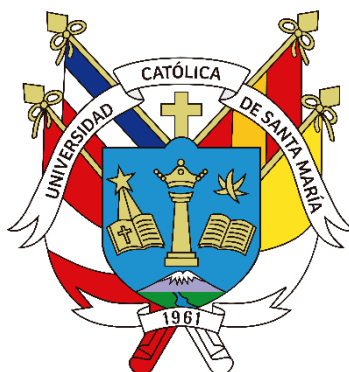


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**Análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras utilizando la
aplicación power bi para la comparación de rendimientos y detección de
patrones operativos**

Tesis presentada por el Bachiller:

Ara Flores, Carlo Francisco

ORCID: 0009-0007-3975-6250

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Mg. Paredes Salas, Omar Willy

ORCID: 0009-0000-9860-6630

Arequipa - Perú

2024

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Octubre del 2024

Dictamen: 011447-C-EPIM-2024

Visto el borrador del expediente 011447, presentado por:

2015220021 - ARA FLORES CARLO FRANCISCO

Titulado:

**ANÁLISIS DE VELOCIDADES EN LA GESTIÓN DE FLOTAS MINERAS UTILIZANDO LA
APLICACIÓN POWER BI PARA LA COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS Y DETECCIÓN DE
PATRONES OPERATIVOS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO DE MINAS

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



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



**09875174 - ESQUIVIAS OTAZU JOSE LUIS
DICTAMINADOR**



Análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras utilizando la aplicación power bi para la comparación de rendimientos y detección de patrones operativos

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	2%
	Trabajo del estudiante	
2	www.coursehero.com	1%
	Fuente de Internet	
3	dspace.unitru.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	itq.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
5	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.undac.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%

DEDICATORIA

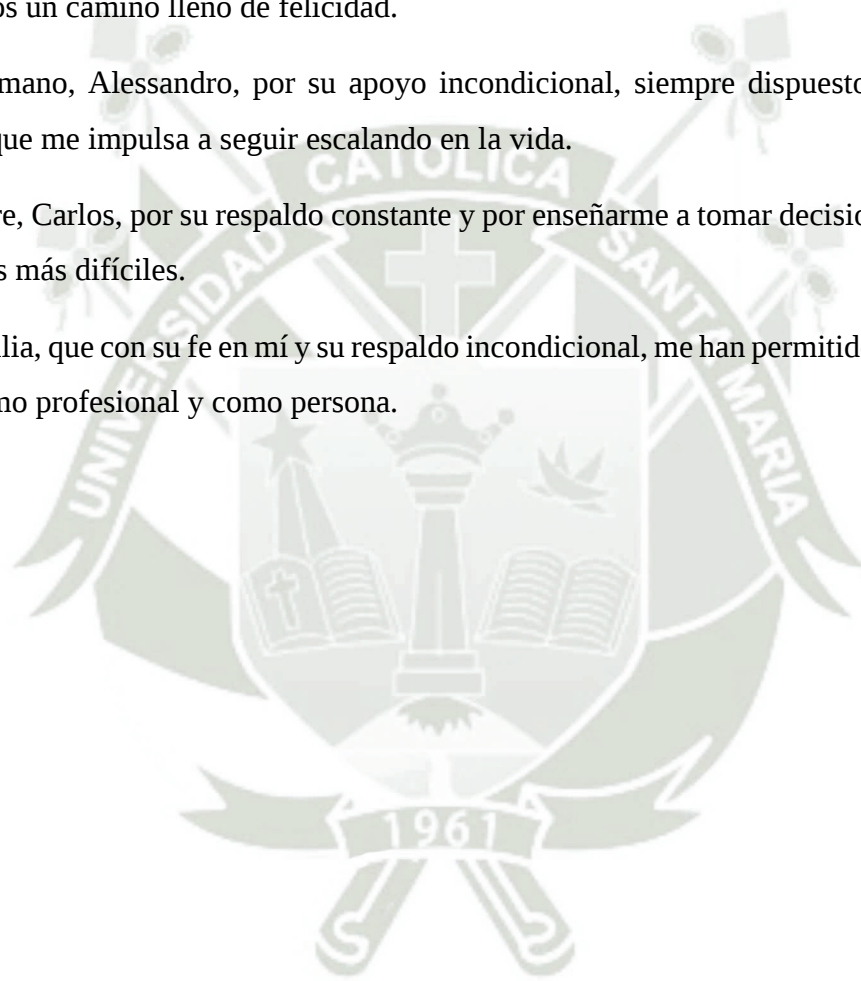
A mi madre, Monika, quien siempre me motivó a seguir adelante y me brindó todo el amor incondicional que necesita un hijo para crecer y ser mejor cada día. Hoy, desde el cielo, sigue siendo mi inspiración para cumplir todos mis objetivos.

A mi amada novia, Flavia, por estar a mi lado desde el principio con un amor incondicional. Su paciencia, comprensión y apoyo han sido fundamentales para superar cada desafío, y juntos recorreremos un camino lleno de felicidad.

A mi hermano, Alessandro, por su apoyo incondicional, siempre dispuesto a ayudarme sin dudar, y que me impulsa a seguir escalando en la vida.

A mi padre, Carlos, por su respaldo constante y por enseñarme a tomar decisiones firmes en los momentos más difíciles.

A mi familia, que con su fe en mí y su respaldo incondicional, me han permitido alcanzar nuevas metas como profesional y como persona.



AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Católica de Santa María, por proporcionarme los conocimientos y herramientas necesarios para destacar profesionalmente. Agradezco también a mis catedráticos, quienes me apoyaron y guiaron desde el inicio de mi formación.

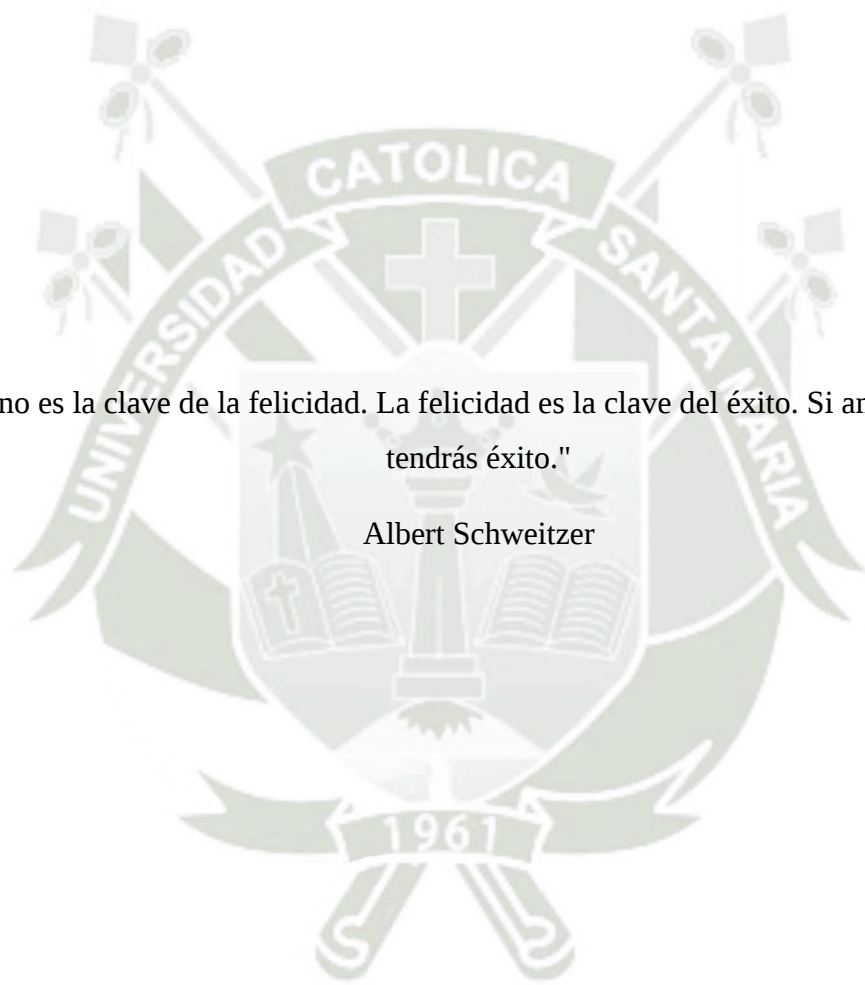
A mis padres, por brindarme la confianza y la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera en una universidad tan prestigiosa, su apoyo ha sido fundamental en este camino.



EPÍGRAFE

"El éxito no es la clave de la felicidad. La felicidad es la clave del éxito. Si amas lo que haces,
tendrás éxito."

Albert Schweitzer



RESUMEN

La presente tesis aborda el análisis de las velocidades de las flotas mineras utilizando la herramienta de Business Intelligence Power BI, con el objetivo de optimizar la gestión operativa y la seguridad en la industria minera. El problema central identificado es la falta de un análisis profundo del comportamiento operativo de los camiones mineros, especialmente en términos de velocidad y movilidad, lo que lleva a un subaprovechamiento de recursos y a posibles riesgos de seguridad.

La investigación se propone desarrollar un dashboard en Power BI que permita la visualización y análisis de las velocidades de las flotas mineras, comparando velocidades reales con planificadas e identificando patrones críticos de velocidad. La metodología incluye la recolección de datos operativos, su procesamiento y análisis mediante Power BI, así como la identificación de patrones y tendencias en los datos.

Los resultados obtenidos muestran que el uso de Power BI facilita la comparación entre velocidades reales y planificadas, permitiendo identificar discrepancias y áreas de mejora en la gestión de flotas. Además, se destacan patrones operativos que pueden influir en la eficiencia y seguridad operativa, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

La implementación de este sistema no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a una mayor seguridad en las operaciones mineras. Se concluye que Power BI es una herramienta valiosa para el análisis y optimización de la gestión de flotas mineras, con potencial para extenderse a otros tipos de análisis operativos en el futuro.

Este trabajo aporta al campo de la ingeniería de minas al demostrar cómo tecnologías emergentes pueden ser aplicadas para mejorar procesos críticos, ofreciendo una solución práctica y efectiva para la industria. La investigación subraya la importancia de un análisis detallado y accesible, y propone un enfoque innovador para abordar los desafíos actuales en la gestión de flotas mineras.

Palabras Clave: Gestión de flotas mineras, Análisis de velocidades, Business Intelligence.

ABSTRACT

This thesis addresses the analysis of mining fleet speeds using the Business Intelligence tool Power BI, with the aim of optimizing operational management and safety in the mining industry. The central problem identified is the lack of an in-depth analysis of the operational behavior of mining trucks, especially in terms of speed and mobility, leading to underutilization of resources and potential safety risks.

The research aims to develop a dashboard in Power BI that allows the visualization and analysis of mining fleet speeds, comparing actual speeds with planned ones and identifying critical speed patterns. The methodology includes the collection of operational data, its processing and analysis using Power BI, as well as the identification of patterns and trends in the data.

The results show that the use of Power BI facilitates the comparison between actual and planned speeds, allowing the identification of discrepancies and areas for improvement in fleet management. Additionally, operational patterns that can influence operational efficiency and safety are highlighted, providing a solid basis for strategic decision-making.

The implementation of this system not only improves operational efficiency but also contributes to greater safety in mining operations. It concludes that Power BI is a valuable tool for the analysis and optimization of mining fleet management, with potential to extend to other types of operational analysis in the future.

This work contributes to the field of mining engineering by demonstrating how emerging technologies can be applied to improve critical processes, offering a practical and effective solution for the industry. The research emphasizes the importance of detailed and accessible analysis and proposes an innovative approach to addressing current challenges in mining fleet management.

Key Words: Mining fleet management, Speed and data analysis, Business Intelligence.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

EPÍGRAFE

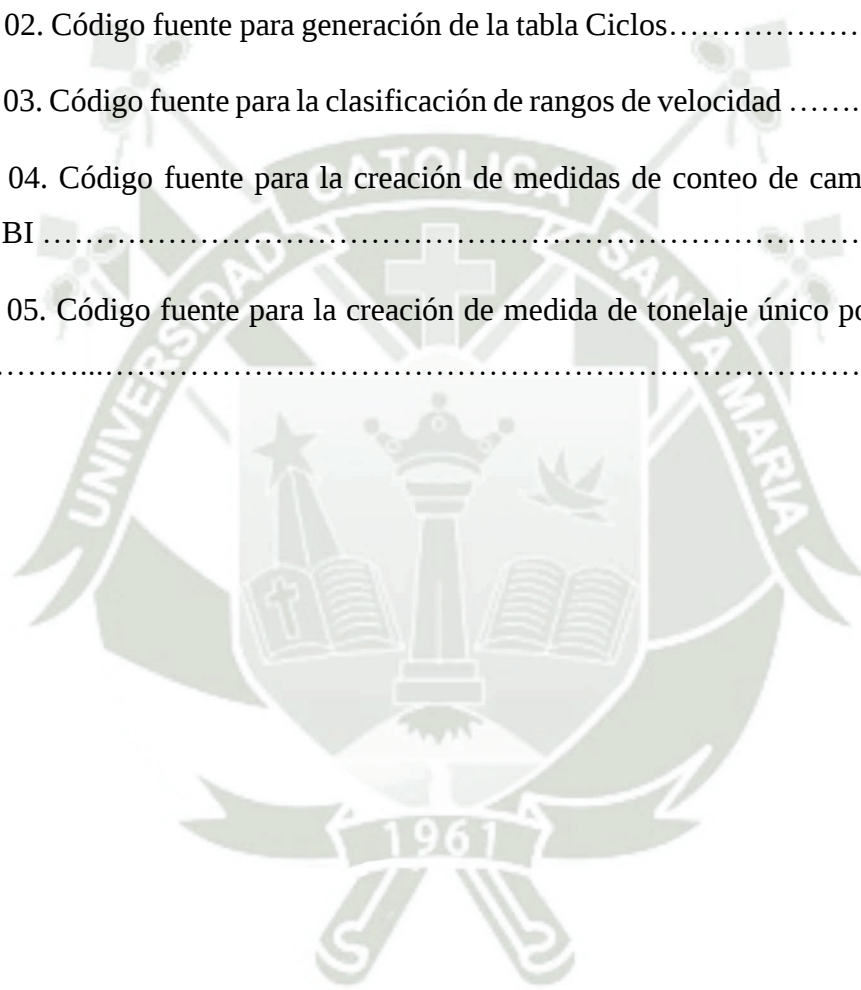
RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Objetivos de la Investigación.....	5
1.2.1. General	5
1.2.2. Específicos	5
1.3. Preguntas de Investigación	5
1.3.1. Interrogante General	5
1.3.2. Interrogantes Básicas	5
1.4. Palabras Clave	6
1.5. Área del Conocimiento	6
1.6. Solución Propuesta	6
1.6.1. Justificación e Importancia	6
1.6.2. Descripción de la Solución	7
CAPÍTULO II	9
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
2.1. Estado del Arte	10
2.1.1. Bases Teóricas de la Investigación	10
2.2. Antecedentes de la Investigación	14
2.3. Hipótesis	21
2.4. Variables	21
CAPÍTULO III	23

MARCO METODOLÓGICO	23
3.1. Alcance de la Investigación.....	24
3.2. Limitaciones de la Investigación	25
3.3. Aportes de la Investigación	25
3.3.1. Avance Tecnológico en la Gestión Minera	25
3.3.2. Mejora de la Eficiencia Operativa	26
3.4. Tipo y Nivel Investigación	26
3.5. Población y Muestra	26
3.5.1. Población	26
3.5.2. Muestra	27
3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	27
3.6.1. Descripción de la Técnica	27
3.6.2. Instrumentos de Recolección de Datos	27
3.6.3. Proceso de Análisis de Datos	28
3.6.4. Esquematización	28
3.6.5. Recursos	28
3.7. Plan para Manejar los Resultados	29
3.7.1. Plan de Procesamiento	29
3.7.2. Plan de Resultados	29
3.8. Desarrollo del Dashboard en Power BI	29
3.8.1. Recolección y Preparación de Datos	30
3.8.2. Desarrollo y Configuración de Power BI	35
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
4.1. Diseño	39
4.2. Análisis de Velocidades por Flota	42
4.3. Análisis de Velocidades por Camión	44
4.4. Detección de Patrones Operativos	45
4.5. Análisis de Velocidad con Uso de Filtros	47
4.5.1. Uso del Mapa Mina Velocidad	47
4.5.2. Integración de filtros en el análisis de velocidades	49
4.6. Comprobación de Hipótesis	54

CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	61
Anexo 01. Código fuente para generación de la tabla Ciclo Descarga	61
Anexo 02. Código fuente para generación de la tabla Ciclos.....	63
Anexo 03. Código fuente para la clasificación de rangos de velocidad	65
Anexo 04. Código fuente para la creación de medidas de conteo de camiones y ciclos en Power BI	66
Anexo 05. Código fuente para la creación de medida de tonelaje único por ciclo en Power BI	67



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Construcción tabla Ciclo Descarga	31
Tabla 02: Ciclo Descarga (Parcial)	32
Tabla 03: Construcción tabla Ciclos	33
Tabla 04: Ciclos (Parcial)	34



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Velocidad promedio por día	40
Gráfico 02: Velocidad promedio por hora	41
Gráfico 03: Velocidad por día Camión Komatsu 980 E	44
Gráfico 04: Velocidad por día Camión CAT 798 AC	44
Gráfico 05: Velocidad Promedio vs Velocidad Planificada	45
Gráfico 06: Velocidad por hora Camión Komatsu 980 E	46
Gráfico 07: Velocidad por hora Camión	46



ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 01 : Flujograma del desarrollo dashboard en Power BI para el Análisis de Velocidades y Gestión de Flotas Mineras utilizando Power BI	30
Ilustración 02: Creación columna VelocidadRango	36
Ilustración 03: Mapa de mina con puntos gps georreferenciados	40
Ilustración 04: Cuadros informativos	41
Ilustración 05: Filtros disponibles	42
Ilustración 06: Filtro Modelo Camión	43
Ilustración 07: Análisis específico en un tramo de la mina	47
Ilustración 08: Análisis específico en un tramo de la mina utilizando velocidades planificadas	48
Ilustración 09: Aplicación filtro fecha	49
Ilustración 10: Aplicación filtro Modelo Camión	49
Ilustración 11: Aplicación filtro Tipo de ciclo	50
Ilustración 12: Aplicación filtro Tipo Descarga	50
Ilustración 13: Aplicación filtro Pala	51
Ilustración 14: Aplicación filtro Turno	51
Ilustración 15: Aplicación filtro Operador	52
Ilustración 16: Aplicación filtro Camión	52
Ilustración 17: Ranking Operadores	53
Ilustración 18: Aplicación de todos los filtros	54

INTRODUCCIÓN

La industria minera enfrenta desafíos significativos en la gestión eficiente de sus flotas, un componente esencial para el éxito operativo y la seguridad en el entorno minero. La optimización de recursos y la reducción de costos operativos son cruciales, pero los métodos tradicionales frecuentemente carecen de un análisis profundo del comportamiento operativo, especialmente en términos de velocidad y movilidad. Esta falta de análisis detallado resulta en un desaprovechamiento de recursos y un incremento potencial en los riesgos operativos.

En este contexto, la presente tesis se centra en el uso de la herramienta de Power BI para el análisis de las velocidades de las flotas mineras. Power BI permite una visualización y análisis avanzado de datos, facilitando la identificación de patrones operativos y la comparación entre velocidades reales y planificadas. La implementación de esta herramienta puede contribuir significativamente a la toma de decisiones estratégicas basadas en datos, mejorando tanto la eficiencia operativa como la seguridad.

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un análisis detallado en Power BI que permita la visualización y análisis detallado de las velocidades de las flotas mineras. Los objetivos específicos incluyen la comparación de velocidades reales con planificadas y la identificación de patrones críticos de velocidad que puedan influir en la eficiencia y seguridad operativa.

Para abordar estos objetivos, se empleará una metodología que incluye la recolección de datos operativos, su procesamiento y análisis mediante Power BI, y la identificación de patrones y tendencias en los datos. Los resultados esperados de esta investigación proporcionarán una base sólida para mejorar la gestión de flotas en operaciones mineras y ofrecerán un enfoque innovador para resolver los desafíos actuales en este campo.

La importancia de este estudio radica en su contribución al campo de la ingeniería de minas, demostrando cómo las tecnologías emergentes pueden aplicarse para optimizar procesos críticos. Al final de este documento, se espera que los hallazgos ayuden a las empresas mineras a mejorar sus operaciones y a los profesionales a aplicar soluciones de Business Intelligence en sus actividades diarias.

La tesis se estructura de la siguiente manera: en el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación; el Capítulo II revisa los fundamentos teóricos y el estado del arte; el Capítulo III describe la metodología empleada; el Capítulo IV analiza los datos y presenta los resultados; finalmente, el se presentan las conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio.





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La industria minera enfrenta retos significativos en la gestión eficiente de flotas, un aspecto vital para el éxito operativo y la seguridad. Aunque la eficiencia en el manejo de flotas de vehículos mineros es esencial para asegurar la optimización de recursos y la reducción de costos operativos, los métodos tradicionales a menudo carecen de un análisis en profundidad del comportamiento operativo, especialmente en términos de velocidad y movilidad (De La Cruz Romero, 2017). Esta brecha en el análisis detallado conduce a un subaprovechamiento de recursos y potencialmente a un aumento en los riesgos de seguridad.

La tecnología GPS, como se ve en el sistema "GO Tracking" desarrollado para una mina a cielo abierto, ha demostrado ser útil para la localización y rastreo de vehículos, mejorando así la eficiencia y disponibilidad de la flota (Huancaya Delgado et al., 2015). Sin embargo, estos sistemas a menudo no permiten la personalización necesaria para las operaciones específicas de la minería, destacando la necesidad de soluciones más innovadoras y adaptadas (Huancaya Delgado et al., 2015).

Según Yildirim (2021), el transporte de materiales representa hasta el 50% de los costos operativos en una mina a cielo abierto, lo que hace que la eficiencia de las flotas sea crucial para la rentabilidad. Además, las variaciones de velocidad en los camiones debido a malas condiciones de las vías, paradas innecesarias o desaceleraciones causadas por el uso excesivo de frenos, pueden reducir la disponibilidad de los equipos y aumentar el consumo de combustible en un 15% (Yildirim, 2021).

Un estudio realizado en la Universidad de Arizona mostró que una mejora en la gestión de la velocidad de los camiones, mediante el uso de sistemas de optimización y algoritmos para la gestión de intersecciones, puede reducir el tiempo de ciclo total en un 8%, disminuyendo así los costos operativos y mejorando la productividad (Vasquez Coronado, 2014). La implementación de sistemas de monitoreo de velocidad y análisis de rutas en tiempo real ha demostrado ser efectiva para optimizar las rutas de transporte y evitar los cuellos de botella que incrementan los tiempos muertos y el consumo de combustible.

Por tanto, esta investigación se enfoca en cómo Power BI puede ser utilizado para optimizar el análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras. Se explorará

cómo la implementación de esta herramienta puede mejorar la comparación de rendimientos y la detección de patrones operativos, llenando un vacío importante en la investigación y práctica actuales y contribuyendo a la toma de decisiones basada en datos y al mejoramiento continuo de las operaciones mineras. El objetivo es demostrar que Power BI puede ser una herramienta valiosa en la optimización de la gestión de flotas, permitiendo no solo la comparación entre las velocidades reales y las planificadas, sino también la identificación de áreas de mejora y la implementación de medidas correctivas para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad en el entorno minero.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. General

Desarrollar un análisis detallado de las velocidades de las flotas mineras utilizando Power BI para monitorear y comparar las velocidades reales y planificadas, identificar patrones operativos y comparar el rendimiento de los equipos, con el fin de detectar oportunidades de optimización en la gestión de flotas y mejorar la toma de decisiones operativas.

1.2.2. Específicos

- Implementar un dashboard en Power BI que permita la visualización, y análisis de las velocidades de las flotas mineras.
- Comparar velocidades reales con planificadas
- Identificar patrones de velocidad críticos.

1.3. Preguntas de Investigación

1.3.1. Interrogante General

¿Utilizar la aplicación Power Bi permitirá el análisis de velocidades en la gestión de flotas?

1.3.2. Interrogantes Básicas

- ¿Cómo se puede implementar la aplicación de Power BI para visualizar y analizar velocidades de las flotas mineras?
- ¿Qué patrones en las velocidades de las flotas pueden ser identificados mediante Power BI?

- ¿Cómo se pueden comparar las velocidades reales de las flotas con las planificadas utilizando Power BI?

1.4. Palabras Clave

- Gestión de flotas mineras.
- Análisis de velocidades y datos en minería.
- Power BI.
- Business Intelligence.

1.5. Área del Conocimiento

- 1.5.1.1. Área general: Ciencias e Ingenierías.
- 1.5.1.2. Área específica: Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales.
- 1.5.1.3. Especialidad: Ingeniería de Minas.
- 1.5.1.4. Línea: Optimización de procesos mineros.

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Justificación e Importancia

La optimización de procesos en la industria minera es fundamental para mejorar la eficiencia y la seguridad operativa, siendo la gestión de flotas uno de los aspectos más críticos en este sector. La motivación detrás de esta investigación radica en la necesidad de aprovechar al máximo las tecnologías emergentes, como Power BI, para llevar a cabo análisis de datos más sofisticados y útiles. El análisis de velocidades es un componente clave en la gestión de flotas, donde la identificación de patrones y comparaciones puede conducir a mejoras significativas en la operatividad y la seguridad.

Este estudio aportará al campo de la ingeniería de minas al demostrar cómo se puede utilizar Power BI para mejorar la gestión de flotas mineras. Los resultados proporcionarán información valiosa sobre cómo optimizar las operaciones, aumentar la eficiencia y mejorar la seguridad. Los beneficiarios directos incluyen a las empresas mineras que buscan mejorar sus operaciones y a los profesionales interesados en la aplicación de soluciones de Business Intelligence en su campo. Además, los hallazgos

podrían ser útiles para desarrolladores de software y analistas de datos que trabajan en la creación de herramientas para la industria minera.

La investigación se basará en datos recopilados de una operación minera utilizando Power BI para analizar y visualizar esta información. Aunque la investigación no utilizará datos en tiempo real de una mina específica, el uso de datos simulados o modificados para proteger la privacidad aún permitirá una evaluación efectiva de la herramienta. Esta aproximación garantiza la factibilidad de la investigación sin requerir acceso a recursos extensos o datos sensibles de una empresa específica.

1.6.2. Descripción de la Solución

La solución propuesta en esta investigación consiste en el desarrollo de un sistema avanzado para el análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras, utilizando la herramienta de Business Intelligence, Power BI. Este sistema se caracteriza por su capacidad para integrar, procesar y visualizar datos de velocidad de manera eficiente y efectiva. Mediante la utilización de Power BI, se facilitará la creación de visualizaciones interactivas y detalladas, permitiendo a los usuarios comprender rápidamente los patrones de velocidad, identificar áreas de preocupación y tomar decisiones informadas y basadas en datos.

Una característica central del sistema es su capacidad para realizar análisis comparativos, permitiendo comparar las velocidades reales de las flotas con las velocidades planificadas. Esto facilitará la identificación de discrepancias significativas, proporcionando una base sólida para mejorar la gestión de flotas. Además, el sistema destacará patrones y tendencias en los datos de velocidad, contribuyendo a una mejor comprensión de los factores que afectan la eficiencia operativa y la seguridad en la minería.

Se espera que la implementación de este sistema en Power BI mejore significativamente la eficiencia en la gestión de flotas mineras, optimizando los procesos operativos y mejorando la capacidad de los responsables de tomar decisiones estratégicas basadas en datos. Además, el sistema propuesto tiene el potencial de extenderse en el futuro para incluir otros tipos de análisis operativos, como el consumo de combustible, el mantenimiento de los vehículos y la gestión de la seguridad, ampliando así su aplicabilidad y utilidad.

Sin embargo, también se reconocen posibles desafíos como la necesidad de garantizar la calidad y la integridad de los datos. A pesar de estos desafíos, este sistema aborda directamente la falta de análisis detallado y accesible en la gestión de flotas mineras, ofreciendo una solución que mejora tanto la eficiencia operativa como la toma de decisiones estratégicas.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del Arte

2.1.1. Bases Teóricas de la Investigación

2.1.1.1. Gestión de Flotas en Minería

La gestión de flotas mineras se refiere al conjunto de estrategias y prácticas implementadas para supervisar y administrar los vehículos de una operación minera. Esto incluye el monitoreo de la ubicación, estado de carga, seguridad en la conducción y manipulación de carga de los vehículos, así como el análisis de costos operativos (De La Cruz Romero, 2017). Estos sistemas de gestión utilizan tecnologías avanzadas, como GPS y dispositivos móviles, para optimizar la productividad y reducir los tiempos muertos y costos operacionales.

2.1.1.2. Minestar Fleet

El sistema Minestar Fleet es una solución desarrollada por Caterpillar para la gestión de flotas mineras, que permite el seguimiento y control en tiempo real de las operaciones. Este sistema ofrece herramientas para rastrear la ubicación, carga y eficiencia de los camiones, lo que permite optimizar las rutas y el uso de los recursos. Su capacidad para integrar datos de diferentes fuentes operativas ayuda a los operadores a tomar decisiones informadas y a maximizar el rendimiento operativo, reduciendo tiempos muertos y mejorando la seguridad (Caterpillar, 2023).

2.1.1.3. Dispatch

El sistema Dispatch de Modular Mining es una de las herramientas más avanzadas para la gestión y optimización de flotas mineras. Este sistema utiliza algoritmos complejos para asignar de manera óptima los recursos de transporte y carguío, asegurando que los camiones y palas trabajen de forma coordinada y eficiente. Dispatch se destaca por su capacidad para gestionar las operaciones en tiempo real, lo que permite a los operadores ajustar la planificación sobre la marcha y reaccionar rápidamente ante imprevistos. Una de las principales ventajas de Dispatch es su habilidad para minimizar los tiempos de espera y aumentar la productividad operativa. El sistema monitorea continuamente el estado operativo de los equipos y genera alertas cuando se detectan posibles problemas de rendimiento o seguridad, permitiendo a los operadores tomar

decisiones informadas y mejorar la eficiencia general de la mina. Además, ofrece una visión detallada del ciclo de acarreo, lo que facilita la planificación a largo plazo y la mejora continua de las operaciones mineras (Modular Mining, 2023).

2.1.1.4. C4M

El sistema C4M (Control para Minería) de MS4M ofrece una plataforma de gestión integral que combina el análisis de datos, la planificación y la optimización de flotas mineras. El sistema está diseñado para ofrecer una visión completa y en tiempo real de las operaciones, permitiendo a los operadores monitorear el rendimiento de los equipos, analizar tiempos de ciclo y predecir fallos mecánicos. Una de las principales ventajas de C4M es su capacidad de integrar datos de distintas fuentes y áreas de la mina, proporcionando a los gerentes una herramienta potente para la toma de decisiones informadas. Además de gestionar las operaciones diarias, C4M incluye módulos especializados para el análisis predictivo y el mantenimiento preventivo, ayudando a las minas a evitar costosas interrupciones en sus actividades. Esto lo convierte en una herramienta esencial para las operaciones que buscan mejorar la productividad y reducir los costos operativos (MS4M, 2023).

2.1.1.5. Análisis de velocidades

El análisis de velocidades en la minería implica la evaluación del desempeño de vehículos de transporte en términos de sus velocidades registradas y las velocidades óptimas que son capaces de alcanzar. Este análisis ayuda a identificar brechas de rendimiento y factores de diseño que pueden afectar la velocidad, como los anchos de rampa y las zonas con curvas (Marambio Pizarro, 2010).

2.1.1.6. Acarreo

El acarreo en la minería se refiere al transporte de material roto desde los frentes de carguío hasta su lugar de descarga o destino final. Este proceso es una parte crucial en la cadena de producción minera y su eficiencia impacta directamente en la productividad de la mina (Morales Tripailaf 2018).

