



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES PARA UN NUEVO
FRENTE DE MINADO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARES
ESPECIALIZADOS EN LA UNIDAD OPERATIVA MINERA
HALCON DE ORO**

TESIS

PRESENTADA POR:

BRANDON LARICO VARGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2024



Brandon Larico Vargas

**DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES PARA UN NUEVO
FRENTE DE MINADO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARES ESP...**

 asesor

 My Files

 Universidad Nacional del Altiplano

Document Details

Submission ID

trn:oid:::8254:412935232

107 Pages

Submission Date

Dec 5, 2024, 11:17 AM GMT-5

19,958 Words

Download Date

Dec 5, 2024, 11:28 AM GMT-5

107,964 Characters

File Name

DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES PARA UN NUEVO FRENTE DE MINADO MEDIANTE EL USO DEpdf

File Size

1.9 MB





14% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Small Matches (less than 12 words)
- ▶ Crossref database
- ▶ Crossref posted content database

Exclusions

- ▶ 5 Excluded Matches

Top Sources

- 13% Internet sources
- 2% Publications
- 10% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

Hidden Text

121 suspect characters on 2 pages

Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Arturo Rafael Chayña Rodríguez
INGENIERO DE MINAS
CIP 100226

Dr. Americo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas





DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí, por su guía y bendición en cada paso de este camino.

A mis padres, Jose Larico Apaza y Rosaura Vargas Huanca, por su apoyo incondicional, han sido mi mayor fuente de inspiración. Gracias por acompañarme en cada paso de este camino, por creer en mí, y por inculcarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es tanto suyo como mío.

Brandon Larico Vargas



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental durante todo este proceso. Su apoyo constante y sus palabras de aliento me han dado la fuerza necesaria para superar cada desafío que se ha presentado en el camino.

Agradezco también a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme los conocimientos que han sido clave en mi formación profesional. Su compromiso con la educación de calidad me ha permitido crecer tanto académica como personalmente.

*Finalmente, extiendo mi sincero agradecimiento a mi **asesor**, cuya orientación y apoyo fueron esenciales para la realización de este trabajo. Su dedicación y consejos me han guiado a lo largo de este proceso, permitiéndome llevar a cabo esta investigación de manera exitosa.*

Brandon Larico Vargas



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. Pregunta general	19
1.2.2. Preguntas específicas	19
1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	19
1.3.1. Hipótesis general.....	19
1.3.2. Hipótesis específicas.....	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Justificación teórica	20



1.5.2. Justificación metodológica	21
1.5.3. Justificación practica.....	22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.2. MARCO TEÓRICO	29
2.2.1. Planeamiento de minado	29
2.2.2. Programa de producción	29
2.2.3. Sistema de carguío y acarreo en minería superficial	30
2.2.3.1. Punto de carga	31
2.2.3.2. Punto de descarga.....	31
2.2.3.3. Equipos de carguío y acarreo	32
2.2.3.4. Ruta de acarreo	34
2.2.3.5. Longitud de la ruta	35
2.2.3.6. Pendiente	36
2.2.3.7. Radio de curvatura	37
2.2.3.8. Resistencia a la rodadura.....	38
2.2.4. Reservas	39
2.2.5. Software especializado para la estimación de reservas	39
2.2.6. Parámetros operativos en minería.....	40
2.2.6.1. Disponibilidad mecánica	40
2.2.6.2. Sistema laboral	41
2.2.6.3. Tiempos fijos en el ciclo de carguío y acarreo.....	41



2.2.6.4.	Capacidad de carga de los equipos.....	42
2.2.6.5.	Material	43
2.2.6.6.	Densidad in situ	44
2.2.6.7.	Densidad removida.....	44
2.2.6.8.	Factor de esponjamiento.....	44
2.2.6.9.	Factor de llenado del cucharón.....	45
2.2.6.10.	Velocidad del equipo de acarreo	45
2.2.7.	Dimensionamiento de camiones	46
2.2.7.1.	Simulación.....	46
2.2.7.2.	Cálculo de la flota de camiones.....	46
2.2.7.3.	Modelo de tiempos de ciclo para dimensionar una flota.....	47
2.2.8.	Software especializado	47
2.2.8.1.	Minesight.....	47
2.2.8.2.	Autocad	48
2.2.8.3.	Talpac	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	49
3.1.1.	Accesibilidad	49
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.2.1.	Población	50
3.2.2.	Muestra	51
3.3.	DISEÑO METODOLÓGICO	52
3.3.1.	Enfoque de la Investigación.....	52
3.3.2.	Tipo de la investigación	53



3.3.3. Nivel de la investigación.....	54
3.3.4. Diseño de la investigación	55
3.3.5. Método empírico para el dimensionamiento inicial de camiones.....	55
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	56
3.4.1. Variable independiente	56
3.4.2. Variable dependiente	56
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	57
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	58
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	58
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EMPLEAR DE MANERA EFICIENTE LOS SOFTWARES ESPECIALIZADOS EN EL PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES EN LA UNIDAD OPERATIVA MINERA HALCÓN DE ORO	62
4.1.1. Estimación del tonelaje disponible en MineSight.....	62
4.1.2. Simulación de la ruta de acarreo en minesight	63
4.1.3. Análisis geométrico de la ruta en autocad	65
4.1.4. Simulación del dimensionamiento de camiones en talpac.....	65
4.1.5. Discusión del objetivo específico 2	67
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR EL NÚMERO IDEAL DE CAMIONES NECESARIOS PARA GARANTIZAR UN TRANSPORTE EFICIENTE DE MATERIAL MORRÉNICO.....	69
4.2.1. Velocidad de los equipos de acarreo.....	69



4.2.2. Tiempos fijos en el proceso de carguío y acarreo.....	71
4.2.3. Condiciones operativas	74
4.2.4. Numero de camiones necesarios.....	79
4.2.5. Discusión del objetivo específico 1	79
4.3. OBJETIVO GENERAL: DIMENSIONAR DE MANERA ADECUADA LA FLOTA DE CAMIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARES ESPECIALIZADOS.....	81
4.3.1. Dimensionamiento de camiones método empírico.....	81
4.3.2. Dimensionamiento de camiones método aplicación de softwares especializados	82
4.3.3. Comparación entre el método empírico y la aplicación de softwares especializados	82
4.3.4. Discusión del objetivo general.....	83
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	94

ÁREA: Ingeniería de Minas

TEMA: Diseño y Planeamiento en Minería

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Vias de acceso, distancia y tiempo	50
Tabla 2 Operacionalización de variables	57
Tabla 3 Parámetros en el cálculo del tonelaje.....	63
Tabla 4 Distancia y pendiente en cada tramo de la ruta	64
Tabla 5 Radios de curvatura para cada tramo identificado.....	65
Tabla 6 Resultados de la simulación en talpac	67
Tabla 7 Velocidad promedio en distintas situaciones operativas	70
Tabla 8 Resultados de tiempos fijos del camión.....	73
Tabla 9 Resultados de tiempo fijos de la excavadora	74
Tabla 10 Características del material.....	75
Tabla 11 Sistema laboral.....	76
Tabla 12 Programa de producción diaria de la empresa	77
Tabla 13 Características del equipo de carguío	77
Tabla 14 Características del equipo de acarreo.....	78
Tabla 15 Valores de resistencia a la rodadura de los camiones	78
Tabla 16 Resultados del dimensionamiento de camiones método empírico	81
Tabla 17 Resultados del dimensionamiento de camiones método aplicación de softwares especializados	82



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Modelo conceptual de los puntos de carga y descarga.....	32
Figura 2 Equipo de acarreo en minería superficial (volvo fmx 440).....	33
Figura 3 Ruta de acarreo en minería superficial	35
Figura 4 Pendiente de una ruta	37
Figura 5 Radio de curvatura	38
Figura 6 Clasificación de los tiempos de ciclo	42
Figura 7 Información del peso de un vehículo	43
Figura 8 Vista en sección este – oeste de la superficie.....	63
Figura 9 Velocidad promedio de los camiones.....	70
Figura 10 Tiempo de posicionamiento del camión en el frente de minado.....	71
Figura 11 Tiempo de posicionamiento del camión en el vertedero.....	72
Figura 12 Tiempo de descarga de material del camión	72
Figura 13 Tiempo de ciclo del cucharón de la excavadora	74
Figura 14 Comparación entre ambos métodos empírico y softwares especializados..	83



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Ubicación de la concesión de la empresa.....	94
ANEXO 2 Plano en vista planta de la operación de carguío y acarreo.....	95
ANEXO 3 Tonelaje estimado.....	96
ANEXO 4 Ruta de acarreo seccionada en 27 tramos	97
ANEXO 5 Tramos de la ruta de acarreo que presenta curvatura	98
ANEXO 6 Ficha técnica, excavadora caterpillar 330D2L.....	99
ANEXO 7 Ficha técnica, volvo fmx 440	100
ANEXO 8 Camiones de acarreo	101
ANEXO 9 Equipo de carguío.....	102
ANEXO 10 Resultado de la simulación de la ruta de acarreo en talpac	103
ANEXO 11 Descripción de la ruta de acarreo en el software talpac	104
ANEXO 12 Resultados de producción obtenidos por el software talpac.....	105



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Kg	: Kilogramos
m³	: Metros cúbicos
Ton	: Toneladas
Seg	: Segundos
%	: Porcentaje
m	: Masa
g	: Gravedad
RR	: Resistencia a la rodadura
CR	: Coeficiente de resistencia a la rodadura
Hr	: Horas
FMX	: Modelo de camión volvo
330D2L	: Modelo de excavadora Caterpillar
gr Au /m³	: Gramos de oro por metro cubico
Km/h	: Kilometro por hora
°	: Grados
m³/día	: Metros cúbicos por día
3D	: Modelos tridimensionales
Minesight	: Software de modelo y planificación
AutoCAD	: Software para diseño
Talpac	: Software análisis de productividad de camiones y cargadores



RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue dimensionar adecuadamente la flota de camiones necesarios para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, utilizando softwares especializados. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental, además se utilizó un método empírico preliminar para dimensionar la flota de camiones. La población y muestra estuvo constituida por una excavadora Caterpillar 330D2L, dos camiones Volvo FMX 440 6x4 y las condiciones operativas de la mina. Se utilizaron técnicas de observación directa, simulación con software especializado (MineSight, AutoCAD y Talpac) y revisión de documentos (fichas técnicas de equipos e informes operativos), con instrumentos como hojas de registro, Excel y los mencionados softwares. Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones indicaron que la flota ideal constaba de tres camiones, con una producción diaria de 603.75 m³, dentro del rango permitido de 600 m³ ±10%, en contraste, el método empírico también calculó tres camiones, pero sobreestimó la producción diaria a 680.4 m³ al no considerar parámetros operativos clave, como la disponibilidad mecánica o el sistema laboral. En conclusión, el uso de los softwares especializados permitió incorporar variables operativas que los métodos tradicionales no consideran, logrando un dimensionamiento más preciso y alineado con las necesidades productivas de la empresa. Este enfoque permitió una planificación más precisa y sostenible, asegurando una operación eficiente y adaptada a las condiciones específicas de la operación.

Palabras clave: Camiones, Dimensionamiento, Producción, Softwares especializados.



ABSTRACT

The objective of this research was to properly size the fleet of trucks needed for the new mining front at the Halcón de Oro Mining Operational Unit, using specialized software. The study had a quantitative, applied approach, descriptive level and non-experimental design, and a preliminary empirical method was used to size the fleet of trucks. The population and sample consisted of a Caterpillar 330D2L excavator, two Volvo FMX 440 6x4 trucks and the operating conditions of the mine. Direct observation techniques, simulation with specialized software (MineSight, AutoCAD and Talpac) and document review (equipment data sheets and operating reports) were used, with instruments such as log sheets, Excel and the aforementioned software. The results obtained from the simulations indicated that the ideal fleet consisted of three trucks, with a daily production of 603.75 m³, within the allowed range of 600 m³ ±10%. In contrast, the empirical method also calculated three trucks, but overestimated the daily production to 680.4 m³ by not considering key operational parameters, such as mechanical availability or the labor system. In conclusion, the use of specialized software allowed the incorporation of operational variables that traditional methods do not consider, achieving a more precise sizing aligned with the productive needs of the company. This approach allowed for more precise and sustainable planning, ensuring efficient operation adapted to the specific conditions of the operation.

Keywords: Trucks, Dimensioning, Production, Specialized Software.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito global, la minería enfrenta desafíos críticos relacionados con la optimización de recursos y la eficiencia operativa. Un problema recurrente es el dimensionamiento adecuado de la flota de camiones de acarreo, ya que una correcta asignación de estos vehículos es fundamental para asegurar el flujo constante de material desde el yacimiento hasta la planta de procesamiento. La subestimación o sobredimensionamiento de la flota de camiones sigue siendo una práctica común, lo que conduce a ineficiencias operativas y al incremento de los costos operacionales. Según informes de Deloitte Global Mining & Metals (2020) la industria minera pierde grandes cantidades debido a ineficiencias operativas, muchas de las cuales están relacionadas con la gestión inadecuada de las flotas de camiones. Además, se estima que entre el 10% y el 20% de los costos operativos en algunas operaciones mineras se deben a la mala planificación y gestión de flotas, lo que subraya la magnitud del problema. Esta problemática afecta no solo la rentabilidad, sino también la sostenibilidad de las operaciones mineras en todo el mundo.

