 794AC	0.72	20.39	13.73	19.08	1.16	0.78	1250.67	72.04
01-06-24	016	CAT 794AC	0.88	18.31	12.38	14.01	1.14	0.73	831.23	71.55
01-06-24	003	CAT 794AC	1.05	16.58	11.69	11.16	1.14	0.68	638.14	73.75
01-06-24	010	CAT 794AC	0.36	8.24	4.64	12.91	1.00	0.71	662.93	72.25
01-06-24	014	CAT 794AC	0.36	8.77	5.71	15.88	1.04	0.75	917.25	73.92
01-06-24	025	CAT 794AC	0.58	17.73	11.74	20.17	1.14	0.79	1329.95	72.89
01-06-24	013	CAT 794AC	8.21	23.49	16.61	2.02	1.17	0.28	48.38	73.45
01-06-24	019	CAT 794AC	0.35	6.12	3.19	8.99	1.00	0.63	420.36	74.01
01-06-24	022	CAT 794AC	0.50	14.88	9.75	19.63	1.12	0.79	1255.31	72.36
01-06-24	017	CAT 794AC	1.23	20.43	13.48	10.93	1.15	0.68	623.77	73.42
01-06-24	007	CAT 794AC	0.28	8.30	4.65	16.65	1.00	0.76	923.47	72.93
01-06-24	030	CAT 794AC	0.36	8.12	4.52	12.67	1.00	0.71	658.20	73.49
01-06-24	027	CAT 794AC	0.27	4.24	2.56	9.50	1.00	0.64	448.41	73.29
01-06-24	009	CAT 794AC	0.58	19.32	12.48	21.40	1.14	0.80	1424.01	72.68
01-06-24	010	CAT 794AC	0.30	8.24	4.61	15.33	1.00	0.74	825.52	72.29

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	014	CAT 794AC	0.27	4.20	2.52	9.24	1.00	0.64	428.79	72.76
01-06-24	024	CAT 794AC	0.71	18.60	11.82	16.57	1.14	0.76	1059.84	73.87
01-06-24	028	CAT 794AC	0.66	17.41	11.98	18.12	1.14	0.78	1175.08	73.35
01-06-24	020	CAT 794AC	0.75	19.76	13.82	18.37	1.16	0.78	1212.21	73.14
01-06-24	018	CAT 794AC	0.53	17.36	11.94	22.33	1.14	0.81	1468.97	71.27
01-06-24	026	CAT 794AC	0.31	4.31	2.59	8.26	1.00	0.61	358.88	71.05
01-06-24	007	CAT 794AC	0.31	8.23	4.61	14.77	1.00	0.74	817.30	74.97
01-06-24	008	CAT 794AC	0.72	18.43	11.66	16.26	1.14	0.76	1006.83	71.84
01-06-24	019	CAT 794AC	0.37	6.24	3.28	8.85	1.00	0.63	420.58	75.77
01-06-24	012	CAT 794AC	0.63	18.15	11.92	18.83	1.14	0.78	1211.12	72.14
01-06-24	027	CAT 794AC	0.36	8.19	4.58	12.82	1.00	0.71	651.70	71.64
01-06-24	002	CAT 794AC	0.70	15.93	9.88	14.04	1.12	0.73	840.52	73.41
01-06-24	006	CAT 794AC	0.75	20.75	13.90	18.49	1.16	0.78	1213.98	72.69
01-06-24	030	CAT 794AC	0.32	4.30	2.56	7.90	1.00	0.60	347.99	73.32
01-06-24	025	CAT 794AC	0.67	17.71	11.77	17.48	1.14	0.77	1122.07	73.23
01-06-24	014	CAT 794AC	0.59	16.19	10.31	17.46	1.12	0.77	1078.55	71.75
01-06-24	022	CAT 794AC	1.10	21.89	14.64	13.28	1.16	0.72	805.70	72.97
01-06-24	010	CAT 794AC	0.80	18.32	12.40	15.48	1.14	0.75	958.86	72.77
01-06-24	023	CAT 794AC	0.38	7.52	3.75	9.97	1.00	0.66	486.78	74.54
01-06-24	029	CAT 794AC	0.35	9.67	6.01	17.31	1.04	0.77	984.53	71.29
01-06-24	026	CAT 794AC	0.30	8.23	4.62	15.25	1.00	0.74	806.00	71.06
01-06-24	007	CAT 794AC	0.38	8.20	4.61	12.22	1.00	0.70	619.21	72.48