2.1.1.7. Optimización Operativa

La optimización operativa en la minería se enfoca en mejorar el rendimiento y la eficiencia de los procesos mineros. Implica el uso eficiente de recursos para maximizar la productividad y minimizar costos y riesgos. Esto puede incluir la mejora en la gestión de flotas, reducción de tiempos de inactividad, y mejora en la toma de decisiones (Huancaya Delgado et al., 2015)

2.1.1.8. Business Intelligence

Business Intelligence en la minería se refiere al uso de datos y tecnologías de información para mejorar la toma de decisiones y optimizar procesos mineros. Incluye la recolección, integración, análisis y presentación de datos de negocio para mejorar y optimizar decisiones y rendimiento (Olivares Miñano 2022).

2.1.1.9. Análisis de Datos

El análisis de datos en el contexto minero implica la recopilación, procesamiento y análisis de datos para mejorar la toma de decisiones y optimizar procesos. Esto incluye el uso de sistemas de gestión de flota para recopilar datos de GPS y realizar análisis en tiempo real para mejorar la productividad y eficiencia de la operación minera (Olivares Miñano 2022).

2.1.1.10. Power BI

Power BI es una herramienta de análisis empresarial que permite visualizar datos y compartir información a través de la organización, o incrustarlos en una aplicación o sitio web. Su aplicación en la minería, específicamente en el manejo de gran cantidad de datos, ha demostrado incrementar significativamente la productividad, ofreciendo una gestión y análisis de datos más eficiente (Evolvous 2023).

2.1.1.11. PowerQuery

Es una herramienta de manejo empresarial desarrollada por Microsoft, la cual permite conectar, combinar y transformar datos de diversas fuentes. Integrada en Excel y Power BI, facilita a los usuarios el manejo eficiente de grandes volúmenes de datos sin requerir conocimientos avanzados en programación. Power Query se distingue por su entorno visual intuitivo, que soporta desde simples importaciones y limpiezas de datos hasta

transformaciones complejas y automatización de procesos. Fue introducida como complemento para Excel en 2013, luego se integró en Power BI mejorando sus capacidades para la preparación y gestión de datos antes del análisis. Esta evolución la ha convertido en una herramienta esencial para analistas y profesionales de datos, permitiéndoles crear informes y dashboards dinámicos (Gilbert & Minick, 2018).

En la gestión de flotas mineras, Power Query se utiliza para integrar y transformar datos de diversas fuentes operativas, como sistemas GPS, sensores de equipos y bases de datos de gestión de flotas. Esta integración y limpieza de datos son esenciales para crear un conjunto de datos coherente y listo para el análisis en Power BI.

2.1.1.12. Dashboard

Es una herramienta de visualización de datos que muestra información crítica y relevante de manera gráfica y fácil de interpretar. Los dashboards se utilizan para monitorear, analizar y gestionar datos de forma eficiente, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas rápidamente. Se caracterizan por su capacidad para integrar y mostrar datos de diversas fuentes en una única interfaz, utilizando gráficos, tablas y otros elementos visuales que facilitan la comprensión de la información.

El concepto de dashboard se originó en la gestión empresarial y ha evolucionado con el avance de las tecnologías de la información. Inicialmente utilizados en sistemas de gestión empresarial, su popularidad ha crecido significativamente con la llegada de herramientas de Business Intelligence (BI) como Power BI. Estas herramientas permiten la creación de dashboards interactivos que no solo muestran datos en tiempo real, sino que también permiten a los usuarios explorar y analizar la información de manera dinámica (Evolvous, 2023).

2.1.1.13. Nuevas medidas

En Power BI, una "nueva medida" se refiere a una fórmula calculada creada para realizar análisis avanzados en los datos. Las medidas permiten a los usuarios generar cálculos dinámicos y personalizados que se actualizan automáticamente en función del contexto de los datos visualizados. Esta

funcionalidad es esencial para obtener insights detallados y precisos, y se basa en el lenguaje de fórmulas DAX (Data Analysis Expressions).

Las nuevas medidas en Power BI se calculan en tiempo real a medida que los datos se filtran y segmentan en los informes. Esto permite obtener resultados precisos y actualizados al instante. Las medidas se crean utilizando el lenguaje DAX, que proporciona una amplia gama de funciones para realizar cálculos complejos, como agregaciones, filtros, y cálculos de tiempo.

2.1.1.14. DAX (Data Analysis Expressions)

DAX, acrónimo de Data Analysis Expressions, es un lenguaje de fórmulas utilizado en Power BI, Power Pivot y Analysis Services de Microsoft. DAX permite a los usuarios realizar cálculos y crear columnas calculadas, tablas y medidas que enriquecen los modelos de datos. Su sintaxis está diseñada para ser fácil de aprender para los usuarios familiarizados con las fórmulas de Excel, pero también es lo suficientemente potente como para realizar análisis de datos complejos. DAX fue introducido por Microsoft junto con Power Pivot en Excel 2010 y ha evolucionado significativamente desde entonces. Su desarrollo ha estado impulsado por la necesidad de realizar análisis de datos avanzados y dinámicos dentro de las plataformas de BI de Microsoft. DAX se ha convertido en una herramienta esencial para los analistas de datos, permitiendo crear modelos de datos más ricos y personalizados (Microsoft, 2023).

2.2. Antecedentes de la Investigación

En la investigación “AntaMonitor, Control y monitoreo global de la flota de carguío y acarreo en Antamina”, elaborado por Emanuel, De La Cruz Romero (2017). El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un sistema personalizado que mejore la productividad de la flota de equipos pesados mediante soluciones tecnológicas, facilitando así la toma de decisiones en tiempo real. Los resultados indicaron que el sistema AntaMonitor permitió una mejor utilización de la flota y una

reducción de tiempos muertos, mejorando significativamente la productividad de las operaciones mineras.

En la investigación titulada “Sistema de apoyo a la gestión de una flota de vehículos en Compañía Minera Coimolache S.A.”, elaborado por Huancaya et al. (2015). Se exploró la implementación de un sistema de gestión llamado 'GO Tracking', utilizando tecnología GPS para la localización y rastreo de vehículos. La investigación, centrada en aumentar la eficiencia y disponibilidad de la flota, reveló que el sistema no solo permitía un monitoreo efectivo, sino que también ofrecía una mayor capacidad de personalización y rentabilidad. Además, una función clave del sistema era el seguimiento en línea de la velocidad del equipo móvil, que activaba una alarma en caso de exceso de velocidad, contribuyendo así a la seguridad de las operaciones."

En la investigación “Análisis de las velocidades de un camión en una operación minera a cielo abierto”, realizada por Jefferson Alejandro Morales Tripailaf (2018). El objetivo del autor era desarrollar una metodología para analizar el desempeño de un camión en rutas de transporte de una mina a cielo abierto, en términos de velocidades registradas por un sistema de gestión de flota y velocidades óptimas que el equipo podría alcanzar. El estudio se centró en identificar brechas donde el camión no alcanza su desempeño óptimo. Las velocidades registradas fueron recopiladas a través del sistema de gestión de flota utilizado por la mina, mientras que las velocidades óptimas se obtuvieron mediante simulación en software previamente calibrado a las condiciones operacionales del sitio minero. Se analizó un mes de operación de un camión Komatsu modelo 930E-4. El estudio también implicó la creación de un algoritmo para comparar estas velocidades y así identificar oportunidades de mejora, atribuyendo las principales causas a problemas de diseño como los anchos de rampa y zonas con curvas. El autor concluyó que el uso de tecnologías de la información y comunicación tiene un potencial significativo para mejorar los procesos mineros.

En la investigación "Efecto del Diseño Minero en la Velocidad de los Equipos de Transporte" realizada por Guillermo Antonio Marambio Pizarro (2010), se aborda el impacto del diseño minero, específicamente las rampas, en la velocidad de los camiones de extracción en la mina Radomiro Tomic de Codelco Norte. El objetivo principal era cuantificar y modelar este efecto, identificando las variables críticas de diseño que más impactan en la velocidad. Se buscó definir estas variables en colaboración con operadores y planificadores, y generar una base de datos replicable y útil para estudiar

las velocidades. El análisis se centró en cómo diferentes factores del diseño de rampas, como la pendiente, los cambios de pendiente, los angostamientos, y los switch backs, influían en la velocidad de los camiones. Los datos para el análisis se extrajeron de los GPS de los camiones y se alinearon con la topografía real de la mina. Se propuso un modelo lineal para ponderar las velocidades históricas obtenidas por los camiones en estas variables, calibrando finalmente el modelo. El resultado fue un modelo de velocidades que se ajusta a las variables definidas y que incluye submodelos de viaje cargado y vacío para cada flota. El estudio concluyó que ciertos factores en las rampas afectan significativamente las velocidades de los camiones, y que el modelo propuesto mejoraba la estimación de velocidades en comparación con las estimaciones actuales de la empresa.

En la investigación "Aplicación de Power BI para incrementar la productividad en el proceso de perforación en la unidad minera Cerro Corona", realizada por Jeferson Olivares Miñano (2022), se investiga cómo la implementación de Power BI puede mejorar la productividad en el proceso de perforación minera. El estudio, de tipo aplicado y con un enfoque cuantitativo descriptivo, se centra en dos tipos de perforadoras utilizadas en la mina: DML para taladros de producción y FlexiRoc para taladros de precorte. Los hallazgos revelan que la implementación de Power BI logró mejorar la gestión, visualización y análisis de datos, lo cual condujo a un incremento del 40% en la productividad, medida en metros perforados, en comparación con lo proyectado inicialmente para los equipos DML. Esto demuestra la importancia de Power BI en la gestión de información valiosa para mejorar la productividad en procesos mineros.

En el análisis "El Papel de Power BI en la Industria Minera", realizado por Evolvous (2023). Se exploró cómo Power BI se adapta a las necesidades de la industria minera, ofreciendo capacidades en tiempo real, herramientas de mapeo interactivo, y análisis predictivo para el mantenimiento de equipos. Power BI mejora la toma de decisiones en minería al proporcionar gestión de datos, monitoreo en tiempo real, y análisis financiero detallado.

En la investigación "Sistemas de Optimización de Flota en Minería: Impacto y Aplicaciones", analizada por CAMIPER (2023). Se destacó la importancia de los sistemas de optimización de flotas en la minería, que integran software y hardware para mejorar la productividad y reducir costos operacionales. Los sistemas permiten una

administración inteligente de la flota, un control efectivo de la salud del equipo minero y una programación lineal optimizada.

En el estudio "Beneficios del Monitoreo en Tiempo Real en Operaciones Mineras", publicado por Picterra (2023). Se examinó el impacto del monitoreo en tiempo real y la inteligencia en la minería, incluyendo la recopilación y análisis de datos a partir de diversas fuentes como satélites y drones. La integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático permite identificar problemas operativos, predecir escenarios futuros y mejorar la eficiencia operativa.

En el artículo de GroundHog Apps titulado "Mining Dashboards with Power BI" (2023), se destaca el desarrollo de dashboards y reportes de minería utilizando Power BI para proporcionar información instantánea. Estos dashboards son diseñados para garantizar que los equipos de planificación, operaciones, mantenimiento y seguridad de las minas trabajen de manera coordinada y eficiente. La implementación de Power BI permite análisis colaborativos y toma de decisiones impactantes basadas en datos consistentes y compartidos.

En una serie de estudios de caso presentados por Mine Tech Services (2023), se examinan varios proyectos que demuestran la aplicación práctica de tecnologías avanzadas en la gestión de flotas mineras. Estos estudios incluyen optimización de asignaciones de combustible, mejora en la precisión de servicios, reducción de tiempos de inactividad, optimización de asignaciones de flota, e implementación de sistemas de gestión de flotas. Estos proyectos destacan la integración de tecnologías como Power BI y sistemas de gestión de flotas para mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones y la productividad.

Gonçalves et al. (2023), en su artículo "Developing integrated performance dashboards visualisations using Power BI as a platform", examinaron el impacto de las herramientas de Business Intelligence en la toma de decisiones empresariales. Utilizando Power BI, crearon un sistema completo de BI que integra y transforma datos de diversas fuentes para facilitar análisis gráficos rápidos y concisos. La metodología aplicada fue la de extracción, transformación y carga (ETL) de datos para construir un data que soporta diversos KPIs críticos para la toma de decisiones. Los dashboards desarrollados permitieron a los gestores visualizar métricas de rendimiento en tiempo real, identificar áreas problemáticas rápidamente y tomar decisiones basadas en datos

precisos y actualizados. Este estudio subraya la importancia de las visualizaciones integradas y dinámicas para mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta en entornos empresariales complejos (Gonçalves, Angélico Gonçalves, & Campante, 2023).

En su estudio titulado "Business intelligence and organizational performance: The role of alignment with business process management", Vugec et al. (2020) investigan cómo la inteligencia de negocios (BI) puede influir en el desempeño organizacional, especialmente cuando está alineada con la gestión de procesos de negocio. Los autores argumentan que una alineación adecuada entre las tecnologías de BI y los procesos de gestión empresarial puede conducir a mejoras significativas en la eficiencia operativa y la efectividad organizacional. El estudio destaca que la implementación de sistemas de BI permite a las organizaciones recopilar y analizar grandes volúmenes de datos, facilitando la toma de decisiones informadas. Además, la integración de BI con la gestión de procesos de negocio asegura que los datos analizados sean relevantes y se utilicen de manera efectiva para optimizar los procesos operativos.

En el estudio titulado "The Development of Performance Dashboard Visualization with Power BI as Platform", Widjaja y Mauritsius (2023) exploran el impacto del uso de Power BI en la visualización de dashboards de rendimiento. Los autores destacan que Power BI permite integrar, analizar y visualizar datos de diversas fuentes, facilitando la toma de decisiones informadas en las organizaciones. Mediante la implementación del proceso ETL (extracción, transformación y carga), es posible desarrollar dashboards dinámicos y gráficos que ayudan a los gestores a monitorear y gestionar el rendimiento empresarial de manera más efectiva. La investigación muestra cómo el uso de Power BI en la creación de dashboards puede mejorar la eficiencia operativa al proporcionar visualizaciones claras y concisas de los indicadores clave de rendimiento (KPIs). Estos dashboards no solo sintetizan información crítica, sino que también alertan proactivamente a los gestores sobre posibles problemas, permitiendo una gestión más efectiva y estratégica de las operaciones.

En su libro "Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making", Vercellis (2011) explora cómo las tecnologías de inteligencia de negocios (BI) pueden transformar grandes volúmenes de datos en información valiosa para la toma de decisiones. El autor destaca que las herramientas de BI, como Power BI, facilitan el proceso de extracción, transformación y carga (ETL) de datos, permitiendo a las

organizaciones analizar información compleja de manera eficiente y efectiva. Vercellis argumenta que la minería de datos y la optimización son componentes cruciales de la BI, ya que proporcionan las técnicas necesarias para descubrir patrones ocultos en los datos y optimizar los procesos de negocio. Estos conceptos son aplicables en diversas industrias, incluida la minería, donde el análisis de datos en tiempo real puede mejorar significativamente la gestión de flotas y la eficiencia operativa. La integración de BI en la gestión de flotas mineras, utilizando dashboards interactivos y análisis de datos avanzados, permite a los gestores monitorear el rendimiento en tiempo real, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas basadas en datos. Esto no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la seguridad operativa al permitir una respuesta rápida a cualquier anomalía detectada en los datos.

El libro "Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business", Eckerson (2010) explora el uso de dashboards de rendimiento para medir, monitorear y gestionar las operaciones empresariales. Los dashboards de rendimiento son aplicaciones integradas y multilayer que permiten a las organizaciones medir, monitorear y gestionar el rendimiento empresarial de manera más efectiva al proporcionar una visión consolidada y en tiempo real de los indicadores clave de rendimiento (KPIs). Eckerson subraya la importancia de los dashboards en la gestión empresarial al facilitar la visualización de datos complejos y la toma de decisiones informadas. Estos dashboards permiten a los gestores identificar rápidamente problemas operativos, monitorear el progreso hacia los objetivos estratégicos y tomar decisiones basadas en datos precisos y actualizados. La implementación de un sistema de inteligencia de negocios (BI) que incluya dashboards de rendimiento puede mejorar significativamente la eficiencia operativa y la eficacia organizacional.