A nivel internacional, la ineficiencia en el dimensionamiento de flotas de camiones de acarreo sigue siendo una de las principales causas de ineficiencias operativas y altos costos en las operaciones mineras. Según Lins de Noronha et al. (2018) en América Latina, la incorrecta asignación de equipos de acarreo debido a un dimensionamiento inadecuado ha generado tiempos de espera prolongados y brechas en la producción, lo que impacta negativamente en la eficiencia operativa. La mala planificación de flotas también lleva a la subutilización de los equipos, lo que incrementa los costos operativos



y ocasionando retrasos significativos en la producción, lo cual afecta directamente la rentabilidad de las operaciones.

En el caso de la minería peruana, en operaciones de reubicación o expansión de proyectos, es necesario ajustar continuamente la flota de camiones para cumplir con las demandas de producción. Según Sánchez (2021) abordar estos problemas es fundamental, ya que la asignación incorrecta de la flota puede afectar gravemente los plazos de producción y la eficiencia en el transporte de material. Es importante destacar que, aunque el dimensionamiento de la flota es un aspecto crucial para la operatividad minera, muchas veces se subestima la necesidad de realizar un análisis detallado que contemple las variaciones en las condiciones de la mina y los equipos disponibles. Este problema subraya la necesidad de contar con un enfoque metodológico robusto que permita ajustar la flota de manera dinámica para adaptarse a las demandas del proceso productivo.

El caso de estudio de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro ilustra de manera concreta los problemas asociados con el dimensionamiento de flotas en la minería. La empresa se enfrenta al reto de reubicar su operación de carguío y acarreo hacia un nuevo frente de minado, lo que obliga a revisar exhaustivamente los requerimientos operativos y el número de camiones necesarios para garantizar una operación eficiente. La subestimación o sobredimensionamiento de la flota puede llevar a ineficiencias operativas y retrasos en la producción, lo que afectaría tanto la rentabilidad como la sostenibilidad de la operación. En este contexto, la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro debe implementar un análisis detallado que permita dimensionar correctamente la flota de camiones, de acuerdo con las características específicas y las necesidades de producción de la empresa, garantizando así un uso eficiente de los recursos y una operación sosteniblemente rentable.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo dimensionar adecuadamente los camiones necesarios para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro utilizando softwares especializados?

1.2.2. Preguntas específicas

¿Cuál es el número ideal de camiones requeridos para el transporte eficiente de material morrénico en el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro?

¿Cómo se puede emplear de manera efectiva el software especializado en el proceso de dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

El uso de softwares especializados contribuyó al proceso de dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, garantizando la eficiencia operativa en el proceso de carguío y acarreo en el nuevo frente de minado.

1.3.2. Hipótesis específicas

El uso de software especializado y las condiciones específicas de la operación permitió determinar un número ideal de camiones requeridos para el



transporte eficiente de material morrénico del nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro

El empleo efectivo de los softwares especializados en el proceso de dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcon de Oro apporto a una mejora significativa en la precisión del dimensionamiento de camiones.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Dimensionar de manera adecuada la flota de camiones para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro mediante la aplicación de softwares especializados.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar el número ideal de camiones necesarios para garantizar un transporte eficiente de material morrénico en el nuevo frente de minado de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro.

Emplear de manera eficiente los softwares especializados en el proceso de dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Justificación teórica

La justificación teórica de esta investigación se basa en la necesidad de incorporar enfoques modernos en el dimensionamiento de camiones, especialmente en la minería a pequeña escala, donde la optimización de los



recursos es fundamental. En este sentido, se recurre a la literatura existente sobre el uso de herramientas tecnológicas, como los softwares especializados, que han demostrado ser efectivos para mejorar la gestión de flotas de camiones en operaciones mineras. Además, las teorías de ingeniería de minas y gestión de operaciones respaldan el enfoque propuesto, asegurando que el estudio se lleve a cabo dentro de un marco académico sólido y fundamentado.

Este proyecto busca contribuir al desarrollo de nuevos modelos aplicables a la minería a pequeña escala, con el fin de optimizar las operaciones y mejorar la eficiencia operativa. Al integrar innovaciones tecnológicas adaptadas a las condiciones específicas de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, la investigación no solo aporta al ámbito académico, sino también genera conocimiento útil para futuras investigaciones en el sector minero, ampliando las aplicaciones de estos enfoques modernos.

1.5.2. Justificación metodológica

La justificación metodológica responde a la necesidad de utilizar un enfoque sistemático para evaluar el impacto del software especializado en el dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro. Este enfoque permite la recolección de datos específicos sobre las características del material, los equipos, las rutas de acarreo y las condiciones operativas, lo que facilita la comparación de diferentes alternativas para el dimensionamiento de la flota. Un análisis detallado y riguroso de estos datos proporciona conclusiones bien fundamentadas sobre la efectividad del software en la mejora de la eficiencia operativa.



La metodología permitirá identificar las áreas críticas del proceso de dimensionamiento de camiones, lo que facilita la toma de decisiones más informadas para mejorar la productividad de la flota. También proporcionará una base sólida para realizar ajustes precisos en la operación, optimizando el uso de recursos y asegurando un rendimiento más eficiente y sostenible. Además, la metodología establecida servirá como referencia para futuras investigaciones o implementaciones dentro del sector minero.

1.5.3. Justificación practica

La justificación práctica se centra en la capacidad de la investigación para abordar problemas operativos específicos de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro. El uso del software especializado permitirá mejorar la eficiencia en el proceso de dimensionamiento de camiones y la gestión de la flota de transporte de material. La empresa se beneficiará directamente de este enfoque al obtener datos precisos que optimicen la toma de decisiones y aumenten la productividad de las operaciones mineras.

Los resultados del estudio no solo beneficiarán a la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, sino que también ofrecerán valiosas referencias para investigadores y académicos en el campo de la minería a pequeña escala. Además, los hallazgos de este estudio podrán aplicarse a otras minas con características similares, desarrollando mejores prácticas que contribuyan a la mejora de los procesos operativos y a una mayor eficiencia en el sector.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Leiva (2020) en su estudio titulado: “Análisis de implementación de camiones autónomos en mina a cielo abierto”, con el objetivo de determinar cómo los camiones autónomos impactan en el diseño, planificación, productividad y costos en un proyecto real. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo, exploratorio y descriptivo, con empresas mineras como población objetivo. Los resultados muestran que la implementación de camiones autónomos aumenta los costos totales en un 3%, a pesar de ventajas como la reducción de flota y costos operativos. Concluyo que, aunque los avances tecnológicos pueden hacer que los camiones autónomos sean rentables a largo plazo, los altos costos actuales limitan su viabilidad. Sin embargo, la tendencia hacia la automatización sugiere que, en el futuro, podrían ofrecer beneficios significativos.

González (2018) en su tesis titulada “Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi” tuvo como objetivo proponer una metodología para calcular la flota de equipos de carguío y transporte, asegurando el cumplimiento del Plan de Producción. La investigación comparó dos modelos: uno manual y otro automático basado en un sistema de despacho. Los resultados mostraron que, en el cálculo manual de la capacidad de carga, se alcanzó un tonelaje del 94.7%, con una fluctuación de peso no superior al 10%. En cambio, el sistema automático



superó las expectativas, alcanzando un 102.4% de cumplimiento con el tonelaje planificado, y manteniendo márgenes de cumplimiento entre el 95% y el 118% en todas las fases. Además, se observó una diferencia del -9.0% en la cantidad de camiones calculados con el método manual frente al modelo automático. En conclusión, la investigación destacó la superioridad del sistema automático de despacho en términos de precisión y adaptación al Plan de Producción en comparación con los cálculos manuales tradicionales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jacobo (2024) en su tesis titulada “Impacto del dimensionamiento de flota de transporte en el incremento de producción en Mina Summa Gold – El Toro”, tuvo como objetivo analizar cómo el dimensionamiento de la flota influye en el aumento de la producción en la Unidad Minera Summa Gold. La investigación es de tipo no aplicada, de nivel descriptivo y con un enfoque cuantitativo. Los resultados revelaron que tanto la flota como el cargador frontal experimentaron un incremento en la disponibilidad del equipo, pasando del 82% al 85%, mientras que los equipos de acarreo aumentaron su disponibilidad del 80% al 85%. Se determinó que la flota óptima consistía en 7 unidades de camiones para la fase 08-pad2 y 6 camiones para la fase 07-botadero. Se concluyó que el diagnóstico actual de la flota, centrado en los indicadores operativos, mostró una mejora significativa, pasando de una eficiencia operativa inferior al 70% a alcanzar una disponibilidad y utilización de los equipos que lograron una eficiencia del 85%.

Quiñones (2024) en su investigación “Dimensionamiento de flota de acarreo para el incremento de producción en Minera Las Lomas Doradas, Piura, 2024” cuyo objetivo fue determinar la cantidad adecuada de camiones necesarios



para aumentar la producción. Con un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada, el estudio utilizó un diseño pre-experimental. La población estuvo formada por los equipos de carguío y transporte de la empresa, mientras que la muestra consistió en 28 mediciones de tiempos de ciclo. Para recolectar los datos se usó una guía de observación validada por expertos y respaldada con una prueba estadística T de Student, la cual confirmó la confiabilidad del instrumento utilizado. Los resultados mostraron que la flota ideal para la operación estaba compuesta por cuatro camiones Scania R620. Con esta configuración, el tiempo promedio de ciclo se redujo de 13.90 minutos a 9.47 minutos, y el tiempo de espera de los camiones en el cargador disminuyó de 6.92 minutos a 2.47 minutos por ciclo. Aunque la productividad del equipo de carguío disminuyó levemente (de 509.78 tn/h a 499.42 tn/h) debido a la reducción de la flota de seis camiones a cuatro, se logró optimizar el proceso general y cumplir con el plan mensual de producción utilizando menos recursos. El estudio concluyó que el adecuado dimensionamiento de flotas en minería no solo mejora la eficiencia operativa al reducir los tiempos de ciclo, sino que también permite alcanzar los objetivos de producción con menos equipos, maximizando el uso de los recursos disponibles.

Olivares y Pinto (2023) en su investigación “Evaluación del carguío y acarreo con simulación en software Talpac para mejorar la productividad en la UM La Arena” evaluaron el proceso de carguío y acarreo en la Unidad Minera La Arena mediante el uso de Talpac, con el objetivo de mejorar la productividad operativa. La metodología empleada fue exploratoria y de diseño no experimental. Se analizó la situación actual de la productividad y las características operativas de los equipos, recopilando datos sobre disponibilidad de equipos, tasas de rendimiento y tiempos de operación. Con esta información, se definieron los



parámetros necesarios para simular las rutas de acarreo, considerando la capacidad de los equipos, distancias, velocidades de desplazamiento y restricciones operativas. Los resultados de las simulaciones indicaron que una flota de 6 camiones mineros optimizaría la productividad de la excavadora hidráulica en la Fase 8. Además, la investigación destacó la importancia del mantenimiento adecuado de las vías de acarreo, ya que una variación del 2% en la resistencia a la rodadura durante la temporada de lluvias podría afectar la productividad en un 2.45%. En conclusión, la simulación con Talpac permitió mejorar la eficiencia operativa, sirviendo como una herramienta valiosa para la planificación de las operaciones mineras.

Sánchez (2021) en la tesis titulada: “Dimensionamiento óptimo de Flota de carguío y acarreo para la reubicación de la relavera La Catedral, Minera Sayapullo S.A. 2020”, se llevó a cabo una investigación cuyo objetivo general fue determinar el dimensionamiento óptimo de la flota de carguío y acarreo necesaria para la reubicación de la relavera La Catedral en la Minera Sayapullo S.A. durante el año 2020. La metodología empleada en esta investigación fue de tipo explicativa y diseño experimental. La población estudiada consistió en la flota existente de la minera, que incluía una unidad de carguío (Cargador Caterpillar 215C) y una unidad de acarreo (Camión Volvo N10 6x4). Debido a la naturaleza del estudio, estas unidades se consideraron también como la muestra. Para recopilar la información, se utilizó la técnica de observación, y el instrumento empleado fue una guía de observación. Los resultados obtenidos incluyeron simulaciones basadas en la producción y el rendimiento de las flotas actuales de la minera y las propuestas, con el objetivo de determinar el tipo y la cantidad de unidades de carguío y acarreo necesarias para lograr una producción óptima.



Específicamente, el estudio se enfocó en el acarreo de 146,918 toneladas de material estéril de la relavera La Catedral. En conclusión, la investigación determinó que la flota óptima propuesta es superior a la flota existente, logrando una mejora significativa en la productividad y eficiencia del proceso de reubicación de la relavera La Catedral en Minera Sayapullo S.A.

Neyra (2020) en su tesis titulada “Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto”, tuvo como objetivo mejorar el desempeño de las estructuras de transporte y carga de la Compañía Minera Atacocha S.A.A. mediante el dimensionamiento adecuado de las unidades de carga. Este estudio se considera una investigación aplicada, ya que busca resolver un problema específico en la mina. Los resultados obtenidos indicaron que, para el transporte de material volado, se utilizan doce volquetes de 20 metros cúbicos para trasladar el mineral desde la mina hasta la zona de almacenamiento a lo largo de una rampa con una pendiente máxima del 10% y un ancho de 11 metros. Se concluyó que el correcto dimensionamiento de la flota contribuye a obtener mejores condiciones en términos de costos por tonelada (\$/Ton), ya que tanto el exceso como la escasez de unidades de transporte tienen un impacto directo en los costos de la operación minera.