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	019	CAT 794AC	0.39	6.18	3.21	8.20	1.00	0.61	366.29	73.31
01-06-24	009	CAT 794AC	0.52	8.86	5.76	11.15	1.04	0.68	582.78	73.93
01-06-24	016	CAT 794AC	0.70	20.82	14.05	20.06	1.16	0.79	1351.56	73.31
01-06-24	027	CAT 794AC	0.33	4.17	2.54	7.68	1.00	0.59	340.34	74.66
01-06-24	030	CAT 794AC	0.34	8.20	4.61	13.70	1.00	0.72	729.40	73.65
01-06-24	029	CAT 794AC	0.29	4.13	2.54	8.62	1.00	0.62	397.03	74.15
01-06-24	003	CAT 794AC	0.67	20.80	13.92	20.73	1.16	0.80	1411.96	73.60
01-06-24	023	CAT 794AC	0.30	8.15	4.52	15.22	1.00	0.74	816.07	72.09
01-06-24	026	CAT 794AC	0.34	8.20	4.58	13.31	1.00	0.72	692.99	72.63
01-06-24	028	CAT 794AC	0.65	20.85	13.97	21.49	1.16	0.80	1460.12	72.89
01-06-24	024	CAT 794AC	0.36	5.05	3.43	9.41	1.00	0.64	431.57	71.41
01-06-24	012	CAT 794AC	0.56	18.41	11.70	20.76	1.14	0.80	1372.00	72.64
01-06-24	007	CAT 794AC	0.36	6.22	3.23	9.02	1.00	0.63	415.08	72.75
01-06-24	020	CAT 794AC	0.56	8.84	5.73	10.14	1.04	0.66	509.19	73.25
01-06-24	008	CAT 794AC	0.61	18.17	11.96	19.49	1.14	0.79	1267.24	72.40
01-06-24	027	CAT 794AC	0.27	8.34	4.68	17.30	1.00	0.77	969.75	73.05
01-06-24	014	CAT 794AC	0.35	5.02	3.42	9.82	1.00	0.65	463.12	72.41
01-06-24	019	CAT 794AC	0.33	8.20	4.58	13.96	1.00	0.73	761.84	75.11
01-06-24	030	CAT 794AC	0.69	6.18	3.21	4.62	1.00	0.47	152.33	70.38
01-06-24	002	CAT 794AC	0.52	15.98	9.86	19.01	1.12	0.78	1200.61	71.96
01-06-24	025	CAT 794AC	0.37	7.08	3.99	10.81	1.00	0.67	538.65	74.04
01-06-24	006	CAT 794AC	0.59	17.59	11.71	19.94	1.14	0.79	1342.00	74.58

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	029	CAT 794AC	0.34	8.25	4.65	13.53	1.00	0.72	697.55	71.53
01-06-24	023	CAT 794AC	0.80	8.08	4.95	6.23	1.00	0.54	247.86	73.40
01-06-24	009	CAT 794AC	0.37	4.17	2.58	6.91	1.00	0.57	285.59	72.80
01-06-24	017	CAT 794AC	0.67	20.65	13.82	20.77	1.16	0.80	1373.45	71.43
01-06-24	026	CAT 794AC	0.45	8.89	5.16	11.36	1.00	0.68	585.86	75.36
01-06-24	010	CAT 794AC	0.71	20.83	13.94	19.62	1.16	0.79	1316.95	73.35
01-06-24	027	CAT 794AC	0.35	8.22	4.62	13.21	1.00	0.72	697.57	73.82
01-06-24	024	CAT 794AC	0.50	16.11	10.27	20.49	1.12	0.80	1326.82	72.63
01-06-24	007	CAT 794AC	0.57	16.92	10.91	19.12	1.13	0.78	1234.01	72.78
01-06-24	016	CAT 794AC	0.30	9.81	6.08	20.20	1.04	0.79	1205.08	72.28
01-06-24	019	CAT 794AC	0.67	7.55	3.72	5.59	1.00	0.52	211.47	73.36
01-06-24	014	CAT 794AC	0.63	19.28	12.51	19.82	1.15	0.79	1317.99	73.15
01-06-24	029	CAT 794AC	0.27	4.10	2.55	9.60	1.00	0.65	447.81	72.19
01-06-24	025	CAT 794AC	0.61	18.52	12.46	20.57	1.14	0.80	1328.19	71.10
01-06-24	012	CAT 794AC	0.54	18.26	12.01	22.13	1.14	0.81	1504.01	73.75
01-06-24	003	CAT 794AC	0.65	20.86	13.98	21.39	1.16	0.80	1475.59	74.08
01-06-24	028	CAT 794AC	0.68	19.95	13.83	20.21	1.16	0.79	1351.04	72.61
01-06-24	009	CAT 794AC	0.28	8.24	4.63	16.35	1.00	0.76	899.76	72.70
01-06-24	022	CAT 794AC	0.73	21.19	14.26	19.65	1.16	0.79	1318.35	73.30
01-06-24	020	CAT 794AC	0.59	4.17	2.54	4.27	1.00	0.45	140.11	73.16
01-06-24	002	CAT 794AC	0.63	18.26	11.99	19.11	1.14	0.78	1293.00	75.65
01-06-24	008	CAT 794AC	0.75	20.77	13.81	18.36	1.16	0.78	1220.44	73.70