Minestar Fleet se ha implementado en diversas minas a nivel mundial, incluyendo el proyecto en la mina Bingham Canyon, donde el sistema se ha utilizado para gestionar más de 100 camiones y otros equipos auxiliares como palas y perforadoras. En esta operación, el sistema ha mejorado la productividad, reduciendo los tiempos de inactividad y optimizando los ciclos de acarreo. Además, su capacidad de integración con otras tecnologías de Caterpillar, como MineStar Terrain, ofrece una visión completa de las operaciones en tiempo real (Caterpillar, 2023; Canadian Mining Journal, 2023). Una de las características más innovadoras de Minestar Fleet es su habilidad para realizar análisis predictivo a través de la recopilación de datos operativos.

Estos análisis ayudan a identificar fallos antes de que ocurran, optimizando el mantenimiento preventivo y evitando paradas no planificadas. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a la sostenibilidad de las operaciones mineras al reducir el consumo de recursos como el combustible y el desgaste de los equipos (Freeport-McMoRan, 2023). El uso de sistemas de gestión de flotas ha tenido un impacto significativo en la optimización de operaciones mineras en todo el mundo. A lo largo de los últimos años, las compañías mineras han adoptado tecnologías como Minestar Fleet, Dispatch y C4M para mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de sus operaciones. Estos sistemas no solo permiten un mejor control de las operaciones en tiempo real, sino que también integran análisis predictivos que ayudan a anticipar fallos y mejorar el mantenimiento preventivo. En el caso del sistema Minestar Fleet, su implementación en la mina Bingham Canyon es un ejemplo de cómo la tecnología ha permitido optimizar el uso de equipos, reducir costos y mejorar la seguridad operativa. Además, Dispatch ha demostrado ser una herramienta eficaz en la planificación y ejecución de operaciones mineras, mejorando la coordinación entre los equipos de transporte y carguío. Finalmente, el sistema C4M de MS4M ha proporcionado a las minas una solución integral para la gestión de datos y la toma de decisiones estratégicas basadas en análisis detallados de los ciclos operativos. El desarrollo de estas tecnologías ha permitido que la minería avance hacia operaciones más sostenibles y eficientes, adaptándose a las necesidades del sector y mejorando el rendimiento general de las minas.

En la investigación titulada “Optimization of the Haulage Cycle Model for Open Pit Mining Using a Discrete-Event Simulator and a Context-Based Alert System” de Vasquez Coronado (2014), se desarrolló un modelo de simulación para optimizar el ciclo de acarreo en minas a cielo abierto. El autor implementó un sistema de alertas que notificaba a los supervisores cuando uno o varios camiones presentaban tiempos improductivos, lo cual permitió mejorar la planificación y reducir el tiempo total de ciclo en un 8%. Este estudio demostró la efectividad de los sistemas de monitoreo en la gestión de flotas y la importancia de herramientas como Power BI para visualizar y analizar el desempeño de los equipos en tiempo real.

Por otro lado, en la investigación “Haul Truck Speed Analysis and Effect on Fleet Optimization” de Yildirim (2021), se analizó cómo las variaciones de velocidad en camiones mineros afectan la productividad y el consumo de combustible. El estudio

reveló que el mal uso de los frenos y desaceleraciones innecesarias pueden incrementar el consumo de combustible en un 15% y reducir la disponibilidad de los equipos. Además, se identificaron factores de diseño vial que impactan negativamente en la eficiencia operativa de las flotas mineras, sugiriendo la implementación de algoritmos de optimización para el control de velocidades y trayectorias en tiempo real.

2.3. Hipótesis

La implementación de la aplicación Power BI para la comparación de rendimientos y detección de patrones operativos permite el análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras.

2.4. Variables

Variable dependiente	Indicadores	Categoría	Instrumentos
Análisis de velocidades en la gestión de flotas mineras.	-Comparación de rendimientos y detección de patrones operativos -Mejora en la comparación de velocidades reales vs. planificadas	Cuantitativa, continua	Análisis con Power BI, revisión de datos operativos
Variable independiente	Indicadores	Categoría	Instrumentos
Uso de Power BI en la gestión de flotas	-Implementación de un dashboard en Power BI para visualización y	Cuantitativa, continua	Power BI para la creación de dashboards y análisis de datos

	análisis de velocidades		
	-Identificación de patrones de velocidad críticos		





CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance de la Investigación

La implementación de sistemas de monitoreo y control de velocidad ha demostrado ser efectiva en mejorar la precisión de los datos y reducir el riesgo de tiempos improductivos. Por ejemplo, el estudio de Yildirim (2021) en la Universidad de Arizona mostró que la implementación de sistemas de control de velocidad basados en análisis detallados puede disminuir el consumo de combustible en un 15% y mejorar la disponibilidad de los equipos al reducir los tiempos de mantenimiento asociados a paradas innecesarias.

Por otro lado, la integración de estos sistemas en operaciones mineras como la de la Compañía Minera Coimolache ha permitido un monitoreo continuo de la flota mediante sistemas GPS y plataformas de control en tiempo real, facilitando la identificación de oportunidades de mejora en el cumplimiento del plan de producción (Huancaya Delgado et al., 2009). Estos sistemas de apoyo han probado ser efectivos no solo en la reducción de costos operativos, sino también en la minimización de riesgos de seguridad al monitorear y alertar sobre excesos de velocidad y condiciones de tráfico en zonas críticas de la mina.

El presente estudio se enfoca en el desarrollo de un análisis detallado de las velocidades de flotas mineras, empleando la herramienta de Power BI. Esta investigación tiene como objetivo primordial optimizar la gestión operativa en el ámbito minero, a través de una comparativa entre las velocidades reales y las planificadas de las flotas, así como la identificación de patrones críticos en la velocidad que podrían influir en la eficiencia operacional.

En el ámbito específico, se buscará implementar un dashboard en Power BI que permita no solo la visualización, sino también un análisis detallado de las velocidades de las flotas mineras. Esto incluirá la comparación entre las velocidades reales y las planificadas, identificando variaciones dando oportunidades de mejora. Además, se enfocará en la detección de patrones de velocidad críticos que puedan ser indicativos de problemas operativos.

El área de aplicación de esta investigación se establece principalmente a las operaciones mineras, centrándose en la gestión de flotas de camiones mineros. Los datos y análisis derivados de este estudio están destinados a ser aplicados para mejorar los procesos de gestión de flotas, aumentando así la eficiencia operativa. Además, este

estudio propone una innovación metodológica utilizando Power BI como una herramienta avanzada para un análisis más sofisticado y detallado en el ámbito de la gestión de flotas mineras.

3.2. Limitaciones de la investigación

El presente estudio enfrenta ciertas limitaciones comenzando por la naturaleza de los datos utilizados. La investigación se basará en datos modificados con el fin de proteger la privacidad y la confidencialidad de la información. Este enfoque es común en estudios donde la privacidad de los datos es una prioridad, como se muestra en el sistema de monitoreo desarrollado en la mina Antamina, donde el uso de sistemas internos personalizados permite la protección de datos operativos y la flexibilidad en la gestión de la información (De La Cruz Romero, 2017)

Además, el alcance del estudio está ligado a las capacidades y características de Power BI. Cualquier limitación propia de esta herramienta, especialmente en términos de integración de datos y procesamiento analítico, podría influir en los resultados y conclusiones del análisis.

La generalización de los resultados obtenidos también es una limitación, los hallazgos podrían no ser aplicables a todas las operaciones mineras, especialmente aquellas con características operativas distintas a las consideradas en el estudio. Como señala Huancaya et al. (2015), la implementación de sistemas de monitoreo y gestión de flotas varía ampliamente dependiendo del contexto operacional y los requerimientos específicos de cada mina, lo cual restringe la aplicabilidad universal de las soluciones propuestas.

Por último, factores externos como cambios en las regulaciones mineras, variaciones económicas o avances tecnológicos pueden influir en la relevancia y aplicabilidad de los hallazgos a largo plazo.

3.3. Aportes de la Investigación

3.3.1. Avance Tecnológico en la Gestión Minera

La integración de Power BI en la gestión de flotas mineras representa un avance tecnológico. Esta herramienta proporciona una capacidad analítica mejorada, permitiendo un análisis más profundo y detallado de las velocidades operativas de las flotas mineras. Power BI facilita la integración de múltiples fuentes de datos y la

generación de reportes interactivos que permite tomar decisiones más informadas y rápidas (Olivares, 2022) . Al utilizar esta tecnología avanzada, la investigación establece un precedente para la adopción de soluciones de Business Intelligence en la optimización de procesos mineros.

3.3.2. Mejora en la Eficiencia Operativa

La implementación de un análisis detallado de las velocidades mediante Power BI tiene el potencial de mejorar la eficiencia operativa en las minas. Al comparar las velocidades reales con las planificadas y al identificar patrones críticos de velocidad, se facilita la toma de decisiones estratégicas que pueden permitir una optimización de recursos y una reducción de costos operativos.

Asimismo, la utilización de análisis detallados de velocidad y dashboards interactivos permite a los gestores visualizar con mayor claridad las áreas de oportunidad, mejorando la asignación de recursos y la seguridad operativa (Olivares, 2022). Este enfoque facilita no solo la reducción de costos, sino también la toma de decisiones basadas en datos precisos, como se evidenció en estudios aplicados a la unidad minera de Cerro Corona, donde se logró una mejora del 40% en la productividad de los equipos analizados (Olivares, 2022).

3.4. Tipo y Nivel Investigación

El tipo de investigación es aplicada debido a la utilización de la herramienta de Power BI para analizar datos con el fin de comparar velocidades planificadas versus reales y para identificar patrones operativos.

El nivel de investigación es descriptivo ya que se busca describir y analizar información obtenida para entender la situación de las velocidades y patrones de las flotas sin manipular o alterar dichos comportamientos.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

La población es el conjunto total de datos operativos de las flotas mineras de una mina en específico, de la cual no se revelará el nombre por razones de confidencialidad. Esta población se caracteriza tanto cualitativa como cuantitativamente por incluir información detallada sobre las velocidades de los camiones mineros, así como diversos parámetros operativos y patrones de

movimiento. Todos los datos pertenecen a camiones mineros operando bajo las mismas condiciones. El período de tiempo considerado abarca datos recopilados durante cuatro días. Los datos provienen de una sola mina manteniendo las mismas condiciones operativas.

3.5.2. Muestra

Tipo de muestreo intencional, donde se seleccionarán datos específicos que son representativos de las flotas durante el período de tiempo seleccionado. La elección se basa en la relevancia y la integridad de los datos para garantizar que reflejen de manera precisas las condiciones operativas y patrones de velocidad.

3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos se utilizarán datos operativos existentes de la flota minera. Estos datos ya han sido recopilados y almacenados por la mina, por lo que no se realizará una recolección de datos en campo.

Se utilizará la técnica de análisis documental para revisar registros y bases de datos internos de la mina para obtener los datos necesarios. Esto incluye datos sobre las velocidades de los camiones, rutas, modelo de camión y fecha de registro de datos.

3.6.1. Descripción de la Técnica

Los datos serán extraídos del sistema de gestión de flotas de la mina que típicamente registran información detallada sobre las operaciones de cada flota.

Se utilizará Power BI para procesar y analizar los datos. Esta herramienta permitirá la visualización, el análisis y la interpretación de grandes volúmenes de datos.

3.6.2. Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.2.1. Aplicación Power BI

Se utilizará como el principal instrumento para analizar los datos recopilados. Power BI permitirá crear dashboards, realizar análisis comparativos y detectar patrones operativos.

3.6.2.2. Bases de Datos Operativas

La base de datos de la mina que contienen registros históricos de la operación de las flotas la cual será la principal fuente de datos.

3.6.2.3. Formatos de Exportación de Datos

Se utilizará formato estándar CSV para exportar los datos del sistema de gestión de flotas antes de su análisis en Power BI.

3.6.3. Proceso de Análisis de Datos

3.6.3.1. Preparación y Limpieza de Datos

Los datos recopilados serán preparados y limpiados para garantizar su precisión y relevancia. Esto incluye la verificación de la integridad de los datos, la eliminación de duplicados y la corrección de errores.

3.6.3.2. Análisis Descriptivo

Se realizará un análisis descriptivo de los datos para comprender las características básicas de las velocidades de las flotas y otros parámetros operativos.

3.6.3.3. Identificación de Patrones y Tendencias

Utilizando las capacidades analíticas de Power BI, se identificarán patrones y tendencias en los datos, como discrepancias entre velocidades planificadas y reales.

3.6.3.4. Comparación

Se compararán las velocidades reales con las planificadas y se trabajarán para cada flota.

3.6.4. Esquematización

VARIABLES	TÉCNICA
Comparación de velocidades planificadas vs. Reales	Análisis documental
Identificación de patrones operativos en la gestión de flotas	Análisis documental
Uso de power BI para el análisis de datos de flotas mineras	Análisis documental

3.6.5. Recursos

3.6.5.1. Recursos humanos: Investigador, asesor

3.6.5.2. Recursos económicos: Autofinanciado

3.6.5.3. Recursos físicos: Disponibilidad de equipos de computación.

3.7. Plan para Manejar los Resultados

3.7.1. Plan de Procesamiento

Se utilizará la herramienta de Power BI para realizar un procesamiento computarizado en la comparación de velocidades reales y planificadas, además de encontrar comportamientos críticos de las velocidades.

3.7.2. Plan de Resultados

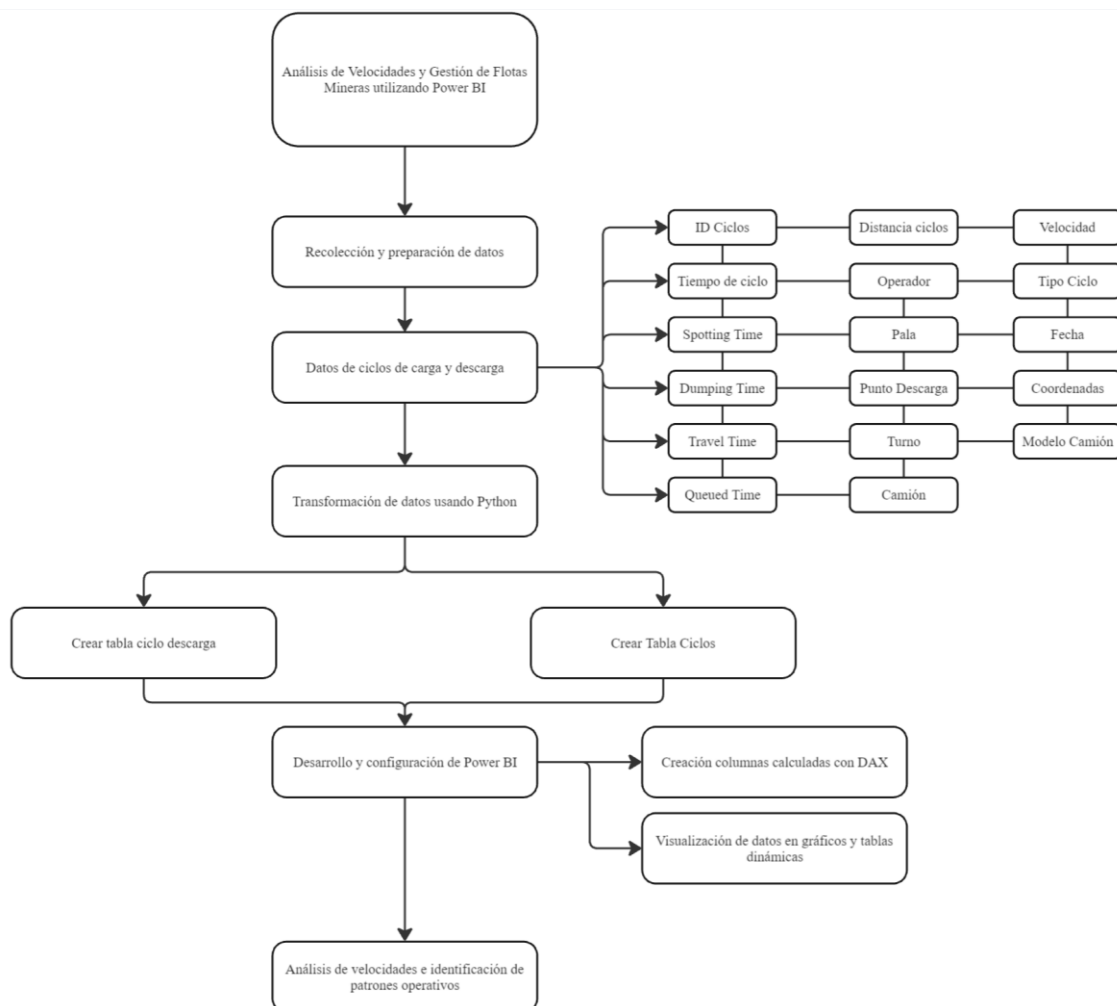
Los resultados obtenidos serán presentados y ordenados mediante el uso de tablas y gráficos interactivos dentro del cuerpo de la tesis. Estas representaciones visuales permitirán una comprensión clara y concisa de los datos analizados, facilitando la comparación de velocidades reales y planificadas, así como la identificación de patrones operativos críticos.