Gil (2019) en su tesis titulada “Aplicación de software minero Minehaul para cálculo de camiones en plan minero LOM 2019 en Unidad Minera La Arena S.A.”, tuvo como objetivo determinar el número óptimo de unidades de acarreo necesarias, utilizando el software Minehaul, para cumplir con los requerimientos del plan minero en la unidad minera. La investigación es de tipo aplicada y de nivel descriptivo. Los resultados mostraron que, según el perfil de unidades definido en el Budget 2019, al inicio del periodo fue necesario activar 26 unidades



físicas de camiones para ejecutar el tonelaje establecido en el plan minero. De estas unidades, la disponibilidad alcanzó un 91.50%, lo que se consideró dentro de los parámetros óptimos establecidos. Se concluyó que el uso del software Minehaul permite generar rutas de acarreo adaptadas a la operación dinámica de la mina, lo cual es crucial debido a su relación con factores como el banco minero, el tipo de material a transportar y el destino de dicho material dentro de la operación minera.

Rodríguez (2019) nos expone la tesis titulada: “Gestión del transporte y acarreo de mineral y desmonte en Mina Cuajone de Southern Perú Copper Corporation”, en la que se llevó a cabo una investigación cuyo objetivo principal fue gestionar la cantidad necesaria de camiones y establecer la relación correcta entre estos y las palas. Para lograr este objetivo, se consideraron como variables fundamentales los tiempos de ciclo y las distancias en la mina Cuajone. La investigación, de tipo correlacional-descriptivo, utilizó el método científico como enfoque principal, complementado con el método descriptivo como secundario. El diseño de la investigación es de naturaleza transaccional correlacional, lo que permitió analizar la relación entre las variables en un punto específico del tiempo. Los resultados de esta indagación llevaron a la conclusión de que, para el primer año de operación, se requiere un total de dieciocho camiones para optimizar el transporte y acarreo de mineral y desmonte en la mina Cuajone. Concluyendo que el dimensionamiento es crucial para garantizar la eficiencia y productividad de las operaciones mineras, asegurando que la cantidad de camiones sea adecuada para las necesidades operativas y esté bien coordinada con la capacidad de las palas.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Planeamiento de minado

Es el proceso de planificación, el que permite identificar y pronosticar el que hacer, de modo de alcanzar los objetivos de la empresa, junto con los presupuestos, los planes de ventas, los programas de inversión, las estimaciones de recursos y otros.

La planificación en una empresa minera implica definir los resultados que se desean alcanzar y programar las actividades, junto con los recursos y tiempos necesarios, para cumplir con la misión de la organización. En el ámbito minero, este proceso es crucial, ya que implica la elaboración de planes de producción minera, considerando la cantidad de material a procesar (Vidal, 2010).

Al desarrollar los planes de producción para una mina en operación, es fundamental considerar las características y cantidades de los equipos principales, como perforadoras, palas, cargadores y camiones. Estos elementos son determinantes para establecer la capacidad de producción de la mina. La cantidad total de material extraído en los diferentes períodos estará influenciada por la capacidad y el número de equipos de carguío disponibles en los frentes de trabajo de cada fase, así como por la cantidad de camiones asignados a cada uno, dependiendo del tipo de material que se debe transportar.

2.2.2. Programa de producción

Los programas de producción son planes detallados que establecen la cantidad y el ritmo de producción en operaciones mineras durante un período específico y como se van alcanzando las metas de producción (Minchola, 2018).



Estos programas son esenciales para asegurar que las actividades mineras se realicen de manera eficiente, maximizando la productividad y minimizando los costos operativos, al tiempo que cumplen con las normativas de seguridad y ambientales.

Para Pereira et al. (2005) un programa de producción minera implica planificar el ritmo de extracción para cada banco de trabajo para cumplir con los objetivos de producción y calidad mientras se optimiza la asignación de equipos de carga y acarreo.

2.2.3. Sistema de carguío y acarreo en minería superficial

El sistema de carguío y acarreo en minería superficial se refiere a la integración de procesos y equipos utilizados para la extracción y transporte de material desde el frente de trabajo hasta los puntos de descarga. Este sistema es crucial para la eficiencia operativa de cualquier operación minera, ya que permite movilizar tanto el mineral valioso como el estéril generado durante la extracción.

Según Córdova (2018) el carguío y el acarreo representan las acciones clave que definen la operación principal en un contexto minero, encargándose del movimiento del mineral o estéril que ha sido previamente fragmentado mediante técnicas de voladura. Este proceso implica no solo el uso de maquinaria especializada, como excavadoras y camiones de acarreo, sino también la planificación cuidadosa de rutas y tiempos de operación para optimizar la producción y minimizar costos.

En este sentido, la correcta coordinación entre el carguío, que es el proceso de cargar el mineral en los camiones o unidades de transporte, y el acarreo, que se refiere al transporte del material a través de rutas preestablecidas, resulta clave



para minimizar tiempos muertos y maximizar la productividad en una operación minera.

2.2.3.1. Punto de carga

El punto de carga es el lugar en el que los equipos de carguío, como excavadoras o palas, transfieren el material fragmentado, ya sea mineral o estéril, a los vehículos de acarreo, como camiones. Este aspecto es fundamental en la operación minera, ya que influye directamente tanto en el tiempo de ciclo de los equipos como en la eficiencia global del proceso de transporte. Un punto de carga bien ubicado y gestionado reduce al mínimo los tiempos de espera, tanto para los equipos de carguío como para los vehículos de acarreo, lo que permite optimizar el flujo de material y, por ende, mejorar la productividad del proceso.

2.2.3.2. Punto de descarga

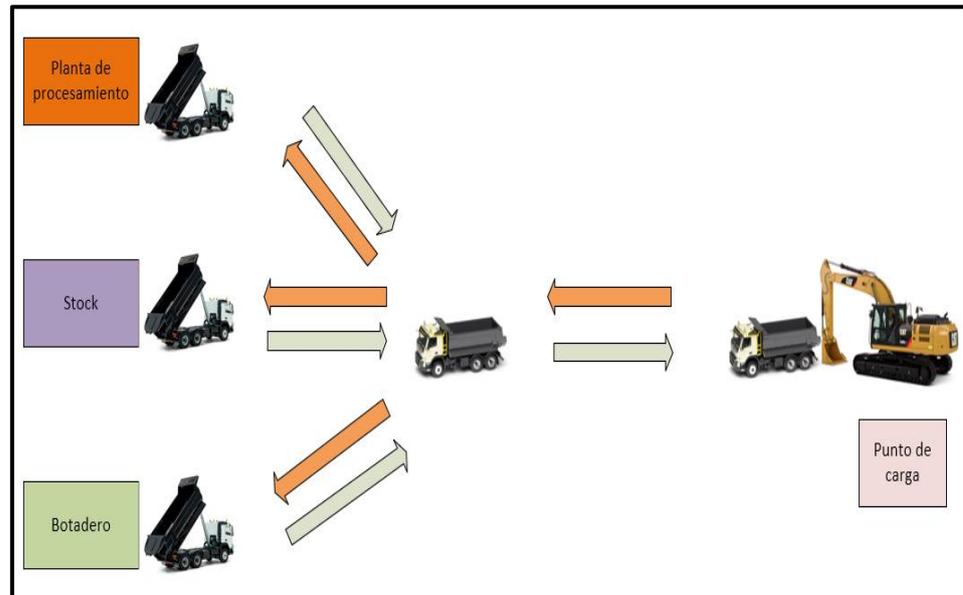
Los Puntos de descarga en una operación minera se refieren a los lugares donde el material transportado por los vehículos de acarreo es depositado para su procesamiento, almacenamiento o disposición final. Estos puntos pueden ser plantas de procesamiento, sotck o botadero. La eficiencia de la operación depende en gran medida de la correcta localización y organización de estos puntos, ya que un mal diseño puede generar cuellos de botella en el proceso de acarreo y tiempos muertos en el ciclo de los camiones.

Los puntos de descarga están diseñados considerando factores clave como la capacidad de almacenamiento, la accesibilidad para los vehículos de acarreo y la seguridad del terreno. Además, deben ser

suficientemente amplios para evitar la congestión de equipos y permitir una descarga rápida y eficiente del material.

Figura 1

Modelo conceptual de los puntos de carga y descarga



Nota: Elaboración propia

2.2.3.3. Equipos de carguío y acarreo

Los equipos de carguío son herramientas vitales en las operaciones mineras, responsables de mover el material mineral o estéril desde el frente de trabajo hacia los vehículos de acarreo. Estas máquinas incluyen palas mecánicas, excavadoras, cargadores frontales y retroexcavadoras, cuyo diseño y tamaño varían según el tipo de operación y las características del material a extraer.

Los equipos de acarreo en el ámbito minero son vehículos diseñados específicamente para el transporte de materiales extraídos desde el punto de carguío hasta su destino final. Estos equipos son fundamentales para asegurar un flujo constante en las operaciones mineras, ya que

facilitan el movimiento eficiente de grandes volúmenes de mineral o estéril, garantizando así la continuidad del proceso productivo.

Como señala Codelco (2018), el proceso de carguío involucra la recolección de material fragmentado desde el yacimiento, destinado a diferentes ubicaciones, incluyendo la chancadora primaria, stock de mineral o los botaderos. Esta operación de carguío y acarreo es esencial para maximizar la eficiencia operativa y asegurar que los materiales sean trasladados de manera segura y en plazos adecuados, contribuyendo al rendimiento general de la mina.

Figura 2

Equipo de acarreo en minería superficial (volvo fmx 440)



Nota: Unidad Operativa Minera HO



2.2.3.4. Ruta de acarreo

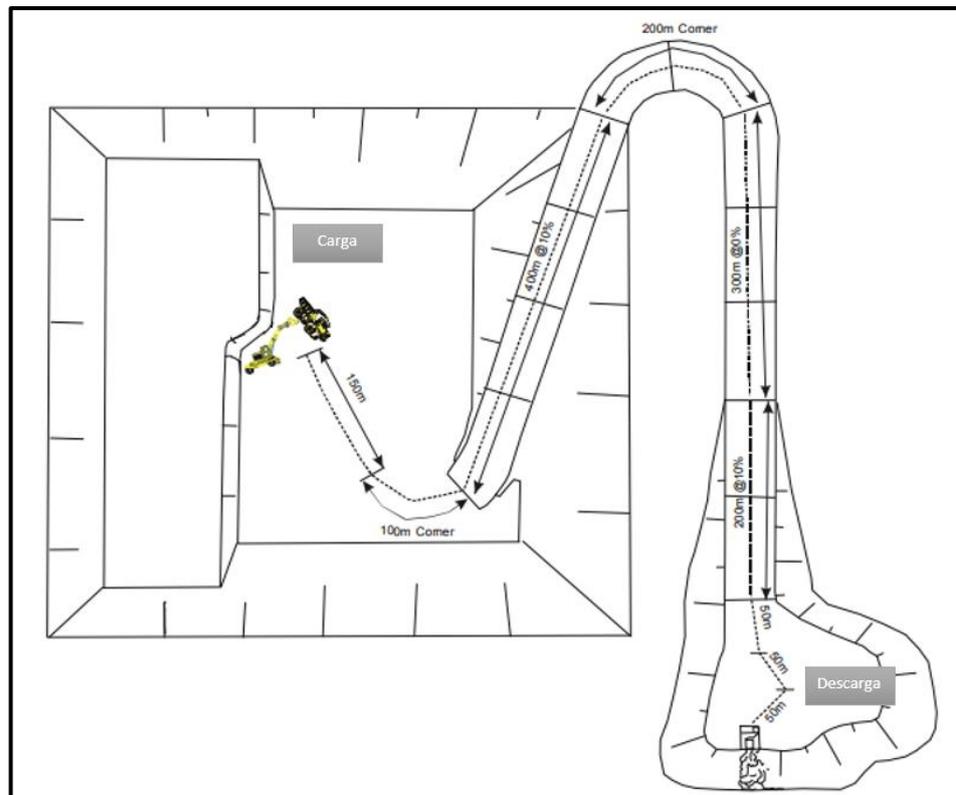
La ruta de acarreo en una operación minera es el trayecto que los vehículos de transporte siguen desde el punto de carga, donde se carga el mineral o material de desecho, hasta los puntos de descarga. Esta ruta es un factor crítico en la planificación de la logística del minado, ya que influye directamente en la eficiencia del transporte y, en consecuencia, en la productividad general de la operación.

El diseño de una ruta de acarreo debe considerar múltiples factores, como la topografía del terreno, las distancias, los radios de curvatura, las pendientes y las condiciones del suelo, entre otros. Estas condiciones determinan la velocidad a la que pueden operar los camiones y el desgaste tanto del equipo como de la infraestructura, lo cual impacta en los costos operativos. Además, es fundamental optimizar la ruta para reducir el tiempo de ciclo (el tiempo total que toma cargar, transportar, descargar y regresar para otra carga), ya que esto puede minimizar tiempos muertos y maximizar la productividad del equipo de acarreo.

Una ruta de acarreo bien diseñada no solo considera la distancia más corta, sino también la seguridad y eficiencia, asegurando que los camiones puedan moverse de manera continua y fluida, minimizando la posibilidad de accidentes o tiempos de espera prolongados en los puntos de carga o descarga.

