



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**“PROPUESTA DE MEJORA EN LA EFICIENCIA OPERATIVA
PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE CARGUÍO Y ACARREO
MEDIANTE EL USO DE TEORÍA DE COLAS EN UN
PROYECTO, CHIMBOTE 2025”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Pablo Domel Ninatanta Gonzales

Asesor:

Mg. Lic. Jairo Pinedo Taquia

<https://orcid.org/0000-0001-9684-0140>

Trujillo - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | Oscar Arturo Vasquez Mendoza |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|---|
| Jurado 2 | Alfredo Martin Berrospi Ytahashi |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|--|
| Jurado 3 | Danny Daniel Valderrama Gutierrez |
| | Nombre y Apellidos |

Informe de Similitud



Página 2 de 61 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega tm:oid::1:3397785482

18% 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 fuentes excluidas

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  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 esta Tesis a mis padres, por su confianza y el incondicional apoyo que me dieron para perseguir y completar mis metas. El esfuerzo por retribuir su amor y hacer que me miren con orgullo fue mi principal motivación.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por brindarme fuerzas,
salud e iluminar el camino para llegar hasta
donde estoy.

Agradezco a mis compañeros de trabajo
y a mi jefe, cuyas ideas fueron valiosas al
momento de elegir el presente tema.

A mi pareja Jhilian Abanto Velásquez por
su paciencia, tiempo y apoyo a lo largo
de este proceso.

Tabla de contenido

| | | |
|--------|---|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. | Realidad Problemática | 13 |
| 1.2. | Antecedentes | 13 |
| 1.3. | Marco Teórico..... | 17 |
| 1.3.1. | Ciclo de Carguío y Acarreo | 17 |
| 1.3.2. | Teoría de colas | 17 |
| 1.4. | Justificación del problema | 20 |
| 1.5. | Formulación Del Problema..... | 21 |
| 1.5.1. | Pregunta General..... | 21 |
| 1.5.2. | Preguntas Específicas..... | 21 |
| 1.6. | Objetivos | 21 |
| 1.6.1. | Objetivo Principal | 21 |
| 1.6.2. | Objetivos Específicos: | 21 |
| 1.7. | Hipótesis | 22 |
| 1.7.1. | Hipótesis General:..... | 22 |
| 1.7.2. | Hipótesis Específicas: | 22 |
| II. | METODOLOGÍA..... | 23 |
| 2.1. | Tipo de Investigación..... | 23 |
| 2.2. | Población y Muestra | 23 |
| 2.2.1. | Población: | 23 |
| 2.2.2. | Muestra | 24 |
| 2.3. | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.3.1. | Técnicas | 24 |
| 2.3.2. | Instrumentos..... | 24 |
| 2.4. | Procedimiento | 24 |
| 2.4.1. | Pre-campo | 24 |
| 2.4.2. | Campo | 25 |
| 2.4.3. | Post-campo..... | 26 |
| 2.5. | Aspectos Éticos..... | 26 |
| III. | RESULTADOS..... | 27 |
| 3.1. | Resultados del Primer Objetivo Específico: | 27 |
| 3.1.1. | Cantidad de Viajes | 27 |
| 3.1.2. | Eficiencia | 28 |
| 3.1.3. | Tiempo de Ciclo..... | 30 |
| 3.1.4. | Ineficiencia Operacional | 31 |
| 3.2. | Resultados del Segundo Objetivo Específico: | 34 |
| 3.2.1. | Tiempo de ciclo de carguío y acarreo | 34 |
| 3.2.2. | Capacidad de Atención y Tasa de Llegada | 34 |
| 3.2.3. | Aplicación de la teoría de colas | 35 |
| 3.3. | Resultados del tercer objetivo específico:..... | 40 |
| 3.3.1. | Dimensionamiento de Flota Óptima | 41 |
| IV. | DISCUSION Y CONCLUSIONES | 42 |
| 4.1. | Discusión..... | 42 |
| 4.1.1. | Implicancias | 43 |
| 4.1.2. | Limitaciones..... | 44 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.2. | Conclusiones | 45 |
| V. | RECOMENDACIONES | 47 |
| VI. | REFERENCIAS..... | 48 |
| VII. | ANEXOS | 51 |
| 7.1. | Tabla de Simulación de la Flota..... | 51 |
| 7.2. | Tabla de Comparación de la Realidad Problemática vs la Teoría de Colas | 51 |
| 7.3. | Tablas de Recolección de Tiempos..... | 52 |
| 7.4. | Tabla Resumen del Modelo | 52 |
| 7.5. | Panel Fotográfico | 53 |
| 7.6. | Tiempo promedio de las Etapas en el ciclo de Carguío y Acarreo | 55 |
| 7.7. | Matriz de Consistencia..... | 56 |
| 7.8. | Matriz de Operacionalización de Variables | 57 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Fórmulas del Modelo de teoría de Colas</i> | 19 |
| Tabla 2 <i>Eficiencia Operativa según Volquete</i> | 29 |
| Tabla 3 <i>Ciclo Promedio de Volquetes y Excavadora</i> | 34 |
| Tabla 4 <i>Cálculo de P_0 para cada Número de Volquetes</i> | 35 |
| Tabla 5 <i>Cálculo de P_n para cada Número de Volquetes</i> | 36 |
| Tabla 6 <i>Resultados de Teoría de Colas mediante Microsoft Excel</i> | 38 |
| Tabla 7 <i>Comparación de la Realidad Problemática vs la Teoría de Colas</i> | 40 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Circuito de Carguío y Acarreo</i> | 25 |
| Figura 2 <i>Diagrama de Pareto según Volquete por Número de Viajes</i> | 27 |
| Figura 3 <i>Ciclo de Carguío y Etapas Auxiliares vs Acarreo según Volquetes</i> | 28 |
| Figura 4 <i>Promedio de Ciclo de Carguío y Acarreo por Volquetes</i> | 30 |
| Figura 5 <i>Factores de Ineficiencia Operativa</i> | 31 |
| Figura 6 <i>Factores de Ineficiencia Operativa según Volquete</i> | 33 |
| Figura 7 <i>Resultados de Teoría de Colas mediante POM QM</i> | 39 |
| Figura 8 <i>Simulación del Sistema con N Volquetes</i> | 41 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda la aplicación de la teoría de colas en un proyecto ubicado a las afueras de Chimbote y cuya actividad principal es el carguío y acarreo de material, ya que el proyecto presentaba tiempos improductivos. El objetivo principal fue determinar el aporte de la teoría de colas sobre la actividad del proyecto, para lo cual se hizo una recolección de información por medio de observación directa, documentos de proyecto y cuadros elaborados en campo. Los resultados obtenidos mostraron que el proyecto presentaba desviaciones en su producción causado por factores internos y ajenos a la actividad lo que lo alejaba del modelo ideal, por otro lado la teoría de colas mostró que el sistema estaba siendo subutilizado con un valor de 30.71%, así mismo habían 0.111 volquetes esperando 0.818 minutos a ser cargados, lo cual variaba significativamente con la realidad problemática. Se concluye que la teoría de colas es una herramienta que permite entender el comportamiento que debería tener la actividad, lo cual permite identificar limitaciones operativas y formular posibles mejoras. A nivel empírico la operación presenta una distribución asimétrica en la cantidad de viajes por volquete y una eficiencia operativa baja, donde menos de la mitad del tiempo del ciclo se usa para mover material y aunque dicho ciclo presenta uniformidad, existen factores que limitan el funcionamiento del sistema lo que repercute en la cantidad de viajes y que a la vez responde a la razón del contraste entre la realidad problemática y la teoría de colas, pues este modelo indicó que el sistema debería ser estable ya que los volquetes no sobrecargan la excavadora; Además frente a la variación analizada en el tercer objetivo, se buscó mejorar el sistema dimensionando la flota, concluyendo que el aumento de volquetes incrementaba la utilización de la excavadora pero también los tiempos y cantidad de volquetes en cola.

Palabras clave: Teoría de colas, Carguío y Acarreo

ABSTRACT

This research paper addresses the application of queuing theory to a project located on the outskirts of Chimbote, whose main activity is the loading and hauling of materials, as the project was experiencing unproductive downtime. The main objective was to determine the contribution of queuing theory to the project's activity. To this end, information was collected through direct observation, project documents, and tables prepared in the field. The results showed that the project exhibited production deviations caused by internal and external factors, which deviated from the ideal model. Furthermore, queuing theory revealed that the system was being underutilized by 30.71%, with 0.111 dump trucks waiting 0.818 minutes to be loaded, a figure that differed significantly from the actual problem. It is concluded that queuing theory is a tool that allows for understanding the expected behavior of the activity, enabling the identification of operational limitations and the formulation of potential improvements. At an empirical level, the operation exhibits an asymmetrical distribution in the number of trips per dump truck and low operational efficiency, where less than half of the cycle time is used to move material. Although the cycle time appears uniform, there are factors that limit the system's performance, impacting the number of trips. This also explains the contrast between the actual problem and queuing theory, as this model indicated that the system should be stable since the dump trucks do not overload the excavator. Furthermore, in response to the variation analyzed in the third objective, the system was improved by adjusting the fleet size. It was concluded that increasing the number of dump trucks increased excavator utilization but also the time and number of dump trucks in the queue.

Keywords: Queuing Theory, Loading and Hauling

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El comportamiento cíclico de cualquier actividad de oferta y demanda puede representarse como un sistema con diversos factores que pueden limitar su desarrollo. En esta investigación, el desempeño de la flota del proyecto analizado no es diferente, ya que también se ve afectado por estos factores.

Actualmente en un proyecto ubicado en la ciudad de Chimbote, se identificaron deficiencias en el proceso de carguío y acarreo de material del punto operativo hasta un DME (Botadero). Estos problemas afectaban directamente la eficiencia del proyecto ya que al tomarse la cantidad y tiempos de volquetes, se evidenció que en promedio 3 volquetes con un tiempo de aproximadamente 15 minutos esperaban en cola a ser cargados, lo que sugería por un lado un mal dimensionamiento de la flota, mientras que por otro lado la presencia de factores limitantes en las actividades.

Frente a esta problemática, se consideró pertinente aplicar la teoría de colas como herramienta de análisis para la toma de decisiones que optimicen el ciclo de carguío y acarreo, dado que esta permite modelar sistemas y evaluar su comportamiento. De igual manera se desarrolló el análisis de la flota para poder evidenciar los factores que dificultaban el desarrollo de la actividad.