3.8. Desarrollo del Dashboard en Power BI

El desarrollo del dashboard en Power BI se llevó a cabo a través de una serie de pasos detallados, los cuales se dividen en dos grupos, la recolección y preparación de datos desarrollo y configuración de Power BI. A continuación, se presenta un flujograma que describe el proceso de manera visual.

Ilustración 01

Flujograma del desarrollo dashboard en Power BI para el Análisis de Velocidades y Gestión de Flotas Mineras utilizando Power BI



Nota: Elaboración propia del desarrollo del dashboard en Power BI para el análisis de velocidades y gestión de flotas mineras.

3.8.1. Recolección y Preparación de Datos

Los datos que se trabajan provienen del sistema de gestión de flota de la mina, para poder crear dos tablas y trabajarlas en power BI. Para este trabajo de investigación se trabaja con el sistema MineStar. Las tablas que se requieren crear son : Ciclos y CicloDescarga.

Para crear la tabla CicloDescarga con sus respectivas columnas se requerirá lo siguiente:

Tabla 01
Construcción tabla Ciclo Descarga

TABLA	COLUMNA	COLUMNA A CREAR
CYCLE	CYCLE_OID	CicloDescargaID
CYCLE_FACT_MAIN	CYCLEDURATION	TiempoTotalCiclo
CYCLE_FACT_MAIN	PAYLOAD	TonelajeDescarga
CYCLE_FACT_MAIN	SPOTTINGDURATION	SpottingTime
CYCLE_FACT_MAIN	DUMPINGDURATION	DumpingTime
CYCLE	LOADEDACTUALTRAVELTIME	TravelTime
CYCLE_FACT_MAIN	QUEUINGDURATION	QueuedTime
CYCLE	LOADTRAVDIST	DistanciaCiclo
CYCLE	PRIMARYOPERATORNAME	Operador
CYCLE	PRIMARYMACHINENAME	Pala
CYCLE	ENDPROCESSORCLASSNAME	PuntoDescarga
CYCLE_DIM_CALENDAR	SHIFTTYPE	Turno
CYCLE	PRIMARYMACHINENAME	Camion

Nota: Elaboración propia basada en datos procesados en el código desarrollado.

Para poder crear la tabla Ciclo Descarga se desarrolló un código (ver anexo 01) que se encarga de procesar y combinar múltiples tablas de datos operaciones relacionadas con los ciclos de carga y descarga de camiones. Se utilizaz la librería pandas de Python para realizar la carga, transformación y fusión de datos, generando como resultado una nueva tabla llamada Ciclo Descarga en formato .csv. El objetivo de este código es consolidar la información de los ciclos de acarreo facilitando el análisis y visualización en la herramienta de Power BI.

Tabla 02

Ciclo Descarga (Parcial)

CicloDesca rgaID	TiempoTota lCiclo	TonelajeDe scarga	Spotting Time	Dumping Time	TravelT ime	Queued Time	Distancia Ciclo	Operad or	Pala	PuntoDes carga	Tur no	Cami on
1	858	393	9	86	758	0	3694	Meza Perez, Moises Brusle Quispe	PL0 03	Stock	Dia	CM1 25
2	998	367	10	56	804	3	4086	Ortiz, Oswald o Ramire z	PL0 03	Chancado r	Dia	CM1 13
3	703	390.2	13	49	641	0	3589	Quispe, Abel Obregu Verasti gue,	PL0 03	Stock	Dia	CM1 06
4	744	363	20	52	672	0	2783	Delfor Antoni o Diccion Areal o,	PL0 03	Stock	Dia	CM4 01
5	895	363	0	104	791	0	4292	Anthon y Stuart	PL0 03	Stock	Dia	CM4 05

Nota: Elaboración propia basada en datos procesados con el código desarrollado.

Para crear la tabla Ciclos con sus respectivas columnas se requerirá lo siguiente.

Tabla 03

Construcción tabla Ciclos

TABLA	COLUMNA	COLUMNA A CREAR
V_MACHINE_INPIT	SPEED	Velocidad
CYCLE_FACT_MAIN	CYCLETYPE	TipoCiclo
CYCLE	CREATED_DATE_UTC	Fecha
V_MACHINE_INPIT	LONGITUDE	Longitud
V_MACHINE_INPIT	LATITUDE	Latitud
CYCLE_FACT_MAIN	PAYLOAD	Tonelaje
CYCLE	PRIMARYMACHINECLASSNAME	ModeloCamion
CYCLE	PRIMARYOPERATORNAME	Operador
CYCLE	CYCLE_OID	IDCiclo
CYCLE_DIM_CALENDAR	SHIFTTYPE	Turno
CYCLE	PRIMARYMACHINENAME	CamionCiclo

Nota: Elaboración propia basada en datos procesados en el código desarrollado.

Para poder crear la tabla Ciclos se desarrolló el código (ver anexo 02) que se encarga de procesar y consolidar datos operativos y georreferenciados relacionados con los ciclos de transporte en la operación minera, con el objetivo de generar una tabla consolidada de ciclos operativos con información detallada. Se utiliza la librería pandas para realizar la carga, transformación y fusión de las tablas, obteniendo como resultado la tabla Ciclos en formato .csv.

Tabla 04***Ciclos (Parcial)***

Velocidad	TipoCiclo	Fecha	Longitud	Latitud	Tonelaje	ModeloCamion	Operador	IDCiclo	Turno	CamionCiclo
0	Descarga - Carga	1/10/2023 07:31:07	- 76.14078985	- 11.60166184	0	Camion CAT 797F	Bravo Vidal, Miguel Angel	8	Dia	CM116
3.129656047	Carga - Descarga	1/10/2023 07:33:24	- 76.14035363	- 11.60264913	425.7	Camion CAT 797F	Rodriguez Collao, Susano Mateo	20	Dia	CM101
1.863103196	Carga - Descarga	1/10/2023 07:34:22	- 76.14049215	- 11.60288368	425.7	Camion CAT 797F	Rodriguez Collao, Susano Mateo	20	Dia	CM101
10.83588329	Descarga - Carga	1/10/2023 07:35:30	-76.1408022	- 11.60470894	425.7	Camion CAT 797F	Baylon Rosales, Eugenio	29	Dia	CM129

Nota: Elaboración propia basada en datos procesados con en el código desarrollado.

Las unidades que se manejan en las tablas creadas tanto para velocidad como para el tonelaje son de km/h y toneladas cortas respectivamente.

3.8.2. Desarrollo y Configuración de Power BI

Las dos tablas creadas se importan al Power BI desde la importación de archivos .csv.

A la tabla Ciclos.csv se realizan modificaciones dentro de Power BI, se decide trabajar de esta manera para que cuando se actualice la tabla Ciclos.csv con información de otras fechas o de otra mina, Power BI realice las modificaciones de manera automática. Estas modificaciones incluyen la creación de la columna “VelocidadRango” y “Hora”, también la creación de nuevas medidas las cuales son “Camiones Únicos”, “Ciclos Únicos” y “Tonelaje Único por Ciclo”.

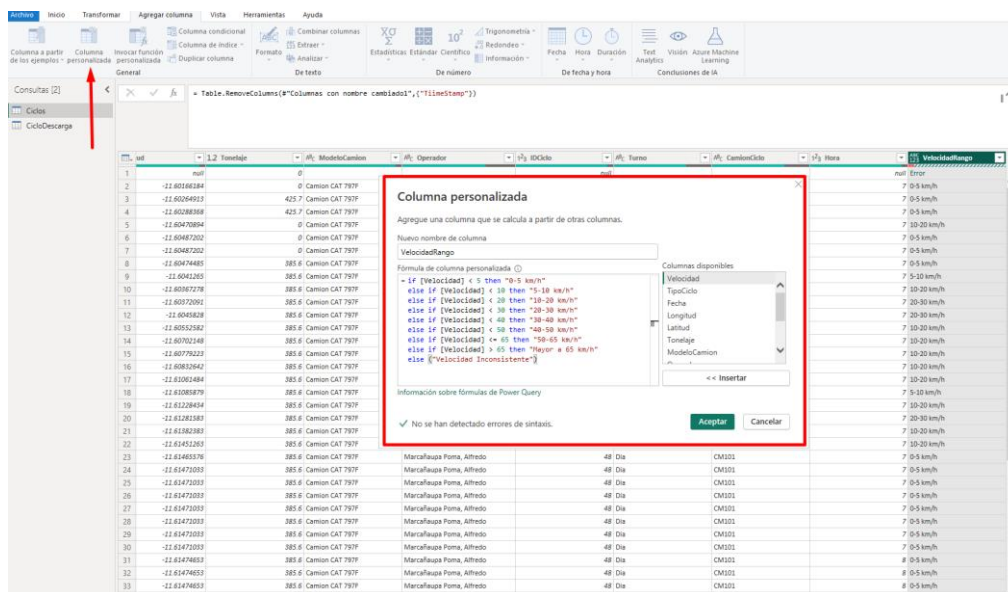
Para la creación de la columna “VelocidadRango” se utiliza PowerQuery con la opción de columna personalizada. Dentro de esta opción se utiliza el código (ver anexo 03) para clasificar las velocidades de las flotas mineras en los siguientes rangos:

- 0-5 km/h
- 5-10 km/h
- 10-20 km/h
- 20-30 km/h
- 30-40 km/h
- 40-50 km/h
- 50-65 km/h
- Mayor a 65 km/h

Esta clasificación permite identificar fácilmente las velocidades operativas dentro de una operación minera. Trabajar con PowerQuery permite crear una columna calculada denominada Velocidad Rango. Esto permite realizar análisis más precisos sobre el comportamiento de las flotas, también identificar patrones donde se aumenta o disminuye la velocidad.

Ilustración 02

Creación columna VelocidadRango



Nota: Elaboración propia del proceso de creación de la columna VelocidadRango en Power BI.

La columna “Hora” se crea duplicando la columna “Fecha” y cambiando el formato de visualización de los datos, transformado desde un formato “dd/mm/aaaa” h:min:s a “h”. Esta columna se crea para poder generar el gráfico de “Velocidad por hora”.

Para el caso de las nuevas medidas se utiliza una combinación de medidas en DAX (Data Analysis Expressions) que se aplica en el visualizador de Power BI.

Para el caso de “Camiones Únicos” y “Ciclos Únicos” se ingresa la medida (ver anexo 04) utilizando el lenguaje de fórmulas DAX y se usa para crear dos medidas personalizadas que permiten realizar un conteo de valores distintos en las columnas seleccionadas. Con esta medida se logra realizar un cálculo exacto del número de equipos y ciclos involucrados. Al eliminar duplicados, se asegura que los reportes reflejen de manera precisa la realidad de la operación.

Esta función cuenta el número de valores distintos de la columna que se trabaje, en este caso se utilizaron “CamionCiclo” y “IDCiclo” respectivamente. Se crean estas medidas para que cuando se quiera hacer un recuento del número de camiones trabajando y número de ciclos realizados no se dupliquen los registros para el conteo.

Para el caso de “Tonelaje Único por Ciclo” se ingresa la medida (ver anexo 05) utilizando DAX para calcular el tonelaje único por ciclo. La medida se utiliza para analizar la cantidad de tonelaje transportado en cada ciclo y poder visualizarlos en el dashboard. Al eliminar las duplicaciones y calcular el tonelaje único por cada ciclo, se obtiene un reporte más preciso y confiable del tonelaje transportado, facilitando la toma de decisiones en términos de planificación y optimización de la flota. En esta medida la función “SUMMARIZE” agrupa a la tabla “Ciclos” por “IDCiclo” y calcula el máximo tonelaje para cada grupo de “IDCiclo”. La función “SUMX” suma estos valores únicos de tonelaje. Esta medida se utiliza para poder visualizar la cantidad de tonelaje movido por cada ciclo dentro de las tarjetas del dashboard.





CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Diseño

El dashboard muestra un mapa con los puntos gps de la flota de la mina junto a una leyenda con velocidades agrupadas y un color definido:

- 0-5 km/h Rojo,
- 5-10 km/h Naranja,
- 10-20 km/h Marrón,
- 20-30 km/h Amarillo,
- 30-40 km/h Verde oscuro,
- 40-50 km/h Verde menta,
- 50-65 km/h Verde claro,
- > 65 km/h Azul.

Esta clasificación cromática facilita la rápida visualización y análisis de velocidades alcanzadas por cada vehículo de la flota.

También permite realizar un filtro espacial mediante una selección rectangular que agrupa los puntos GPS encerrados en el área, este filtro permite actualizar todos los datos presentados en el dashboard para un análisis específico en los tramos, permitiendo identificar riesgos asociados con la operación como condiciones adversas del terreno que dan lugar a disminución de la velocidad de las flotas. También permite realizar un análisis de seguridad para analizar la velocidad del camión especificando al operador y entender las velocidades que ha registrado en distintas partes de la mina.

Ilustración 03

Mapa de mina con puntos gps georreferenciados.

Mina Velocidad

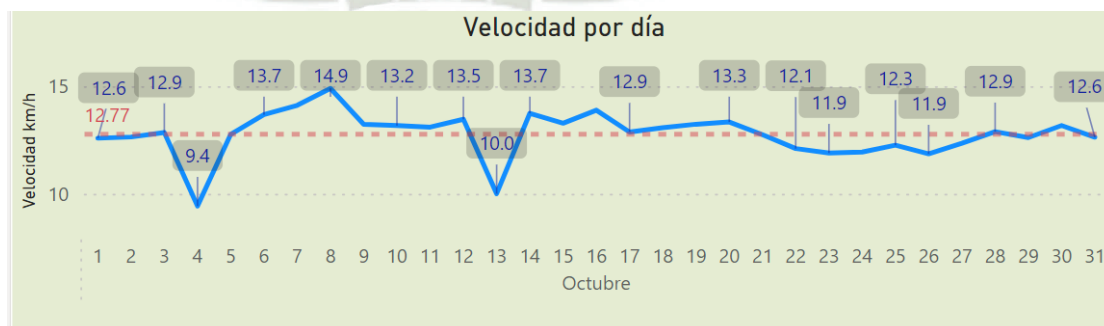


Nota: Elaboración propia del mapa con datos GPS georreferenciados, generado a partir del dashboard Power BI.

El dashboard tiene dos gráficos para monitorear la flota: uno muestra la velocidad promedio diaria y otro la velocidad promedio por hora. Estos gráficos muestran tendencias de velocidad a lo largo del tiempo y ayudan a identificar patrones de comportamiento y desviaciones operativas. Se pueden tomar decisiones informadas para optimizar los ciclos de operación y mejorar la eficiencia de la flota al observar la variabilidad en las velocidades durante diferentes intervalos de tiempo.