Figura 3

Ruta de acarreo en minería superficial



Nota: Talpac, software de análisis de la productividad

2.2.3.5. Longitud de la ruta

La longitud de la ruta se refiere a la distancia total en metros que recorre un vehículo de acarreo desde el frente de carguío hasta el punto de descarga. Esta distancia se calcula como la suma de las longitudes de todos los segmentos que componen la ruta, los cuales pueden variar en inclinación, pendiente y características del terreno. En el contexto de una operación minera, la longitud de la ruta es un factor clave para determinar la eficiencia de los ciclos de transporte, ya que afecta directamente el tiempo de acarreo y, por ende, la productividad de la flota.

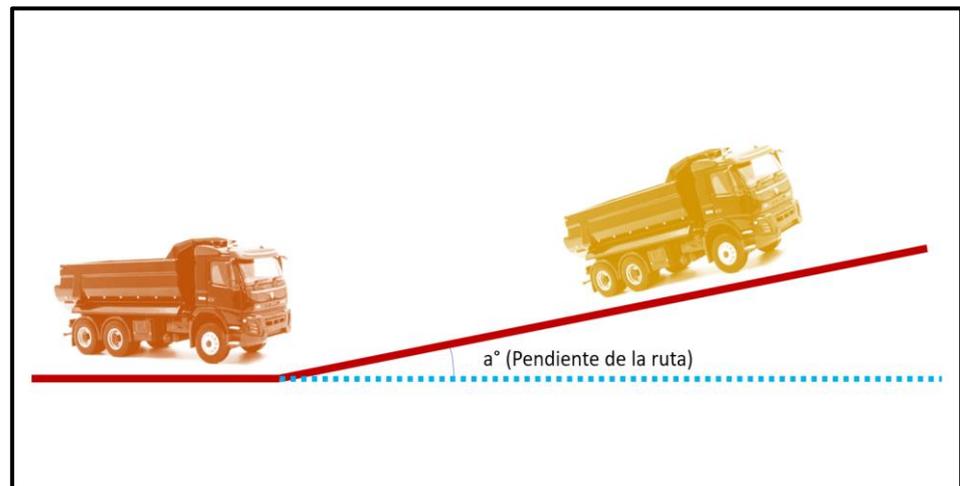


2.2.3.6. Pendiente

La pendiente de una ruta de acarreo en minería hace referencia a la inclinación de la vía que los vehículos de transporte deben seguir para trasladar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga. Este factor es de gran importancia, ya que afecta directamente la eficiencia operativa y el rendimiento de los equipos de acarreo. Una pendiente excesiva puede ocasionar un incremento en el consumo de combustible, así como un desgaste prematuro de los vehículos, lo que se traduce en tiempos de transporte más largos y un aumento en los costos operativos. En este contexto, el gradiente de la ruta, que describe la relación entre el cambio en altura y la distancia horizontal, también influye en el comportamiento de los vehículos. Cuando el gradiente se expresa en porcentaje, es equivalente a la pendiente, ya que ambos representan la misma inclinación, pero de manera diferente. Un gradiente del 10%, por ejemplo, significa que, por cada 100 metros de distancia horizontal, la elevación cambia en 10 metros, lo que equivale a una pendiente del 10%. Así, tanto el gradiente como la pendiente, al expresarse en porcentaje, describen de manera similar el grado de inclinación de la ruta de acarreo.

Figura 4

Pendiente de una ruta



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con Anchiraico y Rojas (2020) se establece que las pendientes óptimas deben ser cuidadosamente evaluadas para maximizar la productividad de la operación minera. Las pendientes que oscilan entre el 10% y el 12% son generalmente consideradas ideales para el transporte de material en condiciones normales. Superar estos límites puede comprometer la estabilidad de los equipos y la seguridad de las operaciones.

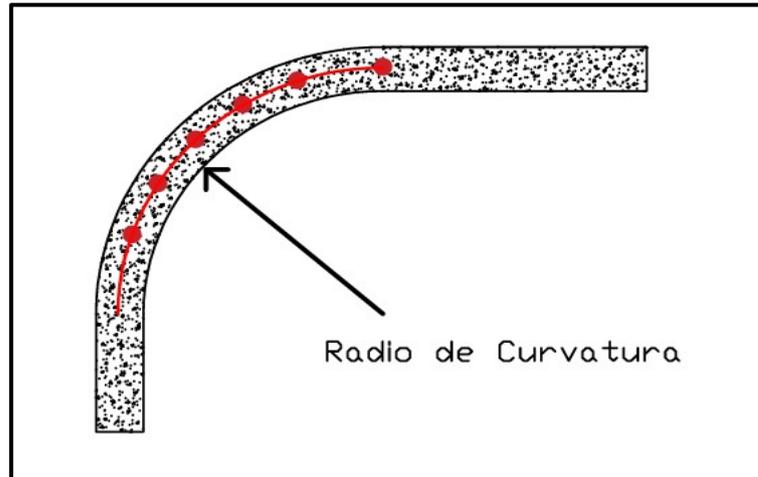
2.2.3.7. Radio de curvatura

En las rutas de acarreo en minería, es fundamental entender que se refieren a la medida que define cómo se curva una ruta, lo que impacta directamente en la eficiencia de los vehículos de acarreo. Un radio de curvatura adecuado permite que los camiones realicen giros sin comprometer su estabilidad ni su capacidad de carga. Según un análisis, se enfatiza que el diseño de las curvas debe considerar no solo el espacio

físico disponible, sino también la dinámica de los vehículos, para minimizar riesgos y optimizar el rendimiento operativo.

Figura 5

Radio de curvatura



Nota: Elaboración propia

2.2.3.8. Resistencia a la rodadura

Según Cabezas et al (2021) la resistencia a la rodadura se refiere a la fuerza que se opone al movimiento de un vehículo sobre una superficie, dependiendo proporcionalmente del equipo, tal que:

$$RR = m \cdot g \cdot CR$$

Donde m es la masa del camión (cargado o descargado), g es la aceleración de gravedad y CR el coeficiente de resistencia a la rodadura. El coeficiente depende principalmente de las características del camino y las condiciones en las que se encuentra.

2.2.4. Reservas

Se refiere a la cantidad de mineral económicamente extraíble en una mina, basada en estudios técnicos y económicos detallados. Las reservas se clasifican en reservas probadas y reservas probables. Las primeras se definen por un nivel de certeza muy alto en cuanto a la cantidad y calidad del mineral disponible, mientras que las segundas, aunque menos ciertas, tienen suficiente información para ser consideradas explotables bajo las condiciones económicas y tecnológicas actuales.

En minería aurífera, como en el caso de las gravas auríferas suelen tener una característica irregular, ya que la concentración de oro dentro de las gravas tiende a variar considerablemente a lo largo del depósito. Esto se debe a la naturaleza sedimentaria y la formación geológica del material aurífero. En muchas ocasiones, estas reservas tienden a ser explotadas en su totalidad debido a la falta de homogeneidad en la distribución del oro, lo que lleva a que sea más práctico extraer todo el material disponible. Esto es especialmente común en depósitos de placer, donde el oro se encuentra disperso en capas sueltas y no consolidadas.

2.2.5. Software especializado para la estimación de reservas

La utilización de software especializado para la estimación de reservas en minería proporciona un enfoque preciso y eficiente para la evaluación de los recursos minerales. Herramientas como MineSight permiten la creación de modelos tridimensionales (3D), lo que facilita una visualización detallada y precisa del yacimiento, mejorando la planificación y toma de decisiones en el proceso de extracción.



El primer paso para la estimación de reservas probadas y probables es la creación de un modelo de superficie detallado. Este modelo es esencial para el desarrollo de una fosa óptima, que se intersectará con la superficie geológica del área estudiada. A partir de esta intersección, se definirá un sólido que servirá como base para calcular las reservas disponibles. La utilización de software especializado facilita el proceso, ya que permite el modelado preciso del terreno y de las características geológicas, así como la creación de modelos 3D que permiten simular diferentes escenarios de diseño. Esta integración entre modelado y simulación es crucial para obtener una estimación precisa de las reservas, lo que proporciona una visión más confiable de las cantidades extraíbles del yacimiento (Rea, 2024).

2.2.6. Parámetros operativos en minería

Cada mina presenta parámetros operativos específicos, los cuales están determinados por las condiciones geológicas y ambientales propias del yacimiento, así como por las limitaciones técnicas y logísticas derivadas de su ubicación geográfica. Estos parámetros son esenciales para la planificación y ejecución de las operaciones mineras, ya que influyen directamente en la eficiencia y viabilidad de los procesos de extracción y transporte.

2.2.6.1. Disponibilidad mecánica

La disponibilidad mecánica refleja el porcentaje de tiempo en que un equipo está operando correctamente en comparación con el tiempo total disponible.



Los factores que afectan esta métrica son los tiempos de operación efectiva y los tiempos de inactividad no planificada como: fallas, reparaciones, etc. (CODELCO, 2005).

$$DisponibilidadMecánica(\%) = \frac{T.Disponible}{T.Nominal} * 100\%$$

2.2.6.2. Sistema laboral

El sistema laboral en minería presenta particularidades en cuanto a las horas de trabajo y las irregularidades que a menudo se observan en la práctica diaria. Debido a la naturaleza intensiva de las operaciones mineras, las jornadas laborales suelen ser más largas que en otros sectores. Un aspecto destacado es la implementación de jornadas extendidas, que permiten la continuidad operativa de las minas en áreas remotas. En muchas ocasiones, los mineros trabajan turnos de 12 horas al día durante varios días consecutivos (comúnmente de 10 a 20 días de trabajo) seguidos de varios días de descanso. Este sistema de "trabajo por ciclos" es típico en minas alejadas de los centros urbanos, donde los trabajadores permanecen en campamentos mineros durante su turno.

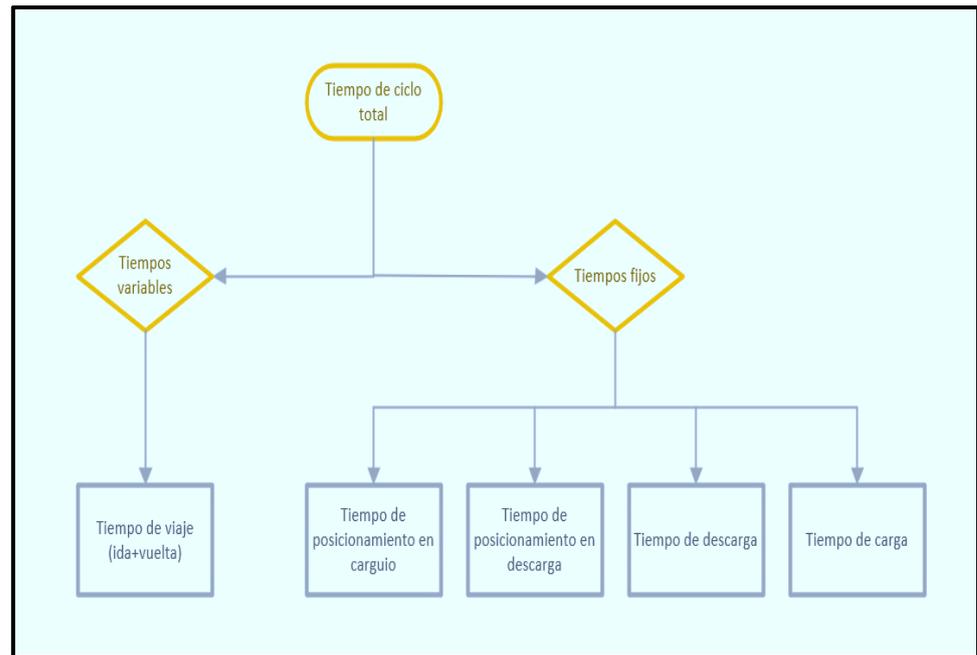
2.2.6.3. Tiempos fijos en el ciclo de carguío y acarreo

En la evaluación de rutas de acarreo, producción o costos, es fundamental calcular el tiempo necesario para completar el ciclo total de operación. Este ciclo está compuesto por dos tipos de tiempos: tiempos fijos, que permanecen constantes, y tiempos variables, que dependen de varios factores (Soto y Tarazona, 2016).

En general, los tiempos fijos incluyen actividades como la carga y descarga del camión, el posicionamiento del equipo en el área de carguío y el descargue del material en el punto de destino.

Figura 6

Clasificación de los tiempos de ciclo



Nota: Elaboración propia

2.2.6.4. Capacidad de carga de los equipos

La capacidad de carga de los equipos mineros establece las limitaciones operativas de estos vehículos, las cuales pueden variar considerablemente en función del tipo de equipo y su diseño. En términos generales, esta capacidad está determinada por las especificaciones técnicas del fabricante, así como por las condiciones operativas particulares del sitio minero, que incluyen factores como el tipo de material a transportar, la topografía del terreno y las características de la ruta de acarreo.

- Peso neto: El peso propio del equipo o vehículo sin carga.
- Peso útil: La cantidad máxima de material que puede transportar de manera segura.
- Peso bruto: La suma del peso neto más el peso útil o carga transportada.

En muchas ocasiones esa información se encuentra inscrita en los vehículos de transporte.

Figura 7

Información del peso de un vehículo



Nota: Elaboración propia

2.2.6.5. Material

En minería, el término "material" hace referencia a los diversos tipos de rocas, minerales y sedimentos que se extraen durante las operaciones mineras. La evaluación detallada de las propiedades físicas de este material es esencial para optimizar tanto los métodos de extracción como el procesamiento posterior. En este contexto, se consideran tres aspectos clave: la densidad in situ, la densidad removida y el factor de



esponjamiento. Estos parámetros son fundamentales para determinar el volumen real de material extraído y para planificar eficientemente el proceso de acarreo y procesamiento.