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	027	CAT 794AC	0.35	8.27	4.63	13.27	1.00	0.72	690.60	72.63
01-06-24	016	CAT 794AC	0.56	8.33	4.67	8.27	1.00	0.61	375.08	74.11
01-06-24	026	CAT 794AC	0.60	4.20	2.53	4.19	1.00	0.44	131.49	70.60
01-06-24	006	CAT 794AC	0.53	15.14	9.85	18.52	1.12	0.78	1192.43	73.80
01-06-24	029	CAT 794AC	0.69	19.39	12.53	18.04	1.15	0.77	1161.17	72.27
01-06-24	030	CAT 794AC	0.58	8.14	4.54	7.76	1.00	0.60	331.83	71.66
01-06-24	024	CAT 794AC	0.31	8.16	5.22	16.78	1.00	0.76	941.17	73.66
01-06-24	009	CAT 794AC	0.60	4.24	2.57	4.27	1.00	0.45	140.32	73.38
01-06-24	017	CAT 794AC	0.58	17.78	11.81	20.49	1.14	0.80	1356.21	72.92
01-06-24	007	CAT 794AC	0.52	14.90	9.77	18.74	1.12	0.78	1191.64	72.67
01-06-24	023	CAT 794AC	0.65	7.61	3.81	5.84	1.00	0.53	230.94	75.15
01-06-24	010	CAT 794AC	0.61	20.81	13.87	22.69	1.16	0.81	1532.72	71.71
01-06-24	027	CAT 794AC	0.63	9.86	5.15	8.20	1.00	0.61	367.93	73.62
01-06-24	014	CAT 794AC	0.61	20.82	13.88	22.85	1.16	0.81	1555.73	72.19
01-06-24	019	CAT 794AC	0.32	6.31	3.29	10.12	1.00	0.66	494.07	74.13
01-06-24	012	CAT 794AC	0.65	20.85	13.94	21.29	1.16	0.80	1450.19	73.21
01-06-24	025	CAT 794AC	0.67	20.86	13.92	20.74	1.16	0.80	1397.97	72.80
01-06-24	024	CAT 794AC	0.53	16.15	10.33	19.51	1.12	0.79	1198.14	69.57
01-06-24	020	CAT 794AC	0.37	6.19	3.26	8.70	1.00	0.62	400.62	73.79
01-06-24	003	CAT 794AC	0.67	21.53	14.27	21.17	1.16	0.80	1446.90	73.51
01-06-24	002	CAT 794AC	0.68	21.56	14.28	20.97	1.16	0.80	1385.23	71.21
01-06-24	028	CAT 794AC	0.54	17.53	11.72	21.65	1.14	0.80	1431.72	72.09

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	015	CAT 794AC	0.29	8.36	4.66	16.18	1.00	0.76	900.44	73.70
01-06-24	006	CAT 794AC	0.48	15.23	9.91	20.72	1.12	0.80	1353.75	73.12
01-06-24	016	CAT 794AC	0.40	6.19	3.26	8.11	1.00	0.61	367.65	74.69
01-06-24	026	CAT 794AC	0.60	17.17	10.44	17.41	1.12	0.77	1076.75	71.86
01-06-24	022	CAT 794AC	0.55	17.64	11.74	21.38	1.14	0.80	1433.29	73.23
01-06-24	030	CAT 794AC	0.34	8.22	4.61	13.40	1.00	0.72	713.38	74.08
01-06-24	019	CAT 794AC	0.35	8.32	4.67	13.29	1.00	0.72	700.35	73.49
01-06-24	008	CAT 794AC	0.66	21.57	14.31	21.84	1.16	0.81	1503.82	73.62
01-06-24	007	CAT 794AC	0.55	15.11	9.88	17.92	1.12	0.77	1114.54	71.81
01-06-24	029	CAT 794AC	0.68	21.59	14.30	21.13	1.16	0.80	1422.01	72.43
01-06-24	009	CAT 794AC	0.59	16.08	10.33	17.55	1.12	0.77	1105.32	73.05
01-06-24	017	CAT 794AC	0.52	15.19	9.87	19.11	1.12	0.78	1231.01	73.31
01-06-24	015	CAT 794AC	0.26	6.23	3.26	12.36	1.00	0.70	638.93	73.67
01-06-24	020	CAT 794AC	0.28	8.20	4.60	16.51	1.00	0.76	916.64	73.18
01-06-24	010	CAT 794AC	1.28	21.59	15.07	11.78	1.16	0.69	678.02	71.70
01-06-24	023	CAT 794AC	0.32	5.88	3.13	9.78	1.00	0.65	464.59	72.99
01-06-24	027	CAT 794AC	0.29	8.33	4.67	15.83	1.00	0.75	883.22	74.29
01-06-24	014	CAT 794AC	1.29	21.54	15.10	11.71	1.16	0.69	668.77	71.27
01-06-24	024	CAT 794AC	0.63	15.07	9.81	15.67	1.12	0.75	962.61	73.20
01-06-24	016	CAT 794AC	0.33	5.92	3.16	9.71	1.00	0.65	471.64	74.81
01-06-24	030	CAT 794AC	0.33	8.23	4.59	13.85	1.00	0.73	747.28	74.43
01-06-24	006	CAT 794AC	0.76	19.05	12.34	16.27	1.14	0.76	1051.75	75.02