Gráfico 01

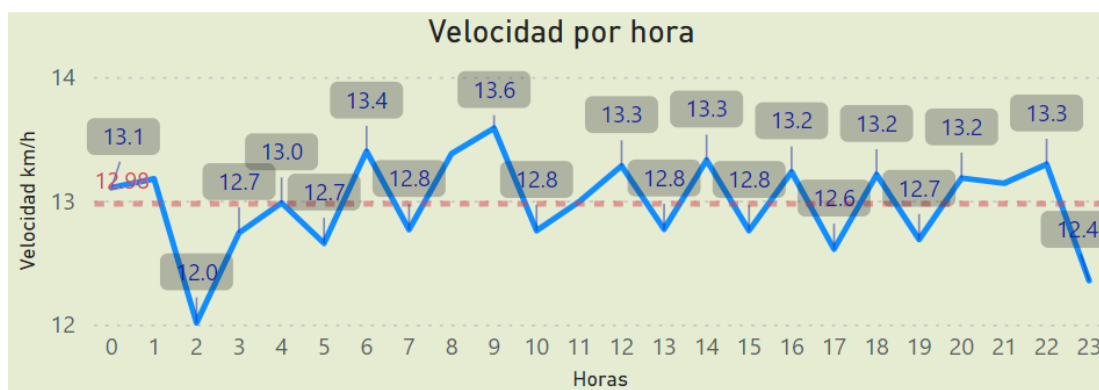
Velocidad promedio por día.



Nota: Elaboración propia basada en datos de la flota minera, procesados y visualizados en Power BI.

Gráfico 02

Velocidad promedio por hora.



Nota: Elaboración propia con datos procesados de velocidades promedio horarias de la flota minera utilizando Power BI.

En otra sección del dashboard, se presentan cuadros que muestran información detallada sobre la operatividad de la flota, incluyendo la velocidad promedio, la velocidad máxima, la velocidad mínima, el número de ciclos completados y el tonelaje total movido.

Ilustración 04

Cuadros informativos

Velocidad Promedio
13.01
Velocidad Máxima
118.55
Velocidad Mínima
0.00
#Ciclos
629
Tonelaje
221.43 mil

Nota: Elaboración propia con datos de la operatividad de la flota minera, procesados en Power BI.

La información descrita anteriormente se puede personalizar y analizar a través de varios filtros que mejoran la precisión del análisis de las velocidades en las flotas mineras. Estos filtros incluyen:

- Fecha,
- Modelo de camión,
- Tipo de ciclo,
- Tipo de descarga,
- Pala.
- Turno.
- Operador
- Camión

Cada filtro ha sido añadido al dashboard para facilitar un análisis más detallado, permitiendo ajustes según las necesidades específicas".

Ilustración 05

Filtros disponibles

Fecha	Modelo Camión	Tipo de ciclo	Tipo Descarga	Pala	Turno	Operador	Camión
Fecha	Modelo	Tipo de ciclo	Tipo de ciclo				
01/10/2023	01/11/2023	Todas	Descarga - Car...	Chancador	PL002	Dia	Todas

Nota: Elaboración propia con filtros personalizados para el análisis de flotas mineras en Power BI.

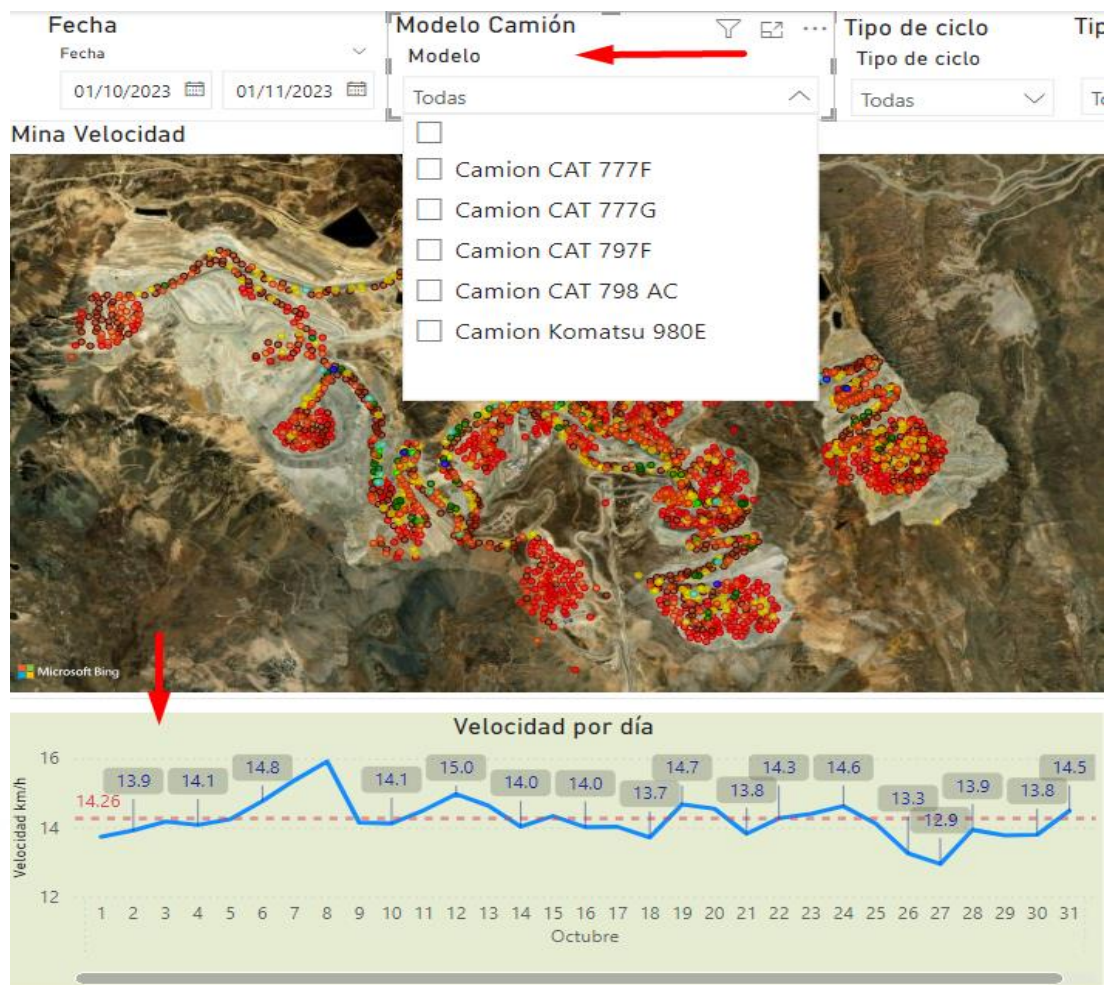
4.2. Análisis de Velocidades por Flota

El uso de Power Bi permite realizar análisis de velocidades por flota, acompañado de gráficos que muestran las velocidades promedio dentro de las fechas que pertenece la base de datos, permitiendo obtener información ordenada y entender el comportamiento de las velocidades. Es importante reconocer la diferencia de comportamiento entre modelos de camiones y tener el performance de cada uno para saber si se está logrando las velocidades esperadas.

Como se puede observar el gráfico de Velocidad por día segmenta las velocidades promedio por cada día de la base de datos acompañado con un filtro de modelo de camión teniendo así actualización del gráfico para cada flota.

Ilustración 06

Filtro Modelo Camión

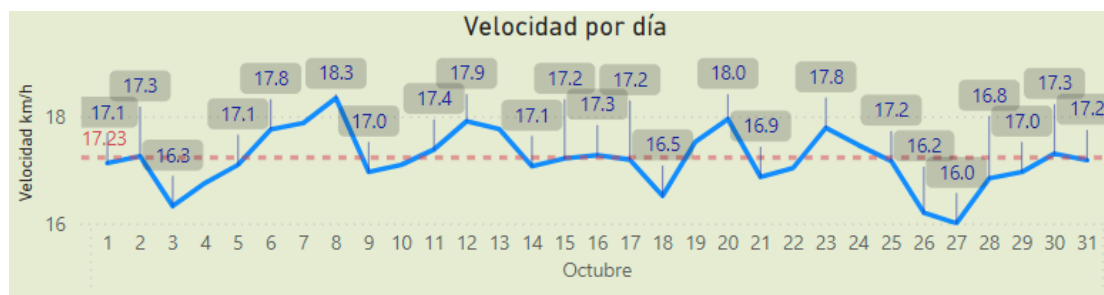


Nota: Elaboración propia basada en la aplicación de filtros personalizados y análisis de velocidad en Power BI.

En la ilustración 06 se puede visualizar el filtro de modelo de camión y el gráfico de velocidad por día. Se observa que el gráfico actualizará las velocidades promedio para cada día y la velocidad promedio de la flota de toda la base de datos o la velocidad planificada que se representa como una línea punteada de color rojo; esta actualización dependerá del modelo de camión que se va a analizar.

Gráfico 03

Velocidad por día Camión Komatsu 980 E

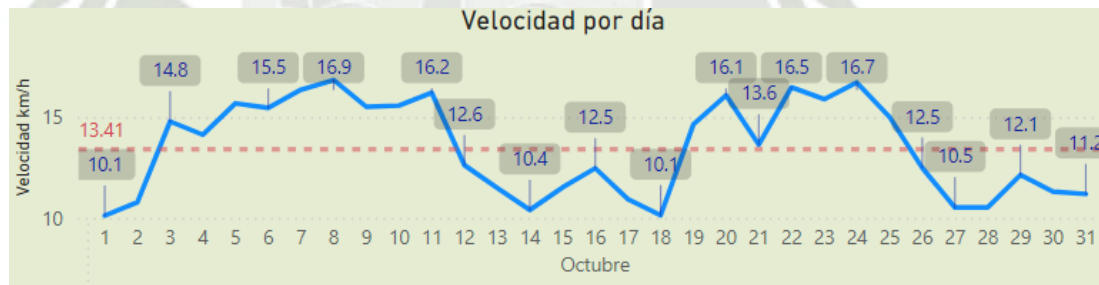


Nota: Elaboración propia con datos de la flota Komatsu 980 E procesados en Power BI.

En este caso las velocidades promedio por día que muestra el gráfico pertenecen a la flota Komatsu 980 E, con este gráfico podemos identificar que en todo el mes de octubre se han presentado días en que las velocidades han estado por debajo de la velocidad planificada.

Gráfico 04

Velocidad por día Camión CAT 798 AC



Nota: Elaboración propia con datos de la flota CAT 798 AC procesados en power BI.

De la misma forma podemos ver cómo el gráfico se actualiza al cambiar el filtro al camión CAT 798 AC logrando hacer un análisis rápido e identificar días en que las velocidades de la flota han estado reducidas.

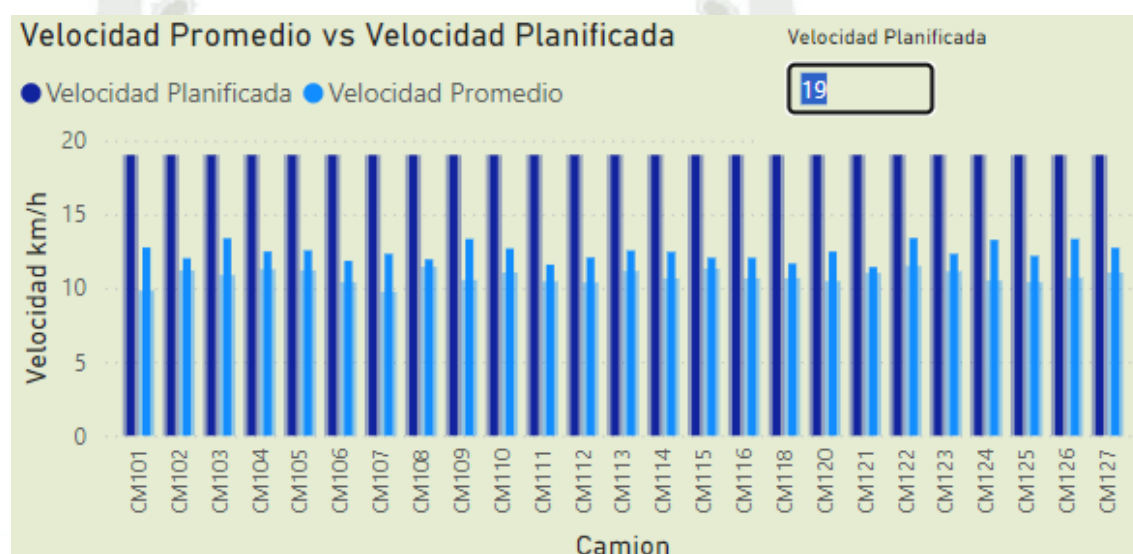
4.3. Análisis de Velocidades por Camión

Realizar un análisis de velocidades por camión nos ayuda a entender el performance individual del equipo, el mapa de la mina nos da un soporte para identificar los tramos por el cual cada equipo ha transitado permitiéndonos conocer las velocidades que ha registrado en una ubicación específica. Power BI, al realizar el filtro espacial, permite tomar decisiones con respecto a la

infraestructura, si en ciertos tramos los equipos tienen velocidades bajas respecto a lo planificado puede ser necesario evaluar las condiciones del tramo para mejorar la eficiencia e incluso identificar riesgos en la seguridad o desgaste prematuro de los equipos por si la velocidad promedio supera las velocidades planificadas.

Gráfico 05

Velocidad Promedio vs Velocidad Planificada



Nota: Elaboración propia basada en la comparación de velocidades de la flota minera, procesadas en Power BI.

Como se observa en el gráfico tenemos la comparación de la velocidad promedio de cada camión con la velocidad planificada. Esta velocidad planificada se puede ajustar de acuerdo con el análisis que se requiere hacer, se maneja de esta forma con la intención de modificar este valor de acuerdo a los tramos que se está analizando.

4.4. Detección de Patrones Operativos

En el caso de reconocer patrones operativos el gráfico de Velocidad por hora da un gran soporte para entender qué horas del día se están generando picos de velocidad o disminuciones considerables, de igual manera este gráfico se actualiza de acuerdo con los filtros que se apliquen.

Gráfico 06

Velocidad por hora Camión Komatsu 980 E



Nota: Elaboración propia con datos de la flota Komatsu 980 E procesados y visualizados en Power BI.

Con este gráfico podemos ver el promedio de velocidades en cada hora del día de toda la información de la base de datos. Para el caso de la flota Komatsu vemos que su rendimiento se homogeniza entre 09:00 horas a 17:00 horas existiendo oportunidad de levantar la velocidad de la flota las horas restantes del día.

Gráfico 07

Velocidad por hora Camión



Nota: Elaboración propia con datos de la flota CAT 798 AC procesados y visualizados en Power BI.

En este caso para el camión CAT 798 AC vemos que existen horas donde tiene picos de velocidad altos y bajos cuando se debería buscar una homogenización del rendimiento de la flota.