1.2. Antecedentes

Cerdan y García (2020) en su tesis titulada “Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca, 2020”, tuvo como objetivo mejorar la producción del carguío y acarreo usando la teoría de colas y enfocándose en el rendimiento de los equipos, obteniendo como resultados un incremento de 9% en la producción y

1.09% en reducción de costos unitarios. Demostrando así que la correcta relación entre equipos de carguío y transporte fundamental para mantener la eficiencia y reducir los costos en las operaciones.

Según Cabanillas (2023), en su tesis “Aplicación de la teoría de colas para incrementar la producción en el proceso de carguío y acarreo en una mina de cobre del sur del Perú, 2021”, busca mantener una producción constante de 7000 tm/camión/mes ya que se han evidenciado tiempos improductivos, por lo que al aplicar la teoría de colas a la muestra de dos palas hidráulicas y cuatro camiones, concluyó que habrían 8 camiones en cola esperando 20.24 minutos, es decir cada camión esperaría 2.53 minutos.

Según Martínez (2019), en su tesis “Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold SAC” realizado en el proyecto “El Toro”, tuvo como objetivo mejorar la producción de los equipos de los equipos de carguío y transporte. Se identificó un déficit en la distribución de los volquetes, lo que generaba tiempos muertos y afectaba la productividad. Al aplicar teoría de colas se logró incrementar la producción de los equipos de carguío y reducir los costos unitarios.

Linares, Villalta y Garza (2019), en el artículo titulado “La teoría de colas aplicada a una Oficina Comercial de Telecomunicaciones”, tuvieron como objetivo establecer metas de servicio para mejora la calidad de este, utilizando como técnicas la observación, la entrevista y la encuesta, así como métodos estadísticos y experimentales, se obtuvieron como resultados: La calidad de servicio se ve influenciada por la disponibilidad del servicio y el turno de trabajo. Se identificó que el tiempo de servicio es la variable que más se correlaciona con el tiempo de estancia de los clientes, expresado en el 80% de los casos. Finalmente mediante una simulación se estimó \$ 96006, una reducción de los costos totales del servicio.

Malca (2021) en su tesis “Teoría de colas para disminuir tiempos de espera en el área de atención al cliente en la empresa E.P.S. Sedacaj S.A.”, se centra en la problemática de la insuficiencia de servidores para satisfacer la demanda, por ello es que mediante la aplicación de Teoría de colas, demostró que los tiempos promedio de espera podían reducirse notablemente al agregar una ventanilla más para las áreas de mayor concurrencia.

Acuña y Hoyos (2023), en su tesis “Evaluación de las operaciones de transporte utilizando la teoría de colas para mejorar la producción en la empresa minera El Progreso SEL - Cajamarca, 2022”, los resultados al aplicar la teoría de colas mostraron una probabilidad del 71% que el servidor permanezca ocupado según el modelo, además se estimaron 2 semi tráiler esperando 16.04 minutos, por lo que la espera de cada uno sería de 8.02 minutos.

Rabanal y Zuñiga (2024), en su tesis “Aplicación de la teoría de colas para reducir el tiempo de espera en una empresa del sector financiero”, se utilizó una metodología cuantitativa, aplicada y explicativa, que se centró en los problemas de los tiempos de espera de atención al cliente evidenciándose en el transcurso abandonos de los clientes, insatisfacción y falta de una adecuada distribución del servicio, los resultados mostraron una reducción de 15 a 10 minutos en los tiempos de espera, una reducción en la tasa de abandono de 7.5 a 3 %. Así mismo concluyeron que la aplicación de la teoría de colas permite mejoras significativas en el entorno financiero.

Mendoza (2020), en su trabajo de investigación “Impacto de la teoría de colas en los tiempos de espera de los clientes en empresas bancarias entre los años 2010-2020”: Una revisión de la literatura, realizó una revisión sistemática con el objetivo de analizar el impacto de la teoría de colas en los tiempos de espera de los clientes de empresa bancarias abarcando el periodo de 2010 a 2020. La autora concluyó que la teoría de colas es una herramienta efectiva para estudiar

el tiempo de espera de los clientes y ofrece los elementos necesarios para tomar decisiones que permitan mejorar la calidad del servicio en el sector bancario.

Según Costa y Castaño (2015), en su investigación “Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución” emplearon la simulación de eventos discretos y la optimización de escenarios para determinar el tamaño óptimo de una flota de vehículos de transporte. Su objetivo fue minimizar el tiempo ocioso y maximizar el nivel de servicio al cliente. Los resultados mostraron una notable reducción en los tiempos de entrega y aumento en la satisfacción de los clientes de la compañía.

La investigación de Noronha et al. (2018) titulada “Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas”, modeló las operaciones de una flota involucrando una gran cantidad de variables, considerando también la comparación entre un dimensionamiento determinístico y uno estocástico, con el objetivo de dimensionar la flota para cumplir con las metas de la planta de procesamiento de manera eficiente. Los resultados de la investigación concluyeron que los modelos de simulación permiten predecir y analizar de manera más precisa el comportamiento de la flota.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Ciclo de Carguío y Acarreo

Según Dessureault (2009) el carguío y acarreo constituyen actividades esenciales en la extracción de material, ya sea desmonte o mineral, siendo cruciales en el proceso productivo, el cual tiene como principal elemento las excavadoras encargadas de la primera fase que consiste en remover y cargar el material suelto en la tova de los camiones, los cuales se encargan de traslado del material a su destino, ya sea una planta de tratamiento, un depósito de desmonte o alguna otra área específica.

Por ello el ciclo de carguío y acarreo constituye una fase esencial, no solo dentro de las operaciones mineras, sino también en proyectos donde estén involucradas actividades de movimiento de material, siendo de mayor notoriedad cuando se hace a gran escala. Una gestión eficiente del ciclo incide directamente sobre la productividad global de la operación, los costos asociados y los objetivos estratégicos de movimiento de material.

Las actividades de carguío y acarreo generan una secuencia cíclica de operaciones formándose un sistema, siendo ideal para poder aplicar la teoría de colas. Rodríguez (2013) menciona que la teoría de colas se originó a principios del siglo XX y fue demostrada por primera vez su aplicación en la industria minera por Koenigsberg en 1958.

1.3.2. Teoría de colas

La teoría de colas en esencia estudia sistemas donde un servidor atiende una demanda variable de clientes, y en el proceso se origina la formación de colas de espera. La teoría permite modelar y entender el comportamiento de una actividad. Así mismo, la teoría de colas según Flores de la Mota (2023):

La teoría de colas es el estudio matemático de las colas o líneas de espera dentro de un sistema. Esta teoría estudia factores como el tiempo de espera medio en las colas o la capacidad de trabajo del sistema sin que llegue a colapsar. Dentro de las matemáticas, la teoría de colas se engloba en la investigación de operaciones y es un complemento muy importante a la teoría de sistemas y la teoría de control.

Se trata así de una teoría que encuentra aplicación en una amplia variedad de situaciones como negocios, comercio, industria, ingenierías, transporte y logística o telecomunicaciones. (p. 17)

Así también, Max Schwars (2017) en su estudio: “Teoría de colas aplicada a la industria minera”, señala que la teoría de colas describe de forma matemática las filas de espera que se observan las actividades y que al aplicar estos modelos se puede definir la capacidad de servicio más apropiada para el sistema.

Según García (2016), pueden encontrarse muchos problemas al momento de describir un proceso de colas adecuadamente, sin embargo, para un punto de partida, se debe tener en cuenta el patrón de llegada de los clientes, patrón de servicio de los servidores, disciplina de la cola, capacidad del sistema, número de canales del servicio y etapas del servicio.

Además la notación de Kendall ayuda a clasificar mejor los modelos, presentando primero la Distribución de llegadas de los clientes, la distribución de tiempos de servicio y finalmente el número de canales, donde para cada uno se puede definir M (Distribución de poisson del número de ocurrencias), D (Tasa constante Determinística), G (Distribución general con media y varianza conocidas), Ek (Distribución Erlang con parámetro k), GI (Distribución general independiente), H (Distribución hiperexponencial), s (Número de servidores), d (Orden de atención a los clientes) (CUCEA, 2018).

Tomando en cuenta un solo canal, para poblaciones finitas e infinitas, es decir se conoce su tamaño real, se tiene en cuenta que las llegadas de los clientes se atienden en base de PEPS (Primeras entradas Primeras Salidas), esto quiere decir que cada cliente espera a ser atendido en el orden en que llegan. Cada llegada al sistema es independiente de las otras, pero su número promedio no cambia. Las llegadas son descritas con una distribución de probabilidad de Poisson. El servicio varía su tiempo de un cliente a otro y ocurren con una distribución de probabilidad exponencial negativa. La tasa de servicio es mayor que la tasa de llegadas promedio (CUCEA, 2018).

Dentro de todos los modelos existentes, según el comportamiento y condiciones del proyecto, este se define como modelo M/M/1 con población finita, puesto el comportamiento de la llegada de los volquetes sigue una distribución exponencial, de igual manera con los tiempos que el sistema toma para abastecer cada cliente, finalmente se tiene que solo existe 1 servidor y la cantidad de clientes es conocida.

Tabla 1

Fórmulas del Modelo de teoría de Colas

| Indicador | Fórmula |
|--|---|
| Tasa de llegada (λ): Indica la frecuencia con la que un volquete retorna para ser atendido tras completar su ciclo. La correcta determinación de λ permite balancear la llegada de unidades al sistema. | $\lambda = \frac{1}{\text{Promedio de ciclo de los volquetes}}$ |
| Tasa de servicio de la excavadora (μ): Mide cuántos volquetes puede atender la excavadora por unidad de tiempo. Es crucial para calibrar la capacidad del servidor frente a la demanda | $\mu = \frac{\text{Número de servidor}}{\text{Tiempo de carguío del servidor}}$ |
| Tasa efectiva de llegada (λ_e): Indica la cantidad efectiva de volquetes que el sistema puede procesar por unidad de tiempo | $\lambda_e = \mu(1 - P_0)$ |

Probabilidad de excavadora inoperativa (P0):

Indica la probabilidad de que no haya volquetes en el sistema y, por ende, la excavadora esté inactiva.

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right]^{-1}$$

Número promedio de volquetes en el sistema (L):

Suma los volquetes tanto en cola como en atención, proporcionando una imagen global de la congestión.

$$L = Lq + (1 - P_0)$$

Número promedio de volquetes en la cola (Lq):

Calcula el promedio de volquetes esperando a ser atendidos, siendo un indicador esencial del nivel de saturación

$$Lq = N - \left(\frac{\lambda + \mu}{\lambda}\right)(1 - P_0)$$

Tiempo medio en el sistema (W):

Refleja el tiempo total promedio que un volquete debe permanecer en el sistema, ya sea en cola o siendo atendido.

$$W = Wq + \frac{1}{\mu}$$

Tiempo medio de espera en cola (Wq):

Indica el promedio de espera únicamente en la fila o cola antes de ser atendido.

$$Wq = \frac{Lq}{(N - L)\lambda}$$

Nota: Fórmulas del modelo de teoría de colas M/M/1 con población finita

1.4. Justificación del problema

Teóricamente la investigación servirá como referente para futuras investigaciones en diversos rubros que deseen implementar la Teoría de Colas, ya que no es un modelo matemático específico para un solo sector, sino que engloba toda actividad donde haya clientes, objetos o datos, esperando a ser atendidos, mostrando su potencial aplicación más allá del ámbito de estudio.