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	019	CAT 794AC	0.26	4.20	2.57	9.77	1.00	0.65	460.27	72.46
01-06-24	025	CAT 794AC	0.91	18.96	12.21	13.35	1.14	0.72	816.81	74.76
01-06-24	028	CAT 794AC	0.74	19.06	12.38	16.66	1.14	0.76	1059.97	73.41
01-06-24	015	CAT 794AC	0.29	8.20	4.60	15.59	1.00	0.75	865.05	74.17
01-06-24	020	CAT 794AC	0.29	6.07	3.20	10.86	1.00	0.67	546.91	74.68
01-06-24	022	CAT 794AC	0.53	14.93	9.81	18.42	1.12	0.78	1185.55	73.86
01-06-24	003	CAT 794AC	0.78	22.78	14.61	18.62	1.16	0.78	1256.78	74.60
01-06-24	026	CAT 794AC	0.29	5.16	3.48	11.96	1.00	0.70	614.59	73.91
01-06-24	002	CAT 794AC	0.78	22.80	14.66	18.88	1.16	0.78	1266.77	73.94
01-06-24	027	CAT 794AC	0.35	8.18	4.58	12.96	1.00	0.71	691.12	74.92
01-06-24	023	CAT 794AC	0.44	8.15	4.55	10.36	1.00	0.66	505.79	73.56
01-06-24	017	CAT 794AC	0.68	14.92	9.78	14.48	1.12	0.73	860.04	72.28
01-06-24	007	CAT 794AC	0.48	15.11	9.87	20.57	1.12	0.80	1344.10	73.25
01-06-24	016	CAT 794AC	0.26	6.16	3.24	12.25	1.00	0.70	638.77	74.52
01-06-24	019	CAT 794AC	0.34	6.02	3.21	9.55	1.00	0.65	455.16	73.84
01-06-24	030	CAT 794AC	0.43	8.27	4.62	10.68	1.00	0.67	528.95	73.90
01-06-24	009	CAT 794AC	0.67	19.10	12.39	18.39	1.14	0.78	1222.30	74.94
01-06-24	008	CAT 794AC	0.61	19.86	12.22	20.12	1.14	0.79	1345.36	73.97
01-06-24	015	CAT 794AC	0.44	6.19	3.25	7.33	1.00	0.58	321.62	75.37
01-06-24	020	CAT 794AC	0.42	8.25	4.59	10.88	1.00	0.67	538.27	73.38
01-06-24	029	CAT 794AC	0.59	19.89	12.20	20.55	1.14	0.80	1353.49	72.53
01-06-24	026	CAT 794AC	0.55	16.23	10.38	18.90	1.12	0.78	1219.82	73.65

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	016	CAT 794AC	0.88	18.29	11.42	12.98	1.13	0.71	754.47	72.24
01-06-24	027	CAT 794AC	0.44	6.25	3.25	7.41	1.00	0.59	320.82	73.99
01-06-24	024	CAT 794AC	0.66	21.54	14.96	22.72	1.16	0.81	1548.68	72.33
01-06-24	019	CAT 794AC	0.28	8.22	4.62	16.37	1.00	0.76	911.92	73.55
01-06-24	023	CAT 794AC	2.22	22.83	15.92	7.17	1.17	0.58	363.97	75.15
01-06-24	022	CAT 794AC	0.31	5.19	3.49	11.34	1.00	0.68	558.65	72.04
01-06-24	007	CAT 794AC	0.72	23.57	14.64	20.32	1.16	0.79	1356.88	72.45
01-06-24	030	CAT 794AC	0.35	7.43	4.84	13.88	1.00	0.73	736.94	73.15
01-06-24	011	CAT 794AC	0.49	8.25	4.61	9.48	1.00	0.64	451.56	74.04
01-06-24	006	CAT 794AC	0.83	23.46	15.75	18.89	1.17	0.78	1241.44	71.80
01-06-24	028	CAT 794AC	0.86	23.72	15.85	18.38	1.17	0.78	1196.04	71.51
01-06-24	015	CAT 794AC	0.46	8.32	4.66	10.20	1.00	0.66	502.65	74.63
01-06-24	020	CAT 794AC	0.32	6.13	3.25	10.17	1.00	0.66	497.21	74.15
01-06-24	019	CAT 794AC	0.40	5.98	3.21	7.94	1.00	0.60	344.02	71.99
01-06-24	003	CAT 794AC	0.89	18.95	12.19	13.64	1.14	0.72	830.26	73.94
01-06-24	017	CAT 794AC	0.81	22.05	15.20	18.83	1.16	0.78	1249.72	73.17
01-06-24	008	CAT 794AC	1.58	23.91	16.99	10.76	1.17	0.67	613.75	72.54
01-06-24	001	CAT 794AC	0.62	16.08	9.96	15.96	1.12	0.75	982.40	73.03
01-06-24	025	CAT 794AC	0.59	15.20	9.90	16.89	1.12	0.76	1058.83	73.38
01-06-24	002	CAT 794AC	0.99	18.88	12.11	12.21	1.14	0.70	712.31	73.20
01-06-24	022	CAT 794AC	0.35	5.79	3.17	9.04	1.00	0.63	413.62	72.37
01-06-24	029	CAT 794AC	0.66	16.19	10.02	15.25	1.12	0.74	934.79	73.56