2.2.6.6. Densidad in situ

La densidad in situ se refiere a la masa del material por unidad de volumen en su estado natural, es decir, antes de cualquier proceso de extracción. Este parámetro es fundamental para estimar la cantidad de material presente en un yacimiento y para realizar cálculos precisos sobre las reservas mineras. La densidad in situ puede verse afectada por varios factores, como la composición mineralógica, la compactación del material y el contenido de humedad, los cuales influyen directamente en la estimación de los recursos disponibles y en los métodos de extracción que se emplearán.

2.2.6.7. Densidad removida

La densidad removida se refiere a la masa del material que ha sido extraído y transportado desde el lugar de extracción. Es importante considerar que esta densidad puede variar de la in situ, debido a procesos como la fragmentación, la pérdida de humedad y la mezcla de materiales durante el carguío y acarreo.

2.2.6.8. Factor de esponjamiento

El esponjamiento es la cantidad por la cual el volumen de la roca se expande cuando se somete a una voladura o se excava, y se expresa como porcentaje. El factor de esponjamiento se utiliza para convertir la



densidad o el volumen del banco a densidad o volumen suelto (Bazán, 2016).

$$FW(\text{Factor de esponjamiento}) = \frac{Va(\text{Volumen del material en banco})}{Vl(\text{Volumen de material suelto})}$$

2.2.6.9. Factor de llenado del cucharón

Según Ortiz (2014) la capacidad de carga de un balde se expresa comúnmente como un decimal fraccionario, lo que ajusta el volumen que el balde puede realmente mover. Este ajuste depende de las propiedades del material, su ángulo de reposo y la destreza del operador en la realización de la maniobra de llenado del balde.

2.2.6.10. Velocidad del equipo de acarreo

La velocidad de los equipos de acarreo es un componente crítico en las operaciones mineras, ya que influye directamente en la productividad y en la eficiencia del ciclo de transporte de materiales. Según Soto y Tarazona (2016) hay dos factores principales que limitan las velocidades operativas de estos equipos.

El primer factor se relaciona con las características del vehículo. Las velocidades que pueden alcanzarse varían entre diferentes modelos de equipos debido a la potencia característica de sus motores. Estos aspectos son reflejados en las especificaciones técnicas del equipo. La velocidad de operación también está afectada por el peso total del vehículo y la resistencia a la rodadura, lo que impacta en su rendimiento en diferentes terrenos.



El segundo factor son las velocidades restrictivas, que se establecen por motivos de seguridad. Estas limitaciones se definen para asegurar que el operador mantenga el control del camión, facilitando la gestión del tránsito y evitando que el motor opere a velocidades que podrían ser perjudiciales en condiciones de alta resistencia.

2.2.7. Dimensionamiento de camiones

2.2.7.1. Simulación

La simulación de sistemas de transporte en minería permite evaluar el rendimiento de los procesos de carga y descarga en función de una tasa de producción específica. En este contexto la maximización de la productividad se logra mediante la optimización de diversos elementos que impactan el sistema, tales como el tipo de operación, la cantidad y dimensiones de los equipos, así como las características de las rutas y las condiciones en las que se opera. Además, existen factores externos que influyen en el proceso, incluyendo la disposición de los sistemas de carga y descarga y sus ubicaciones específicas (Marambio, 2010).

2.2.7.2. Cálculo de la flota de camiones

En el contexto de la simulación de transporte en minería, el cálculo de la flota de camiones tiene un impacto directo en la productividad del sistema operativo. La cantidad adecuada de camiones no solo asegura que se mantenga la tasa de producción planificada, sino que también optimiza el uso de los recursos y minimiza los tiempos de inactividad.

2.2.7.3. Modelo de tiempos de ciclo para dimensionar una flota

Este modelo se centra en analizar y calcular el tiempo total que toma completar un ciclo de operación, que incluye el tiempo de carga, el transporte y la descarga del material.

Tamaño de Flota

$$= \frac{\text{Tiempo de ciclo del camión para la carga nominal}}{T. \text{ de carguío del camión nominal} + T. \text{ de maniobras del camión en el cargío}}$$

CODELCO NORTE utiliza el “Modelo de tiempos de ciclo para dimensionar flota” con el objetivo de tener una flota nominal y posteriormente se aplican factores de disponibilidad con el fin de obtener la flota real requerida.

2.2.8. Software especializado

La minería moderna ha evolucionado hacia un entorno donde la tecnología y la digitalización juegan un papel crucial en la optimización de procesos. La implementación de softwares especializados ha permitido mejorar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de las operaciones mineras. Estas herramientas informáticas están diseñadas para abordar diversos aspectos del ciclo minero, desde la planificación y estimación de reservas hasta la gestión del transporte de materiales.

2.2.8.1. Minesight

Software utilizado en la planificación minera, MineSight ofrece herramientas avanzadas para modelar y visualizar la geología del yacimiento, facilitando la toma de decisiones en la planificación de la



extracción. Además, su capacidad para evaluar diferentes escenarios de diseño permite a los ingenieros optimizar las operaciones mineras.

2.2.8.2. Autocad

Utilizado ampliamente para el diseño técnico, presenta una interfaz intuitiva y capacidades de dibujo 2D y 3D permiten a los ingenieros crear planos detallados que representan la topografía del terreno y las características del sistema de transporte, asegurando que las rutas sean eficientes y seguras.

2.2.8.3. Talpac

Este software, especializado en la simulación de carga y transporte, se ha convertido en una herramienta invaluable en la industria minera. Talpac permite simular el recorrido de un camión durante su operación, analizando cada detalle del proceso de carga y descarga. Esto resulta fundamental para evaluar la eficiencia y productividad en las etapas de acarreo. (Runge Limited, 2010).

Talpac proporciona resultados que reflejan el rendimiento de los equipos involucrados en el proceso, permitiendo optimizar el ciclo de carga de los camiones. Además, este software permite realizar evaluaciones y simulaciones de la flota, ajustando los tiempos de trabajo a las operaciones reales. Se pueden recopilar datos para analizar la relación entre variables operativas y costos de producción, generando informes personalizados que facilitan la toma de decisiones (Bolívar y Cruz, 2023).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

Políticamente, la unidad operativa Halcón de Oro de la Cooperativa Minera Halcón de Oro de Ananea Ltda., se encuentra ubicado en paraje denominado Vizcachani - Mosoj Minas del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, aproximadamente a 90.00 km al noreste del lago Titicaca, entre las coordenadas 14° 27' y 14° 45' latitud sur y 69° 53' de longitud oeste, a una altitud comprendida entre 4,600 y 4,900 msnm.

Geográficamente el área forma parte de la depresión longitudinal Crucero Ananea ubicada entre los cuadrángulos de Putina y Rinconada perteneciente al Distrito de Ananea.

Este: 443432 – 443398

Norte: 8378182 – 8377333

Variación Altitudinal: 4,653– 4,715 m.s.n.m.

3.1.1. Accesibilidad

El área del proyecto es accesible mediante la red vial nacional 34H la cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1*Vías de acceso, distancia y tiempo*

Tramos (Puno - Mina)	Distancia (Km)	Vía (Terrestre)	Tiempo (Horas)	Condición
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	00h 40 min	Buena
Juliaca - Desv. Huancané	50	Asfaltada	00h 45 min	Buena
Desv. Huancané - Putina	40	Asfaltada	00h 45 min	Buena
Putina - Ananea	60	Asfaltada	01h 10 min	Regular
Ananea - U.O. Halcon de Oro	3	Tratada	10 min	Regular
TOTAL	198		3h 30 min	

Nota: IGAC 2014, Proyecto San Antonio – María

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población en este estudio está conformada por todos los elementos relacionados con el proceso de dimensionamiento de camiones en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro. Esto incluye:

- **Equipos de Carguío**

Las excavadoras, como la excavadora CAT 330D2L, son una parte fundamental del proceso de carguío.

- **Equipos de acarreo**

Los camiones, en este caso el Volvo FMX 440 6x4, son esenciales para el transporte de material desde el frente de minado hacia el vertedero.



- **Ruta de Acarreo**

La ruta de acarreo ya definida, que se utiliza para transportar el material del nuevo frente de minado, también forma parte de la población, ya que las distancias y pendientes de cada tramo influyen en el dimensionamiento de los camiones.

- **Datos Operativos**

La población incluye los datos obtenidos en campo, como los tiempos de ciclo de la excavadora, los tiempos de posicionamiento y las velocidades de los equipos de acarreo, que se recopilaron para el análisis.

3.2.2. Muestra

La muestra está conformada por un conjunto específico de datos y elementos dentro de la población, que se utilizan para obtener una representación adecuada del proceso de dimensionamiento de camiones. Dado el enfoque cuantitativo, la muestra está orientada a representar las condiciones operativas reales de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro.

Para esta investigación, la muestra está formada por los siguientes componentes:

- **Equipo de Carguío**

Una Excavadora Caterpillar 330D2L

- **Equipos de Acarreo**

Se consideran dos camiones Volvo FMX 440 6x4.



- **Tramos de la Ruta de Acarreo**

27 tramos con diferentes pendientes y distancias para obtener un análisis completo del impacto de la geografía sobre la operación de los camiones.

- **Datos Operativos Específicos**

Mediciones de tiempo para cada uno de los procesos relevantes, tales como tiempo de posicionamiento de los camiones, tiempo de carga y tiempo de descarga, con el fin de calcular promedios representativos, las velocidades de los equipos, las condiciones operativas de acuerdo al plan de minado y acceso a la información de las fichas técnicas de los equipos.

3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.3.1. Enfoque de la Investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para dimensionar adecuadamente los camiones necesarios en el nuevo frente de minado. El objetivo es medir y analizar variables como los tiempos de ciclo de la excavadora, las distancias de acarreo, las pendientes y las capacidades de los equipos, todo lo cual se utiliza para obtener resultados concretos y precisos.

Al recolectar datos numéricos del campo, como los tiempos de carga y descarga o las velocidades de los camiones, estos se procesarán con programas como el Excel. El enfoque cuantitativo permite transformar esos datos en cifras y promedios que ayudan a tomar decisiones basadas en información confiable. Además, las simulaciones realizadas con los softwares especializados



proporcionan resultados exactos sobre el número de camiones necesarios para cumplir con los objetivos de producción.

Este enfoque también permite comparar los resultados obtenidos con los estándares operativos recomendados, verificando que el proceso sea eficiente. La gran ventaja de la investigación cuantitativa es que ofrece resultados que pueden ser medidos y replicados, lo que es esencial en el ámbito de la ingeniería minera.

3.3.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, lo que implica que está orientada a resolver un problema práctico y específico en un contexto real, que en este caso es el dimensionamiento de camiones para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro. Según Nyberg (2012) la investigación aplicada se caracteriza por la utilización del conocimiento teórico y técnico disponible para abordar necesidades concretas, con el fin de mejorar procesos y optimizar recursos.

En este caso, el problema central se aborda mediante la implementación de softwares especializados como MineSight, AutoCAD y Talpac, herramientas que permiten simular y analizar escenarios operativos reales. A través de estas herramientas, la investigación busca obtener una solución ideal y fundamentada que permita una mejor toma de decisiones en el proceso de carguío y acarreo, contribuyendo directamente a la eficiencia operativa de la mina.

Además, la investigación aplicada se distingue por su orientación hacia la acción. Esto es, no solo genera conocimiento, sino que también busca impactar positivamente en la práctica minera, proponiendo mejoras inmediatas en términos de planificación y operación logística. En ese sentido, el resultado de la



investigación no es meramente teórico, sino que ofrece resultados tangibles que pueden implementarse para resolver el desafío del transporte de material en el nuevo frente de minado.

3.3.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es descriptivo, ya que busca detallar y documentar las características del proceso de dimensionamiento de camiones, desde la recolección de datos en campo hasta la simulación en software. Según Hernández et al. (2014) la investigación descriptiva se enfoca en especificar las propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno, sin que ello implique establecer relaciones causales o experimentar con las variables.

En este estudio, el objetivo descriptivo se traduce en explicar de manera precisa cómo se lleva a cabo cada etapa del proceso de dimensionamiento. Esto incluye la recopilación de datos operativos, como los tiempos de ciclo de la excavadora, las velocidades de los camiones en diferentes condiciones, así como la capacidad de producción y el análisis de la ruta de acarreo. La descripción exhaustiva de estos elementos es fundamental para asegurar que los resultados obtenidos en las simulaciones con Talpac sean precisos y representativos de las condiciones reales del frente de minado.

Al utilizar herramientas como MineSight y AutoCAD, la investigación también describe las características del terreno y de la ruta de acarreo, proporcionando un análisis detallado de las distancias, pendientes y radios de curvatura que impactan directamente en el rendimiento de los camiones. La precisión en la descripción de estos elementos es clave para lograr un dimensionamiento exacto de la flota de camiones.



3.3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, lo que significa que no se manipulan las variables de manera deliberada, sino que se observan y registran tal como se presentan en el entorno natural. Según Hernández et al. (2014) en un diseño no experimental, el investigador simplemente observa los fenómenos en su contexto real para luego analizarlos. En este caso, se recolectan datos directamente del campo, como los tiempos de ciclo, las velocidades de los camiones, sin alterar el comportamiento natural de los equipos o el entorno minero.

El hecho de que sea un diseño no experimental no limita la complejidad del análisis; al contrario, permite un estudio profundo basado en la simulación de escenarios reales mediante el uso de software especializado. Esto es crucial en minería, donde alterar las operaciones puede ser costoso o incluso riesgoso. Por ello, el modelo no experimental es ideal, ya que aprovecha la observación directa y la simulación por software para predecir resultados y tomar decisiones sin necesidad de intervenir físicamente en la operación.

