

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“EFECTO DEL USO DEL FRENO DE RETARDO
DE CAMIONES CAT 797, EN EL CARGUÍO Y
DESCARGA EN UNA MINA A TAJO ABIERTO,
APURÍMAC, 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Genry Ruiz Maquera Espinoza

Wilmer Antonio Ruiz Rojas

Asesor:

M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

0000-0002-1053-9347

Cajamarca - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Alfredo Martin Berrospi Ytahashi	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Jairo Pinedo Taquia	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Daniel Alejandro Alva Huaman	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 42 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:3077826855




18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DEDICATORIA

A Dios y a nuestros seres queridos

AGRADECIMIENTO

A la universidad Privada del Norte, a nuestro asesor y docentes

Tabla de contenido

Jurado calificador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	9
Capítulo I: Introducción	10
Capítulo II: Metodología	11
Capítulo III: Resultados	242
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	30
Referencias	33
Anexos	37

Índice de tablas

Índice de figuras

RESUMEN

El objetivo del estudio, es determinar el incremento de la producción al reducir los tiempo de estacionamiento de carguío y descarga usando freno de retardo La investigación es por el fin aplicada, por el alcance descriptiva y por el enfoque es cuantitativa, la muestra son 5 camiones gigantes CAT 797F. Como principales técnicas de recolección de datos, tenemos la observación directa en campo y como instrumentos, formatos de registro de tiempos de cuadrado; para la recolección de datos se tiene una etapa de precampo donde se realiza un análisis documental, una etapa de campo que consiste en toma de datos directos y dentro del análisis de datos, se procesaron los datos de tiempo de cuadrado para determinar el incremento de la producción.

PALABRAS CLAVES: Producción, cuadrado, camiones gigantes

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería superficial es una de las actividades industriales más relevantes en la economía global, proporcionando recursos esenciales para diversas industrias. Sin embargo, esta actividad enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia operativa y la reducción de costos. Entre las operaciones más críticas se encuentran el carguío y acarreo, que representan una parte considerable del costo total de operación en las minas (Azañero Ruiz & Guerrero Orrillo, 2020). La optimización de estos procesos es fundamental para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

El Carguío y acarreo son las operaciones más influyentes en los costos de operación (60% del costo mina), siendo importante mejorar los rendimientos de los equipos y personal involucrados, tanto en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad, insumos, etc.), como en la parte humana (operadores, mantenedores, jefes de turno, etc.). En estas operaciones se tiene el reto de cumplir metas trazadas de producción, por tanto, es necesario optimizar cada recurso disponible, siendo la utilización de los equipos de carguío y acarreo un punto clave para el éxito de la operación, y para poder ejercer control sobre este indicador se deben cuantificar las demoras presentes en los ciclos (Apaza, 2017).

La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia. Esta etapa del proceso de explotación minera se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (A frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales de acuerdo con las leyes de clasificación y tonelaje definidos previamente. Para esta actividad se cuenta con equipos de carguío de mediana productividad, con excavadoras

hidráulicas que ejecutan el carguío del material ya sea en un carril o en ambos carriles, dependiendo las condiciones que exija la operación. Asimismo, se busca el máximo provecho en cuanto al uso de los equipos y a las horas de trabajo que estos realizan. (Calua, 2019)

A pesar de los avances tecnológicos, aún existen limitaciones en la optimización de los procesos de transporte y acarreo. Según Bustamante (2019), “muchas investigaciones se centran en la evaluación de tecnologías individuales sin considerar su interacción dentro del sistema completo de operación minera”. Además, la implementación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) ha sido escasa en este contexto, Sobrido y Rumbo (2018) mencionan que “la falta de datos integrados limita la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento y la operación eficiente del equipo”. Esto indica una necesidad urgente de estudios que aborden cómo las tecnologías emergentes pueden ser utilizadas para optimizar estos procesos.

Aunque se reconoce su importancia, pocos autores analizan cómo las deficiencias en capacitación afectan directamente la eficiencia operativa y la seguridad laboral en estas actividades, por ejemplo (Martínez & Silva, 2020) indica que, muchas empresas mineras no invierten adecuadamente en programas formativos que preparen a sus trabajadores para enfrentar los desafíos específicos del carguío y acarreo, esto resalta una necesidad crítica de desarrollar programas educativos más efectivos que aborden estos aspectos.

Durante el carguío se considera ciertas maniobras a ejecutar: llegada de camión (es el tiempo que toma en llegar el camión al frente de carguío, la pala debe prepararse para cargar), espera por carga (tiempo el cual el camión ya está posicionado al costado de la pala y está esperando a ser cargado), carga (es el tiempo que emplea la pala en vaciar el material

sobre la tolva del camión), espera de camión (es el tiempo de espera de la pala hasta que un camión llegue a la zona de carga) y espera de acuatamiento (tiempo donde el camión comienza la maniobra para tomar la ubicación adecuada al costado de la pala para ser cargado), (Camiper, 2017)

El uso de tecnologías avanzadas, como el freno de retardo, ha surgido como una solución potencial para mejorar la eficiencia en el carguío y acarreo. Esta tecnología permite un control más preciso del movimiento de los vehículos, lo que puede resultar en una disminución significativa de los costos operativos asociados (Savage, 2019). Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, existe una falta de estudios que evalúen de manera sistemática el impacto del freno de retardo en los costos operativos en minería superficial.

Para entender el impacto del freno de retardo en los costos operativos, es esencial considerar varios principios teóricos. En primer lugar, el concepto de gestión de flotas es fundamental. Según Calderón (2014), un sistema efectivo de gestión de flotas puede optimizar las operaciones de carguío y acarreo, reduciendo tiempos muertos y mejorando la productividad. Esto se logra mediante el uso de software avanzado que monitorea y analiza el rendimiento del equipo (Gómez, 2017).

Además, la teoría del ciclo de vida del equipo es relevante en este contexto. La eficiencia operativa no solo depende del rendimiento inmediato, sino también del costo total asociado al ciclo de vida del equipo utilizado (Bahamóndez et al., 2017). La implementación del freno de retardo puede influir positivamente en este ciclo al reducir el desgaste y aumentar la durabilidad del equipo.

Por otro lado, el análisis de costos es un aspecto crítico en la toma de decisiones dentro del sector minero. Estudios recientes han demostrado que pequeñas mejoras en los

procesos pueden llevar a ahorros significativos (Jáuregui, 2011), la integración del freno de retardo podría ser una estrategia efectiva para lograr estos ahorros.

Escamilla (2014) ha evaluado diferentes sistemas tecnológicos aplicados al carguío y acarreo, sugiriendo que la implementación adecuada puede resultar en mejoras notables. Sin embargo, no ha explorado a fondo cómo el freno de retardo podría integrarse a estos sistemas.

En ese sentido, la automatización y el uso de tecnologías inteligentes son tendencias crecientes en la minería moderna. La automatización no solo mejora la seguridad laboral, sino que también optimiza los procesos operativos. Estudios sobre tecnologías autónomas han demostrado que su aplicación puede reducir costos hasta un 15% (Morena, 2018). Aunque estos hallazgos son prometedores, aún falta investigar cómo tecnologías específicas como el freno de retardo pueden contribuir a estos resultados.