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	027	CAT 794AC	0.43	6.27	3.29	7.67	1.00	0.59	338.49	74.30
01-06-24	009	CAT 794AC	0.88	19.84	12.23	13.97	1.14	0.73	842.71	72.77
01-06-24	026	CAT 794AC	0.68	16.10	9.95	14.69	1.12	0.74	892.31	73.65
01-06-24	030	CAT 794AC	1.02	16.67	10.19	10.00	1.12	0.66	548.95	74.77
01-06-24	020	CAT 794AC	0.26	4.05	2.50	9.47	1.00	0.64	449.91	73.80
01-06-24	010	CAT 794AC	0.82	22.38	15.41	18.81	1.16	0.78	1194.13	70.02
01-06-24	014	CAT 794AC	0.53	5.46	3.72	7.07	1.00	0.57	293.35	72.31
01-06-24	024	CAT 794AC	0.89	21.74	15.20	17.10	1.16	0.77	1117.08	73.61
01-06-24	011	CAT 794AC	0.78	20.71	14.06	18.11	1.16	0.78	1179.31	72.43
01-06-24	015	CAT 794AC	0.39	8.13	4.55	11.57	1.00	0.69	580.64	72.94
01-06-24	019	CAT 794AC	0.59	9.33	5.82	9.91	1.04	0.65	500.58	74.30
01-06-24	022	CAT 794AC	1.94	25.20	17.99	9.29	1.18	0.64	505.57	72.16
01-06-24	020	CAT 794AC	0.44	7.72	3.80	8.73	1.00	0.62	400.83	73.57
01-06-24	016	CAT 794AC	0.67	17.11	11.81	17.52	1.14	0.77	1126.20	73.29
01-06-24	027	CAT 794AC	0.89	20.02	12.81	14.45	1.15	0.73	894.98	73.46
01-06-24	007	CAT 794AC	0.81	22.22	15.21	18.73	1.16	0.78	1241.11	73.11
01-06-24	025	CAT 794AC	0.71	18.42	12.06	16.92	1.14	0.76	1089.65	74.01
01-06-24	001	CAT 794AC	0.82	14.27	9.12	11.11	1.10	0.68	596.74	71.88
01-06-24	006	CAT 794AC	0.69	23.04	15.50	22.30	1.16	0.81	1532.88	73.21
01-06-24	029	CAT 794AC	0.72	18.02	11.80	16.34	1.14	0.76	1027.74	72.91
01-06-24	015	CAT 794AC	0.68	20.51	13.97	20.45	1.16	0.80	1387.52	73.49
01-06-24	028	CAT 794AC	0.89	22.93	15.51	17.43	1.17	0.77	1156.58	73.81

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	026	CAT 794AC	0.63	15.21	9.14	14.54	1.10	0.73	850.95	72.39
01-06-24	014	CAT 794AC	0.71	16.30	9.62	13.51	1.12	0.72	792.60	72.77
01-06-24	017	CAT 794AC	0.96	23.64	15.74	16.35	1.17	0.76	1071.18	73.99
01-06-24	003	CAT 794AC	0.81	16.09	9.93	12.31	1.12	0.70	725.42	75.05
01-06-24	020	CAT 794AC	0.67	15.40	9.61	14.28	1.12	0.73	827.70	70.80
01-06-24	009	CAT 794AC	0.68	15.16	9.86	14.41	1.12	0.73	856.05	72.39
01-06-24	019	CAT 794AC	0.75	15.99	10.17	13.64	1.12	0.72	799.89	72.52
01-06-24	002	CAT 794AC	0.60	15.37	9.24	15.46	1.10	0.75	925.38	72.88
01-06-24	010	CAT 794AC	0.93	24.84	17.26	18.46	1.17	0.78	1230.82	73.18
01-06-24	011	CAT 794AC	0.86	17.70	11.01	12.75	1.13	0.71	746.73	73.17
01-06-24	016	CAT 794AC	0.89	18.51	11.76	13.15	1.14	0.71	789.19	73.65
01-06-24	005	CAT 794AC	0.84	20.91	14.43	17.24	1.16	0.77	1140.14	74.38
01-06-24	024	CAT 794AC	1.02	18.65	11.86	11.65	1.14	0.69	679.58	74.24
01-06-24	030	CAT 794AC	0.72	14.80	9.56	13.27	1.12	0.72	786.26	73.85
01-06-24	004	CAT 794AC	0.83	21.82	15.14	18.33	1.16	0.78	1214.10	73.46
01-06-24	025	CAT 794AC	0.97	22.34	15.49	16.02	1.16	0.75	1042.86	74.53
01-06-24	007	CAT 794AC	0.67	18.83	12.04	17.86	1.14	0.77	1145.67	72.82
01-06-24	006	CAT 794AC	0.89	21.86	15.20	17.13	1.16	0.77	1119.57	73.60
01-06-24	027	CAT 794AC	0.65	17.85	11.22	17.17	1.13	0.77	1085.94	73.08
01-06-24	026	CAT 794AC	0.88	20.77	14.27	16.25	1.16	0.76	1037.66	72.85
01-06-24	015	CAT 794AC	1.25	21.89	14.67	11.70	1.16	0.69	682.39	72.87
01-06-24	029	CAT 794AC	0.87	18.63	11.83	13.63	1.14	0.72	803.72	71.67