Además, este enfoque permite un análisis detallado y contextual de las condiciones específicas del frente de minado, las características del material y el rendimiento de los equipos en su entorno operativo habitual. El diseño no experimental garantiza que las conclusiones sobre el número ideal de camiones, estén fundamentadas en la realidad observada, lo que aumenta la confiabilidad y aplicabilidad de los resultados.

3.3.5. Método empírico para el dimensionamiento inicial de camiones

Como parte del proceso metodológico, se empleó un enfoque empírico preliminar para estimar el número de camiones necesarios para la operación



minera. Consistió en la relación entre la producción requerida y la producción de un camión en determinado periodo de tiempo. Este método permite obtener una aproximación inicial del número de camiones necesarios, el cálculo se realizó mediante la siguiente formula:

$$N^{\circ} \text{ Camiones} = \frac{\textit{Producción requerida/día}}{\textit{Producción del camión/día}}$$

El método empírico proporciono una referencia inicial que sirve como base para validar los resultados obtenidos mediante el uso de herramientas especializadas como Talpac.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

Uso de Software Especializado

3.4.2. Variable dependiente

Dimensionamiento de Camiones

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	Unidad de Medida
Variable Independiente: Uso de Software especializado	MineSight	Reserva aproximada	Ton
		Pendientes	%
		Distancias	Metros
	AutoCAD	Radio de curvatura	Grados (°)
		Sistema laboral	Horas
		Densidad de Material	Ton/m ³
	Talpac	Factor de esponjamiento	%
		Factor de llenado de los equipos	%
		Resistencia a la rodadura	%
		Velocidad del equipo de acarreo	Km/h
		Capacidad de los equipos	m ³
		Tiempos de los equipos	Segundos
Dimensionamiento de camiones	Tamaño de flota	Numero de camiones	N°
		Producción por periodo de tiempo	Ton/día
	Pasas del cucharon	Numero de pasas del cucharon	N°
	Movimiento del objetivo de excavación	Tiempo para mover el objetivo de excavación	Años

Nota: Cuadro de variables

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La correcta recolección de datos es crucial para lograr el objetivo principal de la investigación: realizar un dimensionamiento adecuado de los camiones necesarios para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro utilizando softwares especializados. Para ello, se utilizaron técnicas e instrumentos que permitan



recopilar información precisa y confiable sobre las variables operativas del proceso de carguío y acarreo, los equipos involucrados, y la infraestructura minera disponible.

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas empleadas en el estudio fueron las siguientes:

- Observación directa: la observación directa en campo se empleó para obtener los tiempos relacionados en la operación de carguío y acarreo, asimismo la velocidad de los equipos de acarreo en distintas situaciones. Siendo útil para obtener información precisa y en tiempo real.
- Simulación con software especializado: la simulación en MineSight, AutoCAD, y Talpac permitió recrear virtualmente las condiciones operativas y la ruta de acarreo.
- Revisión de documentos y fichas técnicas: se consultó las fichas técnicas de los equipos (Volvo FMX 440 6x4 y CAT 330D2L) para obtener datos sobre capacidades, potencia del motor, rendimiento en pendientes, y otros parámetros relevantes. También se revisó los informes operativos de la mina y el plan de minado.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Hojas de registro: para registrar los datos observados en campo.
- MineSight: para el modelado del terreno y la estimación de tonelaje, además del análisis de la geometría de la ruta.
- AutoCAD: para analizar la geometría de la ruta de acarreo.
- Excel: cálculo de promedios y análisis comparativos de tiempos y velocidades de los equipos.



- Talpac: para la simulación del ciclo de acarreo y la determinación del número ideal de camiones necesarios.
- Plan de minado.
- Ficha técnica de los equipos de carguío y acarreo.

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

a) Estimación del tonelaje en MineSight

Utilizando el software MineSight, se estimó el tonelaje aproximado del material morrénico presente en el nuevo frente de minado. Este cálculo se realiza a partir de las curvas de nivel y los límites definidos del área.

b) Delimitación de la ruta de acarreo

Se trabajó con la ruta de acarreo ya establecida, la cual fue dividida en tramos para realizar un análisis más detallado, para cada tramo se calcularon las distancias y pendientes mediante el software MineSight. Esta información es crucial para modelar las condiciones reales del transporte.

c) Análisis geométrico en AutoCAD

La ruta de acarreo obtenida de MineSight se importó al software AutoCAD. En este programa, se calcularán los radios de curvatura de las curvas presentes en la ruta, un dato esencial para optimizar la operación de los camiones. El cálculo preciso de los radios de curvatura es vital para garantizar que los vehículos operen dentro de sus capacidades sin comprometer la seguridad ni la eficiencia operativa.

d) Tiempos de los equipos de carguío y acarreo



Los datos recolectados sobre los tiempos de los equipos fueron organizados y procesados en una hoja de cálculo de Excel, con el fin de calcular promedios para obtener un tiempo representativo de operación.

Los tiempos comprenden:

- Tiempo de ciclo del cucharón de la excavadora CAT 330D2L durante el proceso de carga.
- Tiempo de posicionamiento del camión Volvo FMX 440 para ser cargado por la excavadora.
- Tiempo de posicionamiento del camión en el vertedero para descargar el material.
- Tiempo de descarga del material.

Se registraron varios ciclos para cada uno de estos procesos, y luego se promediaron los tiempos para obtener un valor confiable de operación. Estos promedios fueron utilizados para simular el número de camiones requeridos para alcanzar los objetivos de producción.

e) Análisis de la capacidad y condiciones operativas

Se utilizaron los datos del Plan de Minado de la Unidad Halcón de Oro para determinar:

- La capacidad máxima de producción que cuenta la mina.
- La disponibilidad mecánica del equipo de carguío y acarreo.
- El tipo de material y su densidad
- Factor de llenado de los equipos de carguío y acarreo
- La resistencia a la rodadura de los equipos de acarreo.
- Sistema laboral.



- Capacidad de los equipos de carguío y acarreo.

f) Inserción de datos en Talpac

Finalmente, todos los datos recopilados (distancias, tiempos de ciclo, velocidades, capacidades de los equipos) fueron insertados en el software Talpac. Este programa es crucial para realizar simulaciones del ciclo de acarreo, permitiendo estimar el número óptimo de camiones necesarios para cumplir con los objetivos de producción. Talpac también evaluó el rendimiento del camión Volvo FMX 440 y la excavadora CAT 330D2L bajo diferentes condiciones operativas, garantizando una planificación precisa de la flota. Este análisis permitirá obtener resultados adecuados que luego se implementarán en la operación real.

g) Comparación con el método empírico



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EMPLEAR DE MANERA EFICIENTE LOS SOFTWARES ESPECIALIZADOS EN EL PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES EN LA UNIDAD OPERATIVA MINERA HALCÓN DE ORO

El uso de los softwares MineSight, AutoCAD y Talpac permitió realizar un análisis integral de las condiciones operativas y determinar el número ideal de camiones necesarios. Los resultados clave se detallan a continuación:

4.1.1. Estimación del tonelaje disponible en MineSight

A partir del modelo topográfico generado con el software MineSight, se simularon los límites del frente de minado con una profundidad máxima de 72 metros medida desde la parte más alta de la topografía, considerada adecuada según el plan de minado para la extracción de material morrénico. La densidad promedio del material es de 2.4 toneladas por metro cúbico, basada en las características de las gravas auríferas, conforme a la información del plan de minado de la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro.

Se obtuvo como resultado un tonelaje aproximado de 2,025,102.024 toneladas, lo que representa la cantidad de material disponible en el frente de minado con base en los parámetros operativos y las curvas de nivel de la zona.

Tabla 3

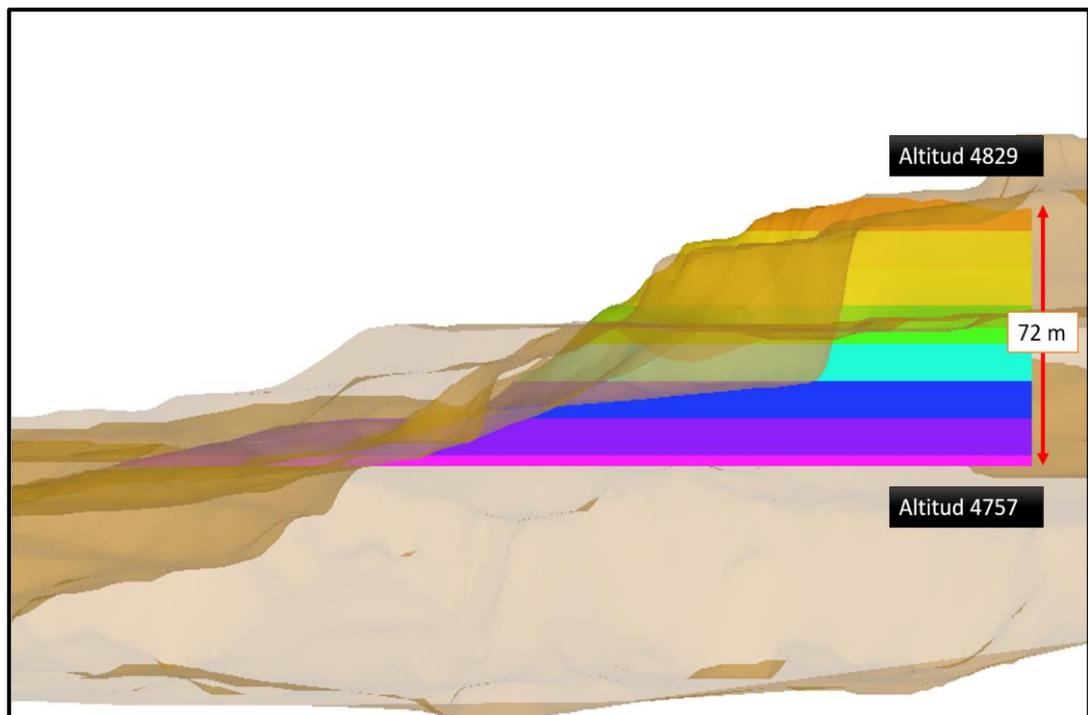
Parámetros en el cálculo del tonelaje

Parámetro	Valor
Profundidad máxima	72 m
Densidad del material	2.4 ton/m ³
Volumen calculado	843.792.51 m ³
Tonelaje calculado	2,025,102.03 ton

En la tabla 3 se muestra los parámetros involucrados en la estimación del tonelaje, los valores son presentados en m³ y toneladas.

Figura 8

Vista en sección este – oeste de la superficie



Nota: Elaboración propia

4.1.2. Simulación de la ruta de acarreo en minesight

Se simuló la ruta de acarreo en el software minesight, el cual resultó en la división de 27 tramos, cada tramo con una pendiente (gradiente %) y distancia



específica, para facilitar un análisis detallado del recorrido. Presentando los siguientes resultados:

Tabla 4

Distancia y gradiente de cada tramo de la ruta

Ruta	Distancia (metros)	Gradiente (%)
Tramo 1	35.82	-8%
Tramo 2	45.83	-8%
Tramo 3	25.79	-8%
Tramo 4	78.74	-9%
Tramo 5	26.74	-8%
Tramo 6	31.11	-8%
Tramo 7	38.4	-8%
Tramo 8	48.66	-9%
Tramo 9	43.53	-12%
Tramo 10	60.48	-12%
Tramo 11	37.57	-12%
Tramo 12	70.91	-12%
Tramo 13	49.22	-12%
Tramo 14	37.5	-12%
Tramo 15	31.48	-9%
Tramo 16	27.6	-5%
Tramo 17	41.39	1%
Tramo 18	34.84	8%
Tramo 19	50.71	8%
Tramo 20	39.7	3%
Tramo 21	71.49	6%
Tramo 22	80.06	7%
Tramo 23	9.84	12%
Tramo 24	12.08	11%
Tramo 25	31.88	12%
Tramo 26	28.72	12%
Tramo 27	6.08	0%

La Tabla 4 presenta los resultados de la división de la ruta de acarreo con las distancias y pendientes asociadas a cada tramo. Se puede observar una variabilidad significativa en las pendientes, que oscilan entre un -12% y 12%.

4.1.3. Análisis geométrico de la ruta en autocad

En el análisis de la ruta de acarreo, se identificaron 12 tramos con radios de curvatura. Estos tramos fueron clasificados en dos categorías según su dirección: positiva, cuando el giro es en sentido horario, y negativa, cuando el giro es en sentido antihorario, todo ello en relación con el recorrido de la ruta desde el punto de carguío hasta el punto de descarga, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5

Radios de curvatura para cada tramo identificado

Tramo	Radio de curvatura (°)
Tramo 2	35
Tramo 4	-89
Tramo 6	48
Tramo 8	23
Tramo 9	-34
Tramo 12	-17
Tramo 13	17
Tramo 16	-16
Tramo 17	25
Tramo 21	76
Tramo 23	50
Tramo 25	-107

En la tabla 5 se muestra el resultado del análisis de la ruta, se encontró 12 tramos que presentan radios de curvatura.

4.1.4. Simulación del dimensionamiento de camiones en talpac

En la simulación realizada, se obtuvo un análisis detallado de los parámetros operativos, destacándose que cada camión de acarreo logra una producción por turno de 161 toneladas (equivalente a 67.083 m³). Este valor refleja una alta eficiencia en la capacidad de transporte de los equipos utilizados.



Además, se identificó que el número promedio de pases del cucharón por ciclo es de 3 pases, lo que contribuye a la optimización del proceso de carguío. El tiempo promedio de ciclo por camión, que incluye las etapas de carguío, desplazamiento y descarga, es de 10.34 minutos. Este valor indica un desempeño adecuado, ya que considera todas las fases de la operación. A partir de la producción estimada, se proyecta que el tiempo requerido para alcanzar el objetivo de excavación de 2,025,102.02 toneladas es de aproximadamente 5.13 años, sin embargo, este valor puede variar debido a diversos factores, como cambios en la eficiencia operativa, variaciones en el rendimiento de los equipos, condiciones imprevistas en el terreno o ajustes en la flota. Por lo tanto, se recomienda realizar revisiones periódicas de las proyecciones y adaptar el plan de acarreo conforme a los resultados reales obtenidos durante la operación.

Tabla 6

Resultados de la simulación en talpac

Camión volvo fmx 440	Unidad
Disponibilidad	87.50%
Carga útil en plantilla	10.50 ton
Carga útil media	10.66 ton
Producción por hora de funcionamiento	52.55 ton
Producción por turno	161 ton
Producción por año	131,552 ton
Tiempo de espera en el cargador	0.26 min/ciclo
Tiempo puntual en el cargador	0.78 min/ciclo
Tiempo medio de carga	0.87 min/ciclo
Tiempo de viaje	6.57 min/ciclo
Tiempo puntual en el vertedero	0.83 min/ciclo
Tiempo promedio de descarga	1.02 min/ciclo
Tiempo promedio de ciclo	10.34 min/ciclo
Tamaño de flota	3 unidades
Producción por día de la flota	1,449 ton
N° promedio de pases del cucharón	3
Producción por año	394,655 ton/año
Objetivo de excavación	2,025,102.02 ton
Tiempo para mover el objetivo de excavación	5.13 años

En la Tabla 6, se presentan los resultados de la simulación realizada en Talpac, los cuales incluyen indicadores clave que reflejan el desempeño y la producción del camión. Estos resultados proporcionan una visión integral de los aspectos operativos más importantes, como la capacidad de carga, los tiempos de ciclo y la producción diaria estimada.

4.1.5. Discusión del objetivo específico 2

El uso del software MineSight empleado para el cálculo de un tonelaje aproximado para las gravas auríferas en el frente de minado de la Unidad Operativa Halcón de Oro es consistente con las prácticas recomendadas para la explotación de depósitos auríferos similares. En general, los proyectos de minería



aurífera en la zona establecen profundidades de explotación que oscilan entre 50 y 100 metros, dependiendo de la topografía y las características geológicas específicas de cada depósito, hasta llegar a la roca madre (bed rock) y luego avanzar en paralelo (Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, 2023). La profundidad de 72 metros se ve respaldada por empresas de la zona que operan con materiales similares y que también emplean estrategias de explotación que no exceden los 100 metros de profundidad para garantizar un aprovechamiento eficiente y sostenible del recurso.

El análisis de las pendientes de la ruta de acarreo, realizado también con MineSight, mostró que ninguna supera el 12%. De acuerdo con Kaufman y Ault (1979) y Bazán (2016) este rango es ideal para operaciones mineras, ya que pendientes mayores generan un mayor desgaste de los equipos, comprometen la eficiencia y aumentan los riesgos de accidentes. El diseño adecuado de las pendientes asegura que los camiones operen dentro de condiciones óptimas, reduciendo el desgaste en los frenos y la transmisión, mientras se mantienen estándares de seguridad. Asimismo, el análisis realizado con AutoCAD sobre los radios de curvatura de la ruta confirma que las curvas están diseñadas de tal manera que facilitan un tránsito fluido de los camiones, evitando maniobras complicadas que podrían aumentar los tiempos de ciclo y dificultar la operación. Este diseño se alinea con lo señalado por Brazil et al. (2002) quienes destacan la importancia del radio de curvatura en las rutas de las minas. Según estos autores, una curvatura adecuada es esencial para que los equipos operen de manera eficiente y sin dificultades, lo que subraya la necesidad de considerar cuidadosamente este factor en el diseño de las rutas mineras.



La simulación realizada en Talpac integró todos los parámetros operativos relevantes, incluidos los tiempos de ciclo y la ruta diseñada, lo que permitió obtener un tiempo promedio de ciclo de 10.34 minutos del camión, que abarca las fases de carguío, desplazamiento y descarga. Este tiempo de ciclo es un indicador clave de la eficiencia operativa de los camiones, permitiendo mejorar el rendimiento general de la flota y reducir el tiempo total de operación. Además, se estimó una producción diaria de 603.75 m³, un valor que refleja la capacidad de la flota para mover material de manera eficiente por día. Esta estimación es consistente con los hallazgos de Sánchez y Cruz (2023) quienes en su investigación destacan que el uso del software Talpac permite una mejor planificación y control de los tiempos de operación, lo que contribuye a una mayor producción diaria. Según su estudio, la integración de todos los parámetros operativos en la simulación es esencial para optimizar el rendimiento.

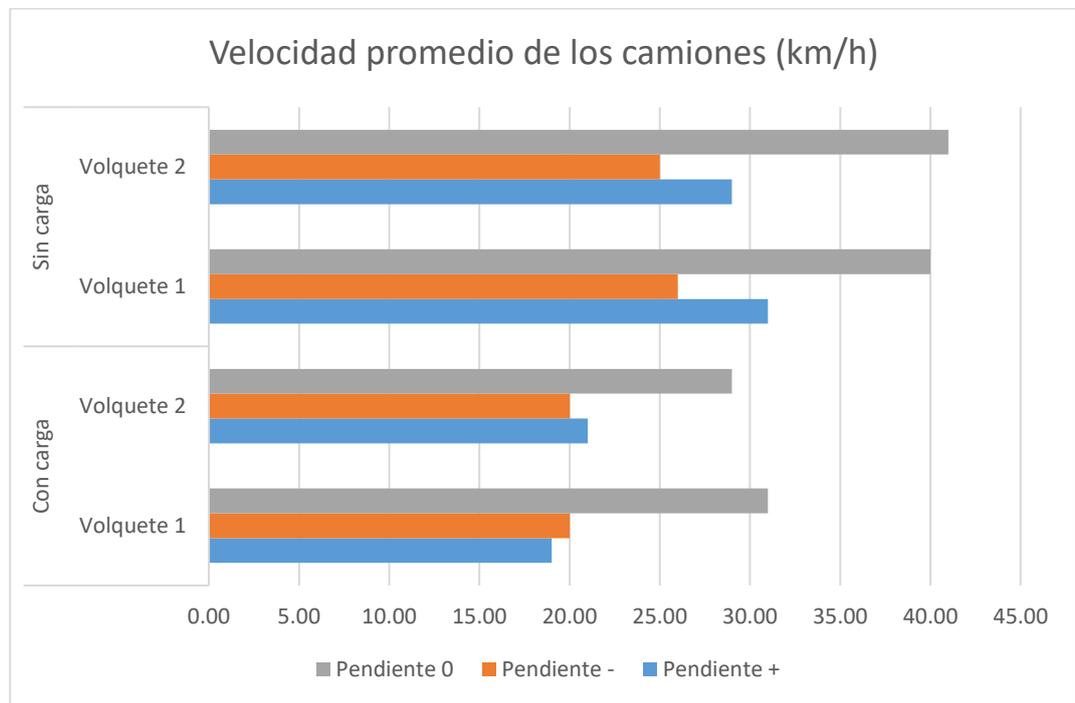
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR EL NÚMERO IDEAL DE CAMIONES NECESARIOS PARA GARANTIZAR UN TRANSPORTE EFICIENTE DE MATERIAL MORRÉNICO

4.2.1. Velocidad de los equipos de acarreo

Se analizaron las velocidades operativas de dos camiones volvo fmx 440 en diferentes condiciones de operación: pendiente negativa (bajada), pendiente positiva (subida), y terreno sin pendiente (plano), tanto con carga como sin carga.

Figura 9

Velocidad promedio de los camiones



Nota: Elaboración propia

Los resultados fueron promediados a fin de encontrar una muestra representativa, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7

Velocidad promedio en distintas situaciones operativas

	Con carga (km/h)	Sin carga (km/h)
Pendiente +	20	30
Pendiente -	20	25
Pendiente 0	30	40

En la tabla 7 se muestra los resultados de las velocidades de acarreo de camiones volvo FMX 440 6x4, en distintas situaciones operativas determinadas a partir de mediciones en campo.

4.2.2. Tiempos fijos en el proceso de carguío y acarreo

Se evaluaron los tiempos fijos de los equipos involucrados en el proceso de carguío y acarreo en un determinado periodo de tiempo. Los resultados se presentaron para los equipos de carguío (Excavadora) y acarreo (Camiones).

- **Tiempos fijos (camión)**

Figura 10

Tiempo de posicionamiento del camión en el frente de minado

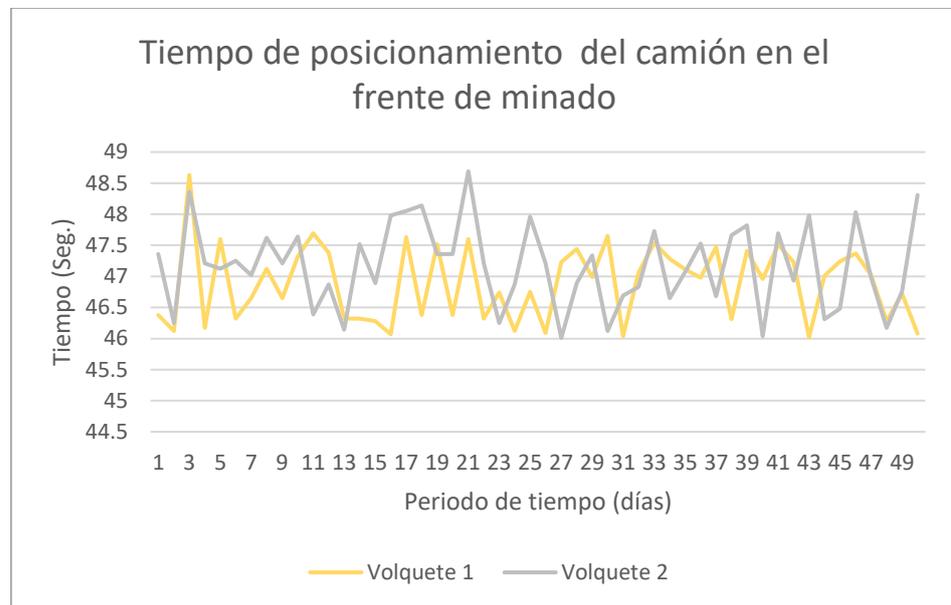


Figura 11

Tiempo de posicionamiento del camión en el vertedero

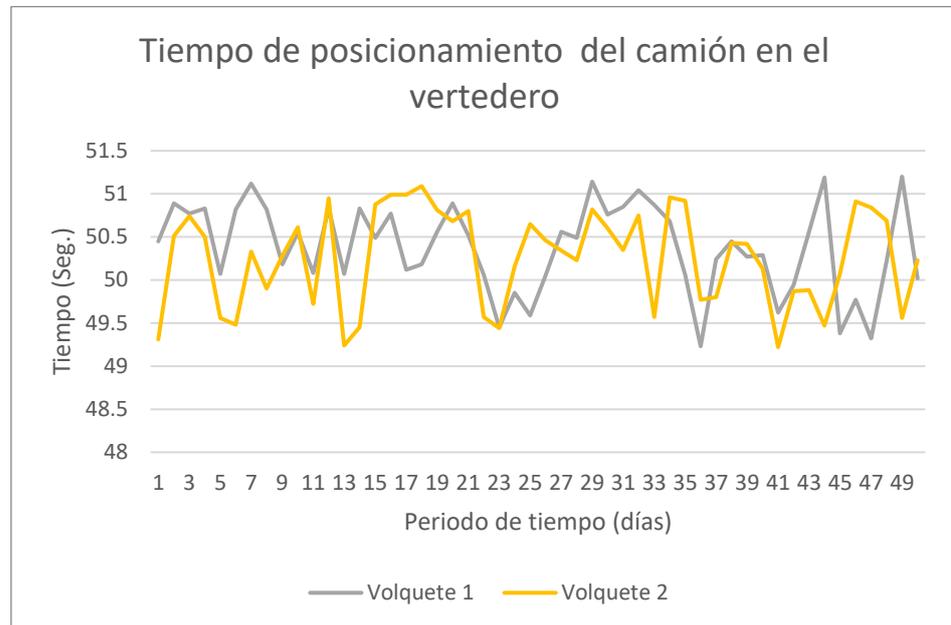
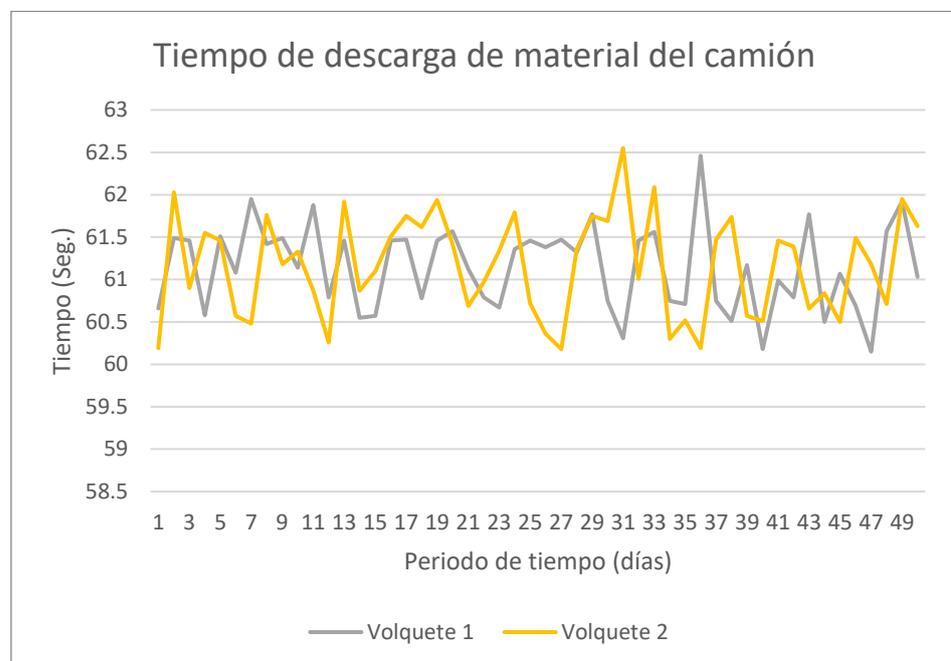