Metodológicamente se justifica en el uso del contraste de datos entre el comportamiento real con el ideal de la Teoría de colas, siendo un procedimiento necesario porque expone claramente un desfase, conllevando a determinar los factores de ineficiencia involucrados.

La justificación práctica radica en el impacto de la investigación sobre la operación, ya que el diagnóstico servirá como base para la toma de decisiones enfocadas en la optimización de recursos.

1.5. Formulación Del Problema

1.5.1. Pregunta General

- ¿Cuál es el aporte de la Teoría de Colas en la optimización de la eficiencia del ciclo de Carguío y Acarreo de la flota del proyecto, Chimbote 2025?

1.5.2. Preguntas Específicas

- ¿Cuál es el rendimiento actual del ciclo de carguío y acarreo de la flota del proyecto, Chimbote 2025?
- ¿Cuál es el comportamiento ideal del ciclo de carguío y acarreo de la flota mediante la aplicación de la Teoría de Colas en el proyecto, Chimbote 2025?
- ¿Cuál es el resultado de contrastar el rendimiento real del ciclo de carguío y acarreo con la teoría de colas y analizar una simulación de escenarios en el proyecto, Chimbote 2025?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo Principal

- Determinar el aporte de la Teoría de Colas en la optimización de la eficiencia del Ciclo de Carguío y Acarreo de la flota del proyecto, Chimbote 2025.

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Evaluar el rendimiento actual del ciclo de carguío y acarreo de la flota, mediante el análisis de indicadores empíricos.
- Determinar el comportamiento ideal del ciclo de carguío y acarreo de la flota mediante la aplicación de un modelo de Teoría de Colas.

- Contrastar el rendimiento real del ciclo de carguío y acarreo con la teoría de colas y analizar una simulación de escenarios.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General:

- La Teoría de colas aporta las bases para la optimización del Ciclo de Carguío y Acarreo, permitiendo proponer acciones de mejora en el proyecto, Chimbote 2025.

1.7.2. Hipótesis Específicas:

- Existen factores de ineficiencia operativa que inciden directamente en el rendimiento de los volquetes, provocando variaciones significativas en el tiempo de ciclo y un bajo factor de eficiencia.
- La aplicación de la Teoría de Colas muestra que el rendimiento ideal del sistema de carguío y acarreo es significativamente más eficiente que la situación real.
- El contraste entre la realidad y la teoría de colas indica un desfase y la simulación permitió evidenciar parámetros clave para dimensionar la flota.

II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación según su propósito es aplicada, ya que busca resolver un problema real usando la información recopilada de una actividad en específico con el propósito de analizar y comparar los resultados de campo con los obtenidos mediante teoría de colas y en base a ello proponer estrategias de mejora que maximicen la eficiencia de los equipos.

La investigación adoptará un enfoque cuantitativo, ya que se centrará en la recolección y análisis de datos numéricos, con el propósito de diagnosticar el estado operativo de la flota con ayuda de la teoría de colas. Este enfoque permitirá medir con precisión variables como el tiempo de ciclo, la eficiencia operativa, la utilización de los equipos, entre otros.

Según su alcance, la investigación es descriptivo comparativo porque se centra en la recolección y caracterización de los datos del ciclo de carguío y acarreo, para posteriormente cuantificar la brecha entre la realidad operativa y el funcionamiento ideal mediante un contraste.

Según su diseño es no experimental porque no tiene la intención de manipular las variables del sistema de carguío y acarreo; en lugar de ello, se observa y se registran los datos de la operación tal como ocurren en la realidad, siendo así que, la investigación no implementa cambios pero si propone estrategias. Además, es transversal porque la recolección de los datos se realiza de un único periodo definido de tiempo, obteniendo así un diagnóstico puntual de la flota.

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población:

La población existente en el trabajo al momento del estudio consta de 1 excavadora John Deere 350GLC, 10 volquetes de 17 M3 de diferentes marcas como Scania, Volvo y Mercedes.

2.2.2. *Muestra*

Se trabajará con una muestra censal, que incluye la totalidad de la población para asegurar una cobertura completa del fenómeno puesto que todos interactúan con el sistema de la misma manera, además todos los volquetes están sujetos a las mismas condiciones de capacidad y rutas.

2.3. **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

2.3.1. *Técnicas*

Observación directa: Para registrar el comportamiento operativo de equipos en campo con el fin de evidenciar todo evento resaltante en las actividades tales como las colas o el ciclo de los equipos.

Análisis documental: Para revisar registros históricos, reportes técnicos, partes diarios y todo documento del proyecto que pueda ser útil para la investigación.

2.3.2. *Instrumentos*

Ficha de observación: Diseñada para registrar los ciclos de los volquetes, número de viajes y limitantes en la operación, haciendo uso de tablas de elaboración propia.

Ficha de análisis documental: Registros de donde se extraerá información relevante de los documentos técnicos del proyecto.

2.4. **Procedimiento**

Con la muestra definida y teniendo en cuenta los objetivos planteados se procede a elaborar el trabajo de investigación, tomando en cuenta 3 etapas para el mismo.

2.4.1. *Pre-campo*

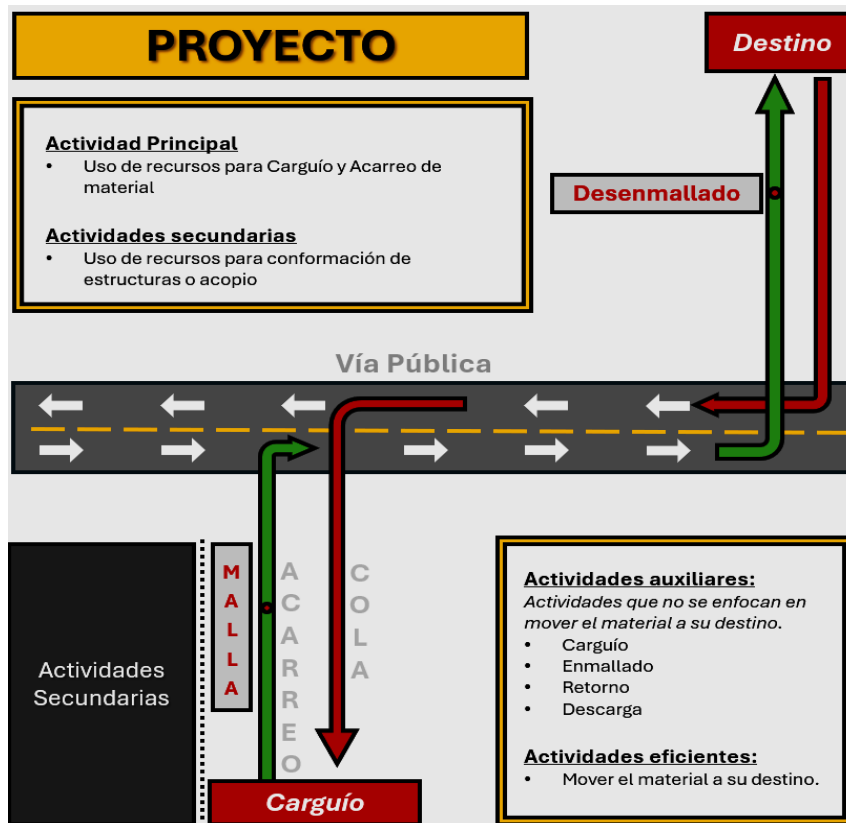
En esta etapa se hizo una revisión de los antecedentes y bases teóricas relacionadas con la teoría de colas y ciclos de carguío y acarreo. Posteriormente se diseñaron y validaron los instrumentos mediante el juicio de expertos para asegurar su fiabilidad en el estudio.

2.4.2. Campo

Se usa las técnicas e instrumentos para recopilar información clave de la actividad de carguío y acarreo en el proyecto, basándose en el recorrido que los volquetes realizan, el cual se explica con un diagrama resumido de la forma del circuito.

Figura 1

Circuito de Carguío y Acarreo



Nota: Referencia del recorrido que realizan los volquetes

Fuente: Elaboración propia

El tiempo que se considera para calcular el ciclo total de cada volquete es la sumatoria de del tiempo de carguío, traslado a enmallar, enmallado, traslado a destino, desenmallado, traslado a descargar, descarga y retorno; teniendo en cuenta para una comparativa posterior, los tiempos

eficientes son los movimientos de material a su destino que incluye traslado a destino y traslado a descarga, por consiguiente el resto de los tiempos son auxiliares.

2.4.3. *Post-campo*

En esta etapa se digitaliza y procesan los datos recopilados de campo, haciendo uso del programa Microsoft Excel para desarrollar las fórmulas del modelo de teoría de colas y el rendimiento de la flota, asimismo para su respectivo análisis y organización con el fin identificar de forma más ordenada los resultados obtenidos y así dar respuesta a los objetivos planteados. Además se emplea el programa POM QM para validar los resultados del modelo obtenidos de manera tradicional en Microsoft Excel.

2.5. Aspectos Éticos

La investigación garantiza que la información proporcionada por la empresa será utilizada exclusivamente con fines académicos y manejada de manera responsable, asegurando la transparencia y veracidad de los resultados mediante el uso de los datos registrados sin manipulación. Se respetan rigurosamente los derechos de autor al hacer uso de referencias bibliográficas y citas respectivas.

III.RESULTADOS

3.1. Resultados del Primer Objetivo Específico:

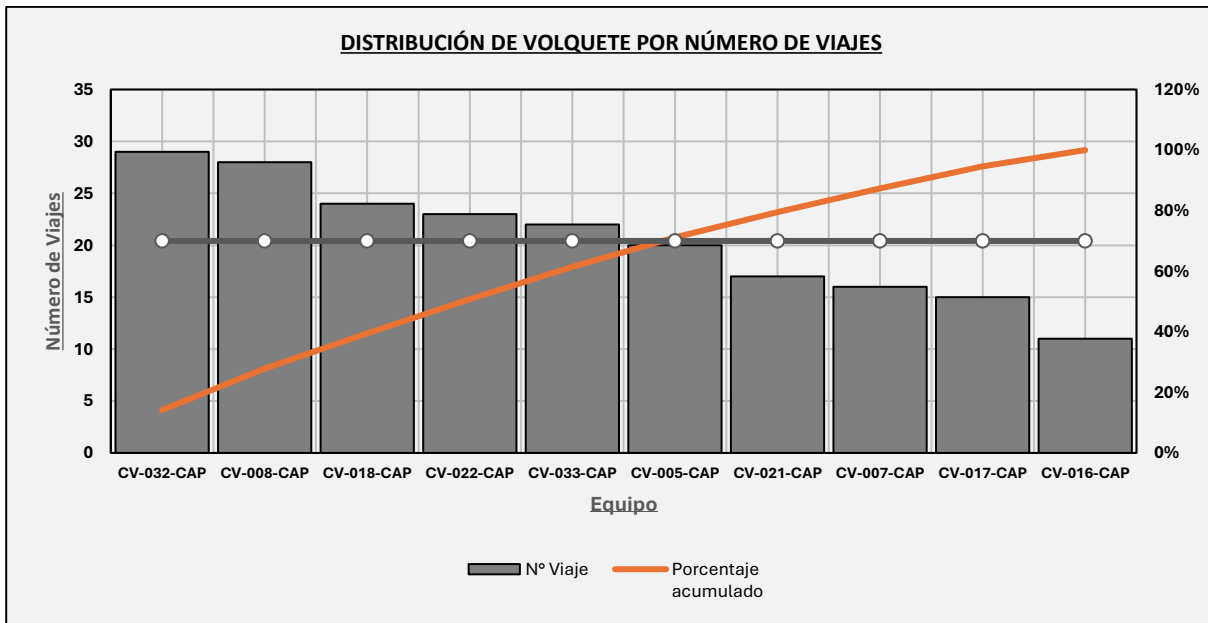
En base a la realidad problemática en la que se observó 3 volquetes en cola de espera durante 15 minutos para ser cargados se optó por realizar un desglose y procesamiento de los datos para el análisis el rendimiento de la flota y de los factores causantes.

3.1.1. Cantidad de Viajes

La siguiente gráfica muestra un diagrama de Pareto que organiza los viajes realizados por cada volquete de la flota operativa, mostrando en orden descendente desde la izquierda a derecha los volquetes que concentran el mayor número de viajes.

Figura 2

Diagrama de Pareto según Volquete por Número de Viajes



Nota: El diagrama muestra los viajes totales de cada volquete

La cantidad de viajes realizados por los volquetes va desde los 11 a los 29 viajes, el patrón revela una distribución asimétrica en la productividad de la flota, donde los primeros 5 volquetes contribuyen con aproximadamente el 60% de viajes realizados, siendo estos el volquete CV-032-

CAP y CV-008-CAP los que más viajes hicieron, por otro lado CV-016-CAP, CV-017-CAP, CV-007-CAP y CV-021-CAP hicieron menos viajes.

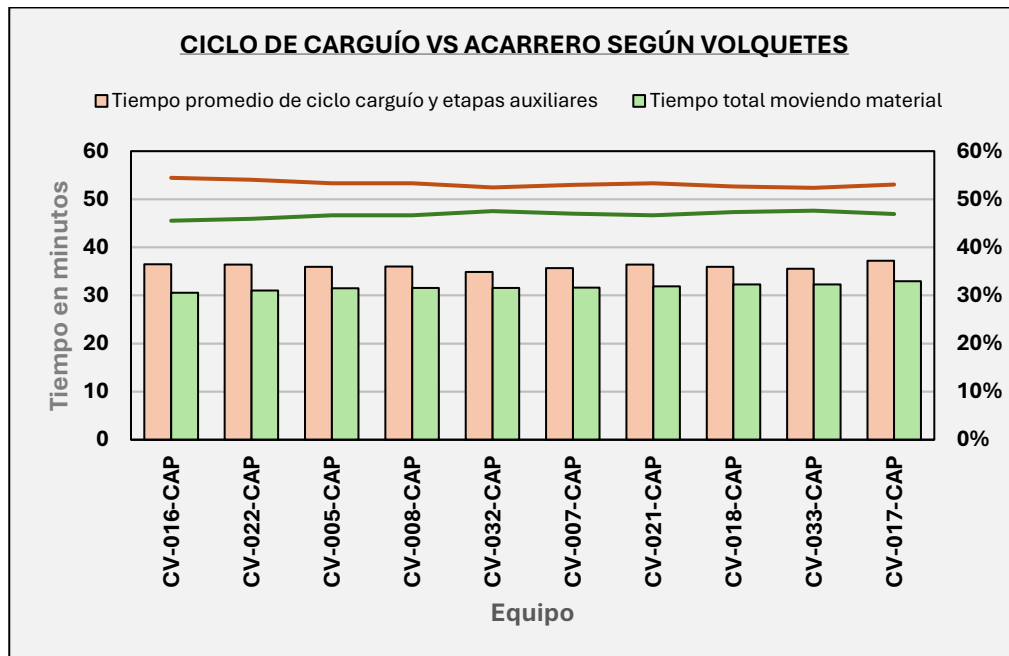
La gran diferencia entre el más activo (29 viajes) y el menos activo (11 viajes) sugiere oportunidades para mejorar la distribución del trabajo y la utilización homogénea de la flota. Dicho esto, este análisis por Pareto es esencial para identificar los volquetes con mayor influencia en la productividad total y focalizar estrategias de mantenimiento, gestión de operaciones y asignación personalizada para evitar cuellos de botella por sobrecarga o, en el caso contrario, subutilización.

3.1.2. Eficiencia

A continuación se muestra una gráfica combinada de barras y líneas para mejorar la visualización de los tiempos moviendo material vs lo tiempos sin material.

Figura 3

Ciclo de Carguío y Etapas Auxiliares vs Acarreo según Volquetes



Nota: La relevancia de la gráfica se centra en las columnas y línea trazada de color verde, que muestran ser inferiores al resto de elementos.

Para esta sección se tomaron los tiempos por etapas para evidenciar cuál era el la eficiencia del proyecto, es así que se muestra la distribución de los tiempos promedio y porcentaje por volquete, referente a la productividad, que comprende el movimiento de material del proyecto hacia el punto de descarga, mientras que el resto de los eventos el material no está en movimiento a su destino o los volquetes están vacíos.

Los datos muestran que el tiempo que los volquetes suelen estar sin mover material varía entre aproximadamente 35 min (CV-032-CAP) y 37 min (CV-017-CAP), mientras que el tiempo moviendo material va desde aproximadamente 31 min (CV-016-CAP) a 33 min (CV-017-CAP). El comportamiento de la gráfica indica que más de la mitad del tiempo empleado para realizar un viaje, se emplea en etapas que no mueven el material a su destino.

No obstante, no se debe dejar de lado las oportunidades de mejora en el acarreo, ya que también existen deficiencias que pueden ser mejoradas como variaciones atribuibles a rutas, condiciones del camino o dinámica de flujo vehicular. Esto también se relaciona con la eficiencia operativa y rotación de los equipos.

El siguiente cuadro complementa la comprensión de los resultados de la eficiencia operativa mediante un resumen de la Figura 3. Donde la eficiencia operativa es de 46.80%, es decir solo ese porcentaje está siendo utilizado de manera productiva mientras que el 53.20% se para actividades complementarias.

Tabla 2

Eficiencia Operativa según Volquete

| Equipo | Tiempo de Acarreo (Min) | Eficiencia Operativa (%) |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| CV-016-CAP | 30.54 | 45.55% |
| CV-022-CAP | 31.00 | 45.97% |

| | | |
|------------|-------|--------|
| CV-005-CAP | 31.47 | 46.67% |
| CV-008-CAP | 31.56 | 46.68% |
| CV-021-CAP | 31.91 | 46.69% |
| CV-017-CAP | 32.98 | 46.97% |
| CV-007-CAP | 31.62 | 46.99% |
| CV-018-CAP | 32.31 | 47.32% |
| CV-032-CAP | 31.56 | 47.51% |
| CV-033-CAP | 32.32 | 47.63% |
| Promedio | 31.73 | 46.80% |

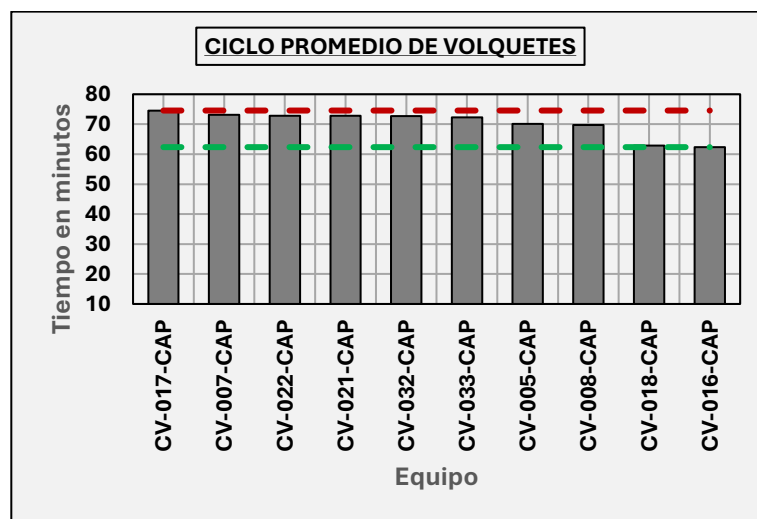
Nota: La tabla muestra la eficiencia operativa de cada volquete en base al tiempo que mueve material.

3.1.3. Tiempo de Ciclo

La siguiente gráfica toma los tiempos de los partes diarios de los operadores, mostrando en orden descendente empezando por la izquierda, el tiempo promedio dedicado por cada volquete en las actividades carguío y acarreo.

Figura 4

Promedio de Ciclo de Carguío y Acarreo por Volquetes



Nota: Las líneas punteadas representan el mínimo y máximo de los ciclos totales.

El ciclo de los volquetes varía entre 62 minutos (CV-016-CAP y CV-018-CAP) a 75 minutos (CV-017-CAP). Siendo los primeros 4 volquetes de la izquierda los que más tiempo demoran en dar una vuelta. Por otro lado el volquete CV-016-CAP tiene el menor tiempo de ciclo.

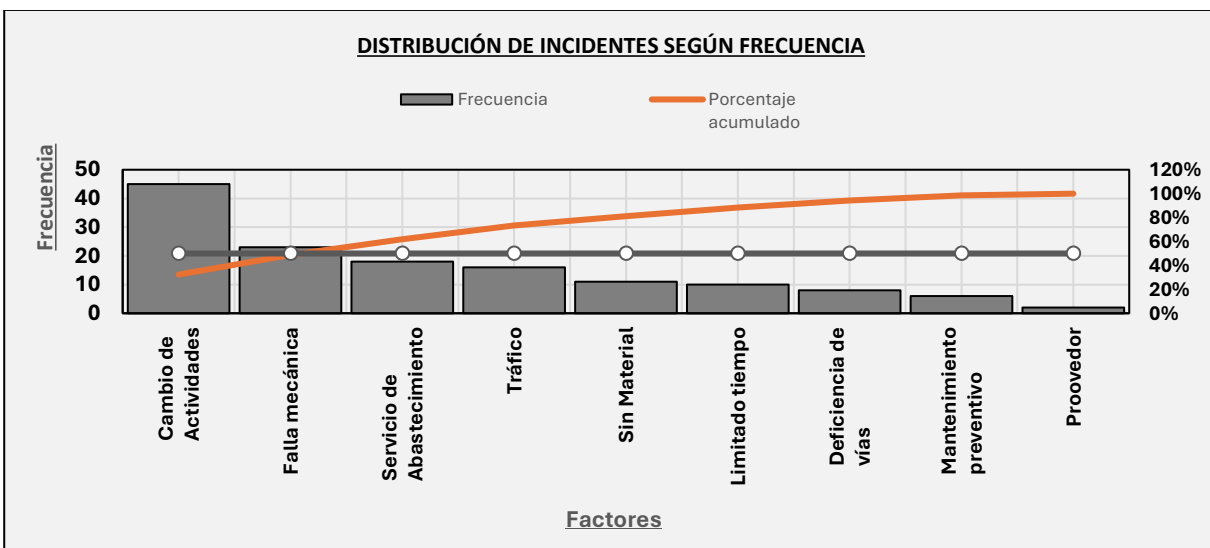
La uniformidad de la mayoría de los valores muestra regularidad en el transcurso del transporte, aunque los dos mejores tiempos (CV-018-CAP y CV-016-CAP), sugiere por un lado que los 8 volquetes restantes pueden estar asociados a factores internos o externos que repercuten en sus tiempos, y por otro lado, los 2 volquetes mencionados podrían no estar siendo aprovechados en todo su potencial, pudiendo generarse oportunidades de mejora en su cantidad de viajes diarios. De esta manera, los valores evidenciados por equipos con menor tiempo total operativo podrían no estar siendo aprovechados en todo su potencial, generando oportunidades de mejora en su cantidad de viajes diarios de transporte de material.

3.1.4. Ineficiencia Operacional

En este apartado se clasifica los factores determinantes registrados y que repercuten en el desarrollo de las actividades de carguío y acarreo.

Figura 5

Factores de Ineficiencia Operativa



Nota: El diagrama de pareto presentado traza la línea determinante en 50% ya que es un valor más entendible para el presente análisis.

Hay 9 factores resaltantes que afectan la producción diaria de los volquetes, entre ellos tenemos:

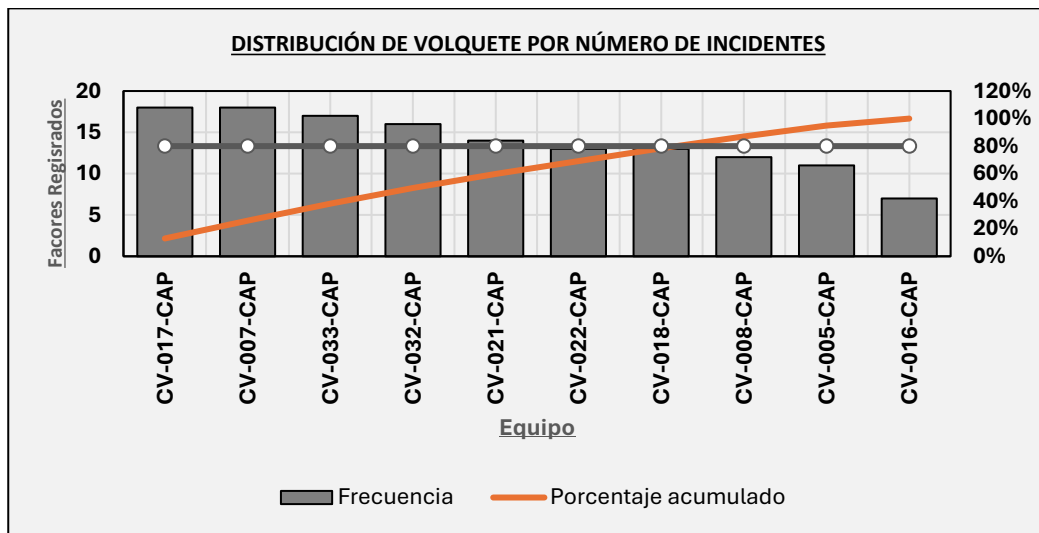
- Cambios de actividades: Situaciones en las que un volquete es movido repentinamente a otra área de actividades ya sea por cambios repentinos o necesidad del otro frente.
- Falla mecánica: Involucra principalmente llantas bajas o picadas que se dan en el recorrido del ciclo por accidente, pistones de la tolva, luces, potencia del equipo y fugas de combustible.
- Servicio de abastecimiento: Momentos en que la unidad necesita abastecer combustible y tiene que dirigirse al taller o al punto donde se encuentra la cisterna de combustible.
- Tráfico: El recorrido de los volquetes involucra una vía pública que en ocasiones suele estar congestionada; cabe mencionar que otros puntos importantes son los semáforos y la incorporación de los volquetes de la obra a la vía y viceversa.
- Sin Material: El constante cambio de actividades de la excavadora y volquetes, genera retrasos en el acopio del material a transportar.
- Limitado Tiempo: Suele darse antes del fin de jornada, cuando el tiempo es menor al ciclo del volquete, lo que genera que no pueda dar un ciclo más al destino.
- Deficiencia de vías: Camino al destino hay rutas en mal estado, sin asfaltar o que presenta ondulaciones y polvo en el terreno que causa una disminución forzada en la mayoría de los volquetes que no cuentan con una amortiguación ideal.
- Mantenimiento preventivo: Son mantenimientos necesarios que necesita el volquete, ya sea general o puntual, dependiendo del área de mantenimiento.

- Proveedor: En este caso únicamente enfocado al servicio de neumáticos, puesto que es un servicio al cual recurren de manera frecuente los volquetes; no es exclusivo y por lo tanto hay ocasiones de espera debido a la presencia de clientes externos o ausencia de atención.

El siguiente gráfico, muestra la distribución de factores en orden descendente de izquierda a derecha agrupándolos según su cantidad de incidencias con los volquetes.

Figura 6

Factores de Ineficiencia Operativa según Volquete



Nota: El trazo del 80% en el diagrama de pareto marca un punto importante para la comprensión de la gráfica.

Se observa que en promedio hubo 13 registros diarios por volquete en los días de análisis y que el 80% de los registros de los factores de ineficiencia operativa ha afectado al 70% de la flota siendo los primeros 2 volquetes (CV-017-CAP y CV-007-CAP) los más afectados con un total de 18 registros.

Por otro lado, el volquete CV-016-CAP, CV-005-CAP y CV-008-CAP tuvieron menos registros encontrados; Con esto podemos decir que más de la mitad de los volquetes se ven afectados por factores que condicionan sus actividades.

3.2. Resultados del Segundo Objetivo Específico:

3.2.1. Tiempo de ciclo de carguío y acarreo

El siguiente cuadro muestra el tiempo en horas y minutos del ciclo promedio que los volquetes y la excavadora emplearon en el proceso de carguío y acarreo de material, ordenado de mayor a menor.

Tabla 3

Ciclo Promedio de Volquetes y Excavadora

| Equipo | Ciclo Promedio | |
|------------|----------------|-----------|
| | En Hora | En Minuto |
| CV-017-CAP | 1:14 | 74.56 |
| CV-007-CAP | 1:13 | 73.19 |
| CV-022-CAP | 1:12 | 72.86 |
| CV-021-CAP | 1:12 | 72.81 |
| CV-032-CAP | 1:12 | 72.75 |
| CV-033-CAP | 1:12 | 72.25 |
| CV-005-CAP | 1:10 | 70.11 |
| CV-008-CAP | 1:09 | 69.73 |
| CV-018-CAP | 1:02 | 62.87 |
| CV-016-CAP | 1:02 | 62.34 |
| Volquetes | 1:10 | 70.34 |
| Excavadora | 2:15 | 2.25 |

Nota: Los datos de la tabla son obtenidos de una recopilación y resumen de los parte diarios.

3.2.2. Capacidad de Atención y Tasa de Llegada

A continuación se resuelve dos valores recurrentes que más se repiten en el conjunto de fórmulas de la Teoría de colas. Se observa que la excavadora tiene una capacidad superior a la demanda, esto refleja estabilidad en el sistema.

Capacidad de atención (μ):

$$\mu = \frac{\text{Número de servidores}}{\text{Tiempo de carguío del servidor}} = \frac{1}{2.25} = 0.4435 \text{ volquetes/minuto}$$

Tasa de llegada (λ):

$$\lambda = \frac{1}{\text{Promedio de ciclo de los volquetes}} = \frac{1}{70.34} = 0.01421 \text{ volquetes/Minuto}$$

3.2.3. Aplicación de la teoría de colas

Con los datos previos, ahora se puede calcular los indicadores clave del rendimiento del sistema, como la probabilidad de ocio de la excavadora y su utilización.

a). Probabilidad de excavadora inoperativa (P_0):

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right]^{-1} = (1.443254429)^{-1} = 0.692878525 = 69.29 \%$$

Tabla 4

Cálculo de P_0 para cada Número de Volquetes

| Número de volquetes | P_0 |
|---------------------|--------------------|
| 0 | 1.000000000 |
| 1 | 0.320539724 |
| 2 | 0.092471143 |
| 3 | 0.023712540 |
| 4 | 0.005320568 |
| 5 | 0.001023272 |
| 6 | 0.000164000 |
| 7 | 0.000021027 |
| 8 | 0.000002022 |
| 9 | 0.000000130 |
| 10 | 0.000000004 |
| Total | 1.443254429 |

Nota: La formula se aplica para la sumatoria de 10 volquetes porque es la población conocida.

Este valor indica que la excavadora está inactiva el 69.29% del tiempo, al menos en la actividad principal del proyecto. Por otro lado, este fenómeno indica que la flota no sobrecarga el servidor, lo que se traduce como menos desgaste mecánico y costos de mantenimiento para la

excavadora, además abre la posibilidad de incrementar la flota lo que significa mayor volumen transportado.

b). Utilización de la excavadora o eficiencia operativa (ρ):

$$\rho = 1 - P_0 = 1 - 0.69287 = 0.3071 = 30.71\%$$

Solo el 30.71 % del tiempo la excavadora está cargando activamente en la actividad de carguío y acarreo, confirmando un sistema subutilizado, lo cual puede significar una mala dimensión o selección de la flota.

c). Probabilidad de N volquetes en el sistema (P_n):

Tabla 5

Cálculo de P_n para cada Número de Volquetes

| Número de volquetes | $P_n(\%)$ |
|---------------------|------------|
| 0 | 69.287853 |
| 1 | 22.209509 |
| 2 | 6.407127 |
| 3 | 1.642991 |
| 4 | 0.368651 |
| 5 | 0.070900 |
| 6 | 0.011363 |
| 7 | 0.001457 |
| 8 | 0.000140 |
| 9 | 0.000009 |
| 10 | 0.000000 |
| Total | 100 |

Nota: La tabla muestra la probabilidad de encontrar un número específico de volquetes en la zona de carguío.

Existe la probabilidad de un 69.29% de que la excavadora esté sin actividad y un 22.21 % de que al menos haya un volquete en zona de carguío, evidenciando una probabilidad menor de actividad en la zona de carguío.

d). Número promedio de volquetes en la cola (Lq):

$$Lq = N - \left(\frac{\lambda + \mu}{\lambda}\right)(1 - P_0) = 10 - \left(\frac{0.458}{0.014}\right)(1 - 0.6928) = 0.111493 \text{ Volquetes}$$

Un resultado bajo indica que el tamaño de cola es mínimo, con menos de 1 unidad esperando para ser cargada, el sistema trabaja de forma cíclica. Por otro lado existe relación inversamente proporcional con el ciclo de los volquetes, ya que si estos aumentan la cola disminuye aún más y viceversa.

e). Número promedio de volquetes en el sistema (L):

$$L = Lq + (1 - P_0) = 0.11149 + (1 - 0.6928) = 0.41861 \text{ Volquetes}$$

En promedio hay menos de 1 volquete en el área de carguío, ya sea en atención o en espera. Esto sugiere que la excavadora tiene rápida disponibilidad para atender volquetes cuando estos lleguen a la zona.

f). Tiempo promedio de espera en cola (Wq):

$$Wq = \frac{Lq}{(N - L)\lambda} = \frac{0.11149}{(10 - 0.41861) \times 0.01422} = 0.818 \text{ minutos}$$

Los volquetes esperan en cola 0.818 minutos antes de ser cargados, es decir, menos de 1 minuto. Un valor muy bajo es indicativo de un balance o subutilización entre los volquetes y excavadora.

g). Tiempo promedio de espera en el sistema (W):

$$W = Wq + \frac{1}{\mu} = 0.818 + \frac{1}{0.4435} = 3.073 \text{ minutos}$$

El tiempo total que un volquete pasa esperando y siendo cargado es de 3.073 minutos, este valor es el tiempo que los volquetes pasan en la estación de carguío.

g). Tasa efectiva de llegada(λ_e):

$$\lambda_e = \mu(1 - P_0) = 0.4435 (1 - 0.693) = 0.136 \frac{\text{volquetes}}{\text{minuto}} * 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} = 8.17 \text{ Volquetes/hora}$$

La velocidad a la que la excavadora está atendiendo es 8.17 volquetes por hora, mientras que la tasa de atención (μ) convertido a horas resulta 26.61 volquetes por hora, indicando que el sistema presenta una cantidad menor de clientes en comparación con la cantidad que puede procesar.

A continuación se resume los valores obtenidos de la aplicación de teoría de colas mediante un cuadro creado en Microsoft Excel y el programa POM QM para corroborar los resultados.

Tabla 6

Resultados de Teoría de Colas mediante Microsoft Excel

| Item | Descripción | Cod. | Valor | Unidad |
|------|---|-------------|--|-----------|
| a | Probabilidad de excavadora inoperativa | P_0 | 69.29 | % |
| b | Utilización de la excavadora | ρ | 30.71 | % |
| c | Probabilidad de N volquetes | P_n | N= 01; $P_n= 22.20$ N= 02; $P_n= 06.40$ N= 03; $P_n= 1.64$ N= 04; $P_n= 0.36$ | % |
| d | Promedio de Volquetes en la cola | L_q | 0.11143 | Volquetes |
| e | Promedio de Volquetes en el sistema | L | 0.418471 | Volquetes |
| f | Tiempo promedio de espera en cola | W_q | 0.818 | Minutos |
| g | Tiempo promedio de espera en el sistema | W | 3.068 | Minutos |
| h | Tasa efectiva de llegada | λ_e | 0.136 | Volq/Min |

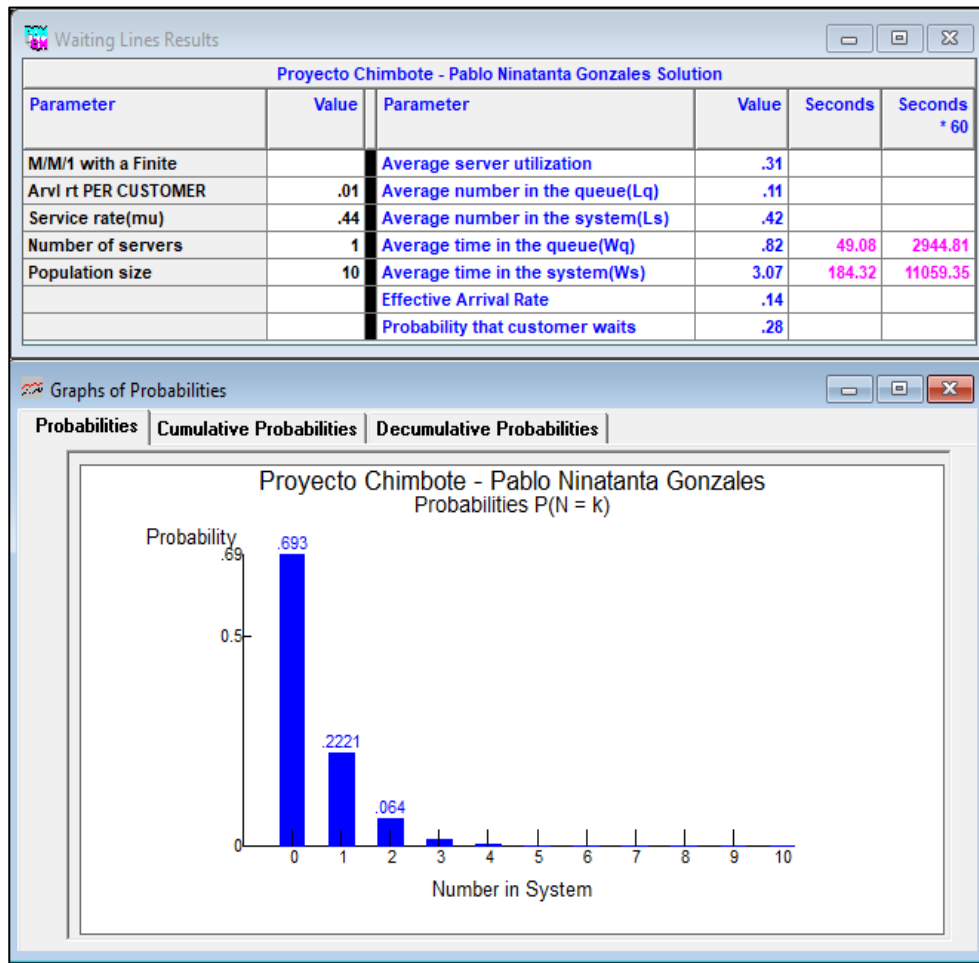
Nota: Para el Item “c”, no se consideró colocar 5 Volquetes a más en el resumen ya que es irrelevante por su baja probabilidad.

Para contrastar y validar los resultados obtenidos, se hace uso del programa POM QM, el cual es un programa usado para resolver modelos matemáticos, entre ellos la teoría de colas. Se

ingresaron los valores principales que son tasa de llegada, tasa de servicio, número de clientes y número de servidores; para la generación de resultados.

Figura 7

Resultados de Teoría de Colas mediante POM QM



Nota: Comportamiento del sistema simulado en un programa – POM QM

Los resultados al aplicar el programa POM QM fueron iguales a los obtenidos por medio de una resolución manual. Esto deja claro dos puntos, el primero es que la aplicación de un modelo de colas puede apoyarse de programas para ahorrar tiempo, el segundo es que el uso de programas no es una limitante para aplicar el modelo.

3.3. Resultados del tercer objetivo específico:

A continuación, se presenta la evaluación para responder al tercer objetivo específico “Evaluar y dimensionar la flota del proyecto mediante la aplicación de la teoría de colas.”, con base en la realidad problemática y los resultados obtenidos en la aplicación de teoría de colas en el proceso de carguío y acarreo.

Tabla 7

Comparación de la Realidad Problemática vs la Teoría de Colas

| Variable | Realidad | Teoría de colas | Variación |
|---|-----------------|------------------------|------------------|
| Número promedio de volquetes en cola (Lq) | 3 Volquetes | 0.111 Volquetes | 96.3% |
| Tiempo promedio de espera en cola (Wq) | 15 Minutos | 0.818 Minutos | 94.5% |

Nota: Los datos de la realidad problemática son definidas como Lq y Wq respectivamente debido a su afinidad con dicha variable.

El número promedio de volquetes en cola es un indicador que refleja la congestión en el frente de carguío, siendo 3 volquetes un valor ya conocido en campo y 0.111 volquetes el valor que debe tener según la Teoría de colas, una variación de 96.3 %. La diferencia se debe principalmente a los factores, que repercuten directamente tanto en el ciclo como en el número de viajes de los volquetes, generando así que la actividad no se dé de manera constante y completa.

El tiempo promedio que los volquetes esperan en cola antes de ser cargados según la Teoría de cola es de 0.818 minuto, en contraste con la realidad de 15 minutos, Un tiempo muerto considerable que se traduce en menor rotación, mayores costos y menor productividad general.

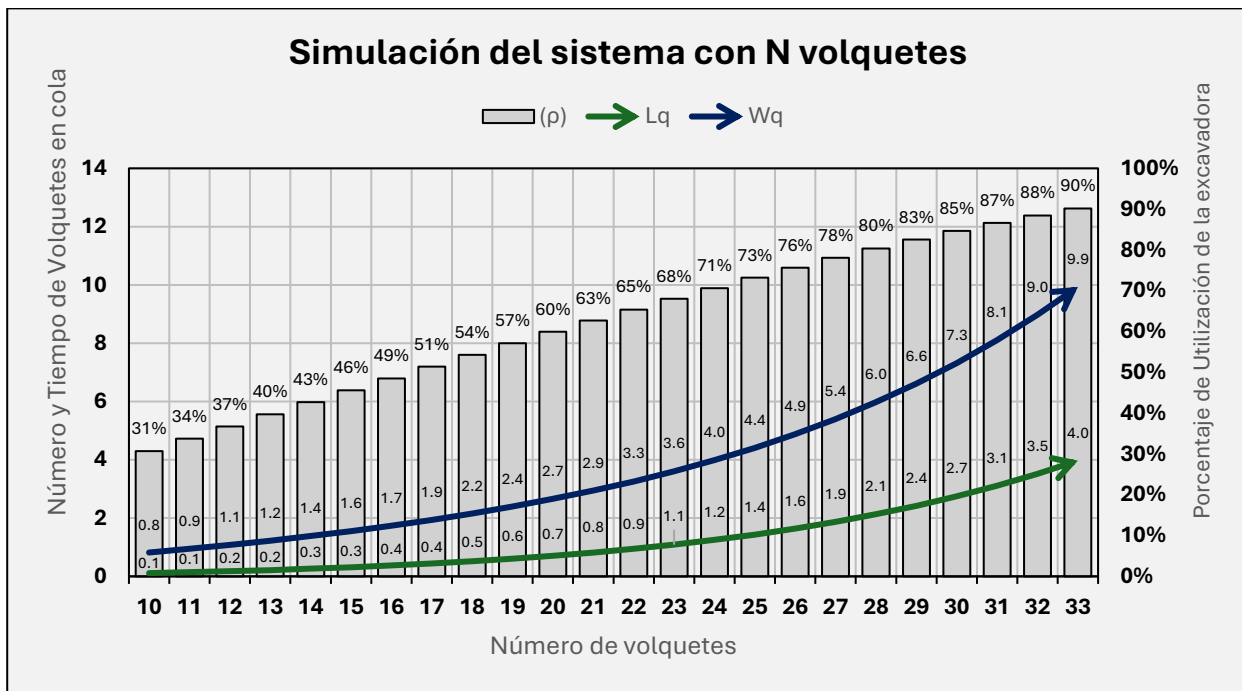
Estos resultados muestran el comportamiento ideal en base a Lq y Wq e indican que el sistema tiene la capacidad de trabajar con una mejor eficiencia a la que se ve en campo.

3.3.1. Dimensionamiento de Flota Óptima

Para una mejor toma de decisiones en base a los datos del punto anterior donde se mostró el comportamiento ideal del sistema. Se elaboró la siguiente gráfica en el que se muestra el tiempo de espera en cola, número promedio de volquetes en cola y porcentaje de utilización de la excavadora, según la cantidad de volquetes.

Figura 8

Simulación del Sistema con N Volquetes



Nota: Las barras de gráfica muestran el porcentaje en aumento según la cantidad de volquetes,

La flota de volquetes según la gráfica puede aumentarse indefinidamente para aumentar la utilización de la excavadora, sin embargo se debe tener en cuenta que de sobredimensionar la flota, el servidor pasará a aumentar su eficiencia aún más pero los tiempos de espera se vuelven cada vez mayores e insostenibles con respecto los tiempos de espera que se traduce en costos, siendo una determinante clave al momento de dimensionar la flota y definir si cierta cantidad de volquetes pueden compensar los costos.

IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

A continuación, el capítulo de discusión está enfocado en interpretar y analizar en profundidad los resultados obtenidos en el proceso operativo. Asimismo, se contrastan y comparan los principales indicadores derivados de los datos recolectados y procesados, los cuales son presentados y visualizados a través de tablas y gráficos estadísticos. El análisis se fundamenta tanto en la teoría de colas como en estudios previos relevantes, identificando coherencias, diferencias y factores que podrían explicar el comportamiento observado. Finalmente, se busca discutir de manera crítica y sistemática los resultados, reconocer posibles limitaciones y aportar recomendaciones para optimizar la operación, sustentando así el logro de los objetivos planteados y la validez de la metodología empleada.

4.1. Discusión

La utilización deficiente de la excavadora en el carguío tiene relación con los factores de ineficiencia, principalmente por cambio de actividades que se realiza ya sea de manera obligatoria o inesperada, ya que, si los volquetes cambian de frente de actividades, ya sea por ejemplo para movimientos internos de material, la excavadora tendrá que repartirse ahora en 2 actividades puesto que es la única en el proyecto, generando así su baja utilización respecto a la actividad principal de carguío y acarreo, además de dejar congestionada la cola de espera en caso de la llegada de volquetes en esos momentos.

Los factores pueden ser clasificados como externos, tales como deficiencia de vías que por lo general comprende baches, desniveles, polución de polvo o falta de compactación y esto se traduce en una reducción de velocidad para evitar accidentes y esto a su vez en ciclos más largos con menos cantidad de viajes por día, en segundo lugar está el tráfico ya que una parte crucial del recorrido de los volquetes se encuentra sobre rutas públicas compartidas por otros vehículos

externos, lo que puede ocasionar que los volquetes queden atrapados fuera del área controlada de la operación.

Por otro lado factores internos como cambio de actividades ya sea por necesidad del proyecto o descoordinación impactan negativamente en las metas diarias de movimiento de material, las fallas mecánicas y el mantenimiento preventivo van de la mano ya que un mal mantenimiento puede conllevar a fallas críticas de los equipos, el limitado tiempo para realizar un viaje o falta de material indican que falta una optimización en la programación de actividades, la ubicación del abastecimiento también indica que no hay un punto fijo o horario para abastecer resultando en tiempos muertos para el proyecto, y finalmente el servicio de neumáticos conlleva a paralizaciones si las coordinaciones no se dan adecuadamente con el proveedor.

Al aplicar la teoría de colas, la excavadora debería encontrarse a un 30.71% de utilización y por contraparte una ociosidad del 69.29% de probabilidad. No obstante al comprobar, se observaron que los datos obtenidos en la teoría contrastaban con la realidad mostrando irregularidades en el proyecto como el número promedio de volquetes en cola (L_q), el cual debería ser aproximadamente 0 con una probabilidad del 22 % de encontrarse al menos 1 volquete y el tiempo promedio de espera en cola (W_q) debería ser 0.82 minutos; En el campo se evidencia que al menos hay 3 volquetes esperando en promedio 15 minutos a ser atendidos, por lo que el comportamiento del proyecto tiene limitantes, factores de ineficiencia que dificultan una operación ideal, siendo los cambios de actividades y fallas mecánicas los principales causantes.

4.1.1. Implicancias

Los resultados obtenidos evidencian la baja utilización de la excavadora indicando un importante potencial para mejorar la productividad mediante la mejora de los procesos operativos. Abordar los factores permitirá que los valores teóricos se plasmen en la realidad, ocasionando así

una disminución de los tiempos muertos, un aumento de la utilización de la excavadora, y por consiguiente un aumento de la eficiencia operativa y mayores ingresos al proyecto, sin embargo, como se planteó en los resultados del tercer objetivo, aunque el comportamiento ideal puede mejorar en la utilización de la excavadora al aumentar el número de volquetes, lo que significaría más viajes e ingresos, pero por otro lado, también aumentaría los tiempos de espera y número de volquetes en cola, por lo que se debe tener en cuenta que el incremento de dicha flota sea económicamente viable para el proyecto.

La investigación contribuye al conocimiento teórico al demostrar la utilidad de la teoría de colas como una herramienta de análisis para comprender mejor el comportamiento de un sistema, permitiendo calcular los tiempos de espera y anticiparlos al proyectar más clientes o servidores en el sistema.

Metodológicamente, el estudio demuestra que es posible evaluar una operación al comparar mediciones reales con el modelo matemático de la teoría de colas. Además, el uso de herramientas como Microsoft Excel y POM-QM demuestra que la teoría de colas puede aplicarse de forma, sencilla y rápida. Esto significa que otros investigadores pueden adoptar esta metodología de contraste para diagnosticar sus operaciones y así determinar la brecha existente entre su desempeño real e ideal.

4.1.2. Limitaciones

El limitado tamaño de muestra y la restricción en el acceso a la información económica del proyecto fueron limitaciones. Si bien estas condiciones no impidieron aplicar la teoría de colas, si restringieron el alcance del análisis y condicionaron el enfoque del estudio a cantidad volquetes y tiempos, excluyendo el análisis de los costos.

4.2. Conclusiones

La teoría de colas fue fundamental en el diagnóstico del ciclo de carguío y acarreo, ya que con su aplicación se puede entender mejor el comportamiento del proyecto y así identificar limitaciones operativas y posibles aportes de mejora en el ciclo y por consecuencia en la eficiencia operativa del proyecto. Esto se respalda con el trabajo de investigación de Mendoza (2020) quien concluye que la teoría de colas estudia efectivamente los tiempos de espera, ofreciendo lo necesario para tomar decisiones en la mejora de un servicio.

Con respecto al primer objetivo específico, el rendimiento del ciclo de carguío y acarreo de la flota fue evaluado mediante el análisis de indicadores empíricos, haciendo uso de gráficos y tablas que permitieron identificar el comportamiento de la actividad. Los resultados evidencian que la cantidad de viajes por volquete presenta una distribución asimétrica; el análisis de la eficiencia operativa indica que menos de la mitad del tiempo se usa para mover material mientras que el resto para labores complementarias; el ciclo de los volquetes presenta uniformidad en la mayoría siendo 70.34 min el tiempo promedio. Finalmente se identificaron factores de ineficiencia operativa que limitan el rendimiento del sistema, destacando principalmente el cambio de actividades y fallas mecánicas.

Para el segundo objetivo específico se determinó el comportamiento ideal de la actividad de carguío y acarreo, de forma similar a Acuña y Hoyos (2023), quienes usaron la teoría de colas para estimar la utilización, los clientes y su tiempo de espera. En la presente investigación, haciendo uso de fórmulas establecidas del modelo seleccionado (M/M/1 de población finita) de la teoría de colas, se concluye que el sistema presenta estabilidad, ya que la tasa de llegada de los volquetes no supera la capacidad de atención del servidor por lo que este solo se encuentra siendo utilizado en un 30.71% de su capacidad evidenciando una subutilización, lo que indica que no

existe formación crítica de colas, pero sí un margen significativo para optimizar la asignación de recursos y mejorar el aprovechamiento de la capacidad operativa disponible.

En el tercer objetivo específico, la comparación entre el rendimiento ideal obtenido mediante la aplicación de la teoría de colas y la realidad problemática indicó a favor de la teoría una variación de 96.3% en el número promedio de volquetes en cola y 94.5% en el tiempo promedio de espera en cola. Según la investigación de Costa y Castaño (2015) y Malca (2021), la reducción de los tiempos de espera puede lograrse mediante una adecuada configuración del sistema, por lo que, al buscar el dimensionamiento de la flota para que funcione de manera más eficiente, se concluye que el incremento de los volquetes aumenta la utilización del servicio (excavadora), no obstante también los tiempos y cantidad de volquetes en cola, por lo que, seleccionar la flota óptima deberá ser determinado tomando en cuenta los costos.

V.RECOMENDACIONES

Para factores internos que en su mayoría recaen principalmente en la dirección y gestión de la flota, se deben dimensionar, requerir y designar adecuadamente los recursos necesarios no solo para la actividad principal, sino para cada actividad del proyecto, esto de la mano con una programación diaria fija, ya que el hecho de compartir los recursos de una actividad principal a una secundaria de manera recurrente, genera tiempos muertos entre el traslado de un área a otra de los mismos recursos (Excavadora y/o volquetes) y paralizaciones de actividades en el área que prestó dichos recursos.

Para factores externos, la operación debería implementar un plan de mantenimiento preventivo para las vías, considerar rutas alternas para situaciones de congestión y generar horarios coordinados entre la salida de volquetes y vigías ya que son de suma importancia en el control de tráfico al momento de la incorporación del volquete a la vía pública.

Se sugiere para futuras investigaciones incorporar la magnitud de los factores limitantes en los proyectos, ya que esto puede ayudar a comprender mejor la relación existente de los factores con los tiempos de espera, logrando que el modelo sea más predecible.

Así mismo se puede considerar la integración de técnicas complementarias, como Lean Mining y simulaciones avanzadas de eventos discretos, que permitan evaluar escenarios dinámicos y propuestas operativas más innovadoras y detalladas así como la incorporación de variables relacionadas con la calidad y mantenimiento de las rutas de acarreo, también como la influencia del tráfico externo sobre los tiempos de traslado, para obtener un modelo más completo y realista.

VI. REFERENCIAS

- Acuña Bazan, W. O., y Hoyos Gil, 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 licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/34834>
- Cabanillas Perez, R. S. (2023). *Aplicación de la teoría de colas para incrementar la producción en el proceso de carguío y acarreo en una mina de cobre del sur del Perú, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/36824>
- Cerdan Lopez, A., y Garcia Mendoza, E. R. (2021). *Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca, 2020* [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/27122>
- Costa Salas, Y. José, y Castaño Pérez, N. J. (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23(3), 372-382. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000300006>
- CUCEA. (2018). Modelos de teorías de colas y líneas de espera. Jalisco, México. Obtenido de http://repositorio.cucea.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/467/3/Teorias_colas.pdf
- Dessureault, S. (2009). *Operational equipment technology*. Arizona: Mining and Geological Engineering, University of Arizona.
- Flores De La Mota, I. (2023). *Introducción a la Teoría de Colas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/RepoFi/18553/6/Teoria_de_colas_%282023%29.pdf

Hillier, F. S., y Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. (9ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Linares Cos, J., Vilalta Alonso, J. A., y Garza Ríos, R. (2020). La teoría de colas aplicada a una Oficina Comercial de Telecomunicaciones. *Ingeniería Industrial*, *XLI*(2), e4118

Lins de Noronha, O., Cano Nuñez, A. E., dos Reis, A. F., y Arroyo Ortiz, C. E. (2018). Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas. *Interfases*, (11), 43-55.

Malca Villanueva, M. L. (2021). *Teoría de colas para disminuir tiempos de espera en el área de atención al cliente en la empresa E. P. S. SEDACAJ S. A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28672>

Martínez Aguilar, E. E. (2019). *Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold SAC*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú] – Facultad de Ingeniería de Minas – Huancayo – Perú.

Rabanal Rodríguez, A. C., y Zuñiga Valderrama, R. M. (2024). *Aplicación de la teoría de colas para reducir el tiempo de espera en una empresa del sector financiero* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/43738>

Rodríguez Salinas, D. E. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: Análisis de prioridades de atención según rendimiento.*

Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/1788>

Schwars, M. (2017). Teoría de colas aplicado a la industria minera. Tesis de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Ingeniería.

VII. ANEXOS

7.1. Tabla de Simulación de la Flota

| Cantidad de Volquetes | Utilización | Variación respecto a 10 Volquetes | Tiempo promedio de espera en cola (Wq) | Número promedio de Volquetes en cola (Lq) |
|-----------------------|-------------|-----------------------------------|--|---|
| | | | | |

7.2. Tabla de Comparación de la Realidad Problemática vs la Teoría de Colas

| Variable | Realidad | Teoría de colas | Variación |
|----------|----------|-----------------|-----------|
| (Lq) | | | |
| (Wq) | | | |

7.3. Tablas de Recolección de Tiempos

| Equipo | Carguío (Min) | Traslado a Enmallar (Min) | Enmallado (Min) | Traslado a DME (Min) | Quitar Malla (Min) | Traslado a Descarga (Min) | Descarga (Min) | Retorno a Carguío (Min) |
|--------|------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | |

7.4. Tabla Resumen del Modelo

| Item | Descripción | Cod. | Valor | Unidad |
|------|---|-------------|-------|--------|
| a | Probabilidad de excavadora inoperativa | P_0 | | |
| b | Utilización de la excavadora | ρ | | |
| c | Probabilidad de N volquetes | P_n | | |
| d | Promedio de Volquetes en la cola | L_q | | |
| e | Promedio de Volquetes en el sistema | L | | |
| f | Tiempo promedio de espera en cola | W_q | | |
| g | Tiempo promedio de espera en el sistema | W | | |
| h | Tasa efectiva de llegada | λ_e | | |

7.5. Panel Fotográfico

Vías de acarreo y zona de estacionamiento de la operación



Cola de volquetes



Proceso de carguío a un volquete



Enmallado de volquetes



Descarga de material



Vista aérea del proyecto



7.6. Tiempo promedio de las Etapas en el ciclo de Carguío y Acarreo

| Equipo | Carguío (Min) | Traslado a Enmallar (Min) | Enmallado (Min) | Traslado a DME (Min) | Quitar Malla (Min) | Traslado a Descarga (Min) | Descarga (Min) | Retorno a Carguío (Min) |
|---------------|--------------------------|--|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|--|
| CV-005-CAP | 2.26 | 1.37 | 3.43 | 28.20 | 1.48 | 3.27 | 1.25 | 26.16 |
| CV-007-CAP | 2.29 | 1.42 | 3.43 | 28.33 | 1.49 | 3.29 | 1.29 | 25.74 |
| CV-008-CAP | 2.24 | 1.43 | 3.47 | 28.31 | 1.45 | 3.25 | 1.23 | 26.22 |
| CV-016-CAP | 2.24 | 1.31 | 3.29 | 27.33 | 1.49 | 3.21 | 1.26 | 26.91 |
| CV-017-CAP | 2.24 | 1.51 | 3.47 | 29.64 | 1.52 | 3.34 | 1.31 | 27.20 |
| CV-018-CAP | 2.23 | 1.41 | 3.40 | 29.02 | 1.45 | 3.30 | 1.28 | 26.18 |
| CV-021-CAP | 2.27 | 1.37 | 3.51 | 28.57 | 1.52 | 3.35 | 1.25 | 26.52 |
| CV-022-CAP | 2.28 | 1.42 | 3.35 | 27.68 | 1.46 | 3.32 | 1.32 | 26.62 |
| CV-032-CAP | 2.23 | 1.39 | 3.31 | 28.23 | 1.48 | 3.34 | 1.21 | 25.25 |
| CV-033-CAP | 2.28 | 1.41 | 3.37 | 29.02 | 1.50 | 3.29 | 1.25 | 25.73 |

Nota: Esta tabla muestra los tiempos promedio que realiza cada volquete en las diferentes etapas del carguío y acarreo del proyecto.

7.7. Matriz de Consistencia

| PROBLEMA | HIPÓTESIS | OBJETIVO GENERAL | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | VARIABLES | METODOLOGÍA | POBLACIÓN / MUESTRA |
|--|---|--|---|--|---|---|
| ¿Cuál es el aporte de la Teoría de Colas en la optimización de la eficiencia del ciclo de Carguío y Acarreo de la flota del proyecto, Chimbote 2025? | La Teoría de colas aporta las bases para la optimización del Ciclo de Carguío y Acarreo, permitiendo proponer acciones de mejora en el del proyecto, Chimbote 2025. | Determinar el aporte de la Teoría de Colas en la optimización de la eficiencia del Ciclo de Carguío y Acarreo de la flota del proyecto, Chimbote 2025. | <p>Evaluar el rendimiento actual del ciclo de carguío y acarreo de la flota, mediante el análisis de indicadores empíricos.</p> <p>Determinar el comportamiento ideal del ciclo de carguío y acarreo de la flota mediante la aplicación de un modelo de Teoría de Colas.</p> <p>Contrastar el rendimiento real del ciclo de carguío y acarreo con la teoría de colas y analizar una simulación de escenarios.</p> | <p>Variable Independiente: Teoría de colas</p> <p>Variable Dependiente: Ciclo de carguío-acarreo</p> | <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Descriptivo - Comparativo</p> <p>Diseño: No Experimental - transversal</p> <p>Técnicas: Observación, análisis documental</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación, ficha de análisis documental</p> | <p>Población: 10 Volquetes 01 Excavadora</p> <p>Muestra: Muestra censal</p> |

7.8. Matriz de Operacionalización de Variables

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIÓN | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|---------------------------------|---|--|----------------------------|--|-----------------------|
| V.I: Teoría de colas | Conjunto de modelos matemáticos que describen líneas de espera en sistemas reales, buscando un estado estable y una capacidad de servicio óptima. | Se mide mediante las dimensiones: eficiencia operativa, capacidad de atención y congestión del sistema, usando ficha de análisis documental. | Capacidad de respuesta | Capacidad de atención y tasa de llegada (μ_λ) Utilización del sistema | Razón |
| | | | Tiempo Ocioso | Probabilidad del Ocio del sistema (P_0) | |
| | | | Número de clientes en cola | Probabilidad de N voquletes en el sistema (P_n) | |
| | | | Tiempos de esperas | Tiempo promedio de espera en cola y sistema (W_Wq) Promedio de Volquetes en cola y sistema (L_Lq) | |
| V.D: Ciclo de carguío - acarreo | Etapas del proceso minero que incluyen la carga del material extraído y su transporte hasta el punto de descarga. | Se mide mediante la dimensión rendimiento, usando ficha de análisis documental. | Rendimiento | Viajes por turno Eficiencia Tiempo de ciclo | Razón |