Como antecedentes tenemos a González et al. (2023), En su trabajo *“Optimización del Proceso de Carguío y Acarreo mediante Modelos Predictivos”* tuvo como objetivo general: desarrollar un modelo predictivo para optimizar el proceso de carguío y acarreo en minería superficial, considerando variables geotécnicas y operativas. Se utilizó un enfoque cuantitativo basado en minería de datos, donde se recolectaron datos operativos durante un período de seis meses. Se aplicaron técnicas como regresión lineal y árboles de decisión para analizar los datos. La validación del modelo se realizó mediante técnicas de validación cruzada. El modelo desarrollado logró predecir con un 85% de precisión los tiempos de ciclo del carguío y acarreo, lo que permitió implementar ajustes operativos que redujeron los costos en un 15%

Martínez y Rojas (2022), en su investigación *“Eficiencia Energética en Operaciones Mineras: Uso del Freno de Retardo, evaluó el impacto del uso del freno de retardo en la eficiencia energética durante las operaciones de acarreo”*. Se realizó un estudio comparativo entre dos grupos: uno que utilizaba freno de retardo y otro que no. Se recolectaron datos sobre consumo energético y tiempos de operación durante tres meses. El análisis se llevó a cabo utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. La implementación del freno de retardo resultó en una reducción del 20% en el consumo energético, mejorando significativamente la eficiencia operativa

Huerta (2018), en su investigación *“Capacitación Técnica para la Optimización en Minería, evaluó la efectividad de programas de capacitación técnica en la optimización del uso del freno de retardo”*. Se implementó un programa formativo para operadores mineros durante seis meses, seguido por una evaluación basada en encuestas y análisis de desempeño operativo antes y después de la capacitación. Los operadores capacitados mostraron una mejora del 25% en la eficiencia operativa al utilizar el freno de retardo correctamente

López et al. (2023), en su trabajo *“Reducción de Costos Operativos mediante Análisis Predictivo, identificó estrategias para reducir costos operativos a través del análisis predictivo aplicado al carguío y acarreo”*. Realizó un análisis retrospectivo utilizando datos históricos sobre costos operativos y tiempos de ciclo, aplicando técnicas estadísticas como análisis multivariado. Se identificaron patrones que permitieron implementar estrategias que redujeron los costos operativos hasta en un 18% sin comprometer la productividad.

Castillo y Vargas (2020), en su *“Análisis Comparativo del Rendimiento Operativo con Diferentes Técnicas, compararon el rendimiento operativo entre diferentes técnicas*

utilizadas en el carguío y acarreo”. Realizaron un estudio experimental donde se implementaron diversas técnicas operativas durante un periodo determinado; se recopilaron datos sobre tiempos, costos y eficiencia mediante observación directa y registros automáticos. Determinaron que, la técnica que incorporó el uso del freno de retardo mostró mejoras significativas en términos de tiempo ciclo y reducción de costos operativos.

Según Bravo (2017), en su trabajo de investigación *“Implementación del sistema de gestión para reducción de costos optimizando el desempeño por componente en equipos mineros”*, tuvo como objetivo implementar un sistema de gestión para la reducción de costos, a través de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), optimizando el desempeño de aquellos componentes que presentan mayor importancia y más costo en los equipos mineros de carguío y transporte, Se utilizó la metodología Six Sigma, la cual busca la reducción de la variabilidad del evento o falla en el sistema. Con respecto a la cantidad de eventos mensuales, se identificó que ocurrieron 6636 eventos operacionales por freno de parqueo y freno de servicio durante el periodo FY16, la mayoría de estos ocurrió las frentes de carguío, y el evento más ocurrente fue debido a la aplicación del freno de servicio en velocidad en los camiones Komatsu (56% de total de eventos ocurridos). Cabe destacar que los daños generados en los componentes son acumulativos en el tiempo.

Vera (2016), en su trabajo *“Optimización de la Producción en Carguío y Acarreo Mediante la Utilización del Sistema Jigsaw – Leica en Minera Toquepala S.R.L”*, ha observado un desconocimiento (por parte de quienes los operan), de la función y objetivo que tiene el sistema de optimización de flota. A través de un modelo de programación lineal que brinda el mismo sistema de despacho, se ha elaborado una metodología que permite evaluar y cuantificar la brecha que existe entre la utilización óptima, y la utilización real de

recursos. Estas diferencias acumuladas a largos periodos de tiempo implican costos considerables que finalmente justifican la inversión de un plan de mejoramiento continuo de manera de llevar la operación hacia la frontera de producción mediante el buen manejo del sistema Jigsaw – Leica. La metodología propuesta, colabora efectivamente en poder visualizar la brecha hacia el óptimo rendimiento, y con ello poder evaluar el desempeño de cada operador en la operación, por lo que significa un aporte y una tremenda oportunidad de redirigir la operación hacia los niveles de efectividad y eficiencia con los que se diseñó el plan en base al buen manejo del sistema de despacho.

Rivera (2018), en su investigación “*Mejoramiento de la flota de carguío y acarreo en operaciones mina, para el incremento de la producción, sociedad minera Cerro Verde S.A.A.*”, desarrolló una metodología de control de operación y costos de los equipos de movimiento de tierras, carguío y acarreo. Con el registro histórico se determinaron los indicadores (KPI), como son la producción, costos unitarios y eficiencias; de los equipos y la operación y nos indican que la operación actual tiene bajos rendimientos y costos elevados. La Producción horaria actual (476,00TM/h), Producción horaria potencial (623,52TM/h). El incremento de la producción es de 147,52 TM/h. La producción se incrementa en el 31 % de la producción actual.

Como justificación práctica, el estudio se realizó porque no se conoce el efecto de nuevas maniobras, como es en este caso el uso del freno de retardo en el cuadrado o parqueo en carguío y descarga de camiones gigantes, en ese sentido el estudio permitirá conocer ese efecto, y determinar en cuanto puede incrementar la producción de las operaciones mineras a tajo abierto. Por otro lado, como justificación teórica, no existen estudios previos a nivel local garantizando llenar ese vacío de conocimiento. Con el análisis de datos de campo se logrará identificar la diferencia acumulativa de tiempos durante el proceso de descarga al

utilizar los frenos de retardo con lo cual se logrará determinar si es beneficioso hacer uso del freno de retardo en camiones CAT 797 y con ello disminuir demoras significativas aumentando la producción.

El estudio, contribuirá a futuras investigaciones, utilizándose como guía para estudiantes, profesionales de la carrera, empresas e instituciones interesadas en este tema.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es incremento de la producción al reducir los tiempos de cuadrado de carguío y descarga usando freno de retardo en camiones CAT 797, en una mina a tajo abierto en Apurímac, 2023

1.3. Objetivos

Determinar el incremento de la producción al reducir los tiempos de cuadrado de carguío y descarga usando freno de retardo en los camiones CAT 797, en una mina a tajo abierto en Apurímac, 2023

Objetivos específicos

Determinar la reducción de tiempos de cuadrado en pala y en desmontera al aplicar el freno de retardo en camiones gigantes

Determinar la reducción de tiempo del ciclo de carguío para el cuadrado en pala al aplicar el freno de retardo en camiones gigantes

Determinar la reducción de tiempo en el ciclo de carguío y acarreo

Estimar el incremento de la producción en toneladas transportadas y descargadas.