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	001	CAT 794AC	0.80	16.28	10.42	13.03	1.12	0.71	760.09	73.04
01-06-24	014	CAT 794AC	0.74	15.52	9.77	13.22	1.12	0.72	774.87	73.09
01-06-24	020	CAT 794AC	0.78	17.22	10.54	13.59	1.13	0.72	791.78	71.48
01-06-24	008	CAT 794AC	0.73	21.77	15.15	20.78	1.16	0.80	1418.87	73.73
01-06-24	009	CAT 794AC	0.72	15.33	9.18	12.69	1.10	0.71	712.75	72.19
01-06-24	002	CAT 794AC	0.67	15.61	9.77	14.56	1.12	0.73	864.04	72.10
01-06-24	028	CAT 794AC	0.73	21.62	15.10	20.66	1.16	0.80	1412.89	73.92
01-06-24	003	CAT 794AC	0.34	7.07	3.99	11.68	1.00	0.69	596.82	74.04
01-06-24	019	CAT 794AC	0.81	17.71	12.13	15.06	1.14	0.74	931.13	73.16
01-06-24	017	CAT 794AC	0.36	6.46	3.97	11.04	1.00	0.68	548.53	73.28
01-06-24	030	CAT 794AC	0.30	7.07	4.03	13.36	1.00	0.72	689.20	71.86
01-06-24	023	CAT 794AC	0.44	10.76	6.28	14.32	1.04	0.73	804.11	73.79
01-06-24	011	CAT 794AC	0.33	8.44	4.82	14.40	1.00	0.73	779.32	73.84
01-06-24	010	CAT 794AC	1.65	22.96	15.98	9.68	1.17	0.65	538.48	73.36
01-06-24	005	CAT 794AC	0.76	22.49	15.53	20.50	1.17	0.80	1425.53	74.66
01-06-24	007	CAT 794AC	0.56	15.11	9.79	17.58	1.12	0.77	1116.76	73.65
01-06-24	027	CAT 794AC	0.62	16.03	10.40	16.90	1.12	0.76	1048.05	72.56
01-06-24	003	CAT 794AC	1.03	9.33	5.57	5.39	1.04	0.51	210.27	74.13
01-06-24	016	CAT 794AC	0.69	19.01	12.35	17.86	1.14	0.77	1157.36	73.53
01-06-24	004	CAT 794AC	0.85	22.51	15.55	18.33	1.17	0.78	1236.08	74.17
01-06-24	021	CAT 794AC	0.70	21.07	14.24	20.26	1.16	0.79	1390.79	74.50
01-06-24	017	CAT 794AC	0.30	8.34	4.64	15.42	1.00	0.75	848.50	73.74

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
01-06-24	024	CAT 794AC	0.58	16.05	9.90	17.09	1.12	0.77	1065.51	72.76
01-06-24	030	CAT 794AC	0.34	8.06	4.50	13.19	1.00	0.72	690.26	73.14
01-06-24	006	CAT 794AC	0.74	22.38	15.51	20.94	1.17	0.80	1439.55	73.49
01-06-24	014	CAT 794AC	0.40	5.57	2.77	6.94	1.00	0.57	283.96	71.84
01-06-24	001	CAT 794AC	0.74	16.16	9.94	13.35	1.12	0.72	776.39	72.33
01-06-24	026	CAT 794AC	0.77	20.97	15.21	19.68	1.16	0.79	1335.28	74.09
01-06-24	011	CAT 794AC	0.57	6.01	3.18	5.62	1.00	0.52	211.87	72.96
01-06-24	002	CAT 794AC	0.32	8.47	4.85	14.93	1.00	0.74	810.89	73.42
01-06-24	025	CAT 794AC	0.51	9.91	6.07	12.00	1.04	0.70	638.13	73.54
01-06-24	029	CAT 794AC	0.74	15.95	9.84	13.25	1.12	0.72	775.63	73.00
01-06-24	008	CAT 794AC	1.28	22.91	16.00	12.51	1.17	0.70	766.84	74.41
01-06-24	022	CAT 794AC	0.79	23.53	15.86	19.99	1.17	0.79	1379.03	74.43
01-06-24	009	CAT 794AC	1.08	22.42	15.47	14.36	1.16	0.73	901.90	73.91
01-06-24	020	CAT 794AC	0.74	16.12	9.91	13.36	1.12	0.72	768.68	71.56
01-06-24	028	CAT 794AC	0.79	22.40	15.52	19.67	1.17	0.79	1350.74	74.38
01-06-24	023	CAT 794AC	0.33	8.15	4.60	14.12	1.00	0.73	764.70	74.27
02-06-24	008	CAT 794AC	1.23	21.78	15.14	12.32	1.16	0.70	743.99	74.24
02-06-24	013	CAT 794AC	0.47	4.30	2.55	5.40	1.00	0.51	197.92	72.38
02-06-24	030	CAT 794AC	0.74	23.46	15.91	21.52	1.17	0.80	1508.66	74.53
02-06-24	010	CAT 794AC	0.30	6.34	3.27	10.89	1.00	0.67	534.73	72.75
02-06-24	020	CAT 794AC	0.70	23.45	15.87	22.61	1.17	0.81	1595.80	74.34
02-06-24	019	CAT 794AC	0.27	8.26	4.53	16.50	1.00	0.76	923.32	73.75

