

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**Optimización de la flota de equipos de carguío y acarreo para incrementar
el rendimiento operativo y la productividad en la Rampa 767, Unidad
Minera Caudalosa, Perú**

Tesis presentada por la Bachiller:

Linares Macedo, Adamary

ORCID: 0009-0000-9378-6249

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Mg. Arias Quispe, Cesar Fabian

ORCID: 0009-0001-7874-2691

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Septiembre del 2025

Dictamen: 013173-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 013173, presentado por:

2016200682 - LINARES MACEDO ADAMARY

Titulado:

OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO OPERATIVO Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA RAMPA 767, UNIDAD MINERA CAUDALOSA, PERÚ

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR**



**40859499 - BERNEDO TITO EDWIN JOSE
DICTAMINADOR**



**09875174 - ESQUIVIAS OTAZU JOSE LUIS
DICTAMINADOR**



OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO OPERATIVO Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA RAMPA 767, UNIDAD MINERA CAUDALOSA, PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios, por iluminar mi camino en los momentos de mayor oscuridad y por darme fortaleza para no rendirme cuando las dificultades parecían insuperables.

A mis padres Ciro y Vicky que han sido pilares fundamentales en mi formación académica y personal, quienes con su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de perseverancia me enseñaron que no existen límites cuando se tiene determinación.

A mi hermano Dilman, por ser mi compañero de vida, mi cómplice de aventuras y mi apoyo incondicional en cada paso.

Finalmente agradecer a todos que creyeron en mí y me acompañaron en este camino. A quienes con una palabra, un consejo o simplemente su presencia hicieron posible este logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesaria en esta etapa de mi formación académica.

A mis padres, por su sacrificio incondicional, su paciencia infinita y su amor inquebrantable que forjaron en mi los valores que hoy me definen.

A mis docentes, por su guía experta, su paciencia y por compartir sus conocimientos conmigo. Su orientación fue fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a hacer realidad este sueño, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo optimizar la flota de equipos en las actividades de carguío y acarreo en una mina subterránea para incrementar su rendimiento.

Se realizó una investigación de tipo aplicada, nivel explicativo con diseño experimental, la muestra comprende a los equipos scooptram encargados de realizar las actividades de limpieza, carguío, acarreo y otras actividades auxiliares.

Para el procesamiento de datos se realizó un análisis de las actividades productivas, las demoras operativas, demoras no operativas y las demoras por mantenimiento; en la rampa 767 de la Unidad Minera Caudalosa se monitorearon 15 unidades (10 scooptrams, 5 camiones de acarreo) durante los periodos mayo–julio 2023 (I) y agosto–octubre 2023 (II). Tras integrar el sistema OneMine, las demoras operativas descendieron 34,8% (-212,45 h) y las no operativas 63,2% (-839,22 h); el rendimiento de limpieza de tajos se incrementó de 18,23 t/h a 20,16 t/h (+10,6%), de frentes de 12,45 t/h a 19,42 t/h (+55,9%) y el acarreo de 8,77 t/h a 12,01 t/h (+36,9%). La disponibilidad operativa mejoró 9,5 pp, pasando de 72,25% a 81,75%.

La prueba t de pareo ($p < 0.05$) valida que la optimización fue estadísticamente exitosa. Se confirmó una mejora significativa en la Productividad (Rendimiento) en tajo, frente y relleno, y una reducción significativa en las Demoras (operativas y no operativas). Solo el rendimiento de acarreo no mostró un cambio estadísticamente comprobado.

Palabras clave: Optimización, scooptram, rendimiento.

ABSTRACT

The present research work aims to optimize the fleet of equipment in loading and hauling activities in an underground mine to increase its performance.

Applied research was carried out at an explanatory level with an experimental design. The sample includes the scooptram teams in charge of carrying out the cleaning, loading, hauling and other auxiliary activities.

For data processing, an analysis of productive activities, operational delays, non-operational delays and maintenance delays was carried out; where improvements were made in the control of the most relevant activities related to each of these in the first period considering the months from May to July 2023; in the second period, by having better controls in the fleet management system, it was possible to improve the KPIs of the productive activities by 2.09 ton / hr in cleaning of stopes, 4.66 ton / hr in cleaning of fronts, 3.39 ton / hr in hauling; while operational delays were reduced by 223.52 hr, non-operational delays decreased by 861.78 hr, this allowed to improve the operational availability of the equipment by 9.97% reaching 82.22% from an initial 72.25%.

The paired t-test ($p < 0.05$) validates that the optimization was statistically successful. A significant improvement in Productivity (Yield) in stopes, faces, and backfill was confirmed, alongside a significant reduction in Delays (operational and non-operational). Only the hauling yield did not show a statistically confirmed change.

Keywords: Optimization, scooptram, performance.

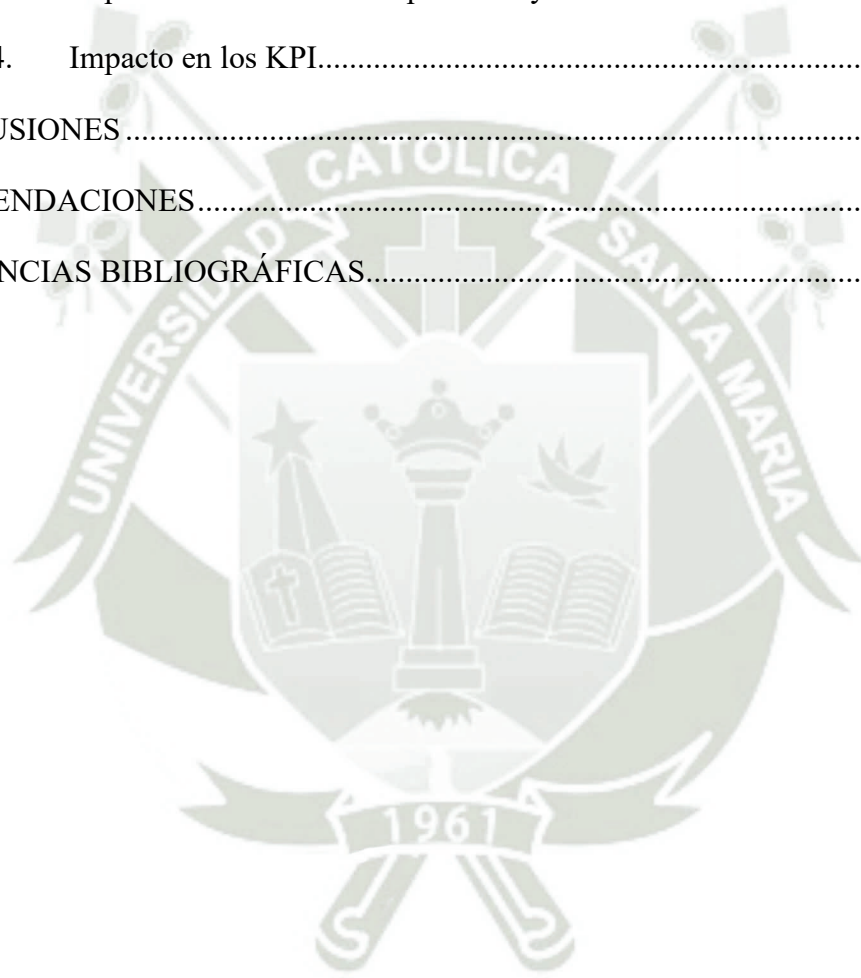
ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. Planteamiento del problema.....	3
1.1. Problemática de la investigación	3
1.2. Justificación	3
1.2.1. Justificación ambiental.....	3
1.2.2. Justificación social	3
1.2.3. Justificación económica	4
1.2.4. Justificación tecnológica.....	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. General.....	4
1.3.2. Específicos	4
1.4. Hipótesis	5
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Específicos	5
2. Fundamento teórico	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1. Internacionales	6
2.1.2. Nacionales.....	8
2.1.3. Regionales.....	10
3. Marco teórico	13

3.1.	Productividad en minería subterránea.....	13
3.2.	Modelo de gestión de activos.....	14
3.3.	Conceptos de gestión de tiempos de esperas	15
3.3.1.	Tiempo planificado de inactividad.....	15
3.3.2.	Tiempo de inactividad no planificado.....	15
3.3.3.	Optimización del tiempo de ciclo	15
3.3.4.	Tiempo de espera en la programación	15
3.4.	Maquinaria minera	16
3.4.1.	Equipos LHD	16
3.4.2.	Transporte sobre rieles.....	17
3.4.3.	Transporte con Dumper	18
3.4.4.	Transporte con volquetes	19
3.5.	Carguío.....	19
3.6.	Acarreo.....	19
3.7.	Índices clave de rendimiento	20
3.7.1.	Disponibilidad Mecánica (DM).....	20
3.7.2.	Utilización Efectiva (UE)	21
3.7.3.	Índice de Mantenimiento (IM).....	21
3.7.4.	Aprovechamiento (A)	22
3.7.5.	Factor Operacional (FO).....	22
3.7.6.	Rendimiento de equipos de carguío (R).....	22
3.7.7.	Uso del equipo (Use)	23
3.7.8.	Usaje (Usage).....	23
3.7.9.	Tkphr.....	23
3.8.	Tecnologías y sistemas de gestión de flotas	24
3.8.1.	Sistema de control de flotas Mining Tag OneMine	24

3.8.2.	Internet of Things (IoT) and Connected Devices	24
3.8.3.	Smart Sensors.....	25
3.8.4.	Devices Remote Operation Center (ROC).....	26
3.9.	Seguridad y Salud Ocupacional.....	26
3.9.1.	Protocolos de Seguridad en Minería Subterránea.....	27
3.9.2.	Tecnologías para la mejora de la seguridad.....	27
3.9.3.	Inteligencia Artificial y Big Data para la Optimización de Operaciones	28
CAPÍTULO II.....		29
1.	Metodología.....	30
1.1.	Tipo y nivel de investigación.....	30
1.1.1.	Tipo de investigación.....	30
1.1.2.	Nivel de investigación.....	30
1.2.	Diseño de la investigación	30
1.3.	Métodos de investigación	30
1.3.1.	Población y muestra.....	30
1.3.2.	Técnicas de recolección y análisis de datos.....	31
1.3.3.	Operacionalización de variables	33
CAPÍTULO III.....		34
1.	Resultados.....	35
1.1.	Consumo de Horas Equipo Actuales	35
1.2.	Rendimiento Actual de los Equipos.....	39
1.3.	Sistema de gestión de flota en equipos	43
1.3.1.	Sistema ONE MINE	43
1.3.2.	Demoras Operativas.....	44
1.3.3.	Demoras no Operativas.....	46
1.3.4.	Mantenimiento	49

1.4.	Cálculo y Simulación de Match Factor.....	51
1.5.	Consumo de horas posterior al sistema de gestión de flota	54
1.6.	Impacto del sistema de gestión de flota en KPI.....	62
1.6.1.	Impacto por tiempos productivos.....	62
1.6.2.	Impacto en Demoras Operativas.....	66
1.6.3.	Impacto en Demoras no Operativas y Mantenimiento	69
1.6.4.	Impacto en los KPI.....	71
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES.....		76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		77



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de una AD30.....	18
Tabla 2 Instrumentos por cada objetivo específico.....	31
Tabla 3 Operacionalización de variables	33
Tabla 4 Registro de tiempos productivos de los equipos scooptram	35
Tabla 5 Horas productivas por equipo	36
Tabla 6 Registro de tiempos de demoras y mantenimiento de los equipos scooptram.....	37
Tabla 7 Registro de tiempos de demoras y mantenimiento por equipo	38
Tabla 8 Rendimiento de la actividad de acarreo de los Scoops	39
Tabla 9 Rendimiento de la actividad de limpieza de frentes	40
Tabla 10 Rendimiento de la actividad de limpieza de tajos.....	40
Tabla 11 Rendimiento de la actividad de relleno.....	41
Tabla 12 Consumo de horas y acumulado de demoras operativas de los scoops	45
Tabla 13 Consumo de horas y acumulado de demoras no operativas de los scoops	47
Tabla 14 Horas de mantenimiento de equipos de los scoops.....	49
Tabla 15 Horas de mantenimiento por código de equipos.....	49
Tabla 16 Rendimiento de equipos scooptram en tajeos	51
Tabla 17 Cálculo de Macth Factor	52
Tabla 18 Registro de tiempos de los scoops Agosto-octubre 2023	54
Tabla 19 Registro de tiempos por equipo periodo Agosto-octubre 2023	55
Tabla 20 Registro de tiempos de demoras y mantenimiento de los scoops– Agosto a octubre 2023.....	56
Tabla 21 Registro de tiempos de demoras y mantenimiento por equipo – Agosto a octubre 2023.....	58
Tabla 22 Rendimiento de la actividad de acarreo	59
Tabla 23 Rendimiento de la actividad de limpieza de frentes	60
Tabla 24 Rendimiento de la actividad de limpieza de tajos.....	60

Tabla 25 Rendimiento de la actividad de relleno.....	61
Tabla 26 Disponibilidad operativa de la flota de equipos (Scoops)	71
Tabla 27 Disponibilidad mecánica de la flota de equipos (Scoops)	72
Tabla 28 Comparación estadística de las actividades para identificar el impacto	74



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aumento de la eficiencia en el rendimiento de activos	13
Figura 2 Esquema temporal para administrar los activos	14
Figura 3 Partes de un equipo LHD	16
Figura 4 Locomotora Trolley	17
Figura 5 Volquete Volvo FMX 440.....	19
Figura 6 Registro de demoras operativas de los scoops – Mayo a Julio 2023.....	41
Figura 7 Interfaz ONE MINE para la gestión de equipos.....	43
Figura 8 Clasificación del estado de equipo	44
Figura 9 Pareto de horas en demora operativa.....	45
Figura 10 Pareto de horas en demoras no operativas de los scoops	46
Figura 11 Capacitación al personal en el uso del sistema ONEMINE.....	48
Figura 12 Horas en mantenimiento por código de equipo	50
Figura 13 Horas en mantenimiento por código de equipo	53
Figura 14 Registro de demoras operativas de los scoops– Agosto a octubre 2023	57
Figura 15 Consumo de horas por actividad en ambos periodos de los scoops	62
Figura 16 Rendimiento de la actividad de limpieza en tajeos	63
Figura 17 Rendimiento de la actividad de limpieza en frente	63
Figura 18 Rendimiento de la actividad de acarreo.....	64
Figura 19 Rendimiento de la actividad de relleno detrítico	65
Figura 20 Consumo de horas por mes.....	65
Figura 21 Evolución de horas en demora en “Espera de volquete”.....	66
Figura 22 Evolución de horas en demora por “Ventilación deficiente”.....	67
Figura 23 Evolución de horas en demora por “Traslado de equipo”.....	67
Figura 24 Evolución de horas en demora operativas de los scoops.....	68
Figura 25 Evolución de horas en demora no operativas de los scoops.....	69

Figura 26 Evolución de horas en demora en mantenimiento de los scoops 70

Figura 27 Evolución de la disponibilidad operativa de los equipos (Scoops)..... 72

Figura 28 Evolución de la disponibilidad mecánica de la flota de equipos (Scoops)..... 73



INTRODUCCIÓN

La presente investigación describe las actividades que se realizan con la flota de equipos encargados de la limpieza en interior mina, adicionalmente se realiza una evaluación de las demoras operativas y no operativas como de mantenimiento en dos periodos de tiempo.

Para mejorar la comprensión de esta investigación se dividió en 5 capítulos:

El capítulo I, titulado Planteamiento del Problema, describe la problemática, la justificación, los objetivos a alcanzar y las hipótesis planteadas.

El capítulo II, titulado Fundamento Teórico, comprende los antecedentes internacionales, nacionales y regionales de la investigación y el marco teórico relacionado al tema de investigación tratado.

El capítulo III, titulado Metodología, se presenta el tipo, nivel y diseño de la investigación, los recursos empleados y las técnicas de recolección de datos y el procedimiento para el análisis de datos.

El capítulo IV, titulado Resultados y Discusión, se realiza el análisis de los indicadores de los equipos en un periodo actual y posterior a controles tomados para mejorar los KPI's de la flota de equipos estudiados.

Finalmente, en el capítulo V se realizan las conclusiones, recomendaciones y se colocan las fuentes de información considerados para la ejecución de esta investigación.



CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Problemática de la investigación

En las operaciones mineras subterráneas, el rendimiento y la productividad de los equipos de carguío y acarreo se ven afectados por decisiones ineficaces relacionadas con la flota de equipos mineros. En la unidad minera estudiada, se identificó una baja utilización de los equipos, con tiempos muertos que superan el 20% de la jornada laboral, lo que resulta en una productividad inferior a la planificada. Esta situación, combinada con la ausencia de un sistema de gestión de flota, ha elevado los costos operativos en un 15%, comprometiendo así la eficiencia general de la operación. Además, la desconexión entre las operaciones subterráneas y la supervisión en la superficie limita la capacidad de tomar decisiones informadas y de reaccionar ante eventos imprevistos, lo que agrava aún más el problema. Para abordar esta problemática, la implementación de un sistema de gestión de flota se presenta como una solución viable. Este sistema permitiría reducir los tiempos muertos en un 25%, mejorar la gestión de flotas y habilitar el mantenimiento predictivo, lo que optimizaría el rendimiento de los equipos en un 30%. (Bustamante, 2018)

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación ambiental

La implementación de un sistema de gestión de flota permitirá tener un control más eficiente de los equipos que permitirá la reducción del consumo de combustible ya que se minimizarán tiempos de inactividad y los desplazamientos innecesarios lo cual reducirá la emisión de gases y otros contaminantes que se producen durante la quema de combustible.

1.2.2. Justificación social

En el ámbito social la implementación de este sistema de gestión de flota permitirá mejorar las condiciones laborales en la unidad minera ya que al determinar la cantidad adecuada de los equipos puede generar nuevas oportunidades laborales para las comunidades locales que permitan fortalecer la relación empresa-comunidad.

1.2.3. Justificación económica

El sistema de gestión de flota permitirá una extracción más eficiente por unidad de tiempo y aumentar la producción total de la operación minera que mejorará la rentabilidad de la unidad minera ya que facilitaría la identificación y corrección rápida de las ineficiencias operativas, reducción de tiempos muertos y sincronización de las operaciones.

1.2.4. Justificación tecnológica

Esta investigación está respaldada por mejoras tecnológicas como el monitoreo en tiempo real, integración de datos, gestión centralizada, automatización de procesos; además permite la adopción de tecnologías emergentes como el Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), entre otros.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Optimizar la gestión de la flota de equipos de carguío y acarreo en rampa 767 de la Unidad Minera Caudalosa para incrementar el rendimiento operativo y la productividad.

1.3.2. Específicos

- Cuantificar el rendimiento actual de los scooptrams y camiones en actividades de limpieza, carguío y acarreo (mayo–julio 2023).
- Implementar el sistema de gestión OneMine y monitorear sus efectos en los indicadores clave de rendimiento (KPI) durante agosto–octubre 2023.
- Comparar estadísticamente los cambios en rendimiento (t/h), demoras (h) y disponibilidad (%) antes y después de la implementación.
- Validar la mejora del rendimiento con pruebas t de pareo ($p < 0,05$) para cada actividad.

1.4. Hipótesis

1.4.1. General

La implementación del sistema OneMine reducirá las demoras totales en al menos 30% y aumentará la disponibilidad operativa de la flota en un mínimo de 8 puntos porcentuales en la rampa 767.

1.4.2. Específicos

- Durante mayo–julio 2023, el rendimiento de limpieza de tajos, limpieza de frentes y acarreo promediará 18,23 t/h, 12,45 t/h y 8,77 t/h, respectivamente, sirviendo como línea base para la evaluación.
- Tras implementar OneMine (agosto–octubre 2023), el rendimiento de limpieza de tajos aumentará $\geq 10\%$ (de 18,23 t/h a $\geq 20,05$ t/h), de limpieza de frentes $\geq 50\%$ (de 12,45 t/h a $\geq 18,68$ t/h) y de acarreo $\geq 35\%$ (de 8,77 t/h a $\geq 11,84$ t/h).
- Existirán diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los indicadores de rendimiento (t/h), demoras (h) y disponibilidad (%) entre los periodos antes y después de la implementación de OneMine.
- Las pruebas t de pareo validarán una mejora significativa para cada actividad (limpieza de tajos, limpieza de frentes y acarreo), confirmando la efectividad del sistema de gestión OneMine.