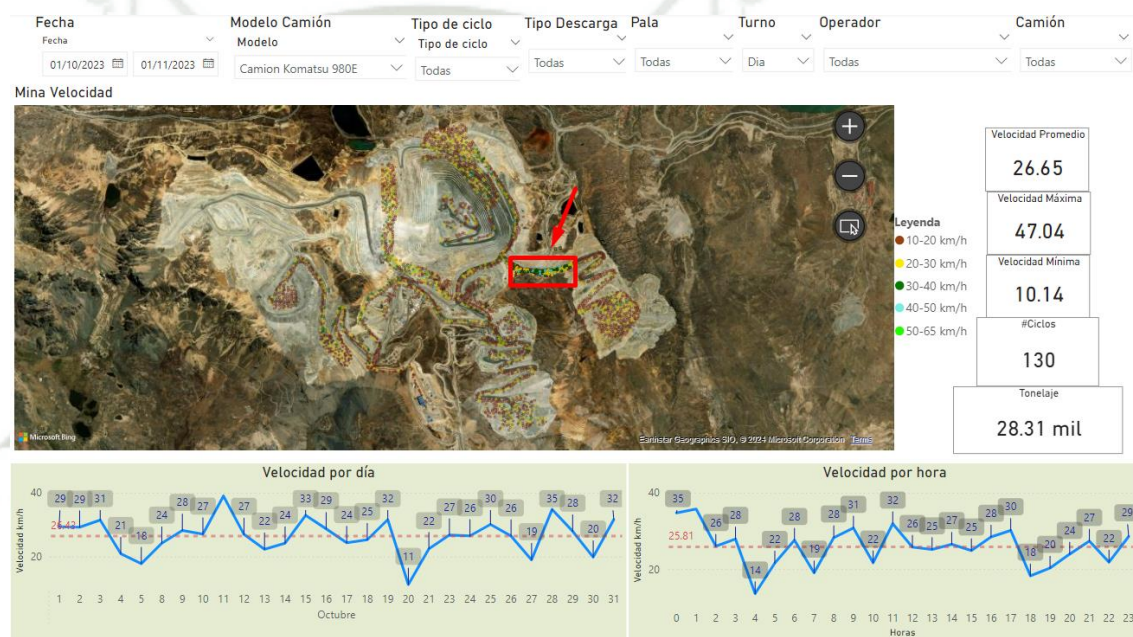
4.5. Análisis de Velocidad con Uso de Filtros

4.5.1. Uso del Mapa Mina Velocidad

Complementando el análisis con los gráficos, la configuración de Power BI permite evidenciar los comportamientos de las flotas en el mapa de la mina con los puntos gps georreferenciados e incluso hacer una selección en un tramo para conocer las velocidades registradas.

Ilustración 07

Análisis específico en un tramo de la mina.

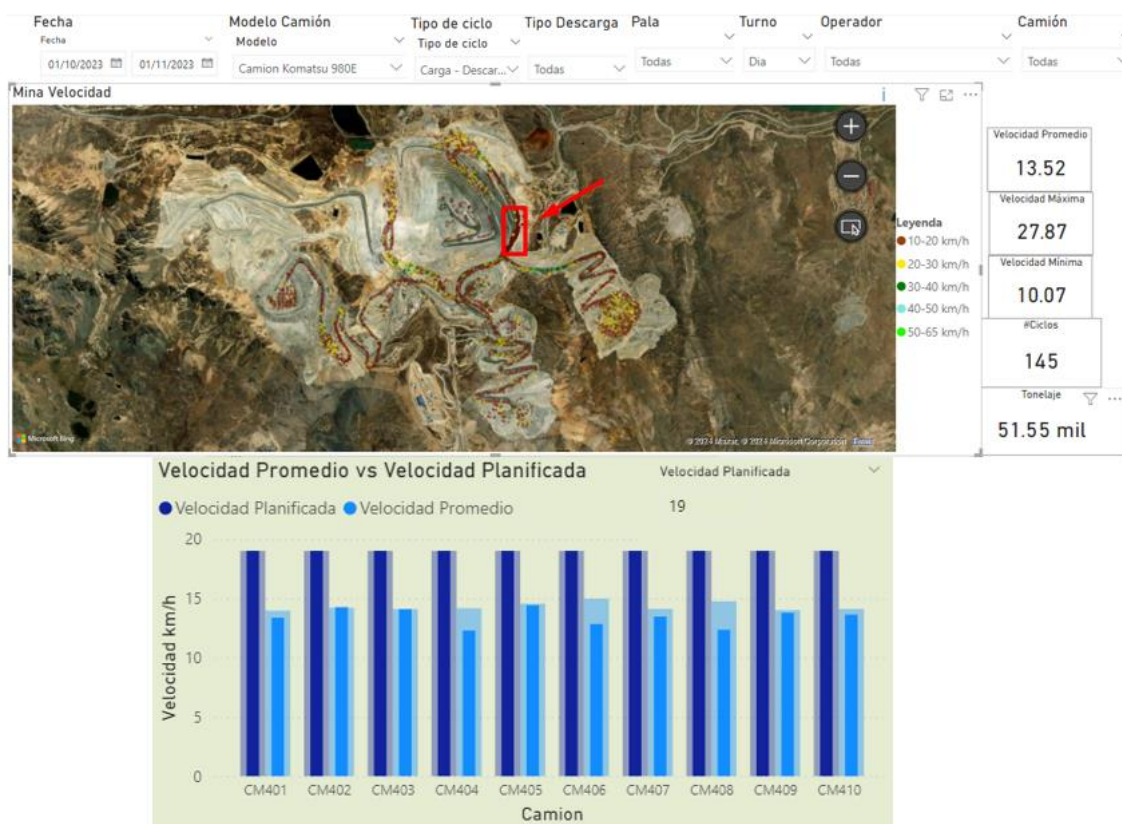


Nota: Elaboración propia basada en el análisis de georreferenciación de la flota Komatsu 980 E, procesado en Power BI.

En la ilustración 07 podemos observar las velocidades que se tienen del camión Komatsu 980 E en un tramo específico de la mina, conociendo las velocidades promedio por día y velocidad por hora en promedio que ha registrado. Se tiene un fácil entendimiento que las velocidades en varios días se encuentran por debajo de lo que el camión puede realizar en promedio, al mismo tiempo que existen horas que las velocidades están muy por debajo de velocidades pico. El beneficio de georreferenciar estas velocidades es poder tomar decisiones en zonas específicas donde se identifican los rendimientos de los camiones. Esta aplicación se aplica con la herramienta de selección de rectángulo.

Ilustración 08

Análisis específico en un tramo de la mina utilizando velocidades planificadas.



Nota: Elaboración propia con datos de la flota Komatsu 980 E y análisis de comparación de velocidades en Power BI.

En la ilustración 08 se observan las velocidades promedio que han reportado los camiones Komatsu 980 E en un tramo específico de la mina, automáticamente la tabla Velocidad Promedio vs Velocidad Planificada se actualiza mostrando la comparación de las velocidades reportadas con la planificada. En esta tabla se indicó una velocidad planificada de 19 km/h que corresponde al tramo y como se observa las velocidades de los camiones están por debajo de lo planificado, con esta información se puede tomar medidas correctivas y reconocer zonas con oportunidad de mejorar el performance de los equipos. Con esta herramienta podemos reconocer tramos que requieren una evaluación para que los equipos trabajen de manera óptima.

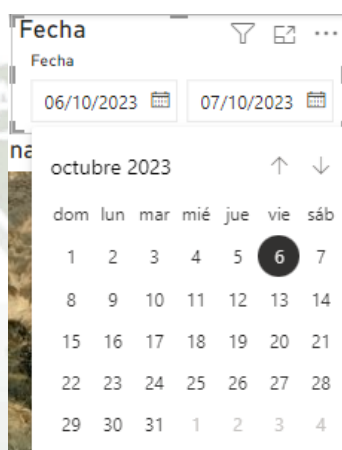
4.5.2. Integración de filtros en el análisis de velocidades

Un correcto uso del dashboard permite realizar un análisis muy específico con la ayuda de los filtros aplicables.

Empezando con delimitar el tiempo en el cual se realizará el análisis partimos con el filtro de la fecha

Ilustración 09

Aplicación filtro fecha.

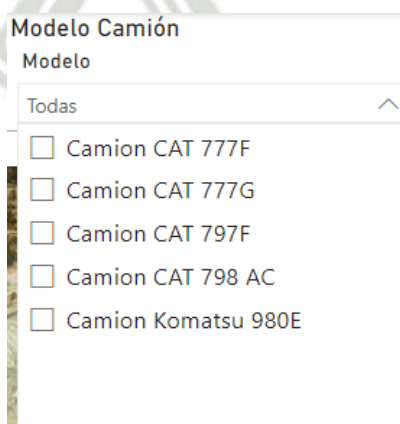


Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de fecha en Power BI.

Luego de ello aplicamos el filtro de modelo de camión para especificar la flota en el análisis.

Ilustración 10

Aplicación filtro Modelo Camión

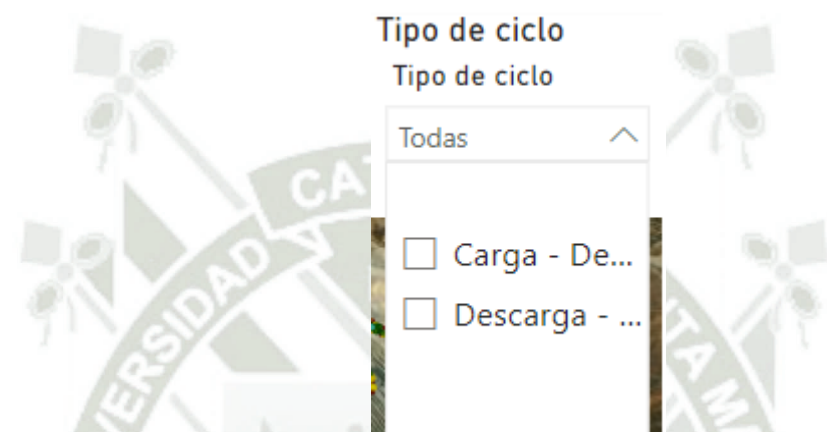


Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de modelo de camión en Power BI.

Entendiendo que para un correcto análisis de flota se debe diferenciar el análisis para camiones que estén cargados o descargados, para ello se aplica el filtro de tipo de ciclo en el que podemos seleccionar entre Carga-Descarga o Descarga-Carga.

Ilustración 11

Aplicación filtro Tipo de ciclo



Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de tipo de ciclo en Power BI.

Para especificar la ruta que sigue la flota para un análisis de velocidad específico en una zona de la mina se aplican los dos filtros de Tipo Descarga y Pala, con esto damos un inicio y un fin del trayecto a analizar.

Ilustración 12

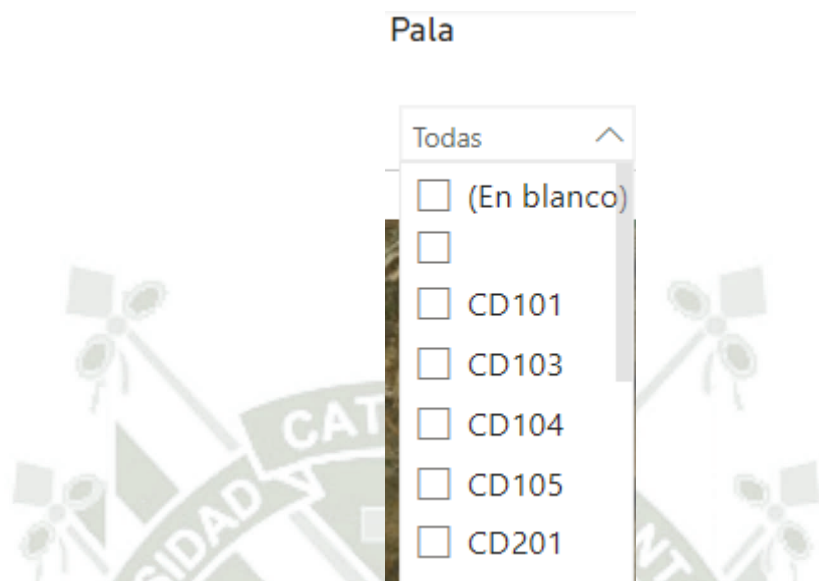
Aplicación filtro Tipo Descarga



Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de tipo de descarga en Power BI.

Ilustración 13

Aplicación filtro Pala

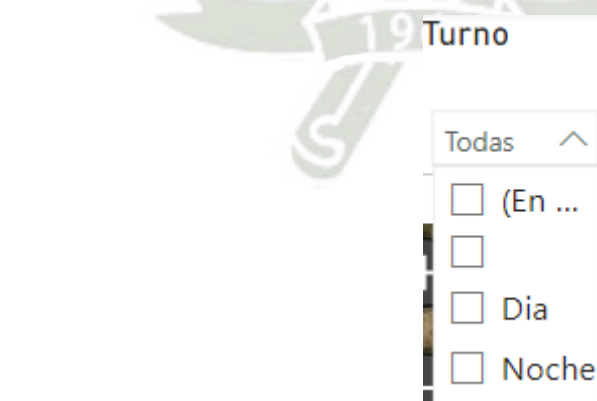


Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de pala en Power BI.

Como es de conocimiento el día de trabajo en mina se separan en guardias o turnos, es preciso entender el comportamiento de las velocidades de las flotas por cada turno ya que las condiciones son diferentes ya sea por el horario en que se ejecutan o los operadores de los camiones, etc.

Ilustración 14

Aplicación filtro Turno

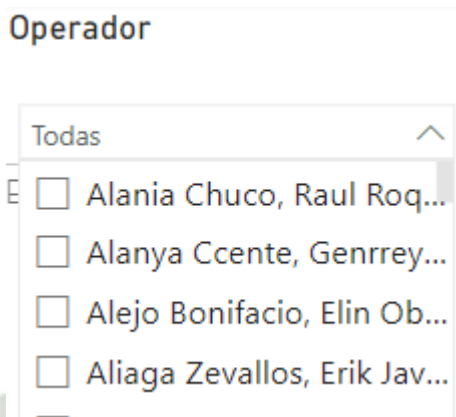


Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de turno en Power BI.

Para hacer un seguimiento del performance de los operadores con las velocidades de los camiones, se tiene un filtro donde se puede seleccionar a cualquier operador que ha registrado información en la base de datos.

Ilustración 15

Aplicación filtro Operador



Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de operador en Power BI.

Por último, el filtro de Camión, donde se muestra el código de cada equipo de acarreo dando una mejor precisión al momento de hacer el análisis de velocidades y entender el comportamiento del equipo, logrando así poder identificar el posible problema en la performance del camión y ejecutar un plan de acción en base a una jerarquía de controles.

Ilustración 16

Aplicación filtro Camión



Nota: Elaboración propia con la aplicación del filtro de camión en Power BI.

Adicional al filtro de operador se obtiene un ranking de los operadores en donde podemos identificar rápidamente los operadores que tienen un promedio mayor y menor de velocidad en kilómetros por hora y promedio de tiempo de

viaje en segundos. En la ilustración 17 se puede observar operadores con velocidades más altas que los demás, del mismo modo ocurre con el promedio de tiempo de viaje. Aquí es preciso realizar un análisis georreferenciado para entender las rutas que están tomando los operadores, logrando una comparación más equilibrada.

Ilustración 17

Ranking Operadores

Operador	Promedio de Velocidad	Operador	Promedio de TravelTime
Vilca Puma, Fredy Raul	28.69	Vilca Puma, Fredy Raul	1182.18
Segura Michue, Richar Javier	28.07	Segura Michue, Richar Javier	924.91
Carbajal Casahuilca, Antonio	27.10	Carbajal Casahuilca, Antonio	1057.45
Lozano Cueto, Pedro	26.98	Lozano Cueto, Pedro	962.11
Barboza Duran, Julio Oscar	26.96	Barboza Duran, Julio Oscar	832.46
Cipriano Collachagua, Raul	26.82	Cipriano Collachagua, Raul	917.90
Ramirez Machuca, William	26.74	Ramirez Machuca, William	1070.44
Chacca Zamata, Jorge Rolando	26.72	Chacca Zamata, Jorge Rolando	989.63
Ramirez Lopez, Paulino	26.68	Ramirez Lopez, Paulino	934.91
Murga Tacilla, Wilder	26.54	Murga Tacilla, Wilder	960.15
Rivera Collachagua, Vicente Alejandro	26.14	Rivera Collachagua, Vicente Alejandro	1175.01
Alanya Ccente, Genrrey Paul	25.80	Alanya Ccente, Genrrey Paul	1014.22
Sanchez Aliaga, Jaime	25.55	Sanchez Aliaga, Jaime	362.33
Palacios Quinto, Jinier Dany	25.53	Palacios Quinto, Jinier Dany	1041.78
Lucas Cabello, Wilmer Joel	25.28	Lucas Cabello, Wilmer Joel	862.93
Morales Pomachagua, Lenen Nelson	25.25	Morales Pomachagua, Lenen Nelson	1000.10
Total	22.59		875.13

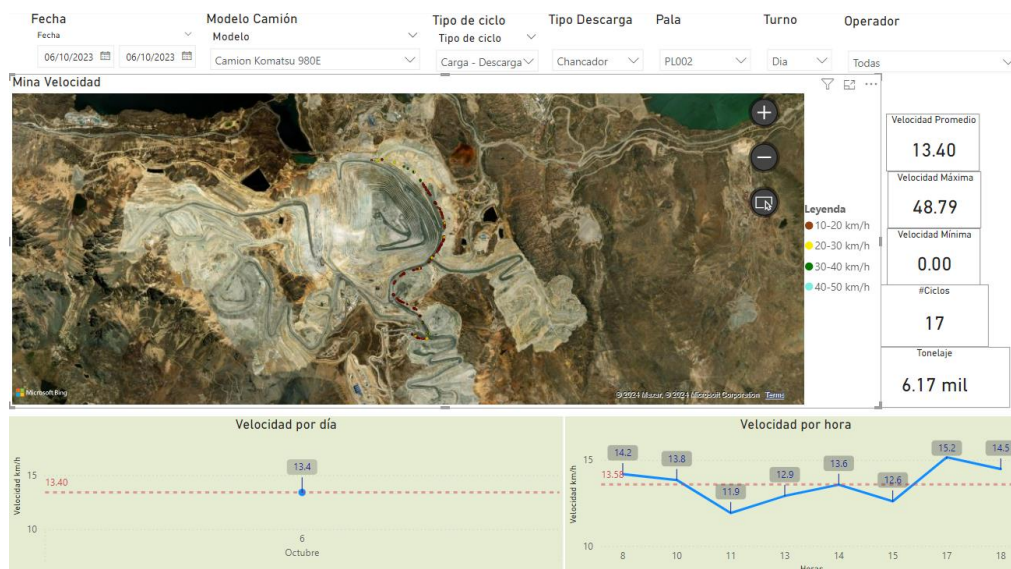
Nota: Elaboración propia con el ranking de operadores basado en datos de la flota Komatsu 980 E, procesados en Power BI.