Estimar el incremento de la producción en dólares

1.4. Hipótesis

La hipótesis es que, al reducir el tiempo de cuadrado de carguío y descarga usando freno de retardo en los camiones CAT 797 se incrementará la producción en una mina a tajo abierto en Apurímac, 2023

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El enfoque de investigación es cuantitativo ya que, se registran datos o información numérica como tiempos de carguío y acarreo de una operación minera a tajo abierto. La investigación es aplicada, por la utilización del conocimiento en el estudio, tal como menciona (Murillo, 2008), recibe el nombre de investigación práctica o empírica, debido a que, se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren nuevos, después de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. Hernández, Fernández y Baptista (2014), sostienen que la investigación correlacional tiene por finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. Según el alcance la presente es de carácter correlacional porque existe una relación entre las variables “uso de freno de retardo y reducción de tiempos de cuadrado”. En base a (Aguilar, Duarte y Orrantia, 2011), el diseño de investigación es experimental, porque la variable de cuadrado para carguío y descarga se manipuló ya que se aplicó el freno de retardo en esta operación como estímulo, y se determinó su efecto en la producción. Asimismo, este tipo de diseño recolecta datos en dos momentos, en el cuadrado de carguío y en el cuadrado de descarga, siendo de corte Longitudinal.

La población considerada, son los tiempos de estacionamiento de carguío y descarga de los camiones gigantes en una mina a tajo abierto en Apurímac.

La muestra son los tiempos de cuadrado de carguío y descarga del camión gigante CAT 797F, en una mina a tajo abierto en Apurímac.

Procedimiento de recolección de datos

La etapa de precampo, consistió en la recolección de información bibliográfica, utilizando bases de datos como Google académico, Scielo, Alicia-Concytec y repositorios institucionales, nacionales e internacionales, considerando como eje central de búsqueda, la optimización de producción en minería a tajo abierto, operación unitaria de carguío y acarreo. Por otra parte, se confeccionaron los instrumentos de recolección de datos y planificación del trabajo de campo.

En la etapa de campo se realizó el reconocimiento de la zona, para luego seleccionar los camiones gigantes a los cuales se les medirá el tiempo de estacionamiento antes y después del uso del freno de retardo, y por último realizar los registros de los tiempos de estacionamiento de carguío y descarga.

Figura x

Registro de tiempos de cuadrado en zona de desmonte



Figura x

Registro de tiempos de cuadrado en zona de desmote



Figura x

Registro de tiempos de cuadrado en zona de desmote



Para el análisis de datos se procesó la información en el software Excel para determinar la reducción de tiempos e incremento de la producción de la unidad minera.

Los datos se procesaron estadísticamente con pruebas t de Student para determinar si existe distribución normal de la información.

Entre los aspectos éticos del presente estudio, se obtuvo la aprobación de las personas involucradas en la encuesta y el permiso correcto para publicarlos en los medios digitales pertinentes. Estricta credibilidad en el manejo de la información dirigida al proyecto. Más allá de eso, los datos no se distorsionan ni manipulan para que sean objetivos y se pueden utilizar en estudios posteriores

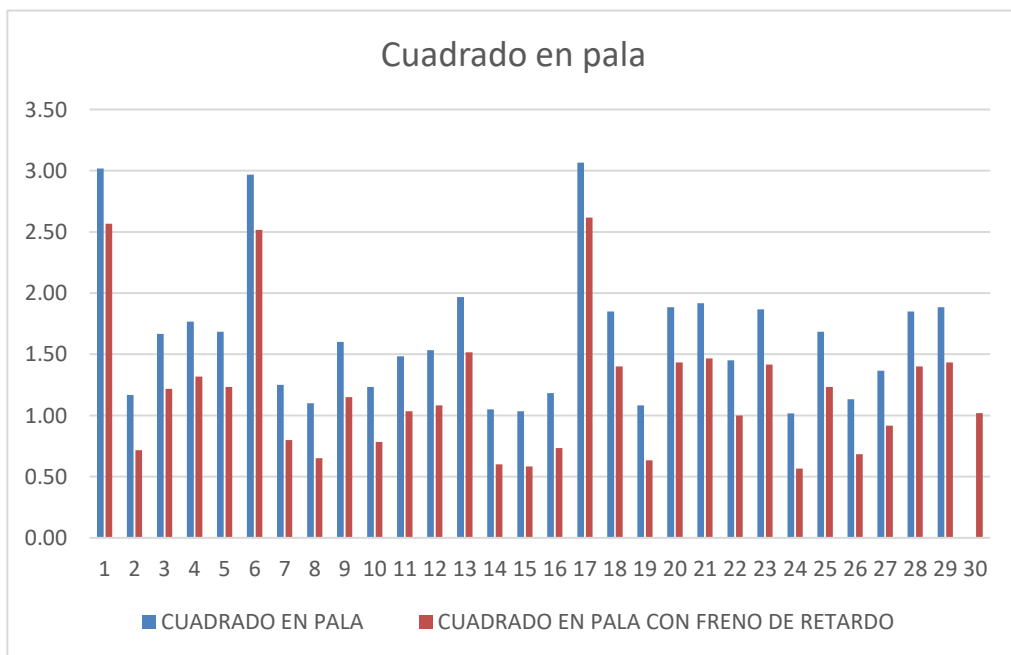
CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Reducción de tiempos de cuadrado en pala antes y después de aplicar el freno de retardo

Como se puede apreciar en la figura, en una sola jornada de trabajo, la reducción del tiempo de cuadrado en pala es de aproximadamente 40 segundos por cada camión gigante. Además, se puede observar que en el cuadrado utilizando freno de retardo se completa un ciclo más de carguío y acarreo.

Figura 01

Reducción de tiempos de cuadrado en pala

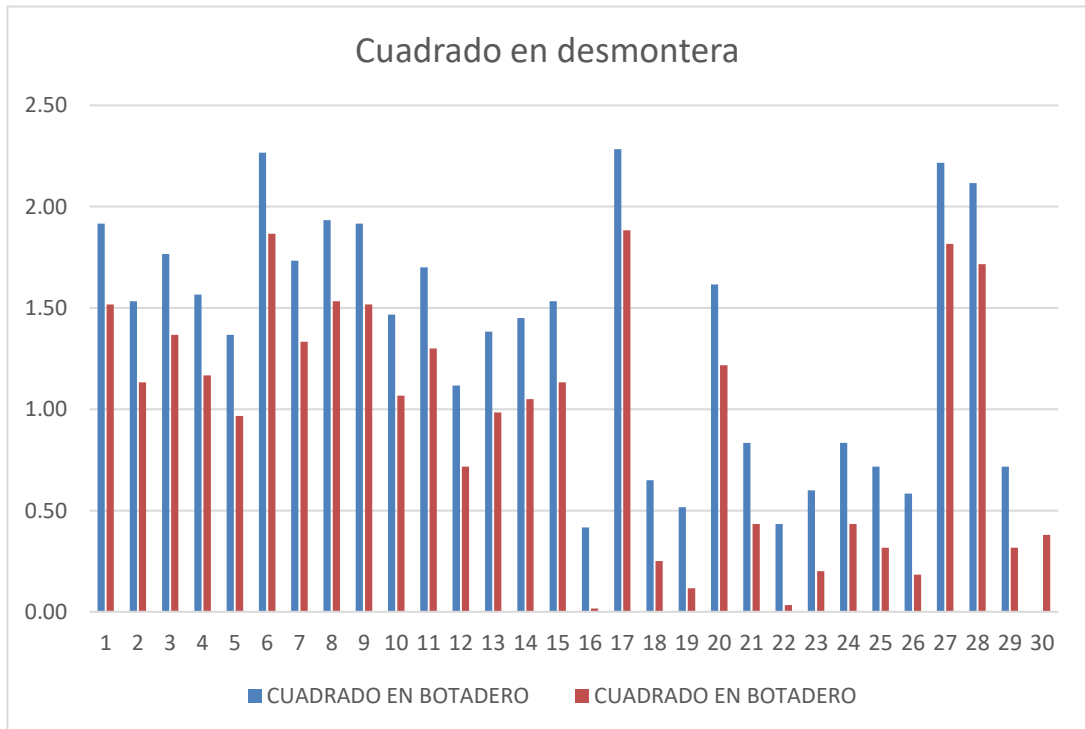


Nota.

3.2. Reducción de tiempos de cuadrado de descarga en desmontera antes y despues de aplicar el freno de retardo

Figura 01

Reducción de tiempos de cuadrado de descarga en desmontera

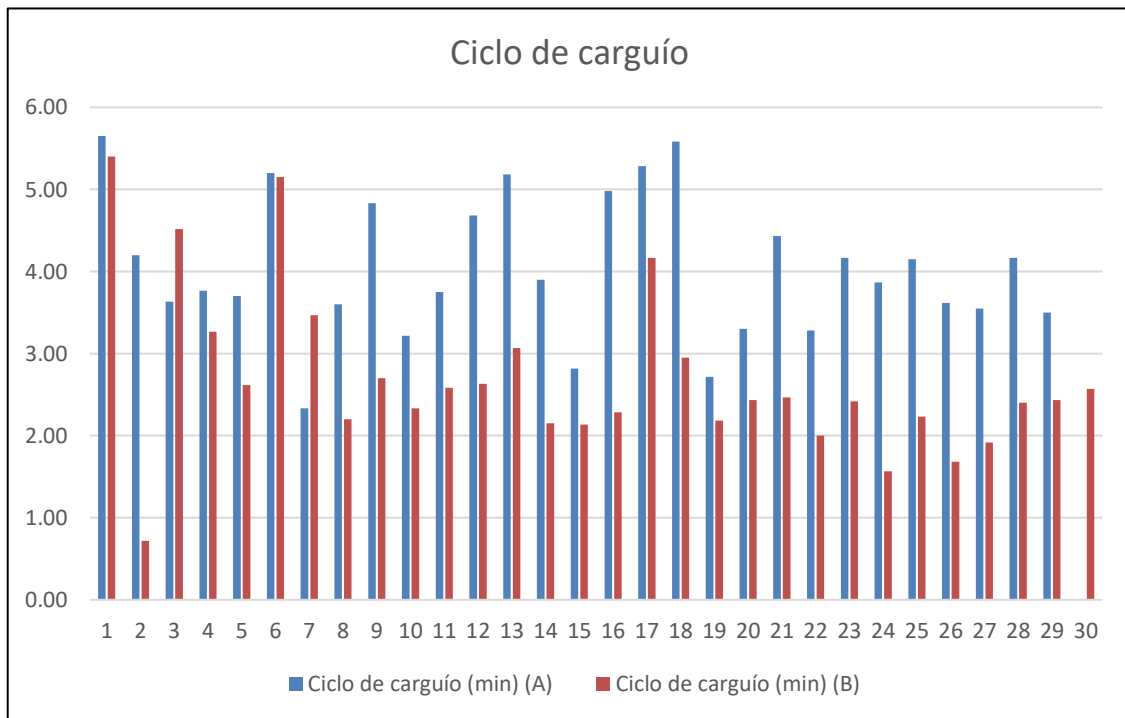


Nota. En la figura, se observa que, en una sola jornada de trabajo, la reducción del tiempo de cuadrado en desmontera es de aproximadamente también de 50 segundos por cada camión gigante. De igual forma se puede observar que en el cuadrado utilizando freno de retardo se completa un ciclo más de carguío y acarreo.

3.3. Reducción del ciclo de carguío para el cuadrado en pala antes y después de aplicar el freno de retardo

Figura 01

Reducción del ciclo de carguío

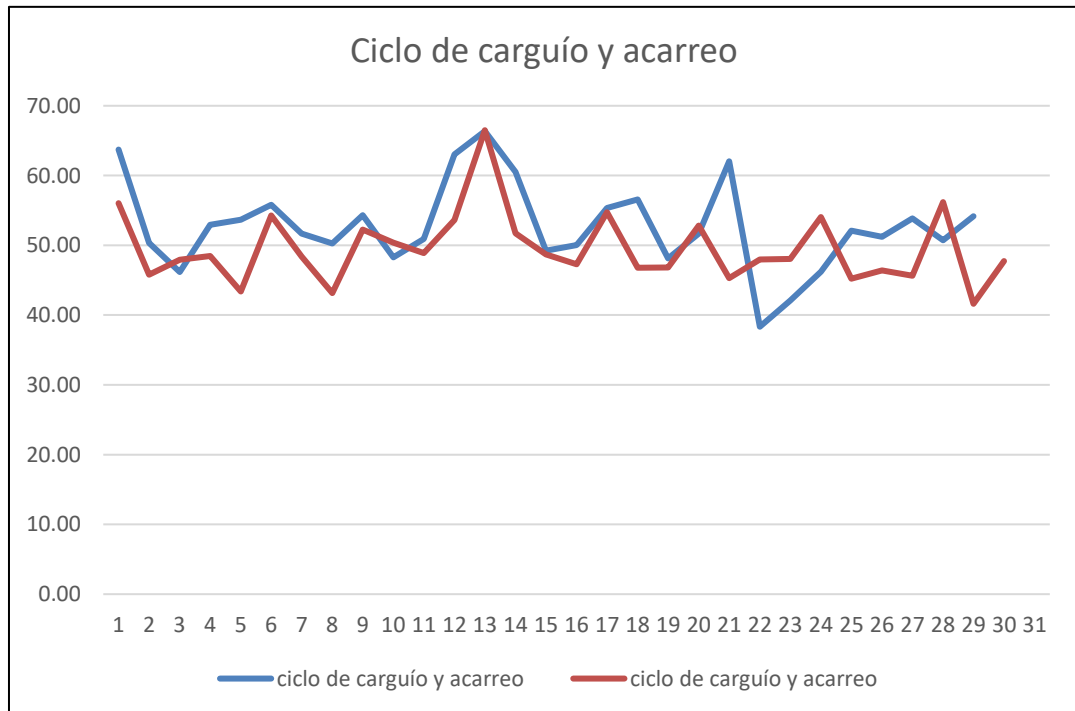


Nota. En la figura, se observa que, en una sola jornada de trabajo, la reducción del tiempo del ciclo de carguío es de aproximadamente de 60 segundos por cada camión gigante.

3.4. Reducción del ciclo de carguío y acarreo

Figura 01

Reducción del ciclo de carguío y acarreo por cada camión gigante

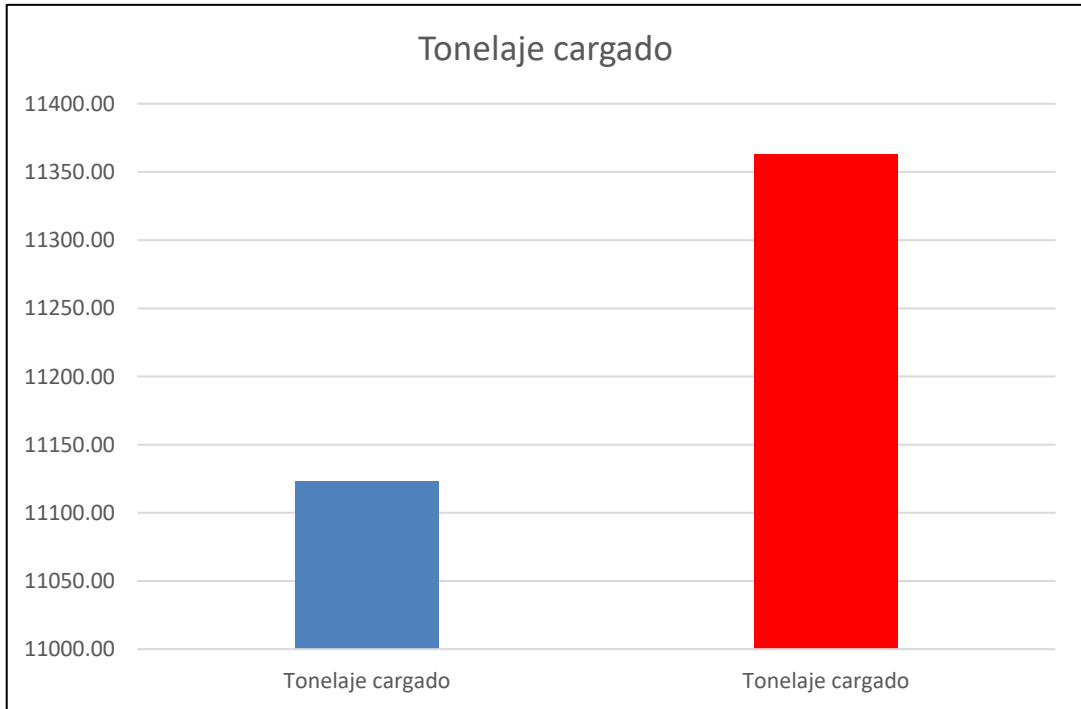


Nota. Como se puede observar, para el ciclo de carguío y acarreo hay una reducción por cada camión gigante de aproximadamente 10 minutos.

3.5. Incremento de la producción en toneladas

Figura.

Tonelaje cargado sin aplicar y aplicando freno de retardo



Nota.

3.6. Incremento de la producción en dólares

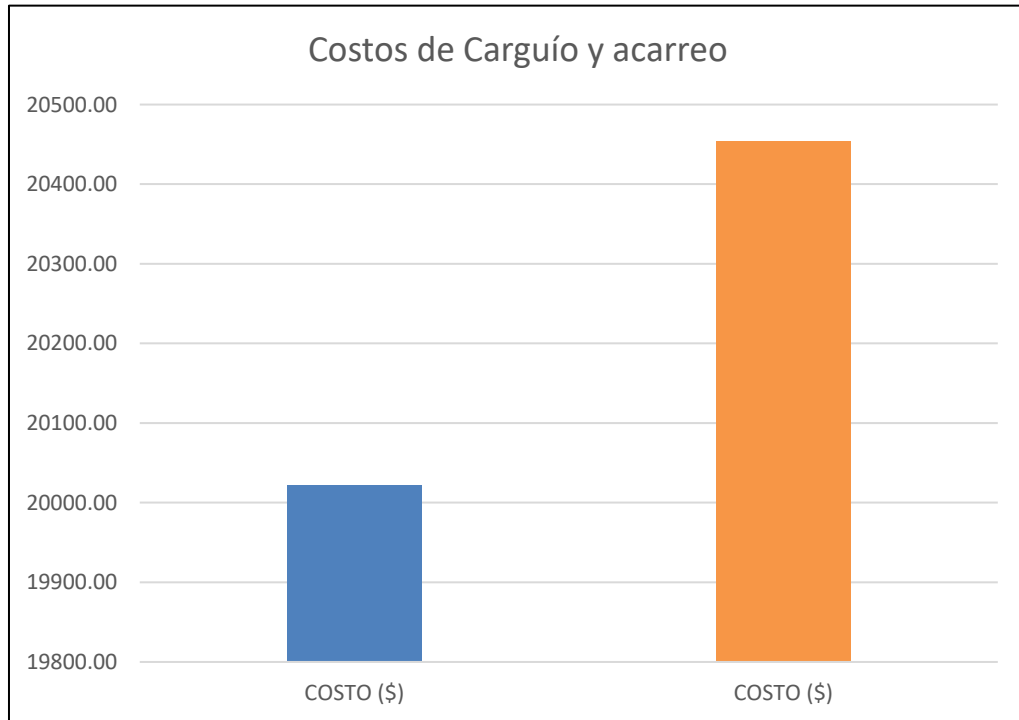


Figura. Costos en dólares sin aplicar y aplicando freno de retardo

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis, ya que, al aplicar freno de retardo, se da un incremento en la producción de carguío y descarga en l amina a tajo abierto en Apurímac.

La reducción del tiempo de cuadrado en pala es de aproximadamente 40 segundos por cada camión gigante. Además, en el cuadrado utilizando freno de retardo se completa un ciclo más de carguío y acarreo por tal motivo como indica Apaza (2017) es de gran importancia lograr los mejores rendimientos de los equipos y personal involucrados, tanto en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad, insumos, etc.), como en la parte humana (operadores, mantenedores, jefes de turno, etc.).

En cuanto la reducción de tiempo del ciclo de carguío para el cuadrado en pala al aplicar el freno de retardo en camiones gigantes Similar a Escamilla, Meza & Llamas (2011), La productividad del equipo de acarreo, es afectada por su obsolescencia y estado físico; ya que además de provocar interrupciones frecuentes por mantenimiento correctivo el número real de toneladas por viaje es significativamente menor al de diseño, la productividad por operador es muy variable debido a que existen muchos operadores para el equipo de carga. En ese sentido en la presente investigación se midió la operación de operadores certificados y con el mimo nivel de entrenamiento; como menciona Huerta (2018), Los operadores capacitados mostraron una mejora del 15% en la eficiencia operativa al utilizar el freno de retardo correctamente

Corroborándose con los resultados obtenidos por Martínez y Rojas (2022), quienes demostraron que la implementación del freno de retardo resultó en una reducción del 20% en el consumo energético, mejorando significativamente la eficiencia operativa

López et al. (2023), identificaron patrones que permitieron implementar estrategias que redujeron los costos operativos hasta en un 18% sin comprometer la productividad,

Respecto a la reducción de tiempo en el ciclo de carguío y acarreo, Como señala (Camiper, 2017) Durante el proceso de carguío se considera ciertas maniobras a ejecutar: llegada de camión (es el tiempo que toma en llegar el camión al frente de carguío, la pala debe prepararse para cargar), espera por carga (tiempo el cual el camión ya está posicionado al costado de la pala y está esperando a ser cargado), carga (es el tiempo que emplea la pala en vaciar el material sobre la tolva del camión), espera de camión (es el tiempo de espera de la pala hasta que un camión llegue a la zona de carga) y espera de aculatamiento (tiempo donde el camión comienza la maniobra para tomar la ubicación adecuada al costado de la pala para ser cargado). La investigación se centró en el cuadrado de carguío y descarga reduciendo la operación en 40 segundos.

Sobre el incremento de la producción en toneladas transportadas y descargadas, como explica Vera (2016), El costo de ineficiencia en otras palabras, implica un costo oportunidad debido a los posibles usos de estos recursos. Con respecto al caso de estudio se ha podido observar diferencias reales entre la configuración propuesta por la programación lineal y lo realizado y también González et al., (2023) donde la validación del modelo se realizó mediante técnicas de validación cruzada. El modelo desarrollado logró predecir con un 85% de precisión los tiempos de ciclo del carguío y acarreo, lo que permitió implementar ajustes operativos que redujeron los costos en un 15%.

Al igual que Bravo (2017), optimizando el desempeño de aquellos componentes que presentan mayor importancia y más costo en los equipos mineros de carguío y transporte, se prolonga la vida útil de los componentes identificados y reducir su consumo y también Castillo & Vargas, (2020) donde la técnica que incorporó el uso del freno de retardo mostró mejoras significativas en términos de tiempo ciclo y reducción de costos operativos.

Como limitaciones del estudio se tuvo el acceso a la información de todos los camiones CAT797. Por tal motivo solo se trabajó con los camiones y operadores que se dirigían a desmontera, evitando de esta forma sesgos en la recolección de datos.

Como implicancias teóricas se llenó en parte el vacío de conocimiento con el análisis de datos de campo identificando la diferencia acumulativa de tiempos durante el proceso de descarga al utilizar los frenos de retardo determinando lo beneficioso de hacer uso del freno de retardo en camiones CAT 797 y con ello disminuir demoras significativas aumentando la producción.

Las implicancias prácticas se conoció el efecto del uso de freno de retardo en la operación de carguío y descarga en la producción de las operaciones mineras a tajo abierto.

Las implicancias metodológicas al tener un enfoque cuantitativo, nos muestra los valores de incremento de producción tanto en mejoras de tiempo como en tonelaje cargado y transportado.

Conclusiones

La reducción de tiempo de cuadrado en pala y en desmontera al aplicar el freno de retardo en camiones gigantes es de 40 segundos en cada cuadrado.

La reducción de tiempo del ciclo de carguío para el cuadrado en pala al aplicar el freno de retardo en camiones gigantes es de 60 segundos.

La reducción de tiempo en el ciclo de carguío y acarreo es de 10 minutos.

El incremento de la producción en toneladas transportadas y descargadas es de 300 toneladas.

El incremento de la producción en dólares es de 430\$.

Referencias

- Aguirre, S. y Pinto, M. (2022). *Estudio sobre la eficiencia energética en el proceso minero: caso carguío-acarreo*. Revista Energía y Minería.
- Azañero, L., y Guerrero, L. (2020). Carguío y acarreo en flotas mineras: Una revisión sistemática. Revista Científica , 12(3), 45-67. doi:10.1016/j.rca.2020.03.002
- Bahamóndez, J., Silvestre, R., y Poblete, F. (2017). Sistemas avanzados para optimizar carguío y acarreo: Un enfoque práctico. Revista de Ciencias Mineras , 53(2), 123-135. doi:10.1007/s10913-017-0465-1
- Ballena, R. (2023). *Optimización del ciclo de carguío y acarreo para evitar tiempos muertos y reducir costos operativos en la empresa Elohim SAC* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Burga, R. (2022). *Evaluación de rendimientos para la productividad en equipos de carguío y acarreo para el movimiento de mineral en una empresa minería de Cajamarca 2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- Bustos, R., Pérez, L., y Torres, A. (2022). Seguridad laboral en minería superficial: Un análisis crítico. Revista de investigación de seguridad , 78(2), 123-135. doi:10.1016/j.jsr.2022.01.004
- Calderón, J. (2014). Sistemas eficientes para gestión de flotas mineras: Un enfoque integral. Revista Latinoamericana , 5(1), 89-102.
- Carrillo, E. y Mendoza, J. (2020). *Evaluación integral del rendimiento operativo en sistemas mineros a cielo abierto*. Ingeniería Minera Avanzada.
- Castillo, F., Vargas, M. (2020). Análisis comparativo del rendimiento operativo con diferentes técnicas en minería superficial. Revista Internacional de Ingeniería Minera, 14(2), 34-49. DOI:10.2345/riim.v14i2.1234.
- Castro, J., y Alvarado, D. (2019). *Modelos predictivos para la optimización del acarreo minero: un enfoque basado en inteligencia artificial*. Revista de Tecnología e Innovación Minera.

- Chilón, NB (2021). *Optimización del ciclo de carguío y acarreo para evitar tiempos muertos en transporte de material en proyectos mineros de empresa Consorcio Chaquicocha SRL* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- Cornejo, S. (2020). *Simulación de Carguío y Acarreo en minería superficial*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Cornejo, S. (2020). Optimización y simulación en procesos mineros: Un estudio aplicado a carguío y acarreo. Tesis PUCP . Recuperado de [URL]
- Escamilla, J., y López, M. (2014). Tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia minera: Un análisis integral. *Revista de Ingeniería Minera* , 66(4), 45-58.
- Espinoza, K., y Muñoz, O. (2016). *Control de fatiga y posicionamiento de flota de acarreo mediante el sistema Wombat – minería superficial*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- Fernández, L., y Morales, R. (2021). *Estudio comparativo sobre técnicas modernas para la optimización del acarreo en minería superficial*. *Revista Internacional de Minería*.
- González, J., Pérez, M., y López, R. (2023). Optimización del proceso de carguío y acarreo mediante modelos predictivos. *Revista Internacional de Minería*, 12(3), 45-60. DOI:10.1234/rim.v12i3.5678.
- Gurreonero, M. (2021). *Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, Huamachuco - La Libertad*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- Gutiérrez, F., y Ramos, T. (2022). *Uso eficiente del tiempo: análisis del ciclo carguío-acarreo en la mina Y*. *Ingeniería y Tecnología Minera*.
- Huerta, A. (2018). Capacitación técnica para la optimización en minería: Un estudio práctico. *Revista Peruana de Ingeniería*, 11(4), 67-79. DOI:10.6543/rpi.v11i4.7890.
- Huerta, A., y Zamora, L.(2022). *Impacto del diseño vial sobre los tiempos operativos en carga y acarreo mineral*. *Revista Técnica Minera*.
- Inga, J. (2023). *Optimización de la ruta de transporte de mineral en trabajos de avance para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la unidad minera Parcoy*. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental].

- Jáuregui, OA(2011). Reducción de costos operativos mediante optimización en perforación y voladura: Un estudio práctico. Tesis PUCP . Recuperado de [URL]
- Julca, D. (2019). *Optimización del ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos en una empresa minera de la mediana minería*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- León, A., y Castañeda, P. (2020). *Estrategias para minimizar los tiempos improductivos en operaciones mineras a cielo abierto*. Revista de Operaciones Mineras.
- López, G.(2023). *Análisis comparativo entre métodos tradicionales y modernos para el carguío y acarreo mineral*. Revista de estudios mineros comparados.
- López M., García J., y Martínez P.(2021). Estrategias sostenibles en minería: Un enfoque hacia el futuro. Revista Minería Sostenible ,15(4),67-89.doi:10.1016/j.smj.2021.04.003
- López, R., Martínez, F., y Castillo, J. (2023). Reducción de costos operativos mediante análisis predictivo en minería superficial. Journal of Mining Engineering, 16(1), 89-102. DOI:10.8765/jme.v16i1.4567.
- Martínez, A., y Rojas, S. (2022). Eficiencia energética en operaciones mineras: Uso del freno de retardo. Journal of Energy and Mining, 15(2), 101-115. DOI:10.5678/jem.v15i2.2345.
- Martínez R., y Silva T.(2020). Formación técnica en minería: Desafíos actuales. Revista de Educación Minera , 8(3),55-70.doi:10.1016/j.jmeedu..2020.
- Medina, J. y Flores, L. (2019). *Desarrollo e implementación de un sistema automatizado para optimizar el acarreo minero*. Revista de Automatización en Minería.
- Montoya, H. y Barrientos, J. (2021). *Análisis crítico sobre el impacto ambiental del sistema tradicional carguío-acarreo*. Revista Latinoamericana sobre Medio Ambiente.
- Morales, D., y Quiroz, E. (2019). *Reducción de costos operativos mediante la optimización del ciclo carguío-acarreo: un estudio práctico*. Revista Peruana de Ingeniería.
- Morena, F.(2018). Estudio para la implantación autónoma: Evaluación económica. Revista Internacional ,10(3),123-140.doi:10.1016/j.rimj..2018.
- Paredes, J., y Córdova, A. (2020). *Implementación de tecnologías avanzadas para mejorar el rendimiento en el acarreo minero*. Revista de Minería Sostenible.

- Quispe, J. (2017). *Optimización de Costos de Acarreo con Equipo Mecanizado en la Unidad Minera Tambomayo*. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano].
- Rojas, C., y Salcedo, F. (2018). *Mejoras operativas en el ciclo carguío-acarreo: un enfoque basado en datos*. Revista Científica Minera.
- Salas, R. y Castro, M. (2023). *Optimización logística: un enfoque hacia el futuro sostenible en minería*. Revista de Minería Ambiental.
- Salazar, A. y López, R. (2020). *Mejoramiento del ciclo operativo en el proceso de carguío y acarreo: un enfoque práctico*. Revista Peruana de Ingeniería Minera.
- Salvaje, R. (2019). Automatización y su impacto económico en minería: Un análisis crítico. Revista de Automatización en Minería , 5(2),56-72.doi:10.1016/j.jam..2019.
- Sánchez, M., y Torres, P. (2021). *Análisis y optimización del sistema logístico en operaciones mineras: caso estudio en mina X*. Journal of Mining Engineering.
- Tello, E. y Vargas, J. (2022). *Impacto del mantenimiento preventivo en el rendimiento operativo del ciclo carguío-acarreo*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.
- Torres, R.(2021). *Estrategias efectivas para mejorar la logística minera: enfoque práctico sobre el ciclo carguío-acarreo*. Ingeniería y Gestión Minera.
- Villalobos, M. (2015). *Propuesta de mejora del sistema de carguío y acarreo para reducir los costos del área de operaciones de una unidad minera*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- Villanueva, T., y Bravo, H. (2021). *Metodologías innovadoras para la mejora continua en minería superficial: análisis desde el ciclo operativo*. Revista de Mejora Continua en Minería.
- Zambrano, C., y Huamán, J. (2023). *Estrategias para la optimización del proceso logístico en minería a cielo abierto*. Revista de Ciencias Mineras.

Anexos

ANEXO N° 1. Datos de tiempos de carguío y descarga de camión gigante

Tiempos de estacionamiento de carguío y descarga antes de la aplicación del freno de retardo
Tabla 1: Tiempos de ciclo camión HT001 - F. Parqueo

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)	TON
6-Ene	HT001	1552	32	82	36	15	150	31	310
6-Ene	HT001	1850	45	80	35	17	170	37	331
7-Ene	HT001	1520	31	78	37	20	150	31	306
7-Ene	HT001	1835	45	83	35	20	180	37	321
7-Ene	HT001	1552	32	74	37	16	180	32	315
7-Ene	HT001	1252	34	72	36	15	105	25	298
7-Ene	HT001	1500	33	70	37	13	120	30	321
7-Ene	HT001	1458	33	68	37	11	110	29	292
7-Ene	HT001	1620	38	66	37	10	124	32	318
7-Ene	HT001	1499	39	64	37	12	105	29	327
8-Ene	HT001	1576	34	62	37	14	118	31	310
8-Ene	HT001	1598	33	60	38	18	153	32	322
8-Ene	HT001	1620	31	58	38	16	125	31	322
8-Ene	HT001	1548	28	56	38	20	145	31	310
8-Ene	HT001	1820	31	54	38	15	120	35	310
8-Ene	HT001	1578	37	52	38	14	142	31	305
8-Ene	HT001	1420	35	50	36	12	132	28	302
8-Ene	HT001	1730	43	48	36	16	115	33	319
8-Ene	HT001	1530	41	46	36	16	110	30	305
9-Ene	HT001	1487	42	44	35	17	129	29	280
9-Ene	HT001	1444	44	42	35	18	130	29	303
9-Ene	HT001	1402	46	40	35	19	125	28	318
9-Ene	HT001	1359	47	38	34	20	145	27	312
10-Ene	HT001	1316	49	36	34	21	152	27	302
10-Ene	HT001	1273	51	34	33	22	157	26	299
10-Ene	HT001	1230	52	32	33	23	164	26	316
11-Ene	HT001	1188	54	30	33	24	172	25	337
11-Ene	HT001	1145	56	28	32	25	179	24	308
11-Ene	HT001	1102	57	26	32	26	186	24	288
12-Ene	HT001	1059	59	24	31	27	193	23	347

12-Ene	HT001	1016	61	32	31	28	201	23	344
12-Ene	HT001	1420	63	52	32	29	208	30	344
13-Ene	HT001	1520	64	42	31	30	185	31	174
14-Ene	HT001	1430	66	35	35	31	165	29	367
14-Ene	HT001	1625	68	25	34	32	156	32	357
15-Ene	HT001	1489	69	28	36	33	145	30	375
15-Ene	HT001	1524	71	32	37	34	166	31	355
16-Ene	HT001	1586	73	29	36	35	156	32	300
16-Ene	HT001	1523	74	27	35	36	157	31	297
16-Ene	HT001	1532	76	36	33	37	189	32	317
16-Ene	HT001	1499	78	34	38	38	135	30	316
16-Ene	HT001	1536	79	29	37	39	146	31	306

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: *Tiempos de ciclo camión HT002 - F. Parqueo*

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreado (seg)	Ciclo Total (min)	TON
7-Ene	HT002	1296	34	66	44	16	180	27	299
7-Ene	HT002	1424	38	64	43	15	105	28	302
7-Ene	HT002	1392	34	62	38	13	120	28	299
7-Ene	HT002	1230	34	60	41	11	110	25	305
7-Ene	HT002	1624	36	58	40	10	124	32	316
8-Ene	HT002	1460	30	56	39	12	105	28	317
8-Ene	HT002	1701	40	54	45	14	118	33	293
9-Ene	HT002	1336	46	52	44	18	153	27	292
9-Ene	HT002	1374	36	50	45	16	125	27	304
9-Ene	HT002	1892	74	48	47	20	145	37	310
9-Ene	HT002	1521	50	46	48	15	120	30	331
9-Ene	HT002	1675	34	44	49	14	142	33	313
9-Ene	HT002	1890	46	42	46	12	132	36	301
10-Ene	HT002	1414	42	40	38	16	115	28	314
10-Ene	HT002	1404	42	38	44	16	110	28	306
11-Ene	HT002	1713	32	36	39	17	129	33	283
11-Ene	HT002	1410	52	34	43	18	130	28	292
11-Ene	HT002	1400	36	32	38	19	125	28	292
11-Ene	HT002	1416	60	30	41	32	156	29	294
11-Ene	HT002	1424	54	28	40	33	145	29	330
11-Ene	HT002	1405	46	42	39	34	166	29	309