2. Fundamento teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Según Paredes, Constante (2023), en su estudio “Optimización de los ciclos de carguío y acarreo de desmonte para el aumento de productividad en una unidad minera”, se planteó como objetivo mejorar el rendimiento de la flota mediante un diseño cuantitativo, descriptivo y no experimental aplicado a siete excavadoras (CAT 390FL, CAT 374DL y CAT 336DL) y treinta y nueve volquetes (SCANIA 460HT, SCANIA 500XT y SCANIA RG620) en la Unidad Minera Cerro Corona. El análisis detalló que el ciclo promedio de carguío y acarreo era de 29,33 minutos, superior al tiempo ponderado de 27,46 minutos en un recorrido de 5,029 km, y evaluó los tiempos de transporte hacia los botaderos Arpón (24,39 min), Facilidades (27,38 min), Mechero (30,27 min) y Anna (32,54 min). Utilizando el algoritmo MATCH para emparejar equipos, la combinación de excavadora CAT 390FL y volquete SCANIA RG620 alcanzó una productividad de 31 956,82 t/día, superando en un 16 % el rendimiento base de 27 000 t/día y demostrando un aumento global de más del 7 % en la productividad

Según Samatamba et al (2020), en su artículo “Evaluating and Optimizing the Effectiveness of Mining Equipment; the case of Chibuluma South Underground Mine”. Se ha desarrollado un algoritmo en el programa Rstudio para encontrar y analizar los elementos esenciales en el ciclo de vida de los equipos de minería, así como para evaluar y mejorar su eficiencia. El algoritmo ha sido validado al detectar las tendencias en los elementos que afectan el ciclo de vida de los equipos. Se ha descubierto que la eficiencia de producción de los equipos de perforación, cargadores y camiones volquete era inferior al 50%, así como los tiempos de proceso, la utilización, la facilidad de mantenimiento y el rendimiento. El modelo que este estudio propone es un algoritmo adaptable y reproducible que puede ser empleado en una mina subterránea. Para mejorar la planificación y optimización de las operaciones mineras, este algoritmo utiliza los registros operativos de los equipos.

Según Nakousi et al (2018), en su artículo “An asset-management oriented methodology for mine haul-fleet usage scheduling”. En este estudio se propone una nueva formulación de programación entera mixta para mejorar la planificación a largo plazo de los equipos de transporte minero. Los tiempos de ciclo, la capacidad de carga, el consumo de combustible y el envejecimiento de los equipos son factores considerados. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, las métricas de desempeño diversas, el aumento de los tiempos de ciclo debido al envejecimiento de la mina y la minimización de los costos de combustible son temas que no han sido abordados en la literatura. En un lapso de 10 años, el estudio de caso muestra una disminución del 13% en los gastos relacionados con el mantenimiento, las revisiones y el combustible; esto resulta en una ganancia de 13,1 millones de dólares en Valor Actual Neto. En conjunto, las emisiones de gases de efecto invernadero se han disminuido en un 11%, lo que equivale a 3.470 toneladas anuales.

Según Meza, Hector (2023), en su “Diseño de un sistema de seguimiento de flota de camiones mineros”. El propósito del proyecto es ofrecer a las compañías mineras una solución integral para administrar sus flotas de camiones, lo que aumentará la sostenibilidad, la eficacia operativa y la seguridad. Para determinar si el proyecto es factible desde el punto de vista técnico y comercial, se llevará a cabo la identificación del problema, la búsqueda de soluciones posibles y un estudio de mercado y una evaluación económica. Se enfoca en desarrollar una solución de IoT avanzada para supervisar y gestionar las flotas de camiones utilizados en minería. El Freematics ONE+ Traccar Edition, un dispositivo externo que se instala en los camiones mineros para recopilar datos de ubicación y telemetría en tiempo real, es la base de esta solución. Con una conexión 4G, estos datos se transmiten a la plataforma Microsoft Azure. Para anticipar las necesidades de mantenimiento, mejorar la seguridad, optimizar los recorridos y aumentar la eficiencia de los vehículos de carga, se utilizan inteligencia artificial y análisis avanzados. Con un panel de control de Power BI y un sitio web adaptado a sus necesidades, los usuarios pueden acceder y tomar decisiones basadas en los datos. Además, los usuarios pueden administrar la información de manera efectiva, establecer alertas y establecer niveles de funcionamiento a través del sitio web.

2.1.2. Nacionales

Según Martínez, Romina (2024), en su “Optimización del rendimiento y productividad en la mejora de los equipos de carguío con la implementación del sistema onemine en la zona alta veta Angela VN.4500 en la unidad minera Inmaculada - Hochschild, Ayacucho”. La evaluación de la aplicación del sistema OneMine para mejorar la eficiencia y la productividad de los equipos de carguío en la Zona Alta Veta Angela de la Unidad Minera Inmaculada es el propósito de esta investigación. Este sistema tiene como objetivo aumentar la disponibilidad mecánica y el factor de utilización de los equipos, así como disminuir los tiempos de inactividad. Las horas productivas de los equipos, incluidas las horas operativas efectivas, las demoras operativas, no operativas y de mantenimiento, se contabilizan mediante un diseño experimental, un enfoque cuantitativo y un nivel correlacional. Los índices operativos, que incluyen el factor operacional, la utilización, el aprovechamiento, la disponibilidad física y el índice de mantenimiento, se incrementan, según los hallazgos de la investigación. La tarifa horaria de los equipos de carguío también ha disminuido.

Diestra, Cesar; Mayta, Ledvir (2023), en su estudio Análisis de los parámetros operacionales en equipos de carguío para la mejora del rendimiento operacional en compañía minera Condestable S.A. tuvieron como objetivo determinar la influencia de los parámetros operacionales en el rendimiento de los equipos de acarreo en minería subterránea. La metodología consistió en analizar variables como el tonelaje acarreado, disponibilidad, utilización, horas efectivas y consumo de combustible de los equipos scoops de 4 y 6 yd³, en los períodos enero-febrero y marzo-abril, aplicando comparaciones de indicadores operativos y granulometría post-voladura. Los resultados indicaron que en los scoops de 4 yd³, el tonelaje acarreado aumentó de 24,936 a 33,673 toneladas entre ambos periodos, con rendimientos de 149 y 145 t/viaje respectivamente. En los scoops de 6 yd³, el tonelaje fue de 379,497 y 386,692 toneladas, con rendimientos de 46 y 50 t/viaje. Adicionalmente, los indicadores de utilización y disponibilidad mejoraron del 85% al 87% y del 46% al 51% respectivamente, mientras que el rendimiento subió de 86 t/h a 90 t/h. Las horas efectivas se incrementaron ligeramente en 0.37 h/día, con una reducción en el consumo de combustible de 0.43 gal/h, evidenciando la

optimización operativa. Finalmente, el análisis de granulometría en cámaras 120 y 135 mostró que el P80 y los finos asociados variaron entre 45.34 y 23.36 pulgadas, con porcentajes de finos de 18.90% y 26.80%. Estos hallazgos reflejan una relación directa entre la eficiencia de los equipos, la calidad de fragmentación del mineral y el control operacional implementado en la mina.

Salgado, Cintya (2020), en su estudio titulado Mejora de la productividad en equipos de acarreo y transporte de mineral y desmonte en la veta Gavia – Nivel 100, Unidad Minera Huarón, tuvo como objetivo analizar los indicadores operacionales, específicamente la utilización y disponibilidad de equipos, para optimizar los costos de transporte. La metodología incluyó un análisis descriptivo-explicativo y preexperimental de los indicadores operacionales durante el periodo de enero a junio de 2019. Se emplearon herramientas como la revisión documentaria y el uso del diagrama de Pareto para identificar las principales causas que afectan el rendimiento del sistema de transporte. Los resultados demostraron que el tonelaje total transportado fue de 437,212.72 toneladas en 21,754 viajes, con un costo total de transporte de 870,138.77 dólares. Se observó un ahorro en el costo unitario, pasando de 2.2 a 1.99 dólares por tonelada. Asimismo, se identificaron como principales causas de demoras operativas el transporte con carga y sin carga (49.15%), seguido por el carguío (12.59%), espera de equipos (8.61%) y reparto de guardia (4.36%). El tonelaje de mineral transportado fue de 317,656.48 toneladas, con un costo total de 634,321.32 dólares y un costo unitario de 2.00 dólares por tonelada, mientras que el desmonte alcanzó las 119,556.24 toneladas con un costo total de 235,817.45 dólares y un costo unitario de 1.97 dólares por tonelada. Finalmente, se concluye que la mejora en la utilización y disponibilidad de los equipos incrementa la productividad y optimiza los costos de transporte mediante un control efectivo de las variables operativas.

Carhuapoma, Niwel; Santos, Gervacio (2020), en su estudio Evaluación de la etapa de limpieza y extracción mecanizado para optimizar los costos de minado de una mediana minera de La Libertad, 2019, tuvo como objetivo principal analizar los tiempos de limpieza y extracción para optimizar los costos operativos en una empresa minera subterránea. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, explicativa y no experimental, con recolección de datos mediante observación directa en campo y análisis documental. Se estudiaron los equipos de limpieza scoop LHD 203 y acarreo dumper TH 315 en la veta Bolívar del nivel 3100. Durante el periodo inicial, de octubre 2019 a marzo 2020, los resultados mostraron una producción promedio de 16.10 t/h y 9.70 t/h para limpieza de desmonte y mineral, con costos unitarios de USD 4.36/t y USD 7.23/t, respectivamente. Para la extracción, el rendimiento fue de 25.90 t/h y 25.50 t/h con costos de USD 5.03/t y USD 5.10/t. Se implementó un mantenimiento constante de vías en ambos turnos, optimizando las rutas de transporte y reduciendo los tiempos de ciclo. En el periodo siguiente, de abril a agosto 2020, la producción de limpieza aumentó a 26.90 t/h y 11.60 t/h, mientras que los costos disminuyeron a USD 3.35/t y USD 6.01/t. En la etapa de extracción, la producción mejoró a 37.20 t/h y 37.80 t/h con una reducción de costos a USD 3.49/t y USD 3.44/t. Los resultados demostraron un ahorro promedio mensual de USD 24,117.00, destacando que el mantenimiento adecuado de vías y el control de tiempos permiten una reducción significativa en los costos unitarios y un incremento en la productividad de los equipos.

2.1.3. Regionales

Cuti, Julio Cesar (2019), en su estudio “Determinación de indicadores de rendimiento en equipos de carguío, acarreo y transporte para mejorar la productividad en mina Chipmo, U.E.A. Orcopampa de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. Arequipa”, donde busca establecer un conjunto de indicadores de rendimiento para mejorar la productividad de las operaciones mineras en mina Chipmo, reduciendo los costos operacionales y maximizando el uso de los recursos. En la zona Nazareno de la mina, se implementa el ciclo PDCA de mejora continua en los equipos de transporte, acarreo y carguío. Al monitorear y controlar los indicadores de rendimiento durante el periodo de prueba, las horas de operación de los Scooptram aumentaron de 292.43 a 388.2 horas y de 322.4 a 425.4 horas para los Dumper; esto mejoró la disponibilidad y la utilización, y

disminuyó el tiempo promedio entre fallas y reparaciones. Como resultado, los costos de los equipos se redujeron de 669,795.82 soles a 583,380.97 soles. Se recomienda continuar supervisando y controlando el área de productividad en las operaciones unitarias, en particular en el ciclo de transporte y la limpieza.

Cruz, Balan (2020), en su estudio Optimización de costos de carguío y acarreo mediante el control de tiempos y el rendimiento de equipos en la empresa minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa, tuvo como objetivo principal optimizar los costos operacionales relacionados con el carguío y acarreo de mineral mediante la regulación de tiempos y el análisis del rendimiento de los equipos en la galería San Bartolomé. La metodología aplicada fue de tipo descriptiva y experimental, con recopilación de datos en campo durante dos etapas de estudio. En la primera fase, se analizaron las operaciones del sistema anterior evaluando variables como tiempos de carga y acarreo, distancias recorridas, producción horaria y costos operativos asociados. Durante un periodo de doce días, equivalentes a veinticuatro guardias, se documentó el rendimiento de equipos como scooptrams y dumpers, así como los retrasos por mantenimiento, pendientes y vías inadecuadas. En la segunda etapa, se implementaron mejoras con control riguroso en los tiempos de ciclo y mantenimiento de las rutas. Los resultados evidenciaron una reducción en los costos unitarios de carga y acarreo del mineral, optimizando el costo promedio por metro cúbico de 3.3 a 2.7 dólares en carguío y de 11 a 8.9 dólares en acarreo. La producción horaria aumentó en un 20% debido a la disminución de tiempos improductivos, logrando una mejora en la eficiencia del equipo al incrementar la disponibilidad y utilización en un 15%. Se concluye que el control sistemático de tiempos y la optimización de las rutas de transporte permiten alcanzar ahorros significativos y mejoras en la productividad de los equipos, contribuyendo a la sostenibilidad económica de las operaciones mineras.

Quispe, Wilfredo (2017), en su estudio Optimización de costos de acarreo con equipo mecanizado en la Unidad Minera Tambomayo, Cía. de Minas Buenaventura Arequipa, tuvo como objetivo optimizar los costos de acarreo en una operación minera subterránea mediante el análisis y mejora de los ciclos de acarreo y limpieza. La metodología consistió en un estudio comparativo entre el rendimiento del equipo LHD (Scoop) de 3.2 yd³ antes y después de implementar mejoras en el control de tiempos, mantenimiento de vías y optimización de ciclos de trabajo en el cruce 339 NW del nivel 4590. Se evaluaron parámetros como los tiempos de ida sin carga, retorno con carga, limpieza de frentes de trabajo y el rendimiento operativo en metros cúbicos por hora. Al inicio del estudio, se registró un tiempo de ida sin carga de 2.5 minutos, retorno con carga de 3.5 minutos y un ciclo de limpieza que demoraba 1.98 horas, con una productividad promedio de 25.98 m³/h. Tras la implementación de las mejoras, los tiempos se optimizaron a 2.3 minutos para la ida, 2.7 minutos para el retorno y 1.60 horas para la limpieza de frentes, incrementando la productividad del equipo a 30.44 m³/h. Además, se redujeron los costos unitarios de acarreo al ajustar la distancia óptima de operación a 200 metros, evitando rendimientos decrecientes por distancias mayores. Se concluyó que la optimización del ciclo de acarreo y la implementación de prácticas de mantenimiento en las vías resultaron en una mayor eficiencia operativa, permitiendo un ahorro significativo en los costos y una mejora en la productividad de los equipos LHD empleados.

3. Marco teórico

3.1. Productividad en minería subterránea

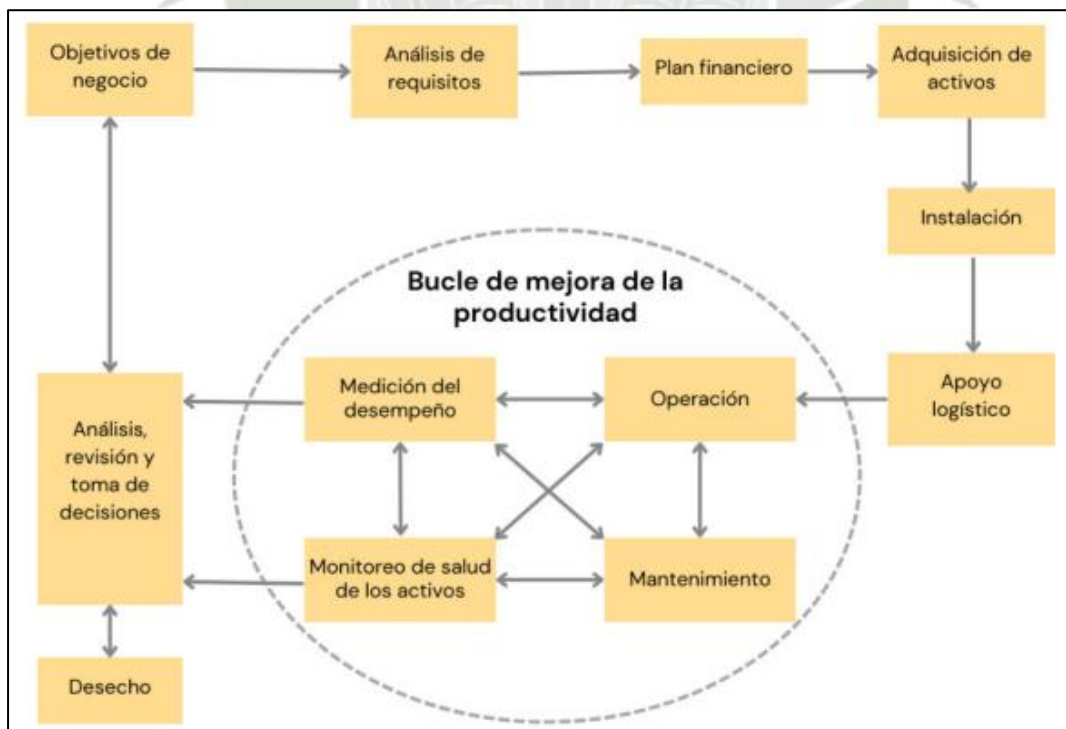
La eficiencia ayuda a reducir los tiempos improductivos en las tareas, siendo influenciada por dos factores clave:

- Equipos
- Factor humano

La falta de control en el tiempo, que incluye desplazamientos innecesarios, problemas de funcionamiento de los equipos, salir y regresar para un descanso, entre otras, son las pérdidas más comunes en la mano de obra en la minería subterránea. Los problemas de calidad en los equipos, los retrabajos, los errores en la operación, las paradas breves, los retrabajos, las detenciones planificadas y los períodos de inactividad son las causas más comunes de la disminución del rendimiento de los equipos mineros. La importancia de la coordinación, la supervisión y la toma de decisiones acertadas durante este proceso se destaca en la Figura 1, que ilustra cómo los activos de la industria minera son administrados y mejorados para incrementar la productividad. (Martinez, 2024)

Figura 1

Aumento de la eficiencia en el rendimiento de activos



Nota. Extraído de (Martinez, 2024).

3.2. Modelo de gestión de activos

Se trata de una serie de normas que establecen los objetivos y las exigencias de desempeño para una variedad de aspectos que abordan la administración de proyectos. Este sistema de gestión de activos tiene como objetivo establecer una serie de indicadores fundamentales de desempeño que se pueden emplear para evaluar el rendimiento de nuestras flotas móviles. Según el modelo de gestión que se muestra en la siguiente figura, los términos que se describen en la definición del tiempo serán las ecuaciones que se emplearán para calcular los indicadores. (Diestra & Mayta, 2023)

Figura 2

Esquema temporal para administrar los activos

TIEMPO CALENDARIO(TC) o TOTAL(TT)						
Tiempo Programado(TP)					Tiempo No Programado (TNP)	
Tiempo Disponible(TD)				Tiempo de Mantenimiento(TM)		Tiempo No Programado (TNP)
Tiempo de Operación(TO)			Stand By	MP	MNP	
TNOP	DOP	DONP				
TC o TT	Tiempo de un Periodo (Turno 12 horas, Dia 24 Horas etc)					
TP	Tiempo Programado de Trabajo de un Equipo					
TNP	Tiempo Ocasionado por Eventos Externos					
TD	Tiempo que un equipo esta Disponible para ser usado					
TM	Tiempo que un equipo no esta Disponible para ser usado					
TO	Tiempo que un Equipo tiene un operador Asignado					
TNOP	Tiempo Neto Operativo					
DOP	Tiempo de Demora Operativa Programada					
DONP	Tiempo de Demora Operativa No Programada					
Stand By	Tiempo que un equipo esta Disponible pero no es usado					
MP	Tiempo de Mantenimiento Programado					
MNP	Tiempo de Mantenimiento No Programado					

Nota. Extraído de (Diestra & Mayta, 2023).

3.3. Conceptos de gestión de tiempos de esperas

“Se trata de administrar los tiempos inútiles en las operaciones o actividades de una empresa. Algunos componentes fundamentales en la gestión de los tiempos de espera son” (Martinez, 2024).

3.3.1. Tiempo planificado de inactividad

Se define como el tiempo en el que se espera que una máquina o equipo no funcione debido a cambios de turnos o a tareas de mantenimiento. El impacto en la productividad puede ser reducido mediante una gestión adecuada de estos períodos. (Martinez, 2024)

3.3.2. Tiempo de inactividad no planificado

Se refiere a situaciones en las que se producen interrupciones no programadas debido a problemas logísticos, falta de suministros o fallos inesperados en los equipos, entre otras razones. La identificación rápida de las causas y la implementación de soluciones para reducir los retrasos son parte de la gestión de estos tiempos. (Martinez, 2024)

3.3.3. Optimización del tiempo de ciclo

“Se trata de reducir la cantidad de tiempo que se requiere para terminar un proceso; esto reduce los tiempos de espera entre etapas y mejora la eficiencia global” (Martinez, 2024).

3.3.4. Tiempo de espera en la programación

“Para evitar demoras innecesarias y garantizar una ejecución eficiente de las actividades, es fundamental tener en cuenta los tiempos de espera en la planificación de proyectos” (Martinez, 2024).

3.4. Maquinaria minera

3.4.1. Equipos LHD

Se trata de un equipo destinado a transportar, cargar y descargar materiales en operaciones mineras subterráneas. El diseño de los LHD se basa en la restricción de espacio en este tipo de faenas, lo que resulta en máquinas de dimensiones distintas: largas, estrechas y bajas, con una articulación central y el operador colocado perpendicular al eje longitudinal del equipo. Su diseño articulado facilita su movilidad en áreas estrechas con ángulos agudos, la longitud le permite resistir cargas grandes y el centro de gravedad bajo ayuda a mantener la estabilidad del vehículo. La máquina LHD tiene como objetivo transportar una carga completa a un punto de descarga cercano y recogerla en su cuchara. A medida que aumenta la capacidad de su cuchara, el rendimiento de la máquina LHD aumenta y disminuye a medida que aumenta la distancia a la que se traslada la carga. A pesar de que unos pocos cargadores frontales subterráneos más pequeños vienen con motores eléctricos, la mayoría de ellos cuentan con motores diésel que tienen una potencia que va desde 78 HP para los modelos más pequeños, hasta 145 HP para los más grandes. Estos motores pueden ser enfriados por agua o por aire, y los cargadores frontales subterráneos suelen tener sistemas de frenos de emergencia y estacionamiento que emplean fluidos hidráulicos resistentes al fuego. (Cabana, 2020)

Figura 3

Partes de un equipo LHD



Nota. Extraído de (Cabana, 2020).

3.4.2. Transporte sobre rieles

Transportar la mena desde los lugares de extracción hasta el lugar de recolección, que incluyen los echaderos o tolvas de la planta concentradora, es su responsabilidad. También se emplea para transportar los materiales y el personal. Su flexibilidad, seguridad, confiabilidad y bajos costos operativos son los principales beneficios del transporte ferroviario; es capaz de transportar grandes cantidades de material a largas distancias. Algunas de sus principales características son:

- Se emplea con mayor frecuencia en operaciones mineras subterráneas tradicionales.
- Su seguridad y eficacia lo hacen adecuado para una variedad de situaciones.
- Incluso a largas distancias, ofrece un rendimiento excepcional.
- El sistema de piques con chutes puede ser utilizado a profundidades importantes.

En los rieles, se hace uso de las locomotoras, las cuales son dispositivos que utilizan tracción por adherencia para mover las vagonetas durante el transporte. En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de locomotoras, siendo las más populares y conocidas las de batería y Trolley Diésel. Poseen las características como una bocina para hacer ruido; un interruptor móvil; dos motores que funcionan con corriente continua; un controlador que permite el movimiento hacia adelante y hacia atrás; dos luces delanteras y un interruptor; y una alta resistencia. (Cabana, 2020)

Figura 4

Locomotora Trolley



Nota. Extraído de (Cabana, 2020).

3.4.3. Transporte con Dumper

Para trabajar en condiciones exigentes en la minería subterránea, los camiones Dumper son los más confiables, eficientes y seguros. Se pueden encontrar en varios tamaños de caja, ya sea amplia o regular, y con configuraciones de descarga o eyector, que son adecuadas para materiales tanto densos como ligeros. Los motores Cat ACERT se emplean para disminuir los gastos relacionados con la ventilación y disminuir las emisiones en áreas subterráneas. Para facilitar la operación y aumentar la eficiencia laboral, se han creado las cabinas ergonómicas. Estos camiones subterráneos tienen cajas de 11,3 a 36,6 metros cúbicos y tienen la capacidad de transportar entre 30 y 60 toneladas métricas de carga. El fabricante decide estas medidas en función de la máquina y de la aplicación. En comparación con los Dumper y aunque tienen la misma capacidad de carga que los volquetes convencionales, los camiones de baja altura requieren menos espacio para circular, lo que reduce los costos de la construcción de la mina. Su vida útil es más larga, alcanzando las 25,000 o 30,000 horas de funcionamiento debido a su diseño más resistente. (Cabana, 2020)

Tabla 1

Características de una AD30

Capacidad de carga útil	30 tons métricas / 33,1 tons EE.UU.
Modelo de motor	C15 Tier 3 Cat
Potencia bruta	304 kW / 408 hp
Peso bruto en orden de trabajo	60 000 kg / 132 300 lb
Capacidad de la caja	11,3 a 17,5 m ³ / 14,8 a 22,9 yd ³

Nota. Extraído de (Cabana, 2020).

La tabla 1 resume las características técnicas del camión evaluado en el estudio. Estos datos se utilizan para calcular la capacidad de acarreo y estimar el rendimiento operativo en la optimización de la flota.

3.4.4. Transporte con volquetes

Se trata de vehículos destinados a transportar materiales; en su parte delantera tienen una plataforma abierta que se puede elevar hidráulicamente para descargar los materiales. Se ha elegido un camión volquete promedio de la flota para evaluar y analizar su desempeño en términos de eficiencia, tiempo de uso y otros factores importantes. (Cabana, 2020)

Figura 5

Volquete Volvo FMX 440



Nota. Extraído de (Cabana, 2020).

3.5. Carguío

El carguío a volquete es el proceso de cargar materiales en un camión volquete. Este proceso implica la utilización de maquinaria, como scooptrams, para trasladar el material desde el sitio de extracción o almacenamiento hasta el volquete, el cual luego transportará el material a su destino. El carguío a volquete es comúnmente utilizado en operaciones donde se requiere mover grandes volúmenes de material de manera eficiente y rápida.

3.6. Acarreo

El acarreo en operaciones mineras se refiere al proceso de movilización a corta distancia del material fragmentado dentro de una mina. Este proceso se realiza en áreas donde el transporte convencional presenta limitaciones, como un radio de acción restringido o condiciones específicas del frente de trabajo. Generalmente, estas limitaciones surgen debido a la ubicación de las zonas de extracción, el tipo de terreno o la distancia reducida que debe cubrirse en las etapas iniciales de producción. El acarreo juega un

papel fundamental dentro del ciclo de producción minera, ya que permite trasladar el material desde los puntos de extracción, excavación o carga hasta los sitios destinados a su almacenamiento, procesamiento o disposición final. Este proceso es crucial para garantizar un flujo continuo y eficiente de materiales, optimizando así el rendimiento operativo y los tiempos de producción. (Bustamante, 2018)

La siguiente fórmula puede describirse como una secuencia de un viaje de un camión minero en el sector del transporte:

$$TCT = TPP + TC + TVC + TPV + TV + TVV + R$$

Donde:

TCT: tiempo de ciclo por unidad de transporte.

TPP: tiempo de acuatamiento.

TC: tiempo de carguío.

TVC: tiempo de viaje cargado;

TPV: tiempo que dura posicionado en el lugar de descarga;

TV: tiempo de vaciado;

TVV: tiempo de viaje vacío.

R: retrasos.

3.7. Índices clave de rendimiento

“El KPI, o Indicador Clave de Rendimiento, es un elemento fundamental en la medición de la eficiencia en una organización. A continuación, se describen las fórmulas para calcular los índices operativos” (Bustamante, 2018).

3.7.1. Disponibilidad Mecánica (DM)

La disponibilidad de los equipos es un factor determinante en la planificación de las operaciones mineras, ya que influye directamente en la productividad y eficiencia de las unidades de trabajo. La disponibilidad de un equipo se refiere al porcentaje del tiempo total en que una unidad está en condiciones de operar, es decir, lista para su función específica. Un ejemplo común es el de las palas mecánicas, donde una disponibilidad del 80% implica que, de cada 100 turnos de trabajo, 80 se dedican a la producción efectiva mientras que los restantes 20 corresponden a paradas necesarias para mantenimiento y reparación. En este

contexto, resulta esencial establecer estrategias que prioricen la disponibilidad de los equipos en las zonas de mayor relevancia operativa, permitiendo así optimizar los recursos disponibles y reducir las interrupciones no planificadas. La disponibilidad está ligada al tiempo operativo previsto durante el cual una máquina se encuentra en condiciones mecánicas idóneas para desempeñar sus funciones (Cruz, 2020).

$$DM = \frac{T.E. + D + Rv}{T.N.} \times 100\%$$

Donde:

DM: Disponibilidad mecánica (%).

T.E.: Tiempo efectivo.

D: Demoras.

Rv: Reservas.

T.N.: Tiempo Nominal.

3.7.2. Utilización Efectiva (UE)

La utilización efectiva (UE) es un indicador clave que permite evaluar el porcentaje de tiempo en el cual un equipo estuvo en funcionamiento activo en relación con el tiempo total disponible para su operación. Este indicador resulta fundamental en la gestión de activos y desempeño operativo dentro de procesos industriales y mineros, ya que mide la eficiencia real de la maquinaria al comparar el tiempo efectivo de producción contra el tiempo total asignado. (Bustamante, 2018).

$$UE = \frac{T.Efectivo}{T.Disponible} \times 100\%$$

3.7.3. Índice de Mantenimiento (IM)

“Es la proporción de tiempo que el equipo pasa en funcionamiento en comparación con el tiempo que se dedica al mantenimiento y/o reparación del mismo” (Martinez, 2024).

$$IM = \frac{HOP}{HMT}$$

Donde:

HOP: Tiempo de Operación u Horas de Operación

HMT: Tiempo de Mantenimiento u Horas de Mantención

3.7.4. Aprovechamiento (A)

“Se refiere al porcentaje de tiempo en el que el equipo funciona de acuerdo con su diseño original, considerando las horas laborales totales y las potenciales pérdidas operativas” (Martinez, 2024).

$$A = \frac{HOP}{HH} \times 100\%$$

Donde:

HOP: Tiempo de Operación u Horas de Operación

HH: Tiempo Hábil u Horas Hábiles

3.7.5. Factor Operacional (FO)

“Se refiere al porcentaje de tiempo en el que el equipo completa efectivamente su tarea de diseño durante cada hora de trabajo” (Martinez, 2024).

$$FO = \frac{HEF}{HOP} \times 100\%$$

Donde:

HEF: Tiempo Efectivo u Horas Efectivas

HOP: Tiempo de Operación u Horas de Operación

3.7.6. Rendimiento de equipos de carguío (R)

“Se refiere a la cantidad de producción teórica que un equipo determinado puede realizar en un lapso de tiempo, ya sea en volumen o en peso” (Martinez, 2024).

$$R = \frac{N^{\circ}c \times Cc \times Fll \times Ds}{1 + Fe}$$

Donde:

R: Rendimiento.

N^oc: Numero de ciclos por hora.

Cc: Capacidad real de cuchara.

Fll: factor de llenado.

Ds: Densidad de material roto.

Fe: Factor de esponjamiento.

3.7.7. Uso del equipo (Use)

“La cantidad de tiempo que el motor está encendido en comparación con el tiempo total que el equipo está en funcionamiento. Las demoras operativas están estrechamente relacionadas con este factor” (Bustamante, 2018).

$$Uso = \frac{HOP}{HOP + Demoras}$$

Donde:

HOP: Tiempo de Operación u Horas de Operación

3.7.8. Usaje (Usage)

“El porcentaje de tiempo de producción en comparación con el tiempo total disponible mecánicamente es un método para medir la eficiencia del equipo en el uso de los recursos disponibles” (Bustamante, 2018).

$$Usage = \frac{HOP}{HOP + Demoras + H. Stand By}$$

Donde:

HOP: Tiempo de Operación u Horas de Operación

3.7.9. Tkphr

La medida que determina la cantidad de toneladas producidas en un lapso de tiempo determinado y en una distancia promedio. (Bustamante, 2018).

$$TKPHr = \frac{Toneladas\ producidas \times Distancia\ promedio}{Intervalo\ de\ tiempo}$$

3.8. Tecnologías y sistemas de gestión de flotas

3.8.1. Sistema de control de flotas Mining Tag OneMine

El personal, las soluciones y los activos de gestión de flotas que fomentan la seguridad y la eficiencia se muestran de manera clara. La instalación de sensores facilita la implementación de sistemas de control automático y la visualización de los datos correspondientes en el proceso de recopilación de datos automatizados. Se basa en la tecnología RFID de Identec Solutions y es un sistema de gestión de producción específico para las operaciones mineras subterráneas. Un software fácil de usar, desarrollado con experiencia en operaciones mineras, combina la confiabilidad de equipos de alta calidad. El uso de etiquetas de identificación facilita la identificación de su origen y destino en el proceso productivo, al rastrear la ubicación de los equipos de producción en actividades subterráneas. La medición precisa de la producción real es posible gracias a la integración con dispositivos de pesaje. Uno de los beneficios más importantes es:

- El seguimiento en tiempo real de la productividad permite visualizar las actividades laborales y su comparación con los estándares establecidos.
- Se han observado incrementos en la eficiencia laboral que van desde un 5% hasta un 40%.
- La reubicación de personal y equipos antes de que ocurran eventos imprevistos facilita la resolución de problemas.
- La asignación automatizada o manual de tareas permite una coordinación efectiva de los equipos. (Martinez, 2024)

3.8.2. Internet of Things (IoT) and Connected Devices

Se refiere a un concepto tecnológico que ha ganado relevancia en los últimos tiempos: la conexión entre objetos físicos por medio de una red. Esto permite que estos dispositivos realicen acciones particulares para mejorar la vida diaria de las personas, así como recopilen y compartan información. Dado que juegan un papel fundamental en la transmisión y recopilación de datos, los dispositivos conectados son esenciales dentro del Internet de las cosas. La conexión continua entre dispositivos a través de tecnologías como las redes celulares, Wi-Fi, Bluetooth y RFID son las características principales del Internet de las cosas (IoT). Los sensores de los dispositivos IoT recopilan información sobre el entorno, como la

temperatura, la humedad, el movimiento y la ubicación; algunos de ellos también incluyen actuadores para realizar acciones basadas en esta información. Los dispositivos IoT tienen la capacidad de cooperar entre sí mediante la creación de sistemas interconectados que pueden comunicarse y tomar decisiones en tiempo real. Las tecnologías de aprendizaje automático y grandes volúmenes de datos se utilizan para almacenar y analizar los datos producidos por los dispositivos IoT. También permite el control remoto de dispositivos, como recibir notificaciones en tiempo real o regular la temperatura de una casa a través de un dispositivo móvil. Algunas de las ventajas que presenta son:

- Disminución de los costos de mantenimiento y operación.
- Para una toma de decisiones más informada, obtenga información actualizada al instante.
- Introducción de la automatización en varios sectores industriales. (Martinez, 2024)

3.8.3. Smart Sensors

La tecnología actual y el Internet de las cosas (IoT) dependen de estos dispositivos tecnológicos. Se destacan por su capacidad para adquirir información precisa, interactuar con otros dispositivos y realizar tareas particulares sin la intervención humana. Las características principales de los sensores inteligentes incluyen la capacidad de recopilar datos precisos en tiempo real de diferentes parámetros como temperatura, humedad, luz, presión y movimiento, procesar esos datos localmente antes de transmitirlos a otros dispositivos, conectarse a redes inalámbricas para comunicarse con otros dispositivos IoT, utilizar técnicas de aprendizaje automático para mejorar con el tiempo y autocalibrarse para mantener la precisión de las mediciones, y tener la capacidad de almacenar temporalmente datos en caso de interrupciones en la conectividad. El análisis avanzado para la toma de decisiones en tiempo real, la reducción de costos operativos y de mantenimiento al detectar y prevenir problemas antes de que sean costosos y la automatización de tareas y procesos para aumentar la eficiencia operativa son algunas de las ventajas de los sensores inteligentes. La privacidad y la seguridad en la recopilación y transmisión de datos, la interoperabilidad entre varios dispositivos debido a la variedad de protocolos del IoT y la eficacia energética de los sensores que funcionan con baterías son algunos desafíos de los sensores inteligentes. (Martinez, 2024)

3.8.4. Devices Remote Operation Center (ROC)

Representa una instalación esencial para la supervisión y el control remoto de las operaciones en diversas industrias. Estos centros brindan la capacidad de vigilar y administrar sistemas, procesos y operaciones ubicados en diversas áreas geográficas. La supervisión remota de sistemas y operaciones en lugares lejanos, la automatización y el control de procesos y dispositivos de forma remota, la comunicación avanzada a través de tecnologías de alta velocidad y la seguridad cibernética como medida fundamental para proteger datos y operaciones son características principales de un centro de operación remota. Algunos beneficios se mencionan como:

- Reducción de costos: Los costos de logística y mantenimiento pueden disminuir mediante la centralización de las operaciones en los ROC.
- Mayor seguridad: La seguridad y la respuesta a los incidentes se mejoran con la supervisión y el control centralizados.
- Acceso a expertos: Los ROC brindan acceso a expertos en tiempo real, independientemente de su ubicación.
- Continuidad y resiliencia: Incluso en tiempos de crisis, los ROC aseguran que las operaciones continúen. (Martinez, 2024)

3.9. Seguridad y Salud Ocupacional

La Seguridad y Salud Ocupacional (SSO) constituye un componente esencial en la gestión de operaciones mineras subterráneas. Su importancia no se limita a la protección del capital humano, sino que se extiende a la eficiencia operativa, al incidir directamente en indicadores como la disponibilidad de equipos, la reducción de demoras y la mejora del rendimiento global en los procesos de carguío y acarreo. Desde un enfoque de productividad, la implementación de políticas y prácticas en SSO permite minimizar interrupciones no programadas, optimizar la planificación operativa y asegurar condiciones estables que favorecen la continuidad del ciclo productivo. Un entorno laboral seguro tiende a mejorar la motivación del personal, reducir la rotación y, en consecuencia, contribuir al desempeño organizacional. (Mendoza, M, 2019)

3.9.1. Protocolos de Seguridad en Minería Subterránea

La minería subterránea presenta riesgos inherentes relacionados con la geología, la ventilación, los gases, el uso de explosivos y el tránsito de maquinaria pesada en espacios confinados. Ante esta realidad, diversas normativas nacionales e internacionales han establecido protocolos destinados a salvaguardar la integridad física de los trabajadores y a mitigar los factores de riesgo que podrían afectar la operación continua de los equipos. Entre las normativas más relevantes se encuentran:

- ISO 45001, que proporciona un marco para la gestión de la seguridad y salud ocupacional, basado en la mejora continua.
- El Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de la OIT, centrado en la identificación de riesgos, la evaluación de peligros y la capacitación del personal.
- El Código de Normas de Seguridad Minera (CNSM), que regula aspectos operativos como estabilidad de excavaciones, manejo de explosivos, ventilación y respuesta ante emergencias.
- Reglamentos locales o sectoriales, como los emitidos por organismos de fiscalización minera en cada país.

Estos protocolos consideran elementos clave como la identificación y evaluación de riesgos, la implementación de planes de emergencia, la capacitación constante del personal operativo y la supervisión del cumplimiento normativo. Su aplicación efectiva contribuye a disminuir eventos críticos que puedan provocar detenciones de maquinaria o accidentes que afecten la continuidad operativa. (Trigueros et al , 2003)

3.9.2. Tecnologías para la mejora de la seguridad

El avance tecnológico ha permitido que la gestión de seguridad en minería subterránea evolucione hacia sistemas más inteligentes e integrados. La incorporación de sensores, monitoreo en tiempo real y sistemas de control automatizados no solo mejora las condiciones de trabajo, sino que también fortalece la eficiencia de los procesos operativos, al reducir tiempos muertos, prevenir fallos y asegurar una mayor disponibilidad de equipos. Un ejemplo relevante lo constituye RISKGATE, una herramienta digital desarrollada en Australia que facilita la toma de decisiones en seguridad mediante el análisis

estructurado de riesgos operacionales. Esta plataforma permite gestionar eventos relacionados con colisiones, incendios, fallas mecánicas, control de energía y condiciones de ventilación, tanto en minería subterránea como en operaciones a cielo abierto. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos asociados a la inversión inicial, la capacitación del personal, la integración con los sistemas operativos existentes y el cumplimiento normativo. A pesar de estas limitaciones, los beneficios en términos de continuidad operativa y reducción de accidentes justifican su adopción progresiva. (Kirsch, 2014)

3.9.3. Inteligencia Artificial y Big Data para la Optimización de Operaciones

La aplicación de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y el Big Data en minería ha demostrado ser eficaz para fortalecer la seguridad y salud ocupacional. Estas herramientas permiten monitorear en tiempo real condiciones de operación, identificar riesgos y generar alertas preventivas para reducir incidentes.

En la Rampa 767 de la Unidad Minera Caudalosa, donde las operaciones de carguío y acarreo implican riesgos constantes por el tránsito de maquinaria y condiciones ambientales exigentes, la IA puede analizar patrones de comportamiento y anticipar eventos peligrosos. A su vez, el Big Data facilita el procesamiento de información proveniente de sensores, equipos y sistemas de monitoreo ambiental, mejorando la toma de decisiones en seguridad (Cárdenes, 2022).

Aunque este estudio no implementa directamente estas tecnologías, se reconoce su potencial en la reducción de accidentes y su contribución al diseño de entornos laborales más seguros.



CAPÍTULO II

1. Metodología

1.1. Tipo y nivel de investigación

1.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, pues tiene como propósito resolver un problema específico y práctico dentro de la operación minera subterránea lo cual es mejorar el rendimiento y la eficiencia operativa mediante la optimización de los equipos de carguío y acarreo. El enfoque de esta investigación será cuantitativo, ya que se basará en la recopilación y análisis de datos numéricos sobre el desempeño de los equipos de carguío y acarreo, identificando tiempos muertos, demoras operativas, y midiendo el rendimiento mediante indicadores clave (KPI). (Hernández et al, 2014)

1.1.2. Nivel de investigación

El nivel es explicativo, ya que busca no solo identificar las relaciones entre las variables, como la eficiencia de los equipos y la productividad, sino también profundizar en la comprensión de las causas de las ineficiencias y los efectos de las mejoras implementadas. (Hernández et al, 2014)

1.2. Diseño de la investigación

“El diseño de la investigación es experimental, ya que se realizará simulaciones en GPSS la cual implica la manipulación de una variable independiente para analizar su efecto sobre la variable dependiente” (Mollo, 2018).

1.3. Métodos de investigación

1.3.1. Población y muestra

1.3.1.1. Población

La población de esta investigación está compuesta por 15 equipos operativos en la unidad minera subterránea, incluyendo 10 scooptrams y 5 camiones.

1.3.1.2. Muestra

Dado que la población consta de 15 equipos operativos en la unidad minera subterránea, se utilizará la muestra de manera no probabilística (4 scooptram R1600H de 6YD3 marca CATERPILLAR y 5 Camiones VOLVO 8X4). Al ser una muestra pequeña y manejable, incluir todos los equipos asegura una mayor precisión en los resultados y permite obtener una visión completa del rendimiento en las operaciones de carguío y acarreo, lo que es esencial para

evaluar el impacto del sistema de gestión de flota y realizar comparaciones detalladas antes y después de su implementación.

1.3.2. Técnicas de recolección y análisis de datos

1.3.2.1. Técnicas de recolección de datos

La metodología para recopilar información sobre la gestión de la flota de equipos se realizará mediante las técnicas e instrumentos detallados a continuación:

1.3.2.1.1. Técnicas

- Observación directa: Monitoreo y medición del ciclo de los equipos, tiempos de trabajo productivo y tiempos improductivos.
- Revisión de material documentario: Revisión de información en registro de uso de equipos, desempeño de la flota de equipos e investigaciones de implementación en otras zonas de estudio.

Tabla 2

Instrumentos por cada objetivo específico

N°	Instrumento
1	Registro de tiempos de operación - Formulario estructurado para documentar tiempos efectivos, tiempos muertos y demoras.
2	Sistema de Monitoreo de Datos en Tiempo Real (Dashboard) - Software que recopila y visualiza métricas clave de operación en un panel interactivo.
3	Hoja de cálculo para análisis de KPI - Plantilla de Excel para recopilar y analizar datos cuantitativos de indicadores de rendimiento antes y después de la implementación.

Nota. Elaboración propia.

Se diseñaron instrumentos específicos para el registro, monitoreo y análisis de datos operativos, permitiendo obtener información precisa.

1.3.2.2. Procedimiento

- Como etapa inicial se llevará a cabo una planificación a detalle donde se diseñarán y validarán instrumentos de recolección de datos, como un registro de tiempos de operación y una hoja de cálculo para analizar indicadores clave de rendimiento (KPI).
- En la etapa de campo se realizarán observaciones directas en la unidad minera, registrando los tiempos de operación, tiempos muertos y demoras de los equipos de carguío y acarreo. Se utilizará un sistema de gestión de flota que es GPSS para la simulación de la flota de equipos. También se revisará exhaustivamente la documentación existente, incluyendo registros de uso y análisis previos del desempeño de la flota.
- Por último, se procederá al análisis de los datos recolectados utilizando la hoja de cálculo para un análisis exhaustivo de los KPI, comparando resultados antes y después de la implementación del sistema de conectividad. Se redactarán informes detallados sobre los hallazgos y se harán recomendaciones para mejorar la gestión de la flota. Finalmente, se presentarán los resultados y conclusiones, destacando las mejoras en productividad y eficiencia logradas.

1.3.2.3. Análisis de datos

El análisis de datos para la investigación sobre la optimización del rendimiento y productividad de los equipos de carguío y acarreo incluirá estadística descriptiva, utilizando programas como Excel y Power BI para calcular medidas de tendencia central y dispersión. Se implementarán gráficos de barras, circulares y líneas para visualizar los indicadores antes y después de la implementación del sistema de flota. Se realizarán análisis de correlación y regresión para evaluar el impacto de la conectividad en la productividad. Además, se aplicarán pruebas estadísticas como la prueba t para validar la hipótesis, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0.05$ para asegurar la relevancia de los resultados obtenidos empleando SPSS.

1.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Subindicador	Instrumento
Rendimiento de limpieza	1. t/h limpieza de tajos	1. Ciclos/h	1. Dashboard OneMine
	2. t/h limpieza de frentes	2. Factor de llenado (%)	2. Registro manual Excel
Rendimiento de acarreo	1. t/h acarreo	1. Tiempo ciclo (min)	1. GPSS (simulación)
	2. n.º viajes/h	2. Distancia media (m)	2. Registro sistema OneMine
Demoras operativas	1. h de espera de volquete	1. % de retrasos por categoría	1. Dashboard OneMine
	2. h por traslado de equipo	2. Tiempo medio (h)	2. Muestreo en campo
Disponibilidad operativa	1. % disponibilidad	1. Tiempo operacional/hábil	1. Sistema OneMine
	2. % utilización efectiva	2. h inactividad	2. Hoja de cálculo KPI



CAPÍTULO III

1. Resultados

1.1. Consumo de Horas Equipo Actuales

En la unidad minera estudiada se cuenta con 4 equipos scooptram los cuales realizan las actividades de limpieza, carguío, acarreo, relleno, entre otros. En los meses de mayo a julio 2023 se realizó el siguiente registro de información de las actividades realizadas por la flota de equipos scooptram.

Tabla 4

Registro de tiempos productivos de los equipos scooptram

Actividades	May	Jun	Jul	Total general
Limpieza de Tajo	531.62	450.80	595.10	1,577.52
Carguío de Tajo	230.00	269.40	346.20	845.60
Traslado de Equipo	74.71	68.70	75.80	219.21
Relleno	73.90	81.10	60.40	215.40
Acarreo	21.80	50.40	25.40	97.60
Servicios	27.50	38.10	19.00	84.60
Otros (Especifique)	29.00	25.70	28.80	83.50
Limpieza de Frentes	16.40	44.20	10.70	71.30
Mantenimiento de vías	22.90	14.80	12.40	50.10
Dique Pasta	22.20	19.80	5.60	47.60
Dique Detrítico	7.40	4.20	3.20	14.80
Dique Cementado	3.90	2.40		6.30
Carguío de Frentes	2.70	2.20	1.10	6.00
Total general	1,064.03	1,071.80	1,183.70	3,319.53

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

De la información analizada se evidencia que el mayor consumo de horas equipo se encuentra en los tajeos de explotación con un total de 1,577.52 hr en limpieza y 845.60 hr en carguío a volquete.

Sin embargo, es necesario calcular el consumo de horas por cada equipo y se obtiene la siguiente tabla donde los equipos scooptram ST-015 y ST-022 son los que presentan mayor consumo:

Tabla 5*Horas productivas por equipo*

Actividades	May	Jun	Jul	Total general
Scooptram ST-011	239.60	251.40	292.80	783.80
Scooptram ST-014	282.10	256.80	239.70	778.60
Scooptram ST-015	281.10	286.80	335.90	903.80
Scooptram ST-022	261.23	276.80	315.30	853.33
Total general	1,064.03	1,071.80	1,183.70	3,319.53

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

De igual manera, estos equipos presentan demoras en operación y paradas por mantenimiento, que se detallan en los siguientes cuadros:

Tabla 6

Registro de tiempos de demoras y mantenimiento de los equipos scooptram

Actividades	Mayo	Junio	Julio	Total general
Demoras_no_Op.	510.49	801.23	1,086.27	2,397.99
(201) REPARTO DE GUARDIA	139.40	207.58	278.28	625.27
(202) TRASLADO SUPERFICIE - MINA (IDA/VUELTA)	163.10	277.00	384.12	824.21
(203) INSPECCIÓN LABOR/EQUIPO (CHECKLIST)	31.82	46.27	62.87	140.96
(205) REFRIGERIO	160.45	233.23	293.62	687.30
(206) TRASLADO REFRIGERIO (IDA/VUELTA)	2.17	16.27	2.83	21.27
(209) LAVADO DE EQUIPO	3.53	3.88	7.77	15.18
(211) ESPERA DE TRASLADO PERSONAL	0.58	0.25	1.17	2.00
(212) OTRAS DEMORAS NO OPERATIVAS	9.43	16.00	16.17	41.60
(213) TRASLADO A LABOR		0.75		0.75
(215) TRASLADO (IDA/VUELTA) + REFRIGERIO			39.45	39.45
Demoras_Op.	135.78	194.20	229.20	559.18
(210) TRASLADO DE EQUIPO	8.10	32.97	39.58	80.65
ESPERA_DE_VOLQUETE	49.77	57.98	73.40	181.15
FALTA_DE_HABILITACIÓN_DE_ÁREA_DE_T RABAJO	3.50	18.52	24.95	46.97
FALTA_DE_SERVICIOS	14.98	4.70	0.20	19.88
FALTA_ESTANDARIZACIÓN_DE_LABOR	10.40	1.17	4.80	16.37
OTRAS_DEMORAS_OPERATIVAS	13.37	8.82	25.78	47.97
VENTILACIÓN_DEFICIENTE	35.67	70.05	60.48	166.20
Mantto.	111.05	358.17	532.85	1,002.07
Mantto_C_Programado_Scoop	12.00	61.00	96.00	169.00
Mantto_Correctivo_Scoop	75.05	251.50	305.10	631.65
Mantto_Preventivo_Scoop	24.00	45.67	131.75	201.42
Total general	757.32	1,353.60	1,848.32	3,959.24

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 6 muestra el registro mensual de tiempos dedicados a demoras y mantenimiento de los equipos scooptram durante mayo, junio y julio de 2023. Se distinguen las demoras no operativas y operativas, detallando sus causas específicas, así como los distintos tipos de mantenimiento realizados (correctivo, preventivo y programado). El total general refleja un aumento progresivo en las horas de demoras y mantenimiento a lo largo del trimestre, sumando un total de 3,959.24 horas acumuladas.

De igual manera, se realiza el detalle de las horas por demora y mantenimiento por cada equipo scooptram.

Tabla 7

Registro de tiempos de demoras y mantenimiento por equipo

Actividades	Mayo	Junio	Julio	Total general
Demoras_no_Op.	510.49	801.23	1,086.27	2,397.99
Scooptram ST-11	120.75	195.33	297.42	613.50
Scooptram ST-14	132.02	187.07	225.25	544.34
Scooptram ST-15	129.52	209.68	286.93	626.13
Scooptram ST-22	128.20	209.15	276.67	614.02
Demoras_Op.	135.78	194.20	229.20	559.18
Scooptram ST-11	35.83	36.58	51.30	123.72
Scooptram ST-14	40.60	63.30	41.35	145.25
Scooptram ST-15	29.88	44.07	68.08	142.03
Scooptram ST-22	29.47	50.25	68.47	148.18
Mantto.	113.55	358.17	537.35	1,009.07
Scooptram ST-11	25.92	104.87	66.65	197.43
Scooptram ST-14	24.48	141.33	304.87	470.68
Scooptram ST-15	28.62	68.03	107.33	203.98
Scooptram ST-22	34.53	43.93	58.50	136.97
Total general	759.82	1,353.60	1,852.82	3,966.24

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla presenta el desglose mensual de los tiempos de demoras (no operativas y operativas) y mantenimiento por cada equipo scooptram (ST-11, ST-14, ST-15 y ST-22) durante mayo, junio y julio de 2023. Se observa que las demoras no operativas concentran la mayor parte del tiempo, seguidas por las demoras operativas y finalmente

el mantenimiento. El equipo Scooptram ST-14 registra el mayor tiempo de mantenimiento, mientras que las demoras se distribuyen de manera similar entre los cuatro equipos. El total general muestra un aumento gradual en las horas totales a lo largo del trimestre, sumando 3,966.24 horas acumuladas.

1.2. Rendimiento Actual de los Equipos

De las actividades operativas mencionadas se pueden obtener rendimientos de acarreo, limpieza y relleno los cuales se detallan a continuación.

Tabla 8

Rendimiento de la actividad de acarreo de los Scoops

ACARREO	Suma de Horas Operación²	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
May	21.80	2,151.45	98.69
Jun	50.40	4,079.85	80.95
Jul	25.40	1,985.25	78.16
TOTAL	97.60	8,216.55	84.19

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 8 muestra el rendimiento mensual de la actividad de acarreo, calculado como la relación entre el tonelaje transportado y las horas efectivas de operación. En mayo se alcanzó el mayor rendimiento (98.69 Ton/Hr), mientras que en junio y julio se observa una disminución. El rendimiento promedio del trimestre fue de 84.19 Ton/Hr.

Tabla 9

Rendimiento de la actividad de limpieza de frentes

LIMPIEZA FRENTE	Suma de Horas Operación	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
May	16.40	1,382.10	84.27
Jun	44.20	3,422.94	77.44
Jul	10.70	985.68	92.12
TOTAL	71.30	5,790.72	81.22

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 9 presenta el rendimiento mensual de la actividad de limpieza de frentes, expresado en toneladas por hora efectiva de operación. El mes de julio registró el mayor rendimiento (92.12 Ton/Hr) pese a tener la menor cantidad de horas operativas, lo que sugiere mayor eficiencia puntual. En contraste, junio tuvo mayor carga operativa pero menor rendimiento. El promedio trimestral fue de 81.22 Ton/Hr.

Tabla 10

Rendimiento de la actividad de limpieza de tajos

LIMPIEZA TAJOS	Suma de Horas Operación	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
May	531.62	47,235.64	88.85
Jun	450.80	39,226.47	87.02
Jul	595.10	51,466.75	86.48
TOTAL	1,577.52	137,928.86	87.43

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 10 muestra el rendimiento mensual de la limpieza de tajos, expresado en toneladas por hora efectiva de operación. El rendimiento se mantuvo estable durante los tres meses, con un ligero descenso en julio.

Tabla 11

Rendimiento de la actividad de relleno

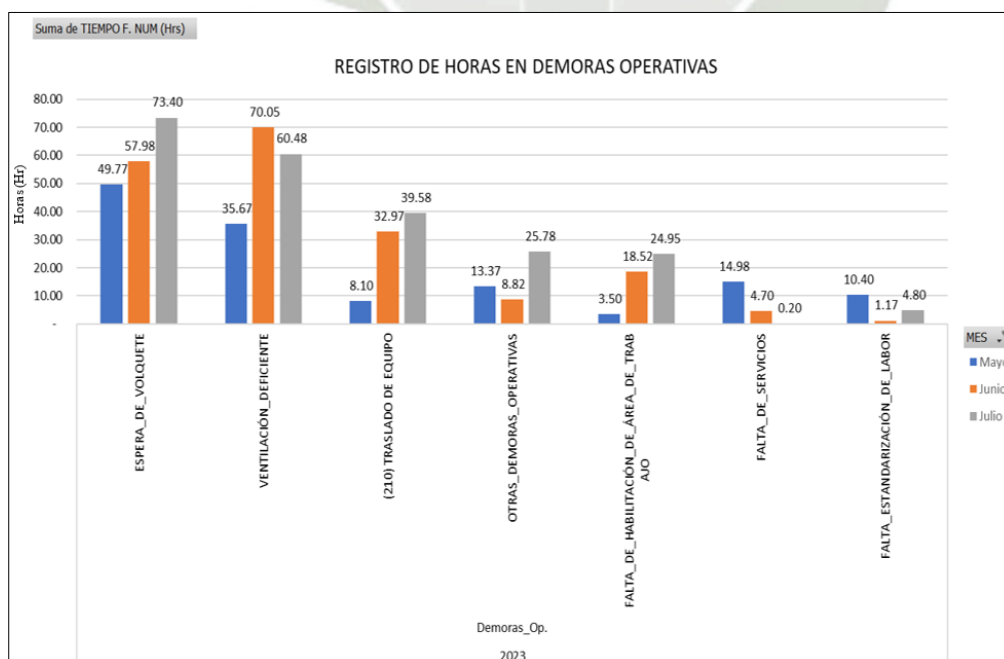
RELLENO DETRÍTICO	Suma de Horas Operación	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
May	73.90	5,316.48	71.94
Jun	81.10	5,987.52	73.83
Jul	60.40	4,482.24	74.21
TOTAL	215.40	15,786.24	73.29

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 11 detalla el rendimiento mensual de la actividad de relleno detrítico, calculado en toneladas por hora de operación efectiva. Se observa una mejora progresiva en el rendimiento de mayo a julio, con un promedio trimestral de 73.29 Ton/Hr. Aunque este rendimiento es menor en comparación con actividades como limpieza de tajos.

Figura 6

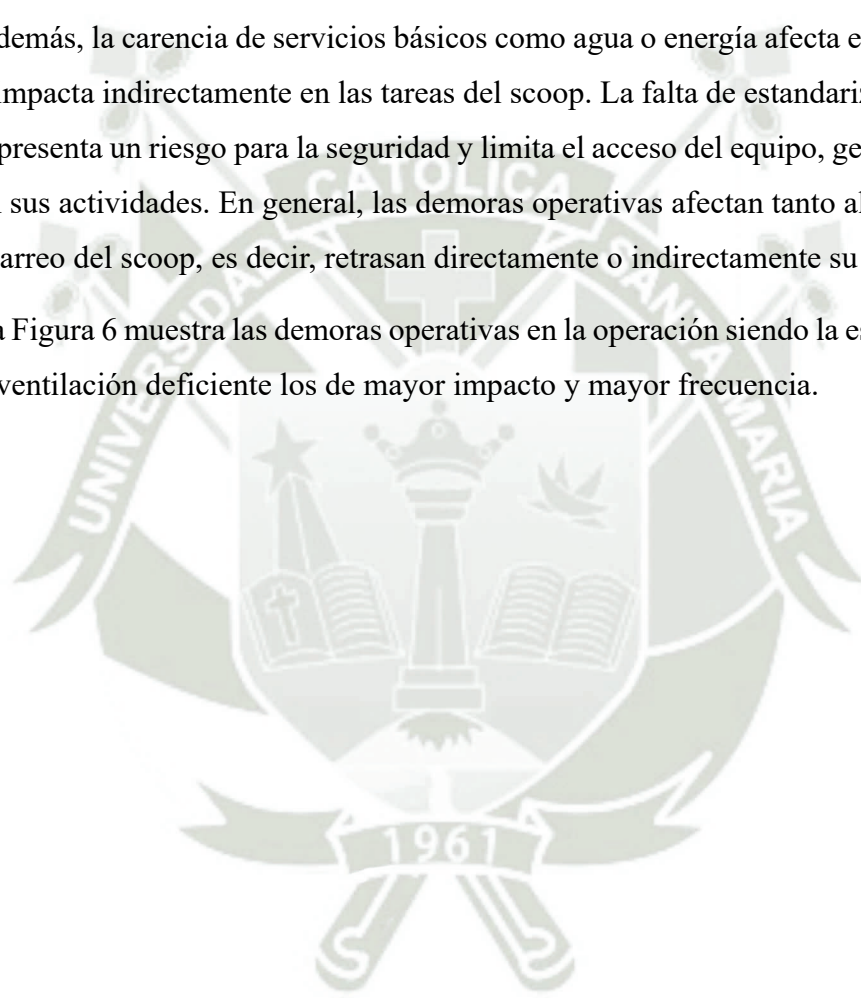
Registro de demoras operativas de los scoops – Mayo a Julio 2023



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Las demoras operativas presentadas en la Figura 6 afectan significativamente las actividades de carguío y acarreo realizadas por el scoop. La espera del volquete retrasa el proceso, ya que sin su presencia el scoop no puede cargar el material. Asimismo, una ventilación deficiente impide el ingreso del equipo a las labores, retrasando el traslado del mineral o desmote hacia las cámaras de acumulación. El tiempo que toma el traslado del scoop hasta su lugar de trabajo también influye negativamente, al igual que la falta de habilitación de áreas, ya que una labor bloqueada impide su operación. Además, la carencia de servicios básicos como agua o energía afecta el ciclo de minado e impacta indirectamente en las tareas del scoop. La falta de estandarización de labores representa un riesgo para la seguridad y limita el acceso del equipo, generando demoras en sus actividades. En general, las demoras operativas afectan tanto al carguío como al acarreo del scoop, es decir, retrasan directamente o indirectamente su actividad.

La Figura 6 muestra las demoras operativas en la operación siendo la espera de volquete y ventilación deficiente los de mayor impacto y mayor frecuencia.



1.3. Sistema de gestión de flota en equipos

1.3.1. Sistema ONE MINE

En la unidad minera estudiada se realizó la implementación del sistema de gestión de flota ONE MINE.

Figura 7

Interfaz ONE MINE para la gestión de equipos.



Nota. Fotografía tomada por la investigadora.

La implementación de este sistema permite conocer el estado general del equipo y mapear las actividades en las que se encuentra durante el día. Los grupos que se consideraron para la clasificación del estado del equipo son:

- Operativo.
- Demora operativa.
- Demora no operativa.
- Mantenimiento.

Figura 8*Clasificación del estado de equipo*

Nota. Fotografía tomada por la investigadora.

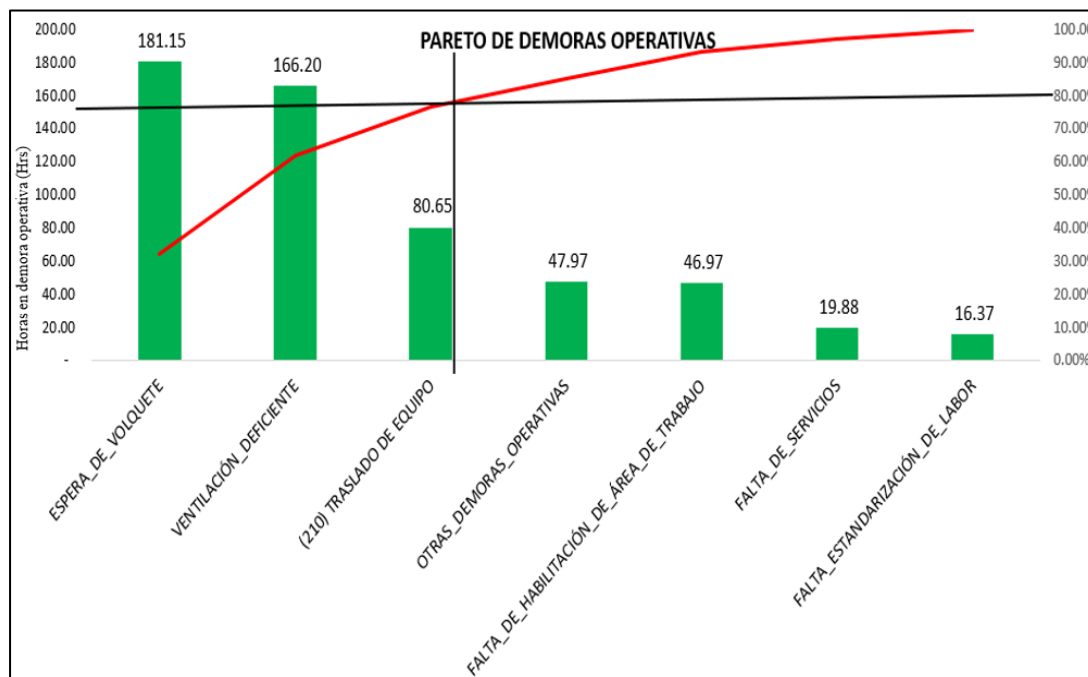
El sistema ONE MINE permite distribuir de mejor manera las actividades de los equipos, sin embargo, al realizar un análisis de cada estado de equipo se encontraron las siguientes falencias detalladas en los siguientes puntos.

1.3.2. Demoras Operativas

En este tipo de clasificación se evidencia que el 80% de las demoras operativas que se dieron en el mes de mayo a junio es debido a: Espera de volquete, ventilación deficiente y traslado de equipo.

Figura 9

Pareto de horas en demora operativa



Nota. Fotografía tomada por la investigadora.

Tabla 12

Consumo de horas y acumulado de demoras operativas de los scoops

ACTIVIDAD	TOTAL	%	%ACUM
ESPERA_DE_VOLQUETE	181.15	32%	32%
VENTILACIÓN_DEFICIENTE	166.20	30%	62%
(210) TRASLADO DE EQUIPO	80.65	14%	77%
OTRAS_DEMORAS_OPERATIVAS	47.97	9%	85%
FALTA_DE_HABILITACIÓN_DE_ÁREA_DE_TRABAJO	46.97	8%	94%
FALTA_DE_SERVICIOS	19.88	4%	97%
FALTA_ESTANDARIZACIÓN_DE_LABOR	16.37	3%	100%

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 12 presenta la distribución porcentual de las principales causas de demoras operativas. La espera de volquete (32%) y la ventilación deficiente (30%) representan el 62% del total de horas perdidas, siendo los factores más críticos. Le siguen el traslado de equipo (14%) y otras demoras menores.

Oportunidades de mejora:

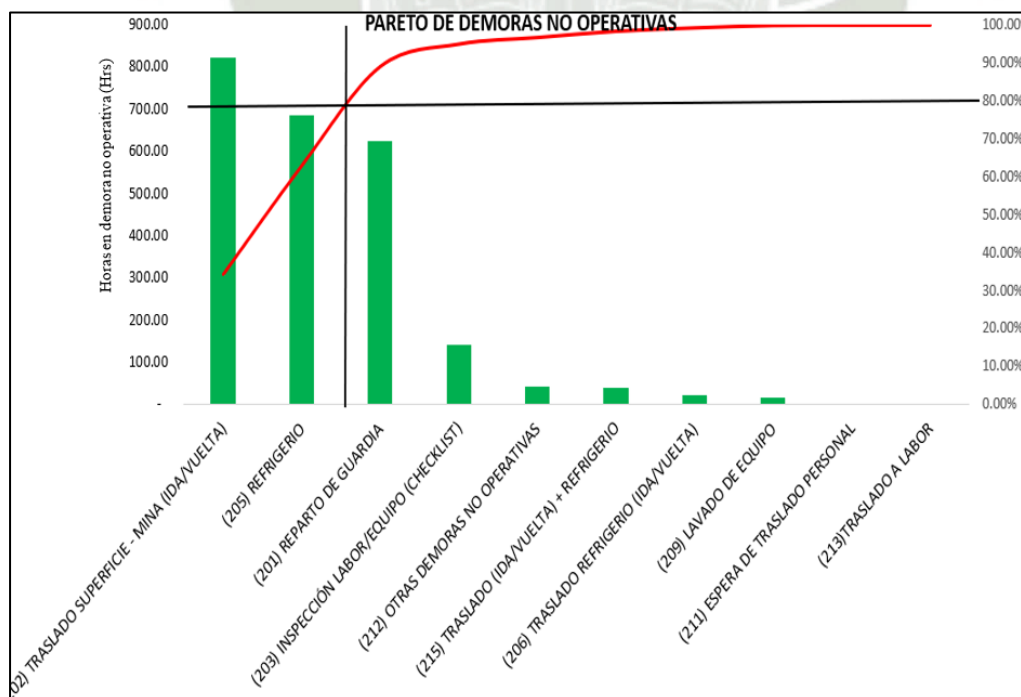
- Implementar equipos volquete adicionales para cubrir las horas de espera y reducir este tiempo improductivo.
- Reforzar el reporte con la condicional final de la labor para evitar demoras en los inicios de guardia de turnos posteriores.
- Dejar equipos en refugios en zonas cercanas al área de laboreo.

1.3.3. Demoras no Operativas

En este tipo de clasificación se evidencia que el 80% de las demoras operativas que se dieron en el mes de mayo a junio es debido a: Traslado superficie/mina, refrigerio, reparto y check list.

Figura 10

Pareto de horas en demoras no operativas de los scoops



Nota. Fotografía tomada por la investigadora.

Tabla 13*Consumo de horas y acumulado de demoras no operativas de los scoops*

ACTIVIDAD	TOTAL	%	%ACUM
(202) TRASLADO SUPERFICIE - MINA (IDA/VUELTA)	824.21	34%	34%
(205) REFRIGERIO	687.30	29%	63%
(201) REPARTO DE GUARDIA	625.27	26%	89%
(203) INSPECCIÓN LABOR/EQUIPO (CHECKLIST)	140.96	6%	95%
(212) OTRAS DEMORAS NO OPERATIVAS	41.60	2%	97%
(215) TRASLADO (IDA/VUELTA) + REFRIGERIO	39.45	2%	98%
(206) TRASLADO REFRIGERIO (IDA/VUELTA)	21.27	1%	99%
(209) LAVADO DE EQUIPO	15.18	1%	100%
(211) ESPERA DE TRASLADO PERSONAL	2.00	0%	100%
(213) TRASLADO A LABOR	0.75	0%	100%

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 12 detalla el consumo de horas por causas de demoras no operativas. Las tres principales actividades traslado superficie-mina, refrigerio y reparto de guardia concentran el 89% del total, indicando que gran parte del tiempo improductivo está relacionado con logística y tiempos de personal.

Oportunidades de mejora:

Al ser tiempos de demora no operativa son actividades inevitables por lo cual el control más práctico que se puede realizar es:

- Reforzar el reporte operativo con la situación de las labores para que el turno siguiente no tenga demoras en inspeccionar la labor o ubicar los equipos, la ejecución se realizara mediante la capacitación al personal en el uso correcto del sistema ONE MINE.

Figura 11

Capacitación al personal en el uso del sistema ONEMINE.

COF-DGG07-01
Versión 3

REGISTRO DE ASISTENCIA / ENTRENAMIENTO / SIMULACRO						
DATOS DEL EMPLEADOR						
1.- RAZÓN SOCIAL / DENOMINACIÓN SOCIAL	2.- RUC	3.- DIRECCIÓN	4.- ACTIVIDAD ECONÓMICA	5.- UNIDAD DEPENDENCIA	6.- N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL	
COMPAÑIA MINERA S.A.C	2012779333	CALLE LA COLONIA N° 180 - LIND. EL VIVERO SANTIAGO DE SURCO - LIMA, PERU	MINERA	INPRACELADA		
TIPO DE CAPACITACIÓN				MODALIDAD DE CAPACITACIÓN		
7.- INDUCCIÓN	8.- SIMULACRO DE EMERGENCIA		EXTERNA			
7.- CAPACITACIÓN	REUNIÓN DE TRABAJO		INTERNA			
8.- ENTRENAMIENTO	OTROS					
9.- ASIA:	MIRA					
10.- TEMA:	TELEMETRIA - MIPWC TAE		11.- FECHA: 07-11-2023			
10.- LUGAR:	SMD REBANTO MIRA		HORA INICIO: 6:30PM			
12.- NOMBRES DEL CAPACITADOR/INSTRUCTOR:			13.- NUMERO HORAS: 20 MINUTOS			
LIVIANA VONWERDE RUIZAS						
N°	15.- DNI	14.- APELLIDOS Y NOMBRES	16.- ASIA	17.- FIRMA	OBSERVACIONES EVALUACION	
1	442547665	Alpico Escalante, Gerardo	MIRA	[Firma]		
2	02121620	Mamani Alan, Juli D.	MIRA	[Firma]		
3	48203226	Bustamante Castiblanco Oscar	MIRA	[Firma]		
4	62044768	Mendoza Sandoval Heber	MIRA	[Firma]		
5	42372206	Valema Gonzales Ivan	MIRA	[Firma]		
6	30414684	Puma Chancabuzco Juan	MIRA	[Firma]		
7	40395492	Dávalos Villarcoma Silvio	MIRA	[Firma]		
8	46456657	Miranda Ara Raul	MIRA	[Firma]		
9	45520246	Wuque Salazar Nestor	MIRA	[Firma]		
10	48317335	Medina Huachua Vidal	MIRA	[Firma]		
11	43329914	Calero Valencia Arthur	MIRA	[Firma]		
12	48915359	Hernandez Huachua Ramiro	MIRA	[Firma]		
13	30803977	Orta Alvarez Carlos	MIRA	[Firma]		
14	21497202	Trujillo Pacheco Carlos	MIRA	[Firma]		
15	46327621	Calderon Jarama Gustavo	MIRA	[Firma]		
16	41941677	Flores Arcoqui Enrique	MIRA	[Firma]		
17	45717021	Tapi Yanga Percy	MIRA	[Firma]		
18	41563250	Molina Julio Wilson	MIRA	[Firma]		
19	29656374	Vera Choque Valdo	MIRA	[Firma]		
20	70870993	Orta Raimon	MIRA	[Firma]		
21	46905545	Poblete Medina Vladimir	MIRA	[Firma]		
22	43978182	Orta Cilla Walter	MIRA	[Firma]		
23	46695144	Enriquez Huachani Walter	MIRA	[Firma]		
24	43558724	Nobrega Acero J.R.	MIRA	[Firma]		
25	40412459	Huamanchiguera Nery Clemente	MIRA	[Firma]		
26	71488077	Bustamante Coto Adrian	MIRA	[Firma]		
27	44475474	Orta Pedro Raul	MIRA	[Firma]		
28	47982263	Calero Halcara Edgar	MIRA	[Firma]		
29	46432254	Chipa Cacho Raul	MIRA	[Firma]		
30	43568719	Orta Oscar Tuleo	MIRA	[Firma]		
31	46896795	Delgado Torres Carlos	MIRA	[Firma]		
32	70224197	Serrano Leon Pedro	MIRA	[Firma]		
33	70215243	Orta OUSPE JUDY	MIRA	[Firma]		
34	42812536	Mendoza Yager Percy	MIRA	[Firma]		
35	75564058	Riqui Vargas Yrisa	MIRA	[Firma]		
36	22798395	Fernandez Espinoza Eric Luis	MIRA	[Firma]		
37	20437348	Bancalua Sandoval Daniel	MIRA	[Firma]		
38	45269750	Orta Villapando Pedro	MIRA	[Firma]		
39	44476245	Chabaya Choque Hubert	MIRA	[Firma]		
40						

SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS HOC

Nota. Fotografía tomada por la investigadora.

1.3.4. Mantenimiento

En este tipo de clasificación se evidencia que el 80% del mantenimiento de los equipos se presentó por mantenimiento correctivo y preventivo, donde el equipo que más horas de mantenimiento tiene es el Scooptram ST-14.

Tabla 14

Horas de mantenimiento de equipos de los scoops

ACTIVIDAD	TOT (Hrs)	ACUMULADO	%	%ACUM
Mantto_Correctivo_Scoop	631.65	631.65	63%	63%
Mantto_Preventivo_Scoop	201.42	833.07	20%	83%
Mantto_C_Programado_Scoop	169.00	1,002.07	17%	100%

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Tabla 15

Horas de mantenimiento por código de equipos

ACTIVIDADES	Mayo (Hrs)	Junio (Hrs)	Julio (Hrs)	Total general
Mantto.	113.55	358.17	537.35	1,009.07
Scooptram ST-11	25.92	104.87	66.65	197.43
Scooptram ST-14	24.48	141.33	304.87	470.68
Scooptram ST-15	28.62	68.03	107.33	203.98
Scooptram ST-22	34.53	43.93	58.50	136.97
Total general	113.55	358.17	537.35	1,009.07

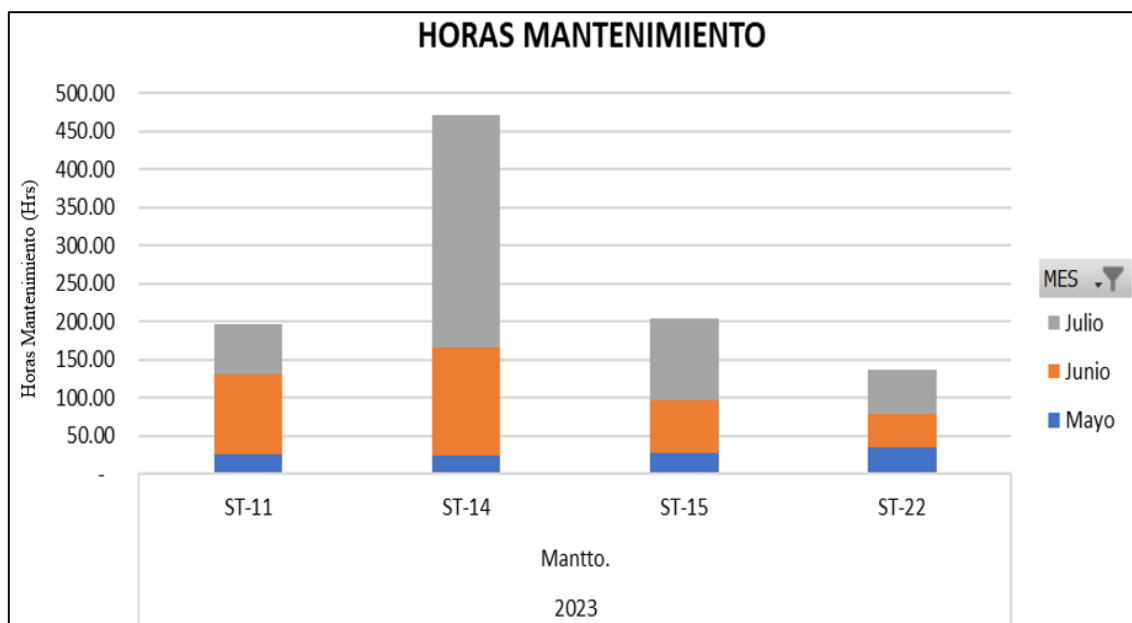
Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 15 muestra el total de horas destinadas a mantenimiento por cada scooptram durante tres meses. El equipo Scooptram ST-14 registra el mayor tiempo de mantenimiento acumulado (470.68 h), lo que representa casi la mitad del total

general. Este valor sugiere una alta frecuencia de intervenciones, posiblemente por fallas repetitivas o mantenimientos correctivos intensivos. Le siguen los equipos Scooptram ST-15 y ST-11, mientras que ST-22 presenta el menor tiempo.

Figura 12

Horas en mantenimiento por código de equipo



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Se presenta una gráfica proveniente de la información brindada por la Tabla 14. De esta gráfica se puede decir que el Scooptram ST-14 es la que mayor horas de mantenimiento acumulado presenta.

1.4. Cálculo y Simulación de Match Factor

Durante los meses de estudio de manera global se contó con 10 equipos scooptram y 5 volquetes; sin embargo, estos equipos guardan una relación entre ellos en base a la capacidad y producción que se determina por la siguiente formula:

$$\text{Match Factor} = \frac{N^{\circ} \text{scoop} * \text{Produccion Scoop}}{N^{\circ} \text{camion} * \text{Produccion Camion}}$$

La producción de los equipos scooptram es igual a la limpieza de tajeos y carguío; mientras que la producción de los camiones es igual al rendimiento del acarreo mostrado previamente.

Tabla 16

Rendimiento de equipos scooptram en tajeos

Mes	Horas actividad (Hrs)	Tonelaje (Tn)	Rendimiento (Tn/ hr)
May	761.62	47235.64	62.02
Jun	720.20	39226.47	54.47
Jul	941.30	51466.75	54.68
Total	2,423.12	137928.86	56.92

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Se muestra el rendimiento mensual de los equipos scooptram en los tajeos, calculado como tonelaje por hora de actividad y se evidencia que el mayor rendimiento de los scoops se presenta en el mes de mayo.

Para determinar el Match Factor debemos calcular la producción de la flota utilizando la cantidad de equipos con la que se cuenta:

Tabla 17

Cálculo de Match Factor

Indicador	Situación	Simulación	Simulación	Simulación	Simulación
	Real	1	2	3	4
Cantidad SCOOP	10	10	10	10	10
Cantidad CAMION	5	6	7	8	9
Producción SCOOP (Tn)	569.22	569.22	569.22	569.22	569.22
Producción CAMION (Tn)	420.93	505.12	589.30	673.49	757.67
Match Factor	0.74	0.89	1.04	1.18	1.33
Match Factor Optimo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

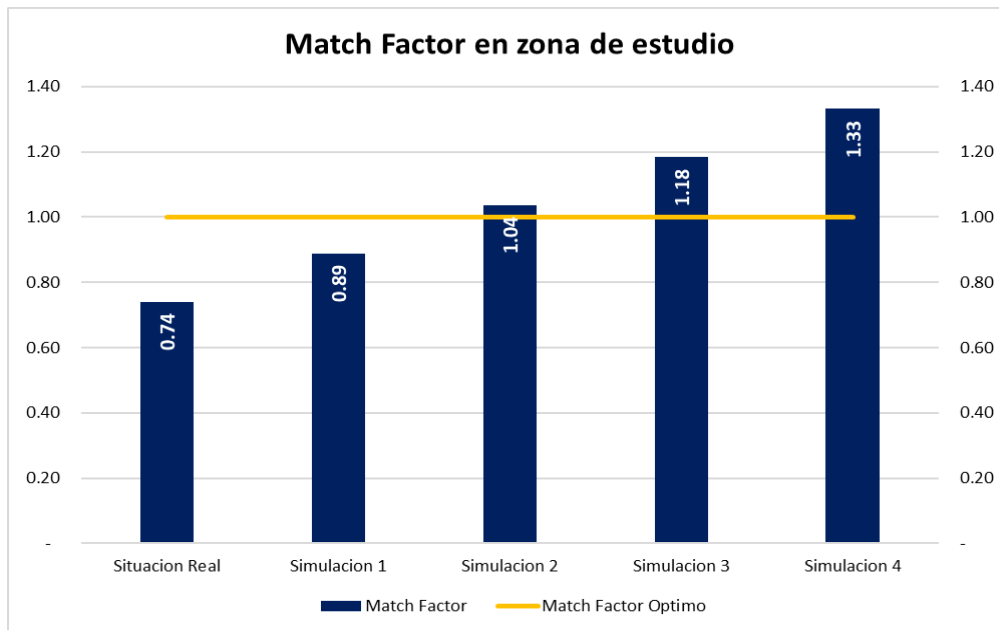
Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Como se presenta en el cuadro para la situación actual de 10 scooptram y 5 camiones se tienen un match factor de 0.74 cuando el ideal es 1.00; pero para tener este indicador en sus valores ideales se debe tener 7 camiones sin variar la flota de equipos scooptram y un Match Factor de 1.04.

- Match Factor = 1 ; Simpatía de quipos de carguío y camiones.
- Match Factor < 1 ; Numero de camiones insuficiente.
- Match Factor > 1 ; Numero de camiones excede el necesario.

Figura 13

Horas en mantenimiento por código de equipo



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

1.5. Consumo de horas posterior al sistema de gestión de flota

Durante los meses de agosto a octubre 2023 se tomaron nuevamente los datos con el sistema de gestión de flota implementados obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18

Registro de tiempos de los scoops Agosto-octubre 2023

ACTIVIDADES	Ago (Hrs)	Set (Hrs)	Oct (Hrs)	Total general
Limpieza de Tajo	489.54	451.10	368.60	2,886.76
Carguío de Tajo	331.20	236.60	315.20	1,728.60
Traslado de Equipo	70.40	56.20	60.00	405.81
Relleno	63.70	31.10	28.60	338.80
Acarreo	40.20	28.60	27.80	194.20
Servicios	36.20	32.90	20.60	174.30
Limpieza de Frentes	31.90	34.40	26.50	164.10
Otros (Especifique)	16.00	8.40	13.80	121.70
Mantenimiento de vías	9.10	13.80	15.40	88.40
Dique Pasta	8.30	3.80	1.60	61.30
Dique Detrítico	2.90	2.80	3.00	23.50
Carguío de Frentes	5.10		0.40	11.50
Dique Cementado				6.30
Espera de volquete	0.60			0.60
Reparto de Guardia		0.30		0.30
Total general	1,105.14	900.00	881.50	6,206.17

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla resume las horas efectivas registradas en distintas actividades operativas de los scooptram entre agosto y octubre de 2023. La limpieza de tajo destaca como la actividad principal, acumulando 2,886.76 horas, lo que representa un componente clave del proceso productivo. Le siguen en relevancia el carguío de tajo y el traslado de equipo. Actividades como dique cementado o espera de volquete tienen mínima incidencia, mientras que registros como reparto de guardia aparecen de forma aislada. Este desglose permite evaluar la distribución del tiempo operativo y detectar posibles focos de optimización.

Tabla 19

Registro de tiempos por equipo periodo Agosto-octubre 2023

ACTIVIDADES	Ago (Hrs)	Set (Hrs)	Oct (Hrs)	Total general
Scooptram ST-011	259.80	265.00	262.80	1,571.40
Scooptram ST-014	242.74	61.60	36.80	1,119.74
Scooptram ST-015	294.00	277.50	296.90	1,772.20
Scooptram ST-022	308.60	295.90	285.00	1,742.83
Total general	1,105.14	900.00	881.50	6,206.17

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

La tabla 19 muestra la distribución de horas operativas por equipo scooptram durante el periodo agosto-octubre 2023. El Scooptram ST-015 es el equipo con mayor tiempo acumulado (1,772.20 h), seguido de cerca por el Scooptram ST-022 (1,742.83 h), reflejando una alta disponibilidad y carga de trabajo. En contraste, el Scooptram ST-014 presenta una fuerte caída en septiembre y octubre, lo que sugiere posibles eventos de mantenimiento prolongado o baja asignación.

Tabla 20

Registro de tiempos de demoras y mantenimiento de los scoops– Agosto a octubre 2023

ACTIVIDADES	Agosto (Hrs)	Setiembre (Hrs)	Octubre (Hrs)	Total general (Hrs)
Demoras_no_Op.	337.83	731.40	473.97	1,543.20
(202) TRASLADO SUPERFICIE - MINA (IDA/VUELTA)	121.92	250.08	173.87	545.87
(201) REPARTO DE GUARDIA	96.25	217.67	122.75	436.67
(205) REFRIGERIO	82.08	199.67	126.58	408.33
(203) INSPECCIÓN LABOR/EQUIPO (CHECKLIST)	21.92	51.68	30.27	103.87
(215) TRASLADO (IDA/VUELTA) + REFRIGERIO	2.08		15.50	17.58
(209) LAVADO DE EQUIPO	2.50	4.97	4.00	11.47
(212) OTRAS DEMORAS NO OPERATIVAS	2.08	4.33	1.00	7.42
Mantto_Correctivo_Scoop	7.00			7.00
(206) TRASLADO REFRIGERIO (IDA/VUELTA)	1.33	2.83		4.17
(211) ESPERA DE TRASLADO PERSONAL	0.67	0.17		0.83
Demoras_Op.	102.88	135.12	97.67	335.67
ESPERA_DE_VOLQUETE	30.23	38.77	24.40	93.40
VENTILACIÓN_DEFICIENTE	22.38	41.20	28.48	92.07
(210) TRASLADO DE EQUIPO	21.35	29.27	21.67	72.28
OTRAS_DEMORAS_OPERATIVAS	22.08	6.17	16.62	44.87
FALTA_DE_HABILITACIÓN_DE_ÁREA_D E_TRABAJO	4.67	15.45	2.67	22.78
FALTA_DE_SERVICIOS	2.17	2.08	2.83	7.08
FALTA_ESTANDARIZACIÓN_DE_LABOR		2.18	1.00	3.18
Mantto.	254.10	879.42	528.10	1,661.62
Mantto_Correctivo_Scoop	161.60	655.92	431.10	1,248.62
Mantto_C_Programado_Scoop	36.00	160.00	66.50	262.50
Mantto_Preventivo_Scoop	56.50	63.50	30.50	150.50
Total general	694.82	1,745.93	1,099.73	3,540.48

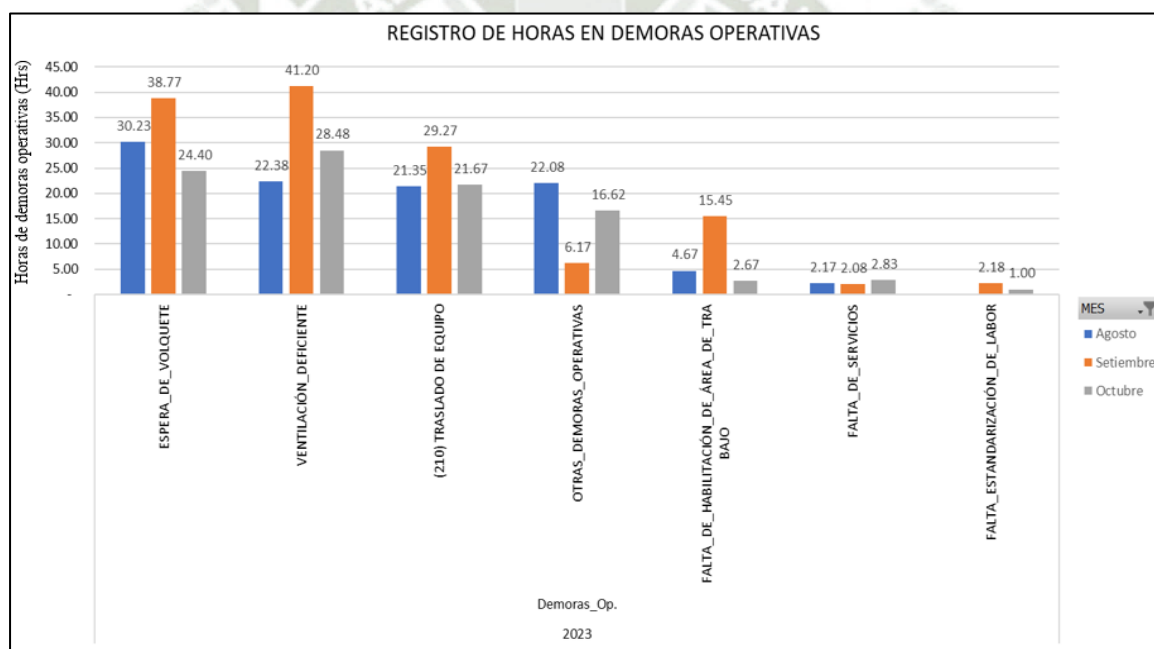
Nota. Elaboración propia.

La tabla 20 presenta el desglose detallado de las horas registradas por demoras operativas y no operativas, así como el mantenimiento de los equipos durante el periodo agosto-octubre 2023. En cuanto a las demoras no operativas, persiste el problema relacionado con la “Espera de volquete”, aunque se observa una reducción en el tiempo perdido respecto al periodo anterior, lo que indica una mejora en la gestión de esta demora.

Las demoras no operativas corresponden a actividades inherentes a la operación que no pueden evitarse completamente. Por otro lado, las demoras operativas que sí pueden ser controladas o mitigadas se presentan de forma detallada en la siguiente figura.

Figura 14

Registro de demoras operativas de los scoops– Agosto a octubre 2023



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Tabla 21

Registro de tiempos de demoras y mantenimiento por equipo – Agosto a octubre 2023

ACTIVIDADES	Agosto (Hrs)	Setiembre (Hrs)	Octubre (Hrs)	Total general (Hrs)
Demoras_no_Op.	337.83	731.40	473.97	1,543.20
Scooptram ST-11	77.00	211.78	158.08	446.87
Scooptram ST-14	87.17	70.92		158.08
Scooptram ST-15	91.58	224.28	163.97	479.83
Scooptram ST-22	82.08	224.42	151.92	458.42
Demoras_Op.	102.88	135.12	97.67	335.67
Scooptram ST-11	20.75	27.08	35.07	82.90
Scooptram ST-14	46.43	22.62		69.05
Scooptram ST-15	21.23	45.92	33.82	100.97
Scooptram ST-22	14.47	39.50	28.78	82.75
Mantto.	254.10	879.42	528.10	1,661.62
Scooptram ST-11	112.67	122.92	53.17	288.75
Scooptram ST-14	55.45	575.88	325.00	956.33
Scooptram ST-15	53.88	124.48	71.58	249.95
Scooptram ST-22	32.10	56.13	78.35	166.58
Total general	694.82	1,745.93	1,099.73	3,540.48

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Entre agosto y octubre de 2023, se registraron un total de 3,540.48 horas entre demoras y mantenimiento de los equipos scooptram. Las demoras no operativas sumaron 1,543.20 horas, concentrándose principalmente en los equipos Scooptram ST-15 y ST-

22. Las demoras operativas totalizaron 335.67 horas, con Scooptram ST-15 y ST-11 mostrando los mayores valores. El mantenimiento representó la mayor carga con 1,661.62 horas, destacando el equipo Scooptram ST-14, que concentró más de la mitad de estas horas, especialmente en septiembre. Esto indica que Scooptram ST-14 requiere mayor atención en mantenimiento para mejorar su disponibilidad.

De las actividades operativas mencionadas se pueden obtener rendimientos de acarreo, limpieza y relleno los cuales se detallan a continuación.

Tabla 22

Rendimiento de la actividad de acarreo

ACARREO	Suma de Horas Operación²	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
Ago	40.20	3,699.81	92.04
Set	28.60	2,497.53	87.33
Oct	27.80	2,262.03	81.37
TOTAL	96.60	8,459.37	87.57

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Durante el periodo de agosto a octubre, la actividad de acarreo acumuló 96.60 horas operativas, transportando un total de 8,459.37 toneladas. El rendimiento promedio fue de 87.57 toneladas por hora, mostrando una disminución gradual mes a mes: agosto tuvo el mayor rendimiento con 92.04 ton/h, seguido por septiembre con 87.33 ton/h, y octubre con 81.37 ton/h.

Tabla 23

Rendimiento de la actividad de limpieza de frentes

LIMPIEZA FRENTE	Suma de Horas Operación²	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
Ago	31.90	3,230.70	101.28
Set	34.40	2,414.19	70.18
Oct	26.50	2,552.91	96.34
TOTAL	92.80	8,197.80	88.34

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Durante el periodo de agosto a octubre, la actividad de limpieza de frentes acumuló 92.80 horas operativas, con un total de 8,197.80 toneladas limpiadas. El rendimiento promedio fue de 88.34 toneladas por hora. Se observa una variación significativa en el rendimiento mensual, siendo agosto el mes con mayor eficiencia (101.28 ton/h), seguido por octubre (96.34 ton/h), mientras que septiembre mostró un rendimiento notablemente menor (70.18 ton/h).

Tabla 24

Rendimiento de la actividad de limpieza de tajos

LIMPIEZA TAJO	Suma de Horas Operación²	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
Ago	489.54	43,056.51	87.95
Set	451.10	40,734.18	90.30
Oct	368.60	33,309.45	90.37
TOTAL	1,309.24	117,100.14	89.44

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Entre el periodo de agosto a octubre, la limpieza de tajos acumuló 1,309.24 horas operativas, con un volumen total de 117,100.14 toneladas movidas. El rendimiento

promedio fue de 89.44 toneladas por hora. Se evidencia un desempeño estable y eficiente a lo largo de los tres meses, con rendimientos mensuales muy similares: 87.95 ton/h en agosto, 90.30 ton/h en septiembre y 90.37 ton/h en octubre, indicando una operación constante y optimizada.

Tabla 25*Rendimiento de la actividad de relleno*

RELLENO DETRITICO	Suma de Horas Operación²	Suma de TONELAJE	Rendimiento (Ton/Hr)
Ago	63.70	4,401.60	69.10
Set	31.10	2,432.64	78.22
Oct	28.60	2,184.00	76.36
TOTAL	123.40	9,018.24	73.08

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En el periodo de agosto a octubre, la actividad de relleno detrítico acumuló 123.40 horas operativas, con un volumen total de 9,018.24 toneladas, alcanzando un rendimiento promedio de 73.08 toneladas por hora. El desempeño más bajo se registró en agosto (69.10 ton/h), mientras que en septiembre (78.22 ton/h) y octubre (76.36 ton/h) se observó una mejora en la eficiencia, reflejando una optimización progresiva del proceso.

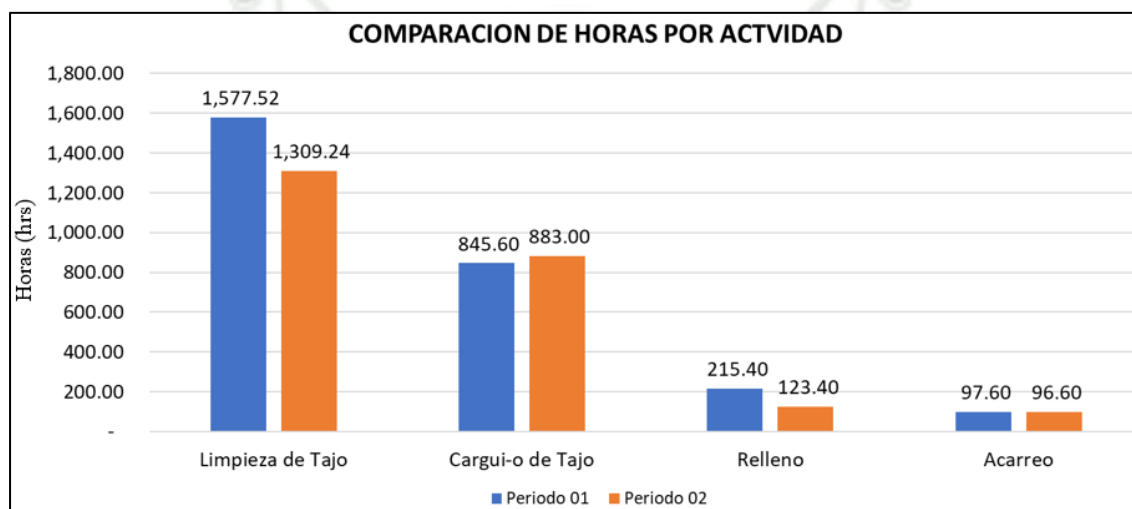
1.6. Impacto del sistema de gestión de flota en KPI

1.6.1. Impacto por tiempos productivos

Las actividades evaluadas en los ítems anteriores corresponden al consumo de horas productivas donde se evidencia un menor consumo en el segundo periodo de evaluación (agosto – noviembre) versus el primer periodo (mayo – julio) en el año 2023.

Figura 15

Consumo de horas por actividad en ambos periodos de los scoops

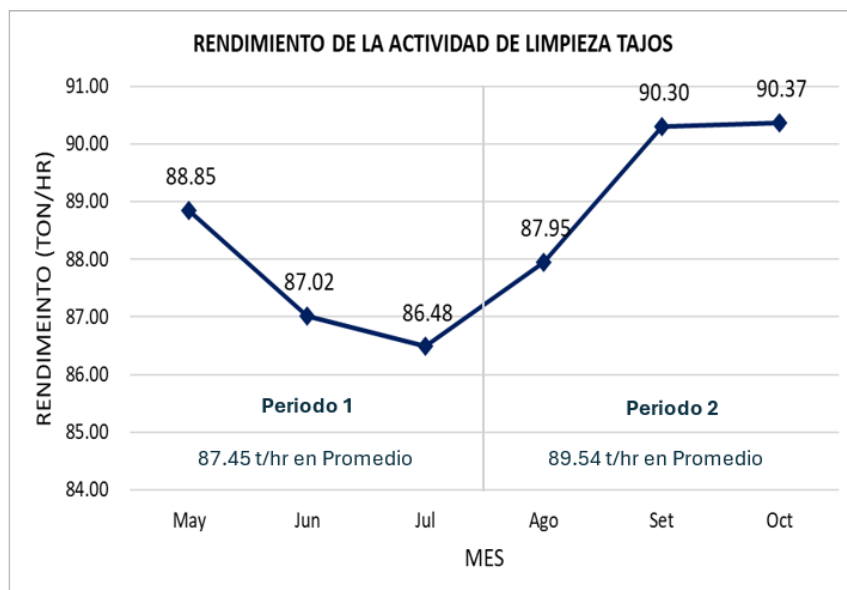


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En la actividad de limpieza en tajeos se tiene una reducción de 268.28 hr equipos; sin embargo, respecto al rendimiento que se tiene en esta actividad tiene una mejora de 2.09 ton/hr respecto al análisis de ambos periodos.

Figura 16

Rendimiento de la actividad de limpieza en tajeos

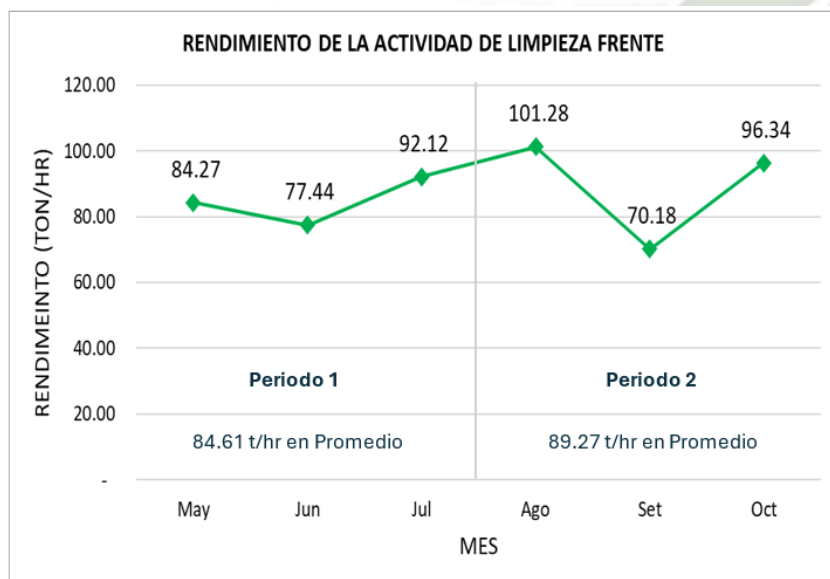


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En la actividad de limpieza de frentes se tiene un incremento de 21.50 hr equipo; sin embargo, respecto al rendimiento que se tiene en esta actividad tiene una mejora de 4.66 ton/hr respecto al análisis de ambos periodos.

Figura 17

Rendimiento de la actividad de limpieza en frente

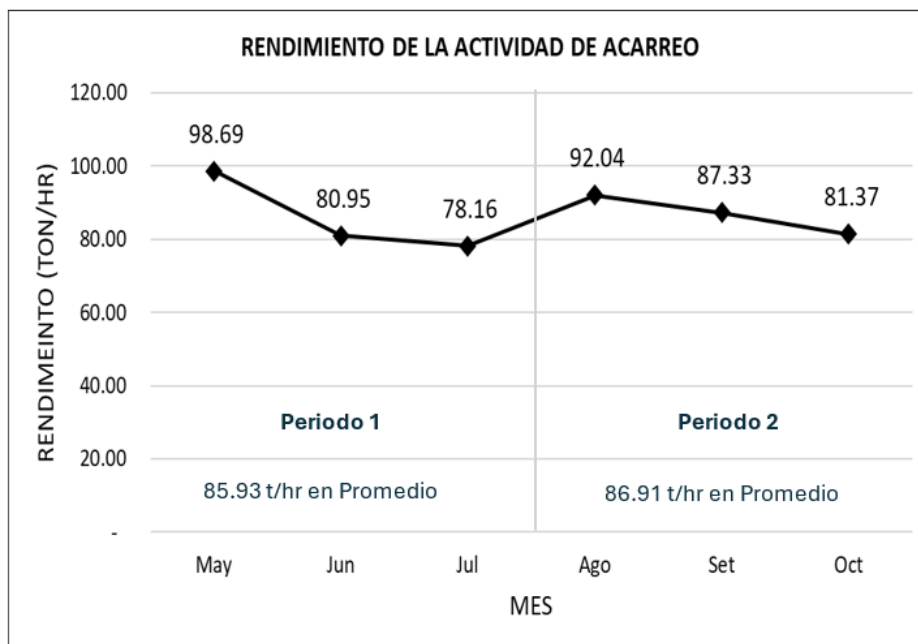


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En la actividad de acarreo se tiene una reducción de 1.00 hr equipo; el rendimiento que se tiene en esta actividad tiene una mejora de 0.98 ton/hr respecto al análisis de ambos periodos.

Figura 18

Rendimiento de la actividad de acarreo

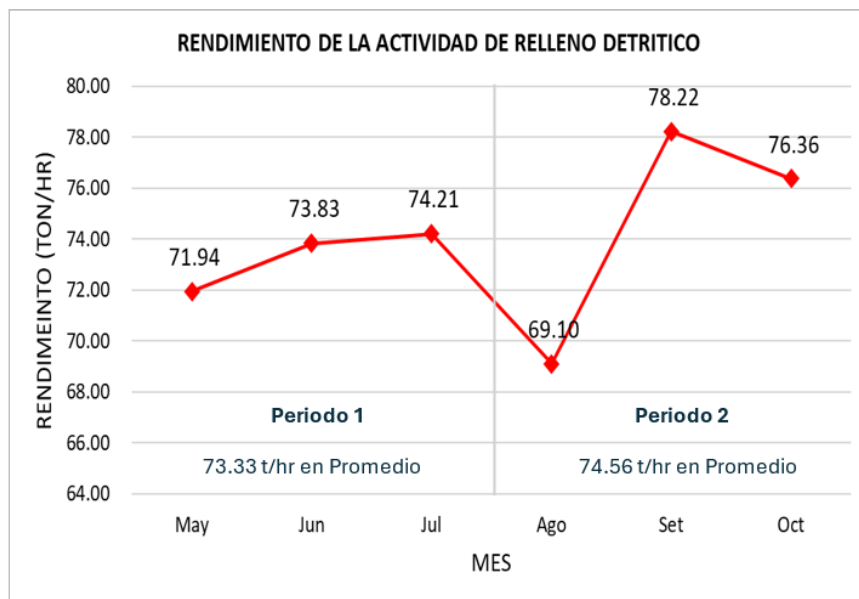


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En la actividad de relleno detrítico se tiene una reducción de 92.00 hr equipo; el rendimiento que se tiene en esta actividad tiene una mejora de 1.23 ton/hr respecto al análisis de ambos periodos.

Figura 19

Rendimiento de la actividad de relleno detrítico

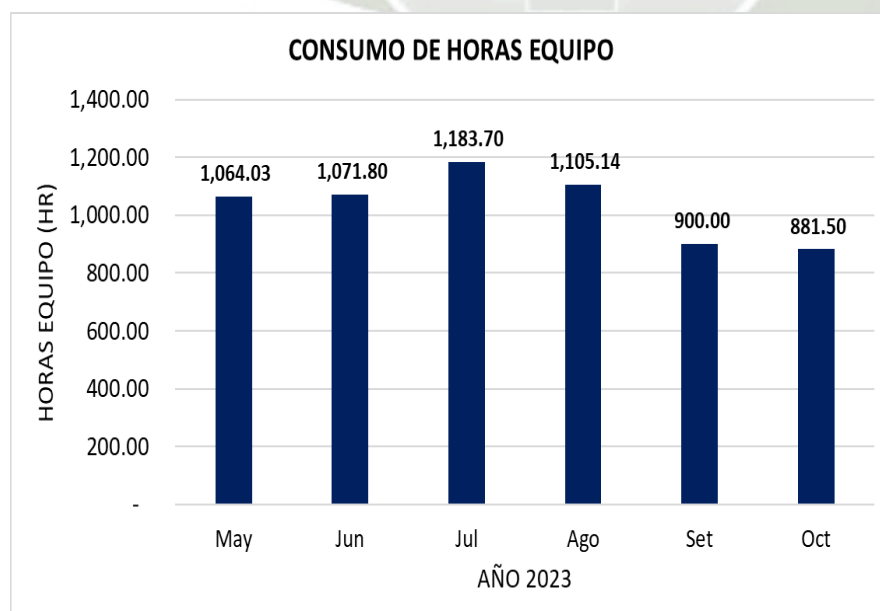


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

De manera global el consumo de horas equipo se vio reducido en el segundo periodo (agosto a octubre 2023) donde se presenta mejores rendimientos.

Figura 20

Consumo de horas por mes



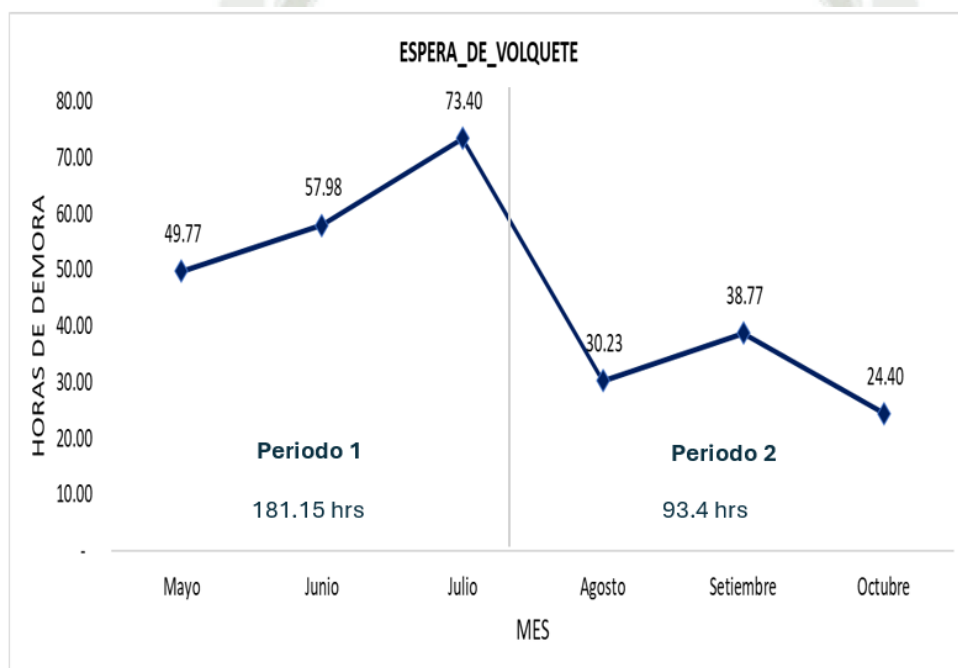
Nota. Elaboración propia de la investigadora.

1.6.2. Impacto en Demoras Operativas

En las demoras operativas de “ESPERA DE VOLQUETE” se evidencia una reducción de las horas por demora debido a la implementación del volquete adicional. Para el segundo periodo se tiene una reducción de 87.75 hr que se ahorraron en demoras por espera a volquete.

Figura 21

Evolución de horas en demora en “Espera de volquete”.

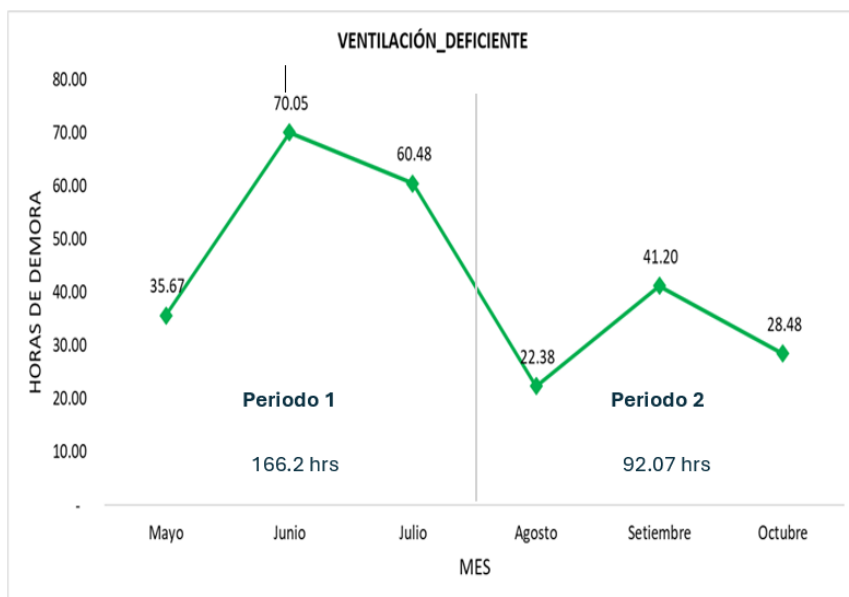


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En las demoras operativas por “VENTILACION DEFICIENTE” se evidencia una reducción de las horas por demora debido a la mejora del sistema de ventilación. Para el segundo periodo se tiene una reducción de 74.13 hr que se ahorraron.

Figura 22

Evolución de horas en demora por “Ventilación deficiente”.

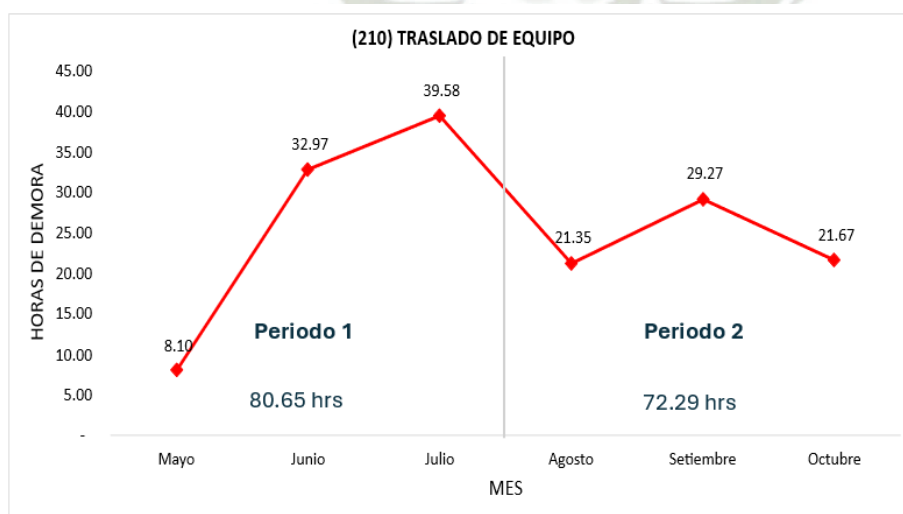


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En las demoras operativas por “TRASLADO DE EQUIPO” se evidencia una reducción de las horas por demora debido a los refugios de equipo más cercanos a las áreas en laboreo. Para el segundo periodo se tiene una reducción de 8.36 hr que se ahorraron.

Figura 23

Evolución de horas en demora por “Traslado de equipo”.

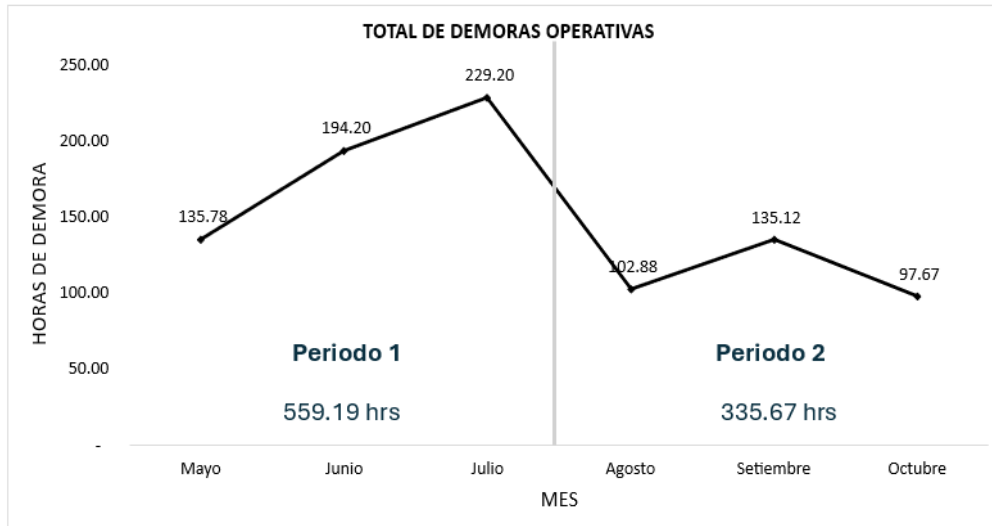


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En las demoras operativas de manera general se tuvo una reducción de 223.52 hr.

Figura 24

Evolución de horas en demora operativas de los scoops



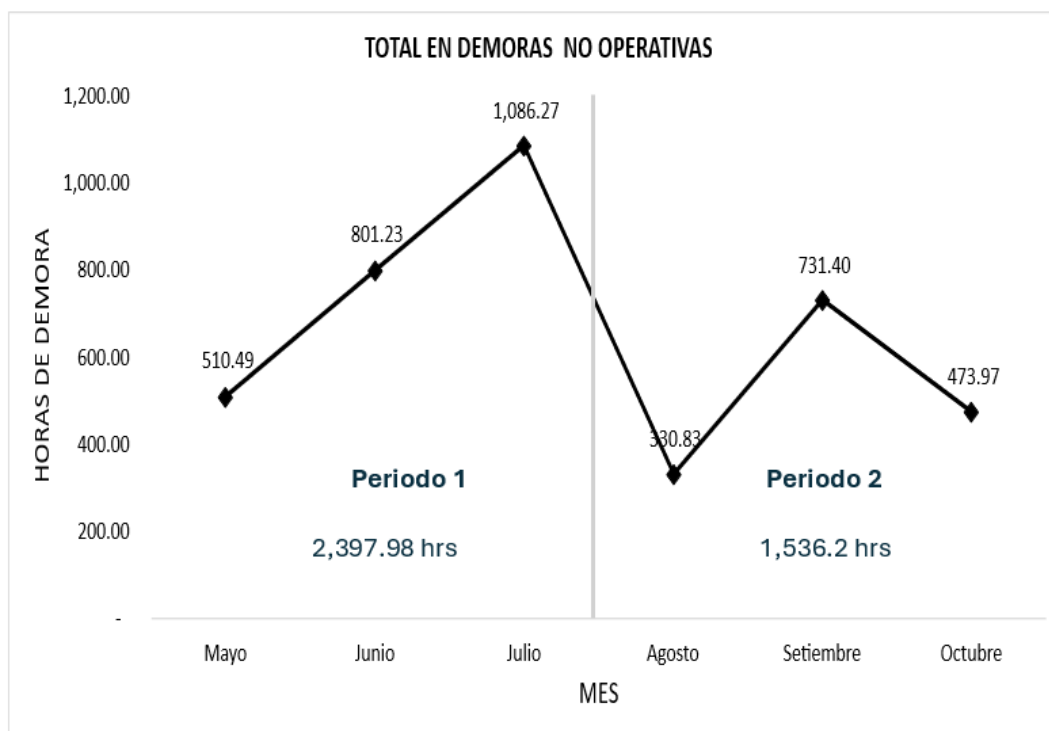
Nota. Elaboración propia de la investigadora.

1.6.3. Impacto en Demoras no Operativas y Mantenimiento

En las “DEMORAS NO OPERATIVAS” se evidencia una reducción de las horas por demora debido a los refugios de equipo más cercanos a las áreas en laboreo. Para el segundo periodo se tiene una reducción de 861.78 hr que se ahorraron.

Figura 25

Evolución de horas en demora no operativas de los scoops

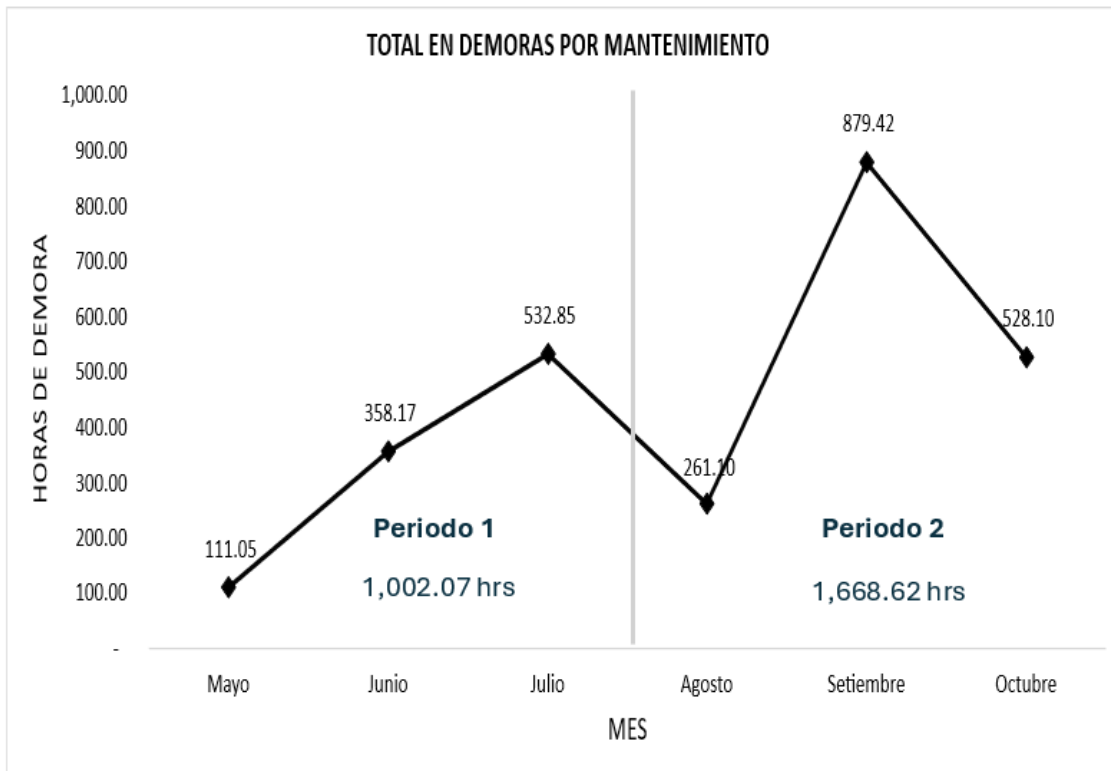


Nota. Elaboración propia de la investigadora.

En “MANTENIMIENTO” se evidencia un incremento de las horas por demora en mantenimiento debido a que se mejoró la reportabilidad y se evidencio mayor cantidad de reportes de paradas de los equipos. Para el segundo periodo se tiene un incremento de 666.55 hr.

Figura 26

Evolución de horas en demora en mantenimiento de los scoops



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

1.6.4. Impacto en los KPI

En las “DEMORAS NO OPERATIVAS” al tener una reducción de horas se puede determinar las horas disponibles que se tiene para la utilización de los equipos y se puede determinar la disponibilidad operativa.

Tabla 26

Disponibilidad operativa de la flota de equipos (Scoops)

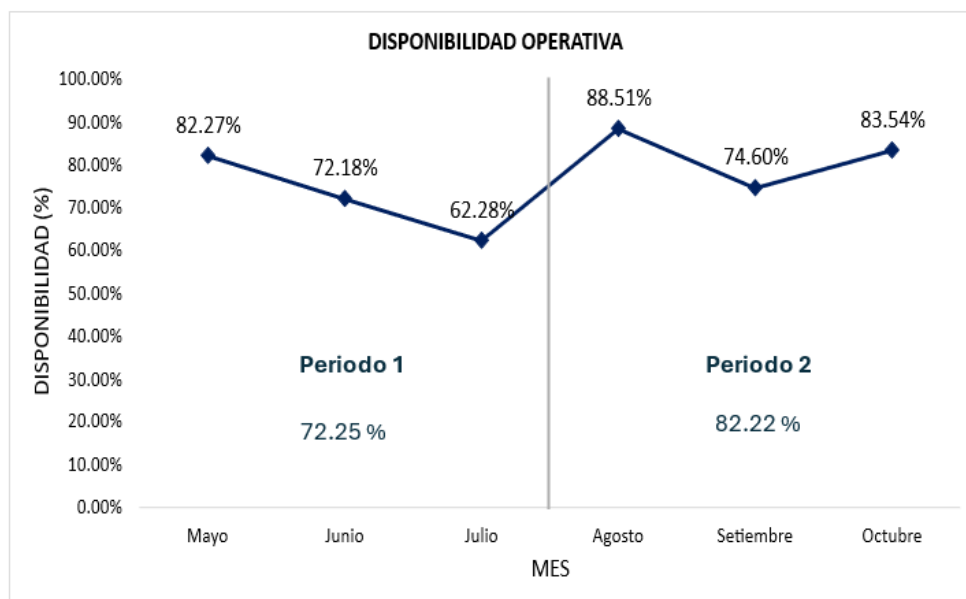
MES	HORAS PROGRAMADAS (HR)	HORAS DEMORAS NO OPERATIVAS (HR)	DISPONIBILIDAD OPERATIVA
Mayo	2880	2,369.51	82.27%
Junio	2880	2,078.77	72.18%
Julio	2880	1,793.73	62.28%
Agosto	2880	2,549.17	88.51%
Setiembre	2880	2,148.60	74.60%
Octubre	2880	2,406.03	83.54%

Nota. Elaboración propia de la investigadora.

El análisis constante de la información que se registra en el sistema ONE MINE tiene un impacto indirecto en el incremento de la disponibilidad operativa de 9.97% con respecto al promedio del primer periodo (Mayo – Julio) tal como se puede observar en la figura 27.

Figura 27

Evolución de la disponibilidad operativa de los equipos (Scoops)



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Referente a la “DISPONIBILIDAD MECANICA”

Tabla 27

Disponibilidad mecánica de la flota de equipos (Scoops)

MES	HORAS DEMORAS NO OPERATIVAS (HR)	HORAS MANTENIMIENTO	DISPONIBILIDAD MECANICA
Mayo	2,369.51	111.05	95.31%
Junio	2,078.77	358.17	82.77%
Julio	1,793.73	532.85	70.29%
Agosto	2,549.17	261.10	89.76%
Setiembre	2,148.60	879.42	59.07%
Octubre	2,406.03	528.10	78.05%

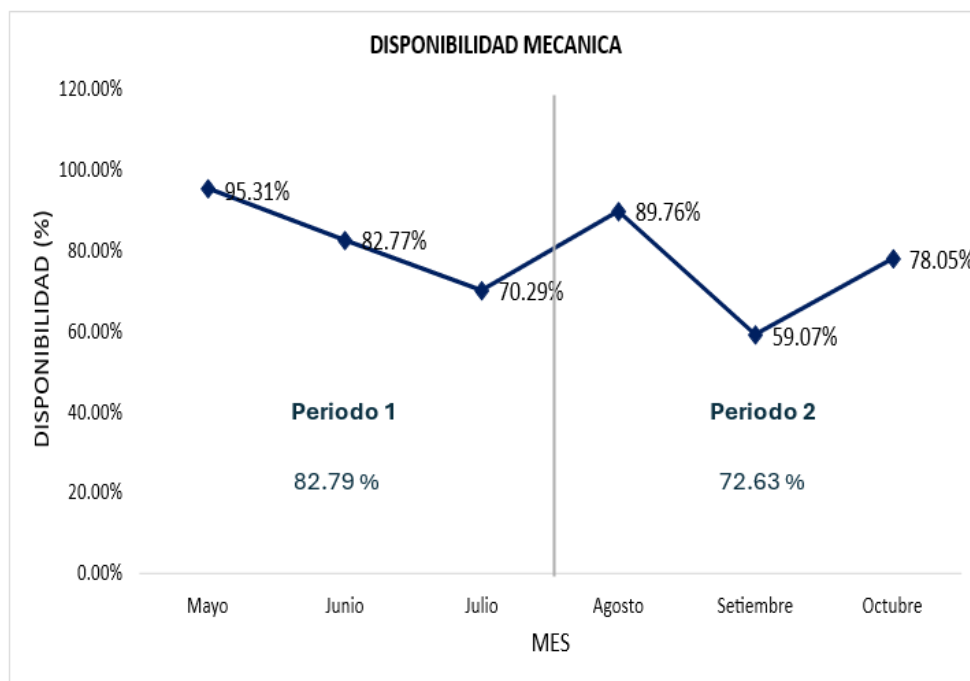
Nota. Elaboración propia de la investigadora.

De la tabla 26 podemos evidenciar que hubo mayor cantidad de reportabilidad de las paradas de los equipos, esto genero más demoras por mantenimiento y la

disponibilidad mecánica de los equipos bajó en comparación al primer periodo en un valor de 10.16% tal como se puede observar en la figura 28.

Figura 28

Evolución de la disponibilidad mecánica de la flota de equipos (Scoops)



Nota. Elaboración propia de la investigadora.

Validación de la mejora del rendimiento con a través de la prueba estadística t de pareo ($p < 0,05$) para cada actividad.

Tabla 28

Comparación estadística de las actividades para identificar el impacto

Comparación de las actividades		t	Sig. (bilateral)
Par 1	Rendimiento Tajo Antes - Rendimiento Tajo Después	-4,375	0,000
Par 2	Rendimiento Frente Antes - Rendimiento Frente Después	-4,098	0,000
Par 3	Rendimiento Acarreo Antes - Rendimiento Acarreo Después	-1,159	0,249
Par 4	Rendimiento Relleno Antes - Rendimiento Relleno Después	-2,077	0,041
Par 5	Espera Volquete Antes - Espera Volquete Después	19,611	0,000
Par 6	Ventilación Deficiente Antes - Ventilación Deficiente Después	27,710	0,000
Par 7	Traslado Equipo Antes - Traslado Equipo Después	2,049	0,043
Par 8	Demoras Operativas Antes - Demoras Operativas Después	16,594	0,000
Par 9	Demoras No Operativas Antes - Demoras No Operativas Después	11,591	0,000
Par 10	Demoras Mantenimiento Antes - Demoras Mantenimiento Después	-9,441	0,000
Par 11	Disponibilidad Operativa Antes - Disponibilidad Operativa Después	-	0,000
Par 12	Disponibilidad Mecánica Antes - Disponibilidad Mecánica Después	4,893	0,000

La prueba estadística t de pareo valida, con un nivel de significancia de $p < 0.05$, que la optimización de la flota de carguío y acarreo fue exitosa para incrementar el rendimiento operativo y la productividad, ya que la diferencia entre el periodo "Antes" y "Después" fue significativa en casi todas las métricas clave: se confirmó la mejora en el Rendimiento en tajo, frente y relleno ($p=0.041$), la reducción en todas las Demoras operativas y no operativas, incluyendo Espera Volquete y Ventilación Deficiente ($p=0.000$), y el incremento en la Disponibilidad Operativa ($p=0.000$). La única actividad donde el impacto no pudo ser estadísticamente comprobado fue el Rendimiento de Acarreo ($p=0.249$), indicando que cualquier cambio observado allí puede ser atribuido al azar, mientras que los cambios significativos en Demoras Mantenimiento y Disponibilidad Mecánica ($p=0.000$) reflejan una mejor gestión y reportabilidad..

CONCLUSIONES

- PRIMERA:** En los meses de mayo a julio 2023, las demoras no operativas más resaltantes son: traslado superficie/mina y reparto de guardia; las demoras operativas relevantes son: espera a volquete, ventilación deficiente y traslado de equipo los cuales representan el 80% del consumo de horas de cada mes.
- SEGUNDA:** Durante los meses de agosto a octubre 2023 se mejoró el control de la información del sistema de gestión de flota, el rendimiento de la flota de equipos mejoro de manera considerable en las actividades productivas: 2.09 ton/hr en la actividad de limpieza en tajeos, 4.66 ton/hr en la actividad de limpieza de frentes, 0.98 ton/hr en la actividad de acarreo y 1.23 ton/hr en la actividad de relleno detrítico.
- TERCERA:** De manera general las actividades productivas tuvieron una reducción de 432.89 hr, las demoras operativas tuvieron una reducción de 223.52 hr, las demoras no operativas una reducción de 861.78 hr y las demoras por mantenimiento tuvieron un incremento de 666.55 hr.
- CUARTA:** La disponibilidad operativa de la flota de equipos se incrementó en 9.97% de 72.25% a 82.22%; mientras que al tener mayor cantidad de demoras por mantenimiento la disponibilidad mecánica se redujo de 82.79% a 72.63% teniendo una variación de 10.16%.
- QUINTA:** La prueba t de pareo ($p < 0.05$) valida estadísticamente que la implementación del sistema de optimización fue efectiva. Se confirmó una mejora significativa en la Productividad (Rendimiento) en tajo, frente y relleno, y una reducción significativa en la mayoría de las Demoras operativas y no operativas. Este resultado verifica que la intervención logró su objetivo de incrementar el rendimiento operativo de la flota, siendo el rendimiento de acarreo la única métrica sin un cambio estadísticamente comprobado.

RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda realizar una evaluación adecuada de la flota de equipos requerida de acuerdo al programa de producción para reducir las horas por espera de volquete que se tiene actualmente, según el match factor para la producción se requiere contar con 7 volquetes.
- SEGUNDA:** Evaluar los rendimientos de la actividad de relleno detrítico para mejorar su indicador ya que en comparación de las otras actividades productivas es el único que muestra una mejora.
- TERCERA:** Realizar un análisis minucioso para identificar las principales causas que generan demoras por mantenimiento de la flota de equipos y reducir las horas paradas; además de implementar un plan para reducir las demoras no operativas y que sean sostenibles con el tiempo.
- CUARTA:** Realizar inspecciones de equipos diarios para y mejorar el programa de mantenimiento para mejorar los indicadores de disponibilidad mecánica de la flota.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo, Á. (2022). *La privacidad en el metaverso, la inteligencia artificial y el big data : Protección de datos y derecho al honor*. Obtenido de <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5477481>
- Beltrán, P., & Borja, L. F. (2022). Algoritmos de inteligencia artificial para optimización de procesos en la industria plástica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 1205-1222. Obtenido de https://www.academia.edu/80570142/Algoritmos_de_inteligencia_artificial_para_optimizaci%C3%B3n_de_procesos_en_la_industria_pl%C3%A1stica
- Bustamante, J. E. (2018). *Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima SA mediante la disminución de las demoras operativas más significativas*. Cajamarca: [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas].
- Cabana, E. (2020). *Equipos y maquinarias para minería subterránea*.
- Cárdenes, J. (2022). *La aplicación de Big Data e Inteligencia Artificial en logística y transporte para la optimización de procesos en empresas*. [Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Administración y Dirección de Empresas]. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/56434>
- Carhuapoma, N., & Santos, G. (2020). *Evaluación de la etapa de limpieza y extracción mecanizado para optimizar los costos de minado de una mediana minera de La Libertad, 2019*. Cajamarca: [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27079/Carhuapoma%20Diaz%20Niwel%20Cremer%20%20Gervacio%20Marquina%20Santos%20Wilmer.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Chura, W. (2019). *Propuesta de un plan de control de utilización para flotas de acarreo de una mina a tajo abierto*. Arequipa: [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7109/3/IV_FIN_110_TE_Chura_Anticona_2019.pdf

- Cruz, B. (2020). *Optimización de costos de carguío y acarreo mediante el control de tiempos y el rendimiento de equipos en la empresa minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18969/Cruz_Flores_Balan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Curcio, G. (2022). *Cuadro de mando Integral para la organización Tarjeta Naranja para aumentar la rentabilidad mediante estrategia de reducción de costos operativos y diferenciación*. [Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Administración]. Obtenido de <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/25818>
- Cuti, J. C. (2019). *Determinación de indicadores de rendimiento en equipos de carguío, acarreo y transporte para mejorar la productividad en mina Chipmo, U.E.A. Orcopampa de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. Arequipa*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4279>
- Damaso, T. (2001). *Gestión Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional*. Editorial Damaso. Obtenido de https://www.academia.edu/44257583/Seguridad_y_Salud_Ocupacional
- De Sá, J. L. (2018). *Desarrollo de un modelo para la optimización del reemplazo de vehículos para una flota de transporte urbano de pasajeros*. [Tesis Doctoral]. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/99567>
- Diego et al . (2008). Análisis del problema de asignación de flotas flexible con ventanas de tiempo discretas, duración variable, preferencias de salida y relaciones de precedencia. optimización por colonias de hormigas. *Dirección y Organización*, 61-68. Obtenido de <https://www.revistadyo.es/DyO/index.php/dyo/article/view/57>
- Diestra, C., & Mayta, L. (2023). *Análisis de los parámetros operacionales en equipos de carguío para la mejora del rendimiento operacional en compañía minera Condestable S.A*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14203/2/IV_FIN_110_T_E_Diestra_Mayta_2023.pdf
- Fermín, F. (2015). *Robótica Industrial: Aplicaciones*. Obtenido de <https://repositorio.uigv.edu.pe/item/12b19f92-d22d-4cbe-aff0-3d2ac1ec4167>

- Fleming, P. (2021). *Minería, Minerales y Medio Ambiente*. Obtenido de https://www.academia.edu/37900677/MINERIA_MEDIO_AMBIENTAL
- Forigua, A., & Gómez, G. (2007). *Automatización del robot explorador UN-ROVER*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico]. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/items/1a47dbad-5529-4f6e-8753-6c986cb145e4>
- Gamache et al . (2005). A shortest-path algorithm for solving the fleet management problem in underground mines. *European Journal of Operational Research*, 166(2), 497-506. Retrieved from <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037722170400222X>
- Guerra, J. (2012). *Reducción de costos operativos método del reemplazo de equipo mina*. Lima, Lima, Perú: [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_0bf227f2a110ac01e0b43813666db72d
- Guerrero, M. (2021). *Automatización y robotica*. Obtenido de https://www.academia.edu/10436125/Automatizaci%C3%B3n_y_robotica
- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación*. Mac Graw Hill.
- Instituto Tecnológico de Canarias. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Obtenido de https://www.academia.edu/29312051/Energ%C3%ADas_Renovables_y_Eficiencia_Energ%C3%A9tica
- Jibaja, C. (2021). *Innovaciones tecnológicas en minería - Refugios mineros móviles*. Obtenido de https://www.academia.edu/36076306/Innovaciones_tecnol%C3%B3gicas_en_miner%C3%ADa_Refugios_mineros_m%C3%B3viles_pptx
- Kirsch, P. (2014). RISKGATE, una herramienta diseñada para la minería de carbón en la mejora de la seguridad, eficiencia y a nivel operacional. *Medicina y seguridad del trabajo*, 60(235), 286-289. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0465-546X2014000200001&script=sci_arttext
- Luque, L. (2012). *Costos operativos de maquinarias*. Obtenido de https://www.academia.edu/41868229/Costos_operativos_de_maquinarias

- Martinez, R. (2024). *Optimización del rendimiento y productividad en la mejora de los equipos de carguío con la implementación del sistema onemine en la zona alta veta Angela VN.4500 en la unidad minera Inmaculada - Hochschild, Ayacucho*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/542>
- Mendoza, M. (2019). *Seguridad y salud ocupacional*. Obtenido de https://www.academia.edu/31094042/SEGURIDAD_Y_SALUD_OCUPACIONAL
- Mendoza, W. (2020). *Sostenimiento en minería*.
- Meza, H. (2023). *Diseño de un sistema de seguimiento de flota de camiones mineros*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial]. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/672e1938-4f41-45a9-9ea0-b8627784bf8e/content>
- Ministerio de Agricultura Chile. (2004). *Medidas de mitigación de impactos ambientales en fauna silvestre*.
- Ministerio de Educación. (2020). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Obtenido de https://www.academia.edu/117160679/Reglamento_de_Seguridad_en_la_Mineria
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2010). *Manual de Jóvenes emprendedores*. Obtenido de https://www.academia.edu/11001069/Ventas_Totales_Costos_Costos_de_personal_Costos_operativos_Depreciacion_Intereses_Costos_totales
- Mollo, L. A. (2018). *Análisis de seguridad en minería*.
- Moreno et al . (2017). *Eje temático elegido: Energías convencionales y alternativas*. Mendoza. Obtenido de https://www.academia.edu/97022948/S%C3%ADntesis_legislaci%C3%B3n_argentina_en_energ%C3%ADas_renovables_y_eficiencia_energ%C3%A9tica
- Nakousi et al . (2018). An asset-management oriented methodology for mine haul-fleet usage scheduling. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 336-344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.07.034>

- Olivares, J. C. (2017). *Proyecto Final de los Programas Spamex Online Energías renovables y eficiencia energética*. México. Obtenido de https://www.academia.edu/35767069/_Energ%C3%ADas_renovables_y_eficiencia_energ%C3%A9tica_
- Paredes, C. (2023). *Optimización de los ciclos de carguío y acarreo de desmonte para el aumento de productividad en una unidad minera, 2021*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a821b574-87a0-40f7-95ae-120fe4dbb542/content>
- Quispe, W. (2017). *Optimización de costos de acarreo con equipo mecanizado en la Unidad Minera Tambomayo, Cía. de Minas Buenaventura Arequipa*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4070/Quispe_Mamani_Wilfredo.pdf;jsessionid=63DB602AA0D2A95794000C72D618F1A5?sequence=1
- Ramos, A. (2022). *Sostenimiento en Minería Subterránea*. Obtenido de https://www.academia.edu/28213164/Sostenimiento_en_MINERIA_SUBTERRANE_A
- República de El Salvador. (1998). *Ley de Medio Ambiente*. Obtenido de https://www.academia.edu/29511775/LEY_DE_MEDIO_AMBIENTE
- Salgado, C. (2020). *Mejora de la productividad en equipos de acarreo y transporte de mineral y desmonte en la veta Gavia – Nivel 100, Unidad Minera Huarón*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas].
- Samatamba et al . (2020). Evaluating and optimizing the effectiveness of mining equipment; the case of Chibuluma South underground mine. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119697>
- Trigueros et al . (2003). *Procedimientos de seguridad para trabajos en altura en minería*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero]. Obtenido de https://www.academia.edu/115827832/Procedimientos_de_seguridad_para_trabajos_en_altura_en_miner%C3%ADa
- Vásquez, C. (2024). *Análisis de costo de rutas de la compañía de transporte de carga pesada Transworkers S.A y su optimización mediante un sistema de costeo ABC para el*

mejoramiento de su rentabilidad. Latacunga: [Tesis para optar el Título Profesional de Tecnólogo Superior en Logística y Transporte]. Obtenido de <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dbae141c-9ed7-42e2-b9f9-6db2d770cd17/content>