La forma de combinar todos estos filtros nos da como resultado un análisis centralizado y objetivo de acuerdo con las necesidades de estudio de performance de los camiones.

Si centramos el análisis para el 6 de octubre del 2023 para la flota de camiones Komatsu 980E en estado cargado, que parten desde la pala PL002 hacia el chancador en el turno día considerando a todos los operadores, obtenemos el siguiente resultado.

Ilustración 18

Aplicación de todos los filtros



Nota: Elaboración propia basada en la aplicación de todos los filtros y el análisis de la flota en Power BI.

Como se observa en la ilustración 18 se han aplicado todos los filtros descritos y se pueden observar la velocidad promedio del día y las velocidades promedio por hora. También se puede mapear que la flota en ese día ha logrado hacer 17 ciclos hacia el chancador moviendo 6170 toneladas.

4.6. Comprobación de Hipótesis

La hipótesis planteada en la investigación propone que la implementación de Power BI para la comparación de rendimientos y la detección de patrones operativos permite el análisis eficiente de las velocidades en la gestión de flotas mineras.

Para comprobar esta hipótesis se elaboró el dashboard en Power BI que permite visualizar y analizar detalladamente las velocidades de las flotas mineras. Los datos que alimentan el dashboard provienen de la base de datos del sistema de gestión de flotas de la mina, estos datos fueron procesados y preparados para poder ser mostrados en Power BI.

Utilizando este software se compararon velocidades reales de los camiones con velocidades planificadas. Es posible observar discrepancias significativas en ciertos casos, permitiendo identificar áreas de mejora en la operación de la flota.

También facilita la identificación de patrones críticos de velocidad que impactan la eficiencia operativa. Se identifican patrones de desaceleración que se repiten en ciertas secciones de las rutas y en ciertas horas del día.

El uso de Power BI permite una evaluación continua de la eficiencia operativa de la flota que permite a los usuarios monitorear en tiempo real las velocidades y realizar ajustes inmediatos.

Los resultados obtenidos mediante el uso de Power BI confirman la hipótesis planteada. La herramienta facilita la comparación de velocidades reales con planificadas y la detección de patrones operativos.



CONCLUSIONES

Después de desarrollar el dashboard en Power BI para el análisis detallado de las velocidades de las flotas mineras para el monitoreo y control de ingeniería mediante la comparación de velocidades reales y planificadas, y la identificación de patrones operativos críticos, se mencionan las conclusiones dando respuesta a cada uno de los objetivos planteados que se sustentan en el capítulo IV de la investigación.

PRIMERA: La aplicación de Power BI demuestra ser importante para la integración y procesamiento de datos, permite un monitoreo y control más efectivo de las operaciones facilitando la toma de decisiones, optimizando los rendimientos y mejorando la seguridad. La creación de este dashboard demuestra que Power BI es una herramienta valiosa que permite una comprensión rápida y precisa del performance de la flota de camiones mineros, identificando desvíos de manera oportuna para reformular, planificar y ejecutar planes de acción aumentando la capacidad de respuesta ante cualquier irregularidad con el fin de cumplir las metas planificadas.

SEGUNDA: La implementación de la herramienta Power BI demuestra ser efectiva en la gestión de flotas mineras, permite visualizar de manera clara y detallada las velocidades de las flotas de camiones, esto facilita la comparación entre velocidades reales y planificadas dando oportunidad de mejorar el performance de las flotas.

TERCERA: Se logra identificar patrones de velocidad que son indicativos de deficiencias operativas. Estos patrones proporcionan una información importante para tomar decisiones estratégicas en base a los datos registrados.

CUARTA: Los resultados de esta investigación son aplicables y relevantes para mejorar la gestión de flotas en distintas operaciones mineras. Los hallazgos sugieren que la adopción de tecnologías avanzadas como Power BI lleva a mejoras significativas en la eficiencia y productividad de las flotas mineras, así también reducir los riesgos asociados con la operación de la mina.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda el uso continuo de Power BI en todas las áreas operativas que almacenen y trabajen con base de datos. La creación de dashboards interactivos y detallados debe ser una práctica común para el monitoreo de kpi's.

SEGUNDA: Con los datos y análisis obtenidos con Power BI, es importante establecer un ciclo de evaluación y mejora continua donde se revisen cada cierto tiempo los datos y resultados obtenidos, también desarrollar nuevas herramientas que permitan un análisis más estandarizado como el poder definir los boundaries georreferenciados. Esto permite asegurar que las estrategias implementadas sean efectivas y se adapten a las necesidades de la operación minera.

TERCERA: Se recomienda entender el funcionamiento del FMS de cada mina ya que puedan variar entre ellas, si bien es cierto todas manejan un formato parecido, el cambiar el nombre de la base de datos, de las tablas y columnas de almacenamiento se deben realizar un código distinto para cada una de estos y cambios en la conexión a las bases de datos para actualizar la información de los dashboards.

CUARTA: Actualmente las operaciones mineras almacenan grandes cantidades de información en bases de datos que, si se procesan de manera correcta, se pueden obtener kpi's valiosos para la toma de decisiones. Por este motivo es importante que los ingenieros de minas tengan habilidades de gestión de base de datos y conozcan la lógica de almacenamiento y procesamiento, que acompañado con el conocimiento de las operaciones mineras, dan un alto grado de competitividad en un entorno cada vez más exigente y que avanza tecnológicamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, A. (2022). *Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Despacho para el control de los equipos de carguío y acarreo utilizando la comunicación de señal móvil en la unidad minera Summa Gold Corporation SAC*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática.
- CAMIPER. (2023). *Gestión de flota en minería - Análisis de su impacto*. CAMIPER Escuela de Altos Estudios. <https://camiper.com/investigacion-por-camiper-escuela/gestion-de-flota-en-mineria---analisis-de-su-impacto>
- Caterpillar. (2023). *Fleet Management Solutions - MineStar Fleet*. Recuperado el 10 de agosto de 2024 de caterpillar.com
- De La Cruz Romero, E. (2017). *AntaMonitor: Control y monitoreo global de la flota de carguío y acarreo en Antamina*. Compañía Minera Antamina.
- Eckerson, W. W. (2010). *Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business*. John Wiley & Sons.
- Evolvous. (2023). *8 things that make Power BI right for the mining industry*. Evolvous. <https://evolvous.com/8-things-that-make-power-bi-right-for-the-mining-industry/>
- Gilbert, M., & Minick, E. (2018). *Collect, Combine, and Transform Data Using Power Query in Excel and Power BI*. Microsoft Press.
- Gonçalves, C. T., Angélico Gonçalves, M. J., & Campante, M. I. (2023). *Developing integrated performance dashboards visualisations using Power BI as a platform*. Information, 14(11), 614. <https://doi.org/10.3390/info14110614>
- GroundHog Apps. (2023). *Mining dashboards with Power BI*. GroundHog Apps. <https://groundhogapps.com/mining-dashboards-power-bi/>
- Huancaya Delgado, R., Cabrera Rebaza, O., Moreyra Perez, R., & Chumpitaz Saravia, E. (2015). *Sistema de apoyo a la gestión de una flota de vehículos en una mina a cielo abierto en Compañía Minera Coimolache S.A.*. Cía. Minera Coimolache S.A.

- Marambio Pizarro, G. A. (2010). *Efecto del Diseño Minero en la Velocidad de los Equipos de Transporte*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería en Minas.
- Microsoft. (2023). *Create measures in Power BI Desktop*. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/create-reports/desktop-tutorial-create-measures>
- Microsoft. (2023). *DAX overview*. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/dax/dax-overview>
- Mine Tech Services. (2023). *Case studies*. Mine Tech Services. <https://minetechservices.com/case-studies/>
- Modular Mining. (2023). *Dispatch Fleet Management System*. Recuperado el 5 de agosto de 2024 de modularmining.com
- MS4M. (2023). *C4M - Control for Mining*. Recuperado el 9 de agosto de 2024 de ms4m.com
- Olivares Miñano, J. (2022). *Aplicación de power bi para incrementar la productividad en el proceso de perforación en la unidad minera cerro corona*. Universidad Privada Del Norte, Facultad de ingeniería.
- Picterra. (2023). *5 benefits of real-time monitoring intelligence in mining operations*. Picterra Blog. <https://picterra.ch/blog/5-benefits-of-real-time-monitoring-intelligence-in-mining-operations/>
- Vasquez Coronado, P. P. (2014). *Optimization of the Haulage Cycle Model for Open Pit Mining Using a Discrete-Event Simulator and a Context-Based Alert System*. Universidad de Arizona.
- Vercellis, C. (2011). *Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Vugec, D.S., Vukšić, V.B., Bach, M.P., Jaklič, J., Štemberger, M.I. (2020). *Business intelligence and organizational performance: The role of alignment with business process management*. Business Process Management Journal, 26, 1709–1730.

Widjaja, S., & Mauritsius, T. (2023). The development of performance dashboard visualization with Power BI as platform. Scope Database.

<https://sdbindex.com/Documents/index/00000002/00000-41045>

Yildirim, M. (2021). Haul Truck Speed Analysis and Effect on Fleet Optimization. University of Arizona.



ANEXOS

Anexo 01. Código fuente para generación de la tabla Ciclo Descarga

```
import pandas as pd
cycle_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle.csv')
cycle_fact_main_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle_fact_main.csv')
cycle_dim_calendar_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle_dim_calendar.csv')
columnas_cycle_fact_main = {
    'CYCLEDURATION': 'TiempoTotalCiclo',
    'PAYLOAD': 'TonelajeDescarga',
    'SPOTTINGDURATION': 'SpottingTime',
    'DUMPINGDURATION': 'DumpingTime',
    'QUEUINGDURATION': 'QueuedTime',
    'SHIFTTYPE': 'Turno'
}
columnas_cycle = {
    'PRIMARYMACHINENAME': 'Pala',
    'ENDPROCESSORCLASSNAME': 'PuntoDescarga',
    'PRIMARYOPERATORNAME': 'Operador',
    'LOADTRAVDIST': 'DistanciaCiclo',
    'LOADEDACTUALTRAVELTIME': 'TravelTime',
    'PRIMARYMACHINENAME': 'Camion'
}
cycle_fact_main_df.rename(columns=columnas_cycle_fact_main,
inplace=True)
cycle_df.rename(columns=columnas_cycle, inplace=True)
merged_df = pd.merge(cycle_df, cycle_fact_main_df, left_on='CYCLE_OID',
right_on='OID', how='left')
merged_df = pd.merge(merged_df, cycle_dim_calendar_df[['CYCLE_OID',
'SHIFTTYPE']], on='CYCLE_OID', how='left')
columnas_necesarias = ['CYCLE_OID'] +
list(columnas_cycle_fact_main.values()) + list(columnas_cycle.values()) +
['Turno']
ciclo_descarga_df = merged_df[columnas_necesarias]
```

ciclo_descarga_df.to_csv('ruta/a/ciclodescarga.csv', index=False)



Anexo 02. Código fuente para generación de la tabla Ciclos.

```
import pandas as pd
v_machine_input_df = pd.read_csv('ruta/a/v_machine_input.csv')
cycle_fact_main_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle_fact_main.csv')
cycle_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle.csv')
cycle_dim_calendar_df = pd.read_csv('ruta/a/cycle_dim_calendar.csv')
v_machine_input_rename = {
    'SPEED': 'Velocidad',
    'LONGITUDE': 'Longitud',
    'LATITUDE': 'Latitud'
}
cycle_fact_main_rename = {
    'CYCLETYPE': 'TipoCiclo',
    'PAYLOAD': 'Tonelaje'
}
cycle_rename = {
    'CREATED_DATE_UTC': 'Fecha',
    'PRIMARYMACHINENAME': 'CamionCiclo',
    'PRIMARYMACHINECLASSNAME': 'ModeloCamion',
    'PRIMARYOPERATORNAME': 'Operador',
    'CYCLE_OID': 'IDCiclo'
}
cycle_dim_calendar_rename = {
    'SHIFTTYPE': 'Turno'
}
v_machine_input_df.rename(columns=v_machine_input_rename,
inplace=True)
cycle_fact_main_df.rename(columns=cycle_fact_main_rename, inplace=True)
cycle_df.rename(columns=cycle_rename, inplace=True)
cycle_dim_calendar_df.rename(columns=cycle_dim_calendar_rename,
inplace=True)
ciclos_df = pd.merge(cycle_df, cycle_fact_main_df, left_on='IDCiclo',
right_on='CYCLE_OID', how='left')
```

```
ciclos_df = pd.merge(ciclos_df, v_machine_input_df, on='IDCiclo', how='left')
ciclos_df = pd.merge(ciclos_df, cycle_dim_calendar_df[['CYCLE_OID',
'Turno']], left_on='IDCiclo', right_on='CYCLE_OID', how='left')
columnas_necesarias = ['IDCiclo', 'Velocidad', 'TipoCiclo', 'Fecha', 'Longitud',
'Latitud', 'Tonelaje', 'ModeloCamion', 'Operador', 'Turno', 'CamionCiclo']
ciclos_df_final = ciclos_df[columnas_necesarias]
ciclos_df_final.to_csv('ruta/a/ciclos_final.csv', index=False)
```



Anexo 03. Código fuente para la clasificación de rangos de velocidad.

[VelocidadRango] = if [Velocidad] < 5 then "0-5 km/h"

else if [Velocidad] < 10 then "5-10 km/h"

else if [Velocidad] < 20 then "10-20 km/h"

else if [Velocidad] < 30 then "20-30 km/h"

else if [Velocidad] < 40 then "30-40 km/h"

else if [Velocidad] < 50 then "40-50 km/h"

else if [Velocidad] <= 65 then "50-65 km/h"

else if [Velocidad] > 65 then "Mayor a 65 km/h"

else ("Velocidad Inconsistente")

Anexo 04. Código fuente para la creación de medidas de conteo de camiones y ciclos en Power BI.

Camiones Únicos = DISTINCTCOUNT('Ciclos'[CamionCiclo])

Ciclos Únicos = DISTINCTCOUNT(Ciclos[IDCiclo])



Anexo 05. Código fuente para la creación de medida de tonelaje único por ciclo en Power BI.

```
Tonelaje Único por Ciclo =  
SUMX(  
SUMMARIZE(  
'Ciclos',  
'Ciclos'[IDCiclo],  
"Tonelaje_Único", MAX('Ciclos'[Tonelaje])  
),  
[Tonelaje_Único]  
)
```