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
02-06-24	027	CAT 794AC	0.42	8.15	4.48	10.79	1.00	0.67	533.73	73.55
02-06-24	021	CAT 794AC	0.33	10.12	6.09	18.52	1.04	0.78	1118.84	74.58
02-06-24	016	CAT 794AC	0.59	15.25	9.97	16.79	1.12	0.76	1043.95	72.88
02-06-24	028	CAT 794AC	0.85	9.35	5.50	6.46	1.04	0.55	272.09	73.48
02-06-24	014	CAT 794AC	0.41	8.36	4.57	11.04	1.00	0.68	552.84	73.88
02-06-24	023	CAT 794AC	0.28	6.28	3.27	11.67	1.00	0.69	587.81	73.02
02-06-24	025	CAT 794AC	0.64	23.44	15.87	24.71	1.17	0.82	1778.26	74.58
02-06-24	005	CAT 794AC	0.56	15.59	9.82	17.66	1.12	0.77	1132.56	74.26
02-06-24	002	CAT 794AC	0.30	6.31	3.24	10.96	1.00	0.68	542.66	73.21
02-06-24	022	CAT 794AC	0.39	7.09	3.90	9.99	1.00	0.66	492.16	75.16
02-06-24	010	CAT 794AC	0.37	8.29	4.57	12.26	1.00	0.70	632.82	73.72
02-06-24	004	CAT 794AC	0.73	23.36	15.83	21.65	1.17	0.80	1492.83	73.21
02-06-24	019	CAT 794AC	0.29	6.34	3.27	11.43	1.00	0.69	567.65	72.46
02-06-24	024	CAT 794AC	0.53	15.36	9.95	18.80	1.12	0.78	1186.86	72.11
02-06-24	015	CAT 794AC	0.57	18.90	12.18	21.29	1.14	0.80	1417.41	72.79
02-06-24	021	CAT 794AC	0.51	4.30	2.55	5.03	1.00	0.49	181.49	73.75
02-06-24	017	CAT 794AC	0.63	23.67	15.90	25.24	1.17	0.83	1813.08	74.16
02-06-24	013	CAT 794AC	0.30	6.37	3.27	10.79	1.00	0.67	532.10	73.30
02-06-24	023	CAT 794AC	0.31	8.29	4.57	14.57	1.00	0.74	796.87	74.37
02-06-24	027	CAT 794AC	0.41	6.37	3.27	7.97	1.00	0.60	359.39	74.81
02-06-24	006	CAT 794AC	0.73	23.64	15.87	21.74	1.17	0.81	1527.16	74.53
02-06-24	018	CAT 794AC	0.77	23.42	15.88	20.50	1.17	0.80	1396.28	73.13

Fecha	Camión	Modelo	Duración del ciclo (Horas)	Distancia Recorrida Equivalente (Km)	Distancia Recorrida en Pendiente (Km)	Velocidad Media (Km/h)	Factor K1	Factor K2	TKPH REAL	Carga Media
02-06-24	014	CAT 794AC	0.63	21.26	14.41	22.72	1.16	0.81	1595.57	74.53
02-06-24	002	CAT 794AC	0.63	20.99	14.32	22.91	1.16	0.81	1550.34	71.72
02-06-24	011	CAT 794AC CMD	0.57	18.90	12.18	21.53	1.14	0.80	1446.96	73.31
02-06-24	001	CAT 794AC CMD	0.49	15.26	9.92	20.17	1.12	0.79	1299.54	72.49
02-06-24	019	CAT 794AC CMD	0.42	6.35	3.27	7.85	1.00	0.60	339.65	72.14
02-06-24	022	CAT 794AC CMD	0.38	8.39	4.57	12.06	1.00	0.70	619.05	73.67
02-06-24	016	CAT 794AC CMD	0.51	14.38	9.11	17.77	1.10	0.77	1102.50	73.07
02-06-24	003	CAT 794AC CMD	0.56	15.49	9.76	17.29	1.12	0.77	1108.09	74.59
02-06-24	010	CAT 794AC CMD	0.31	6.32	3.24	10.45	1.00	0.67	503.95	72.49
02-06-24	013	CAT 794AC CMD	0.95	5.52	3.60	3.79	1.00	0.42	116.90	73.68
02-06-24	030	CAT 794AC CMD	0.76	23.24	15.72	20.63	1.17	0.80	1444.01	75.03

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Danitza Maria Arizabal Ramos
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 71458597
Correo electrónico	: danitza.arizabal.r@gmail.com
Teléfono/Celular	: (+51) 984 606 055

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	x			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (x)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (x)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Reducción de Eventos TKPH para la Optimización de Indicadores de Rendimiento de Camiones Autónomos en una Mina de Cobre
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación: .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos: Dr. Christ Jesus Barriga Paria
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 44331713
c) ORCID : 0000-0002-7130-9297

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71458597
NOMBRES Y APELLIDOS : Danitza Maria Arizabal Ramos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

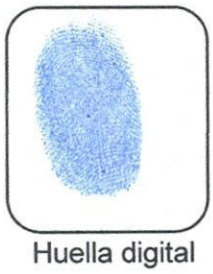
Yo, Danitza Maria Arizabal Ramos, bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº 71458597, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado "Reducción de Eventos TKPH para la Optimización de Indicadores de Rendimiento de Camiones Autónomos en una Mina de Cobre".