Figura 12

Tiempo de descarga de material del camión



Se analizaron los tiempos fijos asociados al camión con el objetivo de determinar promedios representativos. Estos tiempos, que incluyen aspectos como tiempo de posicionamiento en el frente de minado y en el vertedero, tiempo de descarga de material, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8

Resultados de tiempos fijos del camión

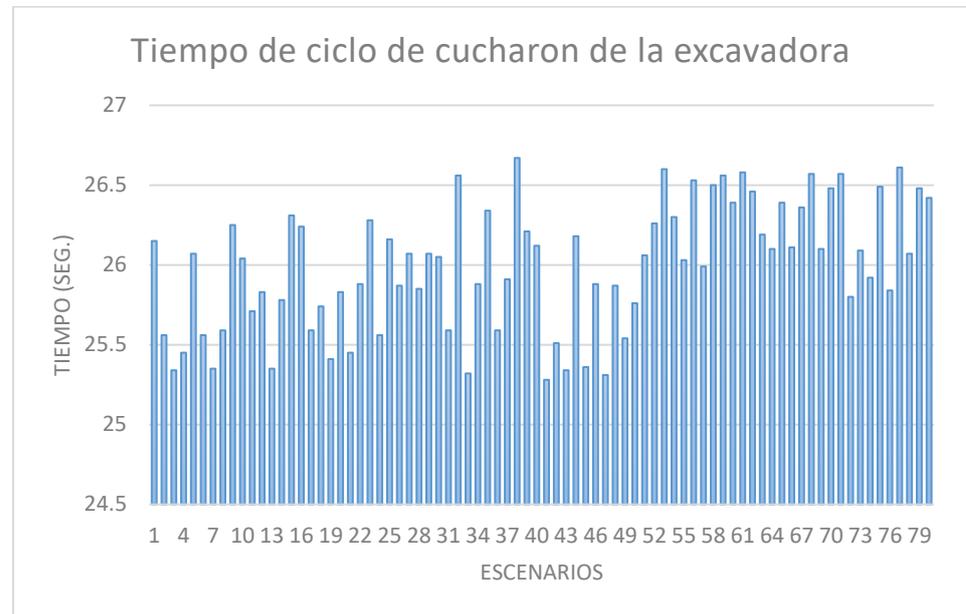
Marco y modelo	Volvo fmx 440
Tiempo de posicionamiento en el frente de minado (Seg.)	47.01
Tiempo de posicionamiento en el vertedero (Seg.)	50.34
Tiempo de descarga de material (Seg.)	61.19

- **Tiempos fijos (excavadora)**

Los tiempos fijos asociados a la excavadora incluyen el tiempo que tarda en cargar un camión, lo cual es un aspecto crucial para la eficiencia de la operación. En esta investigación, se ha considerado específicamente el tiempo de ciclo del cucharón de la excavadora. Este ciclo representa el proceso completo de carga, el cual se considera "cerrado", ya que abarca desde el momento en que el cucharón inicia el carguío hasta que se encuentra nuevamente en posición para iniciar un nuevo ciclo. El ciclo cerrado del cucharón comprende generalmente etapas como: posicionamiento del cucharón, excavación, carga en el camión y retorno a la posición inicial. Se analizó el ciclo del cucharón y se demuestra en la siguiente figura:

Figura 13

Tiempo de ciclo del cucharon de la excavadora



Se analizaron los tiempos fijos de ciclo del cucharón de la excavadora con el objetivo de determinar un promedio representativo. El resultado de este análisis se resume en la siguiente tabla:

Tabla 9

Resultados de tiempos fijos de la excavadora

Marco y modelo	Cat 330d21
Tiempo de ciclo del cucharon (Seg.)	26.05

En las tablas 8 y 9 se observan los tiempos fijos involucrados en el proceso de carguío y acarreo.

4.2.3. Condiciones operativas

Para el presente estudio se analizó las distintas variables que influyen en el dimensionamiento de camiones de la empresa.



- **Material**

Las grabas auríferas son el material presente en el frente minado de la empresa.

Tabla 10

Características del material

Tipo de material	Gravas auríferas
Densidad de material in situ	2.4 TN/m ³
Densidad de material removido	1.8 TN/m ³
Facto de esponjamiento	1.30

En la tabla 10 se muestra las características del tipo de material presentes en el nuevo frente de minado, la densidad in situ promedio es de 2.4 TN/m³, densidad de material removido promedio de 1.8 TN/m³ y con un factor de esponjamiento de 1.30.

- **Sistema laboral**

El sistema está conformado por 3 turnos al día, cada turno con 3 horas operativas.

Tabla 11

Sistema laboral

Sistema:	
Turnos	3 turnos/día
Duración del turno	4 horas
Horas programadas	12 horas
Tiempo muerto	1.2 horas
Tiempo de acondicionamiento	0.3 horas
Horas efectivas	10.5 horas
Charla de seguridad	0.5 horas
Almuerzo	1 hora
Horas Operativas	9 horas
Horas/turno	3 horas

En la tabla 11 se muestra el sistema laboral de la empresa considerando las horas programadas con las horas operativas.

- **Programa de producción**

La producción diaria de material en la empresa estudiada se encuentra alineada con las normativas y limitaciones establecidas para pequeños productores mineros. Según las regulaciones vigentes, un pequeño productor minero está autorizado a extraer un máximo de 3,000 m³ de material por día, lo que establece un límite claro para este tipo de operaciones.

En el caso de estudio, forma parte de un proyecto minero de cinco empresas, la capacidad de producción diaria se distribuye equitativamente entre las empresas involucradas. Esto implica que cada una de las cinco empresas tiene un rango de producción máximo de 600 m³ por día, con una variación permitida del $\pm 10\%$.

Tabla 12

Programa de producción diaria de la empresa

Periodo	m3	Ley (gr Au/m3)
Día	600	0.25

En la tabla 12 se muestra el programa de producción que tiene la empresa, el cual se centra en una producción de 600 m3 por día.

- **Equipo de carguío**

El equipo de carguío para el presente estudio es una excavadora Caterpillar 330d2l, los resultados de las características del equipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13

Características del equipo de carguío

Excavadora	
Modelo y marca	Caterpillar 330D2L
Capacidad	2.15 m3
Factor de llenado	90.5%
Capacidad real	1.95 m3
Disponibilidad	89%
Mecánica	

En la tabla 13, se muestra los resultados de la excavadora Caterpillar 330D2L, aunque tiene una capacidad nominal de 2.15 m³, su capacidad real es de 1.95 m³ debido al factor de llenado. Además, con una disponibilidad mecánica del 89%, es un equipo confiable, pero se debe considerar la mejora de su factor de llenado y disponibilidad para maximizar su contribución a la operación de carguío y acarreo.

- **Equipo de acarreo**

El equipo de acarreo para el presente estudio son equipos volvo fmx 440, los resultados de las características del equipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14

Característica del equipo de acarreo

Camión	
Marca y modelo:	Volvo FMX 440 6x4
Peso neto	14,510 kg
Peso útil	10,490 kg
Peso bruto	25,000 kg
Disponibilidad mecánica	87.50%

En la tabla 14, se muestra los resultados del camión volvo fmx 440, se evidencia la capacidad, además del peso que la tolva del equipo puede transportar.

- **Resistencia a la rodadura**

La siguiente tabla muestra los resultados de la resistencia a la rodadura en distintos escenarios de operación, considerando la pendiente del terreno y el estado del vehículo (con carga o sin carga).

Tabla 15

Valores de la resistencia a la rodadura de los camiones

	Partida		Movimiento	
	Con carga	Sin carga	Con carga	Sin carga
Pendiente -	4.0%	4.0%	1.0%	1.0%
Pendiente +	11.0%	11.0%	9.0%	9.0%
Pendiente 0	6.0%	6.0%	3.0%	3.0%

4.2.4. Numero de camiones necesarios

El número de camiones necesarios fue calculado mediante el método de cálculo del software Talpac, este utiliza un método de tiempos de ciclo, como se muestra a continuación:

$$\text{Tamaño de Flota} = \frac{\text{Tiempo de ciclo del camión para la carga nominal}}{T. \text{ de carguío del camión nominal} + T. \text{ de maniobras del camión en el cargío}}$$

Aplicando factores operacionales propios de la empresa, descritos anteriormente (Sistema Laboral, disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo, entre otros).

Se obtuvo como resultado, que el número de camiones necesarios son 3 unidades volvo fmx 440.

4.2.5. Discusión del objetivo específico 1

El cálculo realizado con el software Talpac determinó que el número ideal de camiones necesarios para el transporte de material morrénico en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro es de tres unidades Volvo FMX 440. Este resultado se ajusta perfectamente al requerimiento de producción diaria de 600 m³ ±10%, ya que la capacidad de transporte estimada de la flota es de 603.75 m³ por día. Al incorporar las condiciones reales del entorno al modelo, el software permitió una simulación precisa y representativa del proceso de transporte, confirmando que los tres camiones son suficientes para satisfacer la demanda diaria sin incurrir en sobreproducción o subutilización de recursos. Este análisis se encuentra alineada con los principios planteados en la investigación de Inca (2022) quien también utilizó Talpac para realizar el dimensionamiento de la flota



necesaria en su estudio, afirmando que Talpac tiene un alto nivel de precisión debido a que toma en cuenta variables críticas en el proceso de transporte, lo cual es clave para dimensionar la flota de manera óptima.

En el análisis realizado de los dos volquetes Volvo FMX 440, la velocidad máximas promedio obtenido fue de 40 km/h. Este valor fue comparado con lo reportado en la investigación de Salazar (2021) quien identificó que una velocidad máxima de hasta 45 km/h puede mejorar la productividad operativa en equipos de acarreo del mismo modelo. similares. Aunque la velocidad promedio obtenida (40 km/h) es ligeramente inferior a los 45 km/h sugeridos para una productividad óptima, se considera adecuada dentro de los parámetros de operación en minería superficial. Esta velocidad es lo suficientemente alta para permitir una circulación eficiente de los volquetes, pero sin comprometer la estabilidad del vehículo ni las condiciones de seguridad.

Los parámetros del material, como su densidad y el factor de esponjamiento, fueron integrados en los cálculos, ajustándose a las características específicas del frente de minado. Esto, junto con la capacidad real de los equipos, permitió garantizar que las condiciones reales de operación sean consideradas en el dimensionamiento de la flota. Este enfoque es consistente con los estudios de Rivera (2018) quien también destaca la importancia de considerar estos parámetros para el dimensionamiento adecuado de la flota. Según el autor, "la densidad del material y el factor de esponjamiento son factores fundamentales para garantizar que la flota de camiones esté dimensionada correctamente, adaptándose a las características reales del terreno". Al igual que en su investigación, la integración de estos factores asegura que las condiciones reales



de operación se tomen en cuenta, lo que resulta en una flota eficiente que cumple con los objetivos operativos y normativos establecidos.

4.3. OBJETIVO GENERAL: DIMENSIONAR DE MANERA ADECUADA LA FLOTA DE CAMIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARES ESPECIALIZADOS

El método empírico se utilizó como una referencia inicial para el dimensionamiento de la flota de camiones, proporcionando una base de comparación que permitió validar los resultados obtenidos mediante el uso de herramientas especializadas como el software Talpac.

4.3.1. Dimensionamiento de camiones método empírico

Para realizar el dimensionamiento de camiones mediante un método empírico, se calculó mediante la siguiente formula:

$$N^{\circ} \text{ Camiones} = \frac{\text{Producción requerida/día}}{\text{Producción del camión/día}}$$

Obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16

Resultados del dimensionamiento de camiones método empírico

Camión volvo fmx 440	Unidad
Producción por viaje	4.375 m3
N° Viajes por hora	5.76
Producción por día	226.8 m3
Producción Requerida	600 m3
N° de camiones	2.64 ≈ 3
Producción de la flota por día	680.4 m3

4.3.2. Dimensionamiento de camiones método aplicación de softwares especializados

Se obtuvieron los indicadores clave generados por la simulación realizada con los softwares especializados, con el objetivo de compararlos con los resultados obtenidos mediante el método empírico. Los resultados de la simulación se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

Resultados del dimensionamiento de camiones método aplicación de softwares especializados