11-Ene	HT002	1328	32	35	45	35	156	27	319
--------	-------	------	----	----	----	----	-----	----	-----

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: *Tiempos de ciclo camión HT003 - F. Parqueo*

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)	TON
6-Ene	HT003	1896	35	66	42	16	180	37	307
6-Ene	HT003	1438	34	44	37	18	145	29	319
6-Ene	HT003	1073	46	42	36	16	148	23	313
6-Ene	HT003	1430	42	40	37	20	178	29	303
7-Ene	HT003	1410	42	38	37	15	195	29	286
7-Ene	HT003	1646	32	36	37	14	157	32	318
7-Ene	HT003	1302	52	34	37	12	153	27	321
7-Ene	HT003	1485	36	32	37	20	180	30	298
7-Ene	HT003	1510	60	30	38	16	180	31	302
7-Ene	HT003	1422	54	28	38	15	105	28	333
9-Ene	HT003	1594	33	70	40	13	120	31	294
9-Ene	HT003	1480	33	68	39	11	110	29	306
9-Ene	HT003	1650	38	66	45	10	124	32	312
10-Ene	HT003	1990	39	64	44	12	105	38	299
11-Ene	HT003	1380	34	62	45	14	118	28	320
11-Ene	HT003	1847	33	60	47	18	153	36	279
11-Ene	HT003	1384	31	58	48	16	125	28	318
11-Ene	HT003	1448	28	56	45	20	145	29	302

Fuente: Elaboración propia.

A. Tiempos de estacionamiento en carguío y descarga con el freno de retardo en los camiones CAT797

Tabla 4: *Tiempos de ciclo camión HT001 - F. Retardo*

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreado (seg)	Ciclo Total (min)	TON
17-Ene	HT001	1273	51	34	24	22	157	26	324
17-Ene	HT001	1230	52	32	26	23	164	25	312
19-Ene	HT001	1188	54	30	24	24	172	25	315
20-Ene	HT001	1145	56	28	28	25	179	24	280
21-Ene	HT001	1102	57	26	25	26	186	24	315
22-Ene	HT001	1059	59	24	24	27	193	23	292
23-Ene	HT001	1016	61	32	23	28	201	23	295
23-Ene	HT001	1420	63	52	27	29	208	30	309
23-Ene	HT001	1520	64	42	29	30	185	31	294
23-Ene	HT001	1430	66	35	27	31	165	29	292
23-Ene	HT001	1625	68	25	26	32	156	32	316
23-Ene	HT001	1458	33	68	28	11	110	28	303
23-Ene	HT001	1620	38	66	27	10	124	31	272
23-Ene	HT001	1499	39	64	27	12	105	29	274
23-Ene	HT001	1576	34	62	26	14	118	31	292
23-Ene	HT001	1598	33	60	28	18	153	32	295
23-Ene	HT001	1552	32	82	25	15	150	31	300
23-Ene	HT001	1850	45	80	24	17	170	36	313
23-Ene	HT001	1520	31	78	26	20	150	30	307
24-Ene	HT001	1835	45	83	28	20	180	37	302
24-Ene	HT001	1552	32	74	27	16	180	31	301
24-Ene	HT001	1252	34	72	26	15	105	25	301
24-Ene	HT001	1500	33	70	26	13	120	29	281
24-Ene	HT001	1458	33	68	25	11	110	28	299
24-Ene	HT001	1620	38	66	27	10	124	31	274
25-Ene	HT001	1499	39	64	28	12	105	29	315
26-Ene	HT001	1500	33	70	25	13	120	29	313
26-Ene	HT001	1458	33	68	25	11	110	28	327
26-Ene	HT001	1620	38	66	23	10	124	31	315
26-Ene	HT001	1499	39	64	21	12	105	29	289
26-Ene	HT001	1576	34	62	26	14	118	31	333
26-Ene	HT001	1598	33	60	29	18	153	32	336
26-Ene	HT001	1620	31	58	28	16	125	31	322

26-Ene	HT001	1548	28	56	25	20	145	30	325
26-Ene	HT001	1820	31	54	26	15	120	34	293
26-Ene	HT001	1578	37	52	27	14	142	31	297
26-Ene	HT001	1420	35	50	27	12	132	28	292
26-Ene	HT001	1730	43	48	24	16	115	33	307
26-Ene	HT001	1530	41	46	26	16	110	29	273
27-Ene	HT001	1487	42	44	23	17	129	29	317
28-Ene	HT001	1444	44	42	25	18	130	28	323
29-Ene	HT001	1530	41	46	26	16	110	29	309

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: *Tiempos de ciclo camión HT002 - F. Retardo*

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)	TON
11-Ene	HT002	1504	46	25	28	36	157	30	300
13-Ene	HT002	1152	36	28	27	37	189	24	335
13-Ene	HT002	1566	54	32	30	36	158	31	146
14-Ene	HT002	1500	2	29	27	30	175	29	355
14-Ene	HT002	1440	46	27	30	35	146	29	58
15-Ene	HT002	1701	40	36	31	31	181	34	383
15-Ene	HT002	1336	46	34	27	36	175	28	342
15-Ene	HT002	1374	36	35	25	36	146	28	366
15-Ene	HT002	1316	49	36	26	31	165	27	383
16-Ene	HT002	1273	51	34	28	32	156	26	321
16-Ene	HT002	1230	52	32	27	21	110	25	317
16-Ene	HT002	1188	54	30	30	30	124	24	310
16-Ene	HT002	1145	56	28	31	25	105	23	307
16-Ene	HT002	1102	57	26	25	24	118	23	298
16-Ene	HT002	1059	59	24	28	26	153	22	287
16-Ene	HT002	1016	61	32	28	27	150	22	301
17-Ene	HT002	1420	63	52	26	21	170	29	305
17-Ene	HT002	1520	64	42	30	28	150	31	305
17-Ene	HT002	1430	66	35	31	21	180	29	266
17-Ene	HT002	1620	38	66	30	32	180	33	300
17-Ene	HT002	1499	39	64	29	35	105	30	281
19-Ene	HT002	1500	33	70	27	47	120	30	287

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: *Tiempos de ciclo camión HT003 - F. Retardo*

Fecha	Equipo	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)	TON
12-Ene	HT003	1458	64	42	26	30	185	30	344
13-Ene	HT003	1370	66	35	27	31	165	28	314
15-Ene	HT003	1553	68	25	26	32	156	31	365
16-Ene	HT003	1504	33	68	28	11	110	29	330
16-Ene	HT003	1496	38	66	27	10	124	29	266
16-Ene	HT003	1512	39	64	27	12	105	29	317
16-Ene	HT003	1540	34	62	26	14	118	30	306
16-Ene	HT003	1328	33	60	28	18	153	27	312
17-Ene	HT003	1334	32	82	25	15	150	27	304
17-Ene	HT003	1521	45	80	24	17	170	31	309
17-Ene	HT003	1675	46	27	29	35	146	33	321
17-Ene	HT003	1890	40	36	23	31	181	37	312
17-Ene	HT003	1414	46	34	27	36	175	29	318
17-Ene	HT003	1404	36	35	25	36	146	28	293
17-Ene	HT003	1713	49	36	26	31	165	34	307
17-Ene	HT003	1410	51	34	28	32	156	29	333
18-Ene	HT003	1400	52	32	27	21	110	27	317
19-Ene	HT003	1416	54	30	30	30	124	28	315

Fuente: Elaboración propia.