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 07 de febrero del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Danitza Maria Arizabal Ramos
DNI: 71458597

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(x) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71458597

NOMBRES Y APELLIDOS : Danitza Maria Arizabal Ramos

FECHA : 07 de febrero del 2025

TESIS FINAL FINAL - DANITZA.pdf

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::23228:429457761

Fecha de entrega
12 feb 2025, 12:01 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
12 feb 2025, 12:06 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS FINAL FINAL - DANITZA.pdf

Tamaño de archivo
3.0 MB

146 Páginas

44,879 Palabras

205,728 Caracteres

5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
3%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 106-2025-CU-UNAM

Moquegua, 10 de marzo de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025; Proveído N° 722-2025 de fecha 04 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 093-2025-UNAM-R/SG de fecha 04 de marzo de 2025 emitido por la Secretaria General; Carta N° 042-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 03 de marzo de 2025 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional**. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, con Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410, 453 y 890-2022; N° 880-2023 y N° 081, 484-2024-UNAM/CO, el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Carta N°42-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR, la Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, los expedientes de dos (2) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptas para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de Tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y

[1] Articulo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Titulo Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:
a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025;

Que, se ha establecido como atribución del Consejo Universitario de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas a dos (2) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua**;

De conformidad con el artículo 59° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado en la Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025 de Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS**

   TESIS : "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKHP PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2. **KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS**

   TESIS : "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACERO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMAS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

///... **Resolución de Consejo Universitario N° 106-2025-CU-UNAM**

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

ABG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO Nº 208-2025-CU-UNAM

Moquegua, 07 de abril de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025; Proveído N° 1078-2025 de fecha 27 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 141-2025-UNAM-R/SG con sello de recepción de fecha 26 de marzo de 2025 emitido por la Oficina de Secretaría General, Carta N° 064-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 21 de marzo de 2025 emitido por la encargada del Área de Grados y Títulos de Secretaría General, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establece que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, mediante Carta N° 064-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 21 de marzo de 2025 la encargada del Área de Grados y Títulos de la Oficina de Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, señala que por error involuntario en el Informe Técnico N° 029-2025-UNAM/SEGE/GYT, ha incurrido en error específicamente en lo que se refiere a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE, motivo por el cual, solicita la rectificación de la Resolución de Consejo Universitario N° 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, mediante la cual se otorga Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la modalidad sustentación de tesis, pedido que es acogido y canalizado hacia el Rectorado, por el señor Secretario General a través del Informe N° 141-2025-UNAM-R/SG con sello de recepción de fecha 26 de marzo de 2025;

Que, en ese sentido el parágrafo 212.1 del artículo 212° del TUO de la Ley Nº 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, sobre la **RECTIFICACIÓN DE ERRORES**, es taxativo al señalar que: ***"Los errores MATERIAL o aritmético en los actos administrativos pueden ser rectificados con efecto retroactivo, en cualquier momento, de oficio o a instancia de los administrados, siempre que no se altere lo sustancial de su contenido ni el sentido de la decisión***";

Que, en virtud a lo expuesto el Rector con Proveído N° 1078-2025, dispone a Secretaría General incluir el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025;

Que, en mérito de las facultades y atribuciones conferidas al Consejo Universitario, estando al pedido de la Oficina de Cooperación y Relaciones Internacionales y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 26 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad: **1.- APROBAR**, la **RECTIFICACIÓN DEL ERROR MATERIAL** contenido en el artículo primero de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, en el extremo referente a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE, **2.- DEJAR SUBSISTENTES** los demás extremos de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

///... Resolución de Consejo Universitario N° 208-2025-CU-UNAM

De conformidad con el artículo 59° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado la Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: APROBAR, la **RECTIFICACIÓN DE ERROR MATERIAL** del Artículo Primero de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, en el extremo referente a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE; conforme al siguiente detalle:

DICE

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1.- DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS

TESIS: "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKHP PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2.- KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

TESIS: "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACERO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMAS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

DEBE DECIR

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1.- DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS

TESIS: "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKPH PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2.- KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

TESIS: "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor Principal fue el Mg. Jorge Luis Tomas Florez Salas, y Co-Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

ARTÍCULO SEGUNDO: DEJAR SUBSISTENTES los demás extremos de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025.

ARTÍCULO TERCERO: NOTIFICAR, con la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y fines pertinentes.

ARTÍCULO CUARTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnologías de la Información, la publicación de la presente Resolución en el Portal de Transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe