

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

**COMPARACION DE RENDIMIENTOS
TEORICOS DE VOLQUETES SCANIA G540 Y CMT106
PARA LA EXTRACCION DE MINERAL EN UNA
MINA SUPERFICIAL EN MARCONA-ICA, 2024**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Maycol Arvidzon Torres Mamani

Asesor:

Mg. Alfredo Martín Berrospi Ytahashi

<https://orcid.org/0000-0002-7910-9388>

Cajamarca - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JAIRO PINEDO TAQUIA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	OSCAR ARTURO VASQUEZ MENDOZA
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	ALFREDO MARTIN BERROSPI YTAHASHI
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



8% Similitud general

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




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  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

Dedico este trabajo a mis padres, quienes, con su ejemplo constante, paciencia y amor incondicional, me han enseñado a caminar con firmeza por la vida. A lo largo de los años, su apoyo, comprensión y sabiduría han sido pilares fundamentales que me han permitido superar cada desafío y mantener siempre la convicción de que el esfuerzo y la perseverancia conducen al logro de los objetivos. Extiendo también esta dedicatoria a mi hermana menor, cuya alegría, empatía y optimismo fueron una fuente de motivación en los momentos más exigentes de este proceso. Su presencia me recordó que cada meta alcanzada requiere tiempo, paciencia y fe en uno mismo. De manera muy especial, deseo expresar mi dedicatoria a la memoria de mi abuelo materno, quien, desde el cielo, ha sido un guía constante en mi camino. Su ejemplo de integridad, esfuerzo y dedicación continúa inspirándome día a día, y estoy seguro de que, con orgullo, contempla cómo alcanzo las metas que alguna vez se proyectó para nuestra familia. Este trabajo representa no solo un resultado académico, sino también el reflejo de los valores, el cariño y el respeto que mi familia me ha inculcado desde siempre. A ellos debo gran parte de este logro, pues su ejemplo y apoyo incondicional han sido la fuerza que me impulsó a culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a mis padres y a mi hermana, quienes, con sus palabras de aliento, consejos oportunos y apoyo incondicional, han sido una guía constante a lo largo de mi vida personal y académica. Su ejemplo y fortaleza me han motivado a perseverar en cada etapa de mi formación. De igual forma, extiendo mi agradecimiento a los distintos jefes y colegas de las empresas en las que he tenido la oportunidad de laborar. Su experiencia, conocimientos y orientación fueron fundamentales para mi desarrollo profesional en el exigente sector minero, especialmente en las áreas de Dispatch y Operaciones Mina, donde aprendí el valor de la disciplina, la responsabilidad y el trabajo en equipo. Finalmente, deseo expresar mi gratitud a la Universidad Privada del Norte, por brindarme una formación integral que me permitió adquirir las bases necesarias para desenvolverme con solvencia en un entorno laboral altamente competitivo. Las enseñanzas recibidas en sus aulas y el compromiso de sus docentes fueron determinantes para prepararme ante los desafíos de un mundo globalizado.

Tabla de contenidos

Índice de tablas.....	7
Resumen.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	19
1.4. Hipótesis	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	21
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	27
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS	41
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Rango de rendimiento por maquinaria</i>	24
Tabla 2 <i>Formato de Registro de viajes</i>	24
Tabla 3 <i>Formato de cálculo de rendimientos.</i>	25
Tabla 4 <i>Prueba de normalidad de la muestra</i>	27
Tabla 5 <i>Rendimientos de volquete Scania G540 y CMT106</i>	28
Tabla 6 <i>Nivel de rendimiento del volquete Scania G540</i>	30
Tabla 7 <i>Nivel de rendimiento del volquete Scania CMT106</i>	31
Tabla 8 <i>Comparación de los rendimientos de los volquetes Scania G540 y CMT 106</i> ..	32

Comparación de rendimientos teóricos de volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona-Ica, 2024

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general Comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024. La metodología que se uso fue de tipo básica, con un enfoque retrospectivo poque se utilizó fuentes de fechas pasadas de acuerdo a disponibilidad del lugar, del nivel de investigación fue relacional con un diseño observacional comparativo entre dos tipos de volquetes (Scania G540 y CMT106), sobre la muestra se obtuvo por medio de un muestre no probabilista por conveniencia donde se consideró a 31 volquetes del modelo CMT106 y 65 volquetes del modelo Scania G540. De los principales resultados se pudo determinar que el rendimiento teórico del volquete Scania G540 fue de nivel alto (48.4%), y del volquete Scania CMT106 fue de nivel medio (67.7%); al analizar las diferencias entre ambos modelos en términos de rendimiento teórico según la prueba U de Mann-Whitney ($U = 0.000$) y un W de Wilcoxon ($W = 496,000$), indican que la diferencia en los rangos es estadísticamente significativa. Concluye que, se establece que el modelo CMT106 exhibe una mayor consistencia y predictibilidad en su desempeño teórico, en comparación con el Scania G540.

Palabras Claves: Comparación, extracción superficial, Scania G540 y CMT106, volquetes mineros

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel internacional, Salazar (2021) la industria minera enfrenta desafíos similares en la optimización de la eficiencia del transporte de mineral, un componente crucial para la rentabilidad de las operaciones. En regiones como Australia y Chile, donde la minería a cielo abierto es predominante, la selección de equipos de acarreo adecuados se considera una decisión estratégica para maximizar la producción y reducir costos operativos. Estudios recientes realizados en minas de cobre en Chile han demostrado que la elección entre diferentes modelos de volquetes puede generar variaciones significativas en el rendimiento y consumo de combustible, impactando directamente en la huella de carbono de la operación (Ascona, 2023).

De otro lado, a nivel nacional el Banco Central de Reservas del Perú (BCR) (2024), la minería representa un pilar fundamental de la economía, contribuyendo significativamente al PBI nacional y generando empleo a lo largo del país. Sin embargo, la optimización de la eficiencia en las operaciones mineras, especialmente en el transporte de mineral, sigue siendo un desafío constante. Estudios realizados por el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP) (2025) señalan que la elección inadecuada de equipos de acarreo puede generar sobrecostos operativos y reducir la productividad en las minas a cielo abierto. La variabilidad en las condiciones geológicas y topográficas de las diferentes regiones mineras del Perú exige una evaluación rigurosa de las características técnicas y el rendimiento de los equipos, como los volquetes Scania G540 y CMT106, para asegurar su adaptación óptima a las condiciones específicas de cada operación.

La industria minera peruana, pilar fundamental de la economía nacional, enfrenta constantes desafíos en la optimización de sus procesos productivos, siendo la eficiencia en el

transporte de mineral un factor crítico (Muñoz, 2022). En este contexto, la elección adecuada de equipos de acarreo, como volquetes, impacta directamente en la rentabilidad y productividad de las operaciones a cielo abierto. Una mina superficial de Marcona, ubicada en Ica, no es ajena a esta realidad, donde la eficiencia en la extracción de mineral es crucial para mantener su competitividad.

La selección entre diferentes modelos de volquetes, como el Scania G540 y el CMT106, presenta un dilema importante. Si bien ambos pueden cumplir con la tarea de transporte, sus características técnicas y rendimientos teóricos difieren, generando incertidumbre sobre cuál de ellos ofrece la mejor relación costo-beneficio para las condiciones específicas de la mina (Ayay, 2021). Esta incertidumbre, indica una necesidad de optimizar el acarreo, constituye el problema de investigación que se abordará en este estudio, diferenciándose del problema práctico de simplemente necesitar volquetes.

Ahora bien, dentro de los antecedentes de estudio tenemos a: Korabayev et al. (2024) en su artículo publicado titulado “*Optimization of boundary conditions for the dump trucks on internal quarry roads*” el cual tuvieron como objetivo general analizar y mejorar las condiciones de tráfico de los volquetes dentro de las canteras. De la metodología empleada involucra el análisis de problemas comunes (congestión, estado de carreteras, límites de velocidad, seguridad), el modelado y la optimización, la evaluación de medidas técnicas y organizativas (monitoreo, optimización de rutas, capacitación, infraestructura), y el uso de datos de casos reales y evaluaciones de expertos. En caso de la muestra fue casos reales analizados de las operaciones típicas en canteras. Concluyeron que, la propuesta de un enfoque integrado para optimizar las condiciones de tráfico de los volquetes, lo que conlleva a una mayor productividad, reducción de costos y mejora de la seguridad en las carreteras internas de la cantera.

Barrios (2024) en su tesis titulada “*Elaboración, ejecución y seguimiento de un plan de minado de una flota de volquetes en la extracción de óxido de alta ley en la mina superficial a en Marcona - Ica – Perú*” tuvo como objetivo principal optimizar la flota de volquetes en el acarreo para incrementar la producción en una mina. Sobre la metodología aplicada fue por medio de una simulación del sistema de transporte minero, se usó datos de campo, empleando la programación dinámica para la asignación de volquetes y el análisis de la información a través de macros hechos con el Excel, a ello se aplicó a una muestra de volquetes que trabajan en la mina. Concluye que, mediante la aplicación de un modelo analítico basado en la programación dinámica y la simulación, logró una reducción significativa de costos y un mejor aprovechamiento de los recursos en la operación minera estudiada, conllevando una optimización de la flota de volquetes y con mejoras importantes que generan ahorro y mejorar la producción.

Enkhchuluun et al. (2023) en su artículo publicado “*Cycle Time Analysis of Open Pit Mining Dump Trucks*” tuvieron como objetivo general demostrar un análisis práctico del tiempo de ciclo del sistema de transporte de camiones en la mina de carbón a cielo abierto Ukhaa Khudag, examinando factores que impactan la posibilidad de minimizar el tiempo de ciclo. La metodología se basa en el análisis de datos mediante métodos de regresión matemática utilizando Microsoft Excel, con una muestra de 13 camiones de modelo CAT 785 en las operaciones. El principal resultado fue la diferencia de 0.82 segundos entre el valor medio calculado y el tiempo de ciclo real de los modelos, con un error relativo de 2.51%. Concluyeron que, se revelan la posibilidad de aumentar la productividad en un 34.19%, derivando ecuaciones de regresión para definir el tiempo de movimiento en cada sección del camino.

Burga (2022) en su investigación “*Evaluación de rendimientos para incrementar la productividad en equipos de carguío y acarreo para el movimiento de mineral en una empresa minería de Cajamarca 2022*” tuvo como objetivo evaluar los rendimientos para incrementar la

productividad en equipos de carguío y acarreo para el movimiento de mineral en una empresa minera de Cajamarca. La metodología empleada es de tipo aplicada con diseño descriptivo longitudinal, utilizando la observación directa en campo para recolectar datos y luego analizarlos estadísticamente, para ello se aplicó a una muestra compuesta por equipos de acarreo como excavadoras CAT 330D L y 2 volquetes 17m³ marca SCANIA. El principal resultado fue la identificación de la voladura como el factor que más afecta el rendimiento (74.6%), así como la determinación de un rendimiento promedio para el carguío de 187.94 m³/hora de horas efectivas y 143.19 m³/hora con horas totales. Concluye que, evaluar los rendimientos y analizar los factores que los afectan permite identificar oportunidades de mejora y así incrementar la productividad y reducir costos operativos.

Voronov et al. (2022) en su artículo de investigación “*Optimization of parameters of shovel-truck systems at open-pit coal mines*” tuvieron como objetivo principal justificar y determinar los parámetros óptimos del STC en minas de carbón a cielo abierto, tomando como ejemplo la empresa carbonífera Kuzbassrazrezugol. Sobre la metodología aplicada, se emplearon generalizaciones científicas, métodos de evaluación integral de la calidad, modelado de optimización, programación lineal, procesamiento estadístico de datos, análisis y síntesis; en caso de la muestra está fue hecha a todos lo equipos de acarreo de la empresa carbonífera en estudio. Concluyeron que, se desarrolló un nuevo enfoque para optimizar los parámetros del STC, formar flotas óptimas de equipos de carga y transporte, establecer un mecanismo para la evaluación objetiva de decisiones tomadas durante el diseño y la mejora del STC, y un conjunto de métodos para su implementación. El aparato de optimización desarrollado permite expandir las capacidades funcionales y operativas no solo del STC, sino también de otros complejos con fines tecnológicos.

Quispe (2020) en su tesis de investigación “*Propuesta de mejora de disponibilidad de la Flota de Volquetes de una empresa minera*” formuló como objetivo general mejorar la

disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera ubicada en el sur del Perú. La metodología se centra en el uso de herramientas de ingeniería para identificar el problema, diagnosticar las causas y proponer alternativas de solución, desarrollando un marco teórico y analizando la situación actual; la muestra seleccionada fue dos excavadoras CAT 330D L y 2 volquetes 17m³ marca SCANIA. El principal resultado fue señalar un impacto económico positivo debido a la implementación de repower de motores y otras medidas. Concluye que, se calcula la disponibilidad mecánica de los equipos y se evalúan los rendimientos, obteniendo un rendimiento promedio de 187.94 m³/hora de horas efectivas y 143.19 m³/hora con horas totales.

Aben et al. (2020) en su artículo publicado "*A novel approach to safely increase dump truck pay-load capacity to optimize material haulage*" tuvieron como objetivo para el carguío y el acarreo, la capacidad del equipo seleccionado dictará el número necesario. Sobre la metodología aplicada tuvo como muestra camiones de transporte fabricados según las especificaciones de diferentes compañías vieron modificadas sus tolvas originales por tolvas tipo bandeja ligeras (LWT) para aumentar su capacidad volumétrica y carga útil. Utilizando un diseño de investigación no experimental descriptivo señala el procedimiento adoptado para cambiar de forma segura las tolvas originales de los camiones por tolvas ligeras. Concluyen que, se requería un menor número de camiones en la flota, y que el costo del transporte se redujo en aproximadamente un 12%. Un beneficio adicional del estudio fue que el ejercicio resultó en una mayor vida útil y un mayor tiempo para el reemplazo de la tolva para las LWT en comparación con los camiones con las tolvas originales. El impacto económico en las operaciones fue significativo, tanto en términos de OPEX como de CAPEX.

Cardu et al. (2020) en su artículo elaborado "*Loading and haulage in quarries: Criteria for the selection of excavator-dumper system*" tuvieron como objetivo principal la optimización de las operaciones de carga y acarreo es uno de los aspectos más importantes para el rendimiento de las actividades de extracción en canteras. Sobre la metodología implicó el

análisis de numerosas operaciones de carga y acarreo en minas a cielo abierto y canteras italianas, tomando como muestra la representación sobre las prácticas comunes en la industria italiana. Concluyeron que, la adecuada selección de equipos y la optimización de los sistemas de carga y acarreo son fundamentales para lograr un sistema eficiente, considerando tanto la producción como los aspectos económicos.

Hajarian y Osanloo (2020) en su artículo publicado "*A new developed model to determine waste dump site selection in open pit mines: An approach to minimize haul road construction cost*" tuvo como objetivo conocer sobre la remoción de la sobrecarga y el estéril para exponer el cuerpo mineralizado puede tomar entre tres y cinco años, dependiendo del tamaño y capacidad del equipo. La metodología empleada consistió en el desarrollo de un modelo matemático lineal, tras la identificación de factores clave influyentes en la selección del sitio (topografía, distancia, costos). La muestra se entiende que fue el modelo basado en las características generales de las operaciones de remoción de sobrecarga en minería a cielo abierto. Concluyen que una selección adecuada del sitio del botadero, coordinada con el trazado del camino de acarreo, puede generar ahorros significativos en los recursos económicos de la operación.

Araujo (2018) en su tesis de investigación "*Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los Andes Perú Gold – Huamachuco*" planteó como objetivo principal optimizar la flota de volquetes en el acarreo para incrementar la producción en la mina Los Andes Perú Gold - Huamachuco. La metodología se basa en la simulación del sistema de transporte, utilizando datos de campo y empleando la programación dinámica para la asignación de volquetes. En caso de la muestra se recurrió a fuentes bibliográficas extrayendo información importante. El principal resultado es la reducción del costo unitario de carguío y acarreo a 0.57 \$/TM, en comparación con el costo inicial de 0.72 \$/TM. Concluye que, a través de la aplicación de un modelo analítico basado en la

programación dinámica y la simulación, se logró optimizar la flota de volquetes, contribuyendo a una reducción significativa de costos y un mejor aprovechamiento de los recursos en la operación minera estudiada.

Ahora bien, en cuanto a la teoría sobre la variable “**Rendimiento teóricos de volquetes**” según Chuquiruna (2021) lo define como la productividad máxima alcanzable por una flota de volquetes en condiciones ideales de operación, asumiendo una eficiencia perfecta en la carga, transporte y descarga de material. Esta métrica se calcula utilizando las especificaciones técnicas provistas por los fabricantes, tales como la capacidad de carga, potencia del motor, eficiencia de la transmisión y considerando parámetros óptimos de las rutas de acarreo, sin considerar factores externos como el clima, las demoras operativas o el tráfico en la mina.

Para Ascona (2023) esta variable puede entenderse como la capacidad inherente de un volquete para transportar material, cuantificada a través de modelos matemáticos y simulaciones que integran variables controladas. Estos modelos toman en cuenta las características técnicas del equipo, las condiciones geométricas de las rutas de acarreo (distancia, pendiente), el tipo de material a transportar y un ciclo de trabajo predefinido.

Entonces, para explicar mejor esta variable se debe mencionar según la revisión de literatura la teoría de Colas de A.K. Erlang la cual en palabras de Acuña y Hoyos (2023) ofrece un marco analítico para modelar y optimizar sistemas donde los clientes (individuos, objetos o información) llegan a un servidor para recibir un servicio, experimentando posibles esperas en una cola. Esta teoría se centra en caracterizar matemáticamente el comportamiento de estos sistemas, analizando factores como las tasas de llegada y servicio, la disciplina de la cola (FCFS, LIFO, etc.), el número de servidores y la capacidad del sistema.

Se tiene también a la teoría de la simulación de Averill M. Law el cual en términos de Muñoz (2025) se define como un enfoque metodológico que implica la creación de un modelo computacional, usualmente numérico, para replicar el comportamiento de un sistema real a lo largo del tiempo. A través de la manipulación y experimentación con este modelo, se pueden estudiar las características y el comportamiento del sistema original sin necesidad de interactuar directamente con él. Esto permite analizar escenarios hipotéticos, evaluar el impacto de diferentes políticas o estrategias y optimizar el diseño o la operación del sistema, especialmente en situaciones donde la experimentación directa es costosa, riesgosa o inviable.

Está también, la teoría de optimización de George Dantzig el cual como lo mencionan Espín et al. (2022) lo definen como un conjunto de métodos y técnicas matemáticas diseñadas para identificar la solución óptima dentro de un conjunto de alternativas factibles, sujetas a ciertas restricciones. En el contexto de la gestión de flotas de acarreo minero, la optimización busca determinar la configuración de equipos, las rutas y las estrategias operativas que minimicen los costos y maximicen la producción (toneladas acarreadas por hora), considerando las limitaciones impuestas por las características técnicas de los volquetes, las condiciones de la mina y las restricciones operativas.

Ahora bien, en cuanto a las dimensiones se tienen: D1. Capacidad de carga. La cual según Campaña y Vinces (2024) lo definen como el volumen máximo o el peso máximo de material que un volquete está diseñado para transportar de manera segura y eficiente en una sola operación de acarreo. Esta dimensión, intrínseca a cada modelo de volquete, se establece durante el diseño y la fabricación, basándose en factores como la resistencia estructural del chasis, la capacidad de los ejes. La capacidad de carga, ya sea expresada en toneladas métricas (TM) o en metros cúbicos (m^3), representa un límite operativo fundamental que, al ser excedido, puede comprometer la seguridad, aumentar el desgaste de los componentes y reducir significativamente la vida útil del equipo.

Sobre el **acarreamiento de mineral** en una mina superficial según Raico (2025) constituye una fase crucial del proceso productivo, involucrando el transporte eficiente y seguro del material extraído desde los frentes de excavación hasta las plantas de procesamiento, botaderos o puntos de almacenamiento intermedio. Esta actividad representa una proporción significativa de los costos operativos totales de la mina, por lo que su optimización es fundamental para garantizar la rentabilidad y la competitividad de la operación.

Ahora bien, para volquetes Scania G540 y CMT106 son modelos diseñados para el trabajo pesado en entornos mineros. El Scania G540, típicamente, ofrece una capacidad de carga de alrededor de 40 a 43 toneladas métricas, mientras que el CMT106 puede alcanzar capacidades superiores, dependiendo de la configuración específica. La elección entre ambos modelos dependerá de las condiciones particulares de la mina, como la topografía, las distancias de acarreo y la disponibilidad de repuestos y servicios de mantenimiento.

Respecto a sus rendimientos se ve influenciado por factores como la densidad del material que acarrear los cuales pueden oscilar entre 1.8 y 3.0 toneladas por metro cúbico. La distancia de transporte, que puede variar desde unos pocos cientos de metros hasta varios kilómetros en una mina superficial, impacta directamente en el tiempo de ciclo, que a su vez depende de los tiempos de carga y descarga. Un tiempo de ciclo típico para una ruta de acarreo de mediana distancia (por ejemplo, 5 km) podría oscilar entre 30 y 40 minutos, dependiendo de las condiciones operativas. Por tanto, la optimización del acarreo implica analizar y ajustar variables como la asignación de volquetes a los frentes de excavación, la selección de las rutas más eficientes y la implementación de prácticas de conducción segura y económica.

1.2. Formulación del problema

La pregunta general de investigación es: ¿Cuál es la diferencia en el rendimiento teórico entre los volquetes Scania G540 y CMT106 utilizados en para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024?

Los problemas específicos serían:

¿Cuál es el rendimiento teórico del volquete Scania G540 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024?

¿Cuál es el rendimiento teórico del volquete Scania CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024?

¿Qué diferencias existen entre el rendimiento teórico del volquete Scania G540 y el CMT106 en términos de eficiencia operativa para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024?

1.3. Objetivos

El objetivo general es: Comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

Y como objetivos específicos se tienen:

Determinar el rendimiento teórico del volquete Scania G540 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

Determinar el rendimiento teórico del volquete CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

Analizar las diferencias entre ambos modelos en términos de rendimiento y eficiencia teórica para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

1.4. Hipótesis

La hipótesis general es:

Hi: Existe un diferente rendimiento teórico entre los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

H0: No existe un diferente rendimiento teórico entre los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona – Ica, 2024.

La presente investigación se justifica teóricamente porque contribuirá al conocimiento existente sobre la selección de equipos de acarreo en la minería a cielo abierto. Al analizar y comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106, se ampliará la comprensión de los factores que influyen en la eficiencia del transporte de mineral, como la capacidad de carga, el consumo de combustible y las características técnicas de los equipos. Los hallazgos de este estudio pueden servir como base para desarrollar modelos teóricos más precisos que permitan predecir el rendimiento de diferentes equipos en diversas condiciones operativas.

Se justifica metodológicamente porque se propondrá la aplicación de un nuevo instrumento para medir la variable permitiendo obtener datos más precisos y confiables, el uso de este nuevo instrumento validado por expertos jueces contribuirá a tener una evaluación más rigurosa de los rendimientos teóricos de los volquetes, minimizando el sesgo y aumentando la validez de los resultados.

Se justifica desde el punto de vista práctico porque se proporcionará una base sólida para seleccionar el equipo de acarreo más eficiente y rentable en las condiciones operativas específicas de la mina. Para que con la elección de la maquinaria correcta se traducirá en una reducción de costos operativos, un aumento de la productividad y una mejora en la eficiencia general de la extracción de mineral.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación se clasifica como básica debido a que su objetivo principal es generar conocimiento fundamental sobre el rendimiento de equipos mineros, en lugar de resolver un problema práctico inmediato en la operación de la mina. El foco está en comprender las diferencias teóricas en el rendimiento. Además, el enfoque es retrospectivo porque la información es de fechas pasadas en base a los modelos y la información técnica disponibles bajo las condiciones supuestas para la mina superficial en Marcona.

En cuanto al nivel de la investigación, es relacional, ya que busca establecer la relación entre las características técnicas intrínsecas de los volquetes Scania G540 y CMT106 y sus respectivos rendimientos teóricos en el contexto específico de la mina superficial en Marcona. Se pretende identificar si existen correlaciones significativas entre estas características y los indicadores clave de rendimiento. Este análisis relacional permitirá determinar qué atributos de los volquetes tienen mayor influencia en su desempeño teórico, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en la selección de equipos.

Del diseño metodológico se define como estudio observacional comparativo, dado que se analizarán los rendimientos teóricos de dos tipos de volquetes (Scania G540 y CMT106) sin que el investigador realice ninguna intervención directa en sus características técnicas o en las condiciones operativas simuladas. El estudio es observacional en el sentido de que se recopilan y analizan datos existentes o simulados, sin manipular las variables en juego, permitiendo así una evaluación objetiva de las diferencias inherentes en el desempeño de los equipos. Adicionalmente, el diseño es de tipo transversal, ya que la comparación de los rendimientos se realizará en un único punto en el tiempo (el año 2024), utilizando datos teóricos o simulados que representen las condiciones operativas de ese período.

En cuanto a la población se consideró para este estudio comparativo estará constituida por dos grupos de volquetes: un grupo integrado por el modelo CMT106 y otro por el modelo Scania G540, asignados a las operaciones de acarreo de mineral en la mina superficial en Marcona. El grupo CMT106 estará representado por 31 volquetes, mientras que el grupo Scania G540 estará representado la misma cantidad de volquetes. Se seleccionarán estos volquetes específicos como casos representativos para realizar un análisis comparativo detallado de sus rendimientos teóricos, basándose en la información técnica disponible y los reportes de simulación.

Los criterios de inclusión fueron:

- Los volquetes deben pertenecer a los modelos Scania G540 o CMT106.
- Volquetes deben estar asignados a las operaciones de acarreo de mineral en una mina superficial en Marcona durante el período de estudio.
- Disponibilidad de Datos Técnicos.
- Datos de Simulación.

Los criterios de exclusión fueron:

- Se excluirán volquetes de otros modelos o fabricantes distintos a Scania G540 y CMT106.
- Se excluirán volquetes asignados a otras minas o a otras operaciones no estén directamente relacionadas con el acarreo de mineral.
- Se excluirán modelos para los cuales no se disponga de información técnica completa y confiable.

Respecto a la muestra, coincidirá con la totalidad de la población de interés, comprendiendo 31 volquetes del modelo CMT106 y 65 volquetes del modelo Scania G540, todos ellos asignados a las operaciones de acarreo en la mina superficial en Marcona. Debido a la accesibilidad de la información técnica de estos volquetes, se optará por un muestreo no

probabilístico por conveniencia, seleccionando la totalidad de los individuos que conforman la población. Esta decisión se justifica por la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de las características intrínsecas de ambos modelos, buscando comprender en detalle sus diferencias en términos de rendimiento teórico, minimizando el sesgo introducido por la selección aleatoria la representatividad de la muestra.

De la técnica de recolección de datos se aplicará la técnica documentaria la cual consiste en la revisión exhaustiva de diversas fuentes escritas para extraer información relevante sobre las características y el rendimiento de los volquetes Scania G540 y CMT106. Específicamente, se analizarán en detalle las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes, que contienen especificaciones sobre la capacidad de carga, la potencia del motor, las dimensiones y otras características relevantes. Además, se examinarán los manuales de operación de los volquetes, buscando datos sobre las velocidades de operación recomendadas, las capacidades de combustible y las recomendaciones de mantenimiento.

Es por ello, respecto a la observación indirecta consistente en la revisión de registros históricos de producción de la mina superficial en Marcona. Estos registros, pueden ofrecer datos agregados sobre la productividad de la flota, permitiendo contextualizar los resultados teóricos obtenidos y evaluar la viabilidad de las mejoras propuestas. Se entiende que esta observación indirecta no permitirá un análisis causal, sino más bien un entendimiento del contexto operacional.

Entonces, sobre los instrumentos de investigación se utilizaron fichas de registro comparativo, diseñadas para sistematizar la información proveniente de los reportes de producción y los manuales de operación. Estas fichas permitieron registrar y comparar las características clave de los volquetes Scania G540 y CMT106 en un formato estandarizado, facilitando la identificación de diferencias y similitudes relevantes.

Así mismo, se elaboraron formatos de análisis técnico, que consistieron en tablas de cálculo diseñadas específicamente para estimar el rendimiento teórico de los volquetes en diferentes escenarios operativos. Estas tablas incluyen campos para registrar datos como el número de viajes, horómetros y la distancia de acarreo, permitiendo así calcular indicadores clave de rendimiento como la productividad por hora por tonelada transportada. Estos formatos permitieron organizar la información y facilitar los cálculos necesarios para comparar los rendimientos teóricos de ambos modelos de volquetes.

Para realizar el cálculo de los rangos se tomó en cuenta los valores reales que tienen las dos maquinarias en aspectos como la capacidad, densidad de material, el tonelaje, tiempo de ciclo, el número de viajes por hora y rendimiento esperado que fue el valor base para determinar el rango de rendimiento (Tabla 1).

Tabla 1

Rango de rendimiento por maquinaria

Rango de rendimiento	Scania G540	CMT106
Bajo	1 – 135.9	1 – 230.9
Medio	136 – 137	231 – 232
Alto	137.1 - 160	232 - 260

Tabla 2

Formato de Registro de viajes

Nombres:				N° VOL		H. Inicial		H. Final	
				Distancia:		FECHA		Turno	
N°	Equipo Carguío	Nivel	Proyecto	Lugar Descarga	N°	Equipo Carguío	Nivel	Proyecto	Lugar Descarga
1					31				
2					32				
3					33				
4					34				
5					35				
6					36				
7					37				
8					38				

Comparación de rendimientos teóricos de volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial en Marcona-Ica, 2024

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Sobre la prueba de normalidad.

Con la finalidad de encontrar la distribución de los datos se usó la Prueba de Shapiro-Wilk, esto porque $n = 31$ y el nivel de significancia es de $\alpha = 5\% = 0,05$. Además, se diseñó como hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal

Criterio de decisión:

Si: $p < 0,05$ rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si: $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Tabla 4

Prueba de normalidad de la muestra

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
V1. Rendimiento (Tn/h)	,336	31	,000

Interpretación. Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, con la corrección de significación de Lilliefors, indican que tanto la variable Rendimiento (Tn/h) presentan un valor de significancia (Sig.) de .000, siendo este un límite inferior de la significación verdadera. Al ser un valor menor a 0.05, se asume que los datos para esta variable no siguen una distribución normal.

Sobre el objetivo general. Comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial.

Tabla 5

Rendimientos de volquete Scania G540 y CMT106

Dia	G540		CMT106	
		Total		Total
1		145.2		230.9
2		131.1		231.0
3		138.9		230.8
4		135.1		230.8
5		142.9		231.3
6		142.9		230.9
7		140.0		231.2
8		139.3		231.3
9		147.4		231.0
10		144.7		231.0
11		143.8		230.8
12		139.6		230.9
13		136.0		231.4
14		140.6		231.3
15		130.4		231.1
16		126.5		231.3
17		123.3		231.1
18		116.3		231.3
19		134.6		230.9
20		128.1		230.9
21		132.6		231.0
22		138.0		230.9
23		137.4		231.1
24		126.3		231.0
25		121.6		231.3
26		136.5		231.2
27		149.7		231.1
28		144.9		231.1
29		135.7		231.1
30		129.7		230.9
31		158.6		231.1

Interpretación. Como se observa en la Tabla 5, una clara disparidad en los rendimientos, con el CMT106 mostrando una notable consistencia en su desempeño, oscilando alrededor de 231 Tn/h con una variabilidad mínima. Por otro lado, el Scania

G540 exhibe una mayor fluctuación en sus rendimientos diarios, con valores que varían significativamente a lo largo del mes. Esta diferencia sugiere que, en las condiciones modeladas, el CMT106 presenta un rendimiento teórico más predecible y estable, mientras que el Scania G540 podría ser más susceptible a factores externos que generen variaciones en su desempeño.

Del objetivo específico 1. Determinar el rendimiento teórico del volquete Scania G540 para la extracción de mineral en una mina superficial.

Tabla 6

Nivel de rendimiento del volquete Scania G540

		Frecuencia	Porcentaje (%)
Válidos	Bajo	14	45,2
	Medio	2	6,5
	Alto	15	48,4
	Total	31	100,0

Interpretación. Los datos de la Tabla 6 revelan una distribución heterogénea en los niveles de rendimiento teórico del volquete Scania G540. Si bien una proporción considerable de los casos (48.4%) alcanzan un rendimiento alto, es notable que un porcentaje similar (45.2%) se sitúe en un nivel bajo. Este hallazgo sugiere que, en las condiciones de la mina en Marcona, el Scania G540 puede alcanzar su máximo potencial en ciertos escenarios, pero también puede experimentar limitaciones significativas en otros. La presencia de un pequeño porcentaje (6.5%) en el nivel medio indica que el rendimiento no es consistentemente óptimo del cual se necesitará plantear soluciones próximas para que mejoren su rendimiento.

En caso del objetivo específico 2. Determinar el rendimiento teórico del volquete CMT106 para la extracción de mineral en una mina superficial.

Tabla 7

Nivel de rendimiento del volquete Scania CMT106

		Frecuencia	Porcentaje (%)
Válidos	Bajo	10	32.3
	Medio	21	67.7
	Alto	0	0
	Total	31	100,0

Interpretación. Los resultados observados en la Tabla 7 muestran que el volquete CMT106 presenta un rendimiento teórico consistentemente situado en niveles medios, con un 67.7% de los casos. Una parte menor (32.3%) presenta un rendimiento bajo y no se observan casos en los que el rendimiento sea alto (0%). Esto sugiere que, bajo las condiciones de la mina en Marcona, el CMT106 tiene un desempeño teórico relativamente estable, pero su potencial para alcanzar niveles óptimos de productividad parece limitado lo que tendrá que tomar medidas para su mejora en rendimiento.

Sobre el objetivo específico 3. Analizar las diferencias entre ambos modelos en términos de rendimiento teórico para la extracción de mineral en una mina superficial.

Tabla 8

Comparación de los rendimientos de los volquetes Scania G540 y CMT 106

	Tipo de camión	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rendimiento (Tn/h)	GS540	31	16,00	496,00
	CMT106	31	47,00	1457,00
	Total	62		

Estadísticos de contraste	
	Rendimiento (Tn/h)
U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	496,000
Z	-6,780
Sig. asintót. (bilateral)	,000

Interpretación. Según la Tabla 8, los resultados revelan una diferencia marcada en los rangos promedio, con el CMT106 obteniendo un rango promedio sustancialmente mayor (47.00) en comparación con el Scania G540 (16.00). Esta diferencia en los rangos sugiere que, en general, el CMT106 tiende a presentar rendimientos teóricos más altos que el Scania G540, sin necesidad de asumir una distribución normal de los datos.

Además, los estadísticos de contraste confirman por medio de la prueba U de Mann-Whitney ($U = 0.000$) y el valor de W de Wilcoxon ($W = 496,000$), junto con una significancia asintótica bilateral de $p = 0.000$, indican que la diferencia en los rangos es estadísticamente significativa. Se puede aceptar la H_1 que indica una diferencia real en el rendimiento teórico entre ambos modelos de volquetes.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Sobre el objetivo general, los resultados obtenidos al comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106 revelan una clara divergencia en su comportamiento. La notable estabilidad del CMT106, en contraposición a la mayor fluctuación del Scania G540, plantea interrogantes cruciales sobre la influencia de las características intrínsecas de cada modelo en su desempeño. Si bien ambos equipos cumplen con la función de acarreo, la disparidad en su estabilidad teórica sugiere que el CMT106 podría ser una opción más confiable en escenarios donde la predictibilidad del rendimiento es primordial. No obstante, la fluctuación observada en el Scania G540 podría indicar una mayor sensibilidad a factores externos, lo que, paradójicamente, podría traducirse en un mejor desempeño en condiciones operativas específicas donde estos factores sean favorables.

Además, estos resultados son similares a los de Aben et al. (2020), quienes demostraron que la modificación de tolvas en camiones de acarreo puede generar mejoras significativas en la eficiencia del transporte. De forma similar a la optimización lograda por Araujo (2018) mediante la aplicación de programación dinámica en la asignación de volquetes, este estudio apunta a la importancia de seleccionar el equipo más adecuado para maximizar la productividad. Sin embargo, la variabilidad observada en el rendimiento del Scania G540, en comparación con la consistencia del CMT106, resalta la necesidad de considerar no solo la capacidad de carga (Voronov et al., 2022), sino también otros factores que influyen en el comportamiento de los equipos en condiciones específicas.

De otra manera, Enkhchuluun et al. (2023), que se centra en el análisis del tiempo

de ciclo real en una mina de carbón, esta investigación se limita a la comparación de rendimientos teóricos, lo que impide evaluar directamente el impacto de factores operacionales como la congestión o el estado de las vías, tal como lo plantean Korabayev et al. (2024). La identificación de la voladura como factor clave en el rendimiento, encontrada por Burga (2022), no se aborda en este estudio, que asume condiciones ideales de fragmentación. Por otra parte, aunque Quispe (2020) destaca la importancia de mejorar la disponibilidad de la flota, este estudio se enfoca en el rendimiento inherente de los equipos, asumiendo una disponibilidad teórica. Cardu et al. (2020) enfatizan la importancia de la selección de equipos y sistemas de carga y transporte dentro de canteras.

Del objetivo específico 1, El análisis del rendimiento teórico del volquete Scania G540 revela un patrón de comportamiento dual, donde una fracción importante de los casos simulan un desempeño elevado, coexistiendo con una proporción casi equivalente que muestra un rendimiento significativamente menor. Esta dualidad subraya la sensibilidad del modelo a las condiciones operativas particulares de la mina superficial en Marcona, sugiriendo que, si bien posee la capacidad inherente para un desempeño óptimo, su potencial se ve limitado o comprometido bajo.

Dichos resultados son parecidos a Korabayev et al. (2024) quien revelan un rendimiento teórico heterogéneo en el Scania G540 se relacionan con la necesidad de optimizar las condiciones de tráfico y operación de los volquetes dentro de las canteras, La fluctuación en el rendimiento, con una proporción significativa de casos en un nivel bajo, apoya la propuesta de Barrios (2024) sobre la importancia de la planificación y el seguimiento de un plan de minado para mejorar la disponibilidad y la ejecución de la flota. A su vez, esta investigación incluye el factor de las capacidades unitarias (Voronov et al., 2022), pero centra su análisis en las diferencias individuales entre cada modelo y

las condiciones externas.

Se discrepa con la conclusión de Aben et al. (2020) acerca de una mejora directa en la eficiencia con el simple cambio de tolvas, ya que los datos presentados en la investigación demuestran que no siempre basta el cambio y depende de más factores. Aunque se reconoce que el trabajo de Burga (2022) resalta la importancia de la voladura, se incluye que en este estudio la voladura y su impacto en el rendimiento no son evaluados, enfocándose en otros factores como los que se ha encontrado. A diferencia del objetivo de Enkhchuluun et al. (2023) de demostrar un análisis práctico del tiempo de ciclo se concuerda que en una futura investigación se podría considerar en el presente estudio para la comparación de las variables en el rendimiento.

Para el objetivo específico 2. revela una clara concentración en el nivel medio, sugiriendo una estabilidad inherente en su desempeño bajo las condiciones simuladas para la mina superficial en Marcona. Sin embargo, la ausencia de casos con alto rendimiento y la presencia de un porcentaje considerable de casos con rendimiento bajo, indican una limitación en su potencial para alcanzar niveles óptimos de productividad. Entonces, los resultados plantean preguntas sobre los factores que restringen el rendimiento del CMT106. Si bien el modelo demuestra consistencia, esta consistencia se da en un rango de desempeño subóptimo, señalando una posible ineficiencia en su configuración o adaptación a las condiciones específicas de la mina.

Los resultados son parecidos a los de Korabayev et al. (2024) sobre la necesidad de mejorar las condiciones de tráfico y operación de los volquetes en las canteras. A diferencia del estudio de Aben et al. (2020), que destaca la posibilidad de aumentar la capacidad de carga mediante la modificación de las tolvas, los resultados para el CMT106

sugieren que otros factores podrían ser más determinantes en su rendimiento, ya que la capacidad de carga per se no parece ser suficiente para alcanzar niveles óptimos. De esta manera, se concuerda con el estudio de Cardu et al. (2020) sobre los criterios importantes para los equipos de carguío y acarreo dentro de las canteras, en tanto que a pesar que el volumen de cada volquete se tiene datos bajos, se incluye para la evaluación su estudio con base a sus condiciones.

En contraste con el enfoque de Burga (2022), que se centra en la identificación de factores que afectan el rendimiento real en el campo, esta investigación se enfoca en el análisis teórico, lo que limita la capacidad de evaluar el impacto de factores operacionales específicos, como la voladura o el mantenimiento de las vías. Sin embargo, se coincide con Araujo (2018) en la validez de usar modelos de simulación, como método de estudio, y se discrepa con la importancia principal en la disponibilidad de las flotas de transporte (Quispe, 2020) centrándonos en la capacidad intrínseca de cada modelo con este análisis teórico.

Para el objetivo específico 3. El análisis comparativo revela una marcada diferencia en el rendimiento teórico entre el Scania G540 y el CMT106, evidenciando una superioridad estadística significativa del CMT106 en términos de toneladas por hora. Esta diferencia sustancial sugiere que, en las condiciones para la mina superficial en Marcona, el CMT106 presenta una mayor capacidad de acarreo en comparación con el Scania G540, al menos en un entorno teórico. Sin embargo, es importante destacar que la prueba de Levene indica una mayor variabilidad en los datos del Scania G540, lo que implica que su rendimiento podría ser más sensible a factores externos no controlados en este análisis. La confirmación estadística de la diferencia en el rendimiento teórico valida la hipótesis inicial de la investigación, proporcionando una base sólida para futuras

exploraciones sobre las causas subyacentes de esta disparidad.

Los resultados hallados son parecidos a los de Cardu et al. (2020) quienes subraya la relevancia de la selección de equipos como un factor crítico en la eficiencia de las operaciones mineras. Si bien Korabayev et al. (2024) enfatizan la importancia de optimizar las condiciones de tráfico, esta investigación sugiere que las características intrínsecas de los equipos también juegan un papel fundamental en el rendimiento teórico, incluyendo parámetros de los mismos (Voronov et al.,2022).

No obstante, es importante reconocer que este estudio se centra en el rendimiento teórico, lo que limita la generalización de sus resultados a situaciones reales. A diferencia de las investigaciones de Enkhchuluun et al. (2023) y Burga (2022), que se basan en datos de campo y analizan factores operacionales específicos, este análisis no considera aspectos como la congestión, el estado de las vías o la habilidad de los operadores. De este modo, y a diferencia con la investigación de Aben et al. (2020) que se centran en cambios significativos al interior del equipo, se discrepa que se puedan lograr cambios con un análisis solo teórico. Si bien se reconoce la importancia de la disponibilidad de la flota (Quispe, 2020) y la optimización de los costos de transporte (Hajarian y Osanloo, 2020) como áreas clave de mejora, esta investigación se enfoca en el potencial inherente de los equipos bajo condiciones ideales.

De otra parte, la principal limitación de esta investigación radica en su enfoque puramente teórico, basado en especificaciones técnicas y modelos de simulación. Esto significa que los resultados obtenidos no capturan la complejidad de las operaciones reales en la mina superficial en Marcona, donde factores como la variabilidad en las condiciones del terreno, la congestión en las rutas de acarreo, la habilidad de los

operadores, las interrupciones por mantenimiento y la eficiencia de los procesos de carga y descarga pueden influir significativamente en el rendimiento de los volquetes.

En cuanto a las implicaciones prácticas, esta investigación ofrece implicaciones prácticas valiosas para la toma de decisiones en la mina superficial en Marcona. Los resultados proporcionan una base objetiva para comparar el potencial teórico de los volquetes Scania G540 y CMT106, ayudando a los responsables de la selección de equipos a considerar factores clave como la capacidad de carga, la eficiencia y el consumo de combustible. Si bien no se puede predecir con certeza el rendimiento exacto de los volquetes en la operación real, el análisis comparativo permite identificar cuál de los dos modelos presenta una mayor promesa en términos de productividad, sirviendo como punto de partida para pruebas de campo.

Sobre las implicancias teóricas contribuye a la literatura sobre la selección de equipos mineros al destacar la importancia de considerar no solo la capacidad unitaria de los equipos, sino también su estabilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones operativas. El hallazgo de que el CMT106 presenta un rendimiento teórico más consistente, en contraposición a la mayor fluctuación del Scania G540, sugiere que la elección del modelo óptimo dependerá de la prioridad que se le asigne a la predictibilidad del desempeño en el contexto específico de la mina en Marcona. Además, la investigación subraya la necesidad de desarrollar modelos de simulación más complejos que incorporen factores operacionales y ambientales para obtener estimaciones de rendimiento más precisas.

En caso de la implicancia metodológica se demuestra la utilidad de combinar la revisión de documentación técnica con el modelado y la simulación para analizar el

rendimiento teórico de equipos mineros. Sin embargo, también pone de manifiesto la necesidad de complementar este enfoque con la recolección y el análisis de datos de campo para validar y refinar los modelos teóricos. Futuras investigaciones podrían beneficiarse de la aplicación de metodologías mixtas, que combinen la simulación con estudios de tiempos y movimientos, análisis de registros de producción y entrevistas a operadores y supervisores, logrando así una comprensión más completa y precisa del rendimiento de los equipos en el contexto real de la operación minera.

4.2. Conclusiones

Al comparar los rendimientos teóricos de los volquetes Scania G540 y CMT106 para la extracción de mineral en la mina superficial en Marcona, se establece que el modelo CMT106 exhibe una mayor consistencia y predictibilidad en su desempeño teórico, en comparación con el Scania G540, cuya mayor variabilidad sugiere una mayor susceptibilidad a factores externos.

Se determinó que el rendimiento teórico del volquete Scania G540 revela un desempeño variable, caracterizado por una distribución heterogénea entre niveles altos y bajos, lo que sugiere que, si bien tiene el potencial para alcanzar un rendimiento óptimo, este potencial no se materializa de manera consistente en las condiciones modeladas para la mina en Marcona.

Se determinó que el rendimiento teórico del volquete CMT106 indica un desempeño consistente en niveles medios, pero con un limitado potencial para alcanzar altos niveles de productividad en las condiciones modeladas para la mina superficial en Marcona. Si bien el modelo presenta estabilidad, se requiere la implementación de estrategias y ajustes para optimizar su rendimiento y maximizar su eficiencia en la operación minera.

Se analizó que al comparar el rendimiento teórico de los volquetes Scania G540 y CMT106 revela diferencias significativas, con el CMT106 demostrando un promedio de rendimiento significativamente superior y una mayor consistencia en su desempeño, lo que valida la hipótesis de que existen diferencias sustanciales en el rendimiento teórico entre ambos modelos en las condiciones modeladas para la mina superficial en Marcona.

REFERENCIAS

- Aben, K., Orazaliyev, Y., & Suorineni, F. T. (2020). A novel approach to safely increase dump truck pay-load capacity to optimize material haulage. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, 273–280. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_34
- Acuña, W., & Hoyos, H. (2023). *Evaluación de las operaciones de transporte utilizando la teoría de colas para mejorar la producción en la empresa minera El Progreso SRL - Cajamarca, 2022*. [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34834>
- Araujo, R. (2018). *Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los andes Peru Gold - Huamachuco* [Tesis de la Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/11045>
- Ascona, P. (2023). Influencia de la ingeniería en la optimización del rendimiento de maquinarias pesadas en Bagua 2022. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 4(1), 43–51. <https://doi.org/10.55996/DEKAMUAGROPEC.V4I1.140>
- Ayay, R. (2021). *Análisis de rendimientos en equipos de carguío y acarreo para la explotación de una cantera tajo abierto Cajamarca, 2021* [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28245>

- Banco Central de Reservas del Perú. (2024). *Complementariedad sectorial de la minería*. 1–6. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-175/moneda-175-06.pdf>
- Barrios, E. (2024). *Elaboración, ejecución y seguimiento de un plan de minado de una flota de volquetes en la extracción de óxido de alta ley en la mina superficial a en Marcona - Ica - Perú* [Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/f06fd8a9-9068-4561-89af-785ab721b3a9>
- Burga, R. (2022). *Evaluación de rendimientos para incrementar la productividad en equipos de carguío y acarreo para el movimiento de mineral en una empresa minería de Cajamarca 2022* [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32516>
- Campaña, A., & Vinces, A. (2024). *Influencia de la granulometría p(80) en el factor de llenado de volquetes FMX Volvo en la unidad Isabelita de la Compañía Minera Summa Gold Corporation, Huamachuco 2022* [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/39999>
- Cardu, M., Lovera, E., & Patruco, M. (2020). Loading and haulage in quarries: Criteria for the selection of excavator. *Scopus*, 1–45. <https://www.scopus.com/pages/publications/84892632579>
- Chuquiruna, E. (2021). *Análisis de productividad por hora del volquete FMX en el transporte de mineral en una empresa minera de La Libertad 2021* [Tesis de la

Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28155>

Enkhchuluun, B., Batgerel, B.-O., & Ping, C. (2023). Cycle Time Analysis of Open Pit Mining Dump Trucks. *International Journal of Geosciences*, 14(8), 689–709. <https://doi.org/10.4236/IJG.2023.148037>

Espín, R., Toalombo, B., Moyolema, Á., & Altamirano, A. (2022). Optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en una empresa metalmeccánica. *Revista Digital Novasineria*, 5(2), 33–57. <https://doi.org/10.37135/NS.01.10.03>

Hajarian, A., & Osanloo, M. (2020). A new developed model to determine waste dump site selection in open pit mines: An approach to minimize haul road construction cost. *International Journal of Engineering*, 33(7), 1413–1422. <https://doi.org/10.5829/IJE.2020.33.07A.29>

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP). (2025). Proponen fortalecer la inversión en formalización minera para acompañar esfuerzos de erradicación. <https://iimp.org.pe/noticias/interna/491>

Korabayev, S., Rustamova, N., Valieva, Z., Jumaniyozov, K., & Mirxojayev, M. (2024). Optimization of boundary conditions for the dump trucks on internal quarry roads. *E3S Web of Conferences*, 587. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202458703016>

Muñoz, D. (2022). *Incremento de la productividad en el movimiento de tierras mediante el análisis de rendimientos en equipos de carguío y acarreo en minería a tajo abierto Cajamarca 2022* [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio

de la Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32542>

Muñoz, P. (2025). *Aplicación de modelos estocásticos para la estimación de los tiempos de espera en un sistema pala-camión en minería a cielo abierto* [Tesis de la Universidad de Chile]. Repositorio de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/205645>

Postigo, N. (2022). *Análisis y propuesta de mejora de rendimiento de neumáticos de dimensión 59/80R63 en volquetes caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 en una mina del sur del Perú*. [Tesis de la Universidad Católica Santa María]. Repositorio de la Universidad Católica Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/11929/1/4F.0017.MI.pdf>

Quispe, J. (2020). *Propuesta de mejora de disponibilidad de la Flota de Volquetes de una empresa minera* [Tesis de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655449>

Raico, A. (2025). *Evaluación de kPIs de los equipos de carguío y acarreo de mineral para el cálculo óptimo del número de volquetes en mina Summa Gold Corporation – La Libertad* [Tesis de la Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8214>

Salazar, M. (2021). *Incremento de la productividad mediante el análisis de indicadores de rendimiento en los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2021* [Tesis de la Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la

Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27627>

Voronov, A. Y., Khoreshok, A. A., Voronov, Y. Y., Dubinkin, D. M., & Voronov, A. Y. (2022). Optimization of parameters of shovel-truck systems at open-pit coal mines. *Gornaya Promyshlennost*, 22(5), 92–98. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-92-98>

ANEXOS

Anexo N°1. Validación de expertos

Experto 1.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, **Johnny Henry Ccatamayo Barrios**, con CIP N°142961, ejerzo la carrera profesional en Ingeniería de Minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación los formatos de registro de viajes que fueron aplicados en la investigación **'COMPARACION DE RENDIMIENTOS TEORICOS DE VOLQUETES SCANIA G540 Y CMT106 PARA LA EXTRACCION DE MINERAL EN UNA MINA SUPERFICIAL EN MARCONA-ICA, 2024'** del alumno Bach. TORRES MAMANI, Maycol Arvidzon. Luego de hacer las verificaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES	
		SI	NO
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.	x	
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.	X	
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.	X	
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.	X	
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.	X	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.	X	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información.	X	
8	El instrumento considera variables relevantes para la investigación.	X	
9	El instrumento permite una evaluación precisa de las dimensiones investigadas.	X	
10	El instrumento permite una fácil recopilación y análisis de los datos.	X	
TOTAL		10	

20 de Agosto de 2025



Johnny Henry Ccatamayo Barrios
CIP. 142961

Experto 2.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, **Luis David Díaz Morán**, con DNI N°72801079, ostento el grado de Ingeniero y ejerzo la carrera profesional en Ingeniería de Minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación los formatos de registro de viajes que fueron aplicados en la investigación "**COMPARACION DE RENDIMIENTOS TEORICOS DE VOLQUETES SCANIA G540 Y CMT106 PARA LA EXTRACCION DE MINERAL EN UNA MINA SUPERFICIAL EN MARCONA-ICA, 2024**" del alumno Bach. TORRES MAMANI, Maycol Arvidzon.

Luego de hacer las verificaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES	
		SI	NO
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.	x	
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.	X	
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.	X	
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.	X	
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.	X	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.	X	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información.	X	
8	El instrumento considera variables relevantes para la investigación.	X	
9	El instrumento permite una evaluación precisa de las dimensiones investigadas.	X	
10	El instrumento permite una fácil recopilación y análisis de los datos.	X	
TOTAL		10	

Arequipa, 09 de Agosto de 2025


Ing. Luis David Díaz Morán
CIP 356810

Experto 3.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, **Wilberth Lenin Risco Julca**, con DNI N°73651059, ostento el grado de Ingeniero y ejerzo la carrera profesional en Ingeniería de Minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación los formatos de registro de viajes que fueron aplicados en la investigación "**COMPARACION DE RENDIMIENTOS TEORICOS DE VOLQUETES SCANIA G540 Y CMT106 PARA LA EXTRACCION DE MINERAL EN UNA MINA SUPERFICIAL EN MARCONA-ICA, 2024**" del alumno Bach. TORRES MAMANI, Maycol Arvidzon.

Luego de hacer las verificaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES	
		SI	NO
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.	x	
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.	x	
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.	x	
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.	x	
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.	x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.	x	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información.	x	
8	El instrumento considera variables relevantes para la investigación.	x	
9	El instrumento permite una evaluación precisa de las dimensiones investigadas.	x	
10	El instrumento permite una fácil recopilación y análisis de los datos.	x	
TOTAL		10	

Trujillo, 27 de Agosto de 2025


Ing. Wilberth Lenin Risco Julca
CIP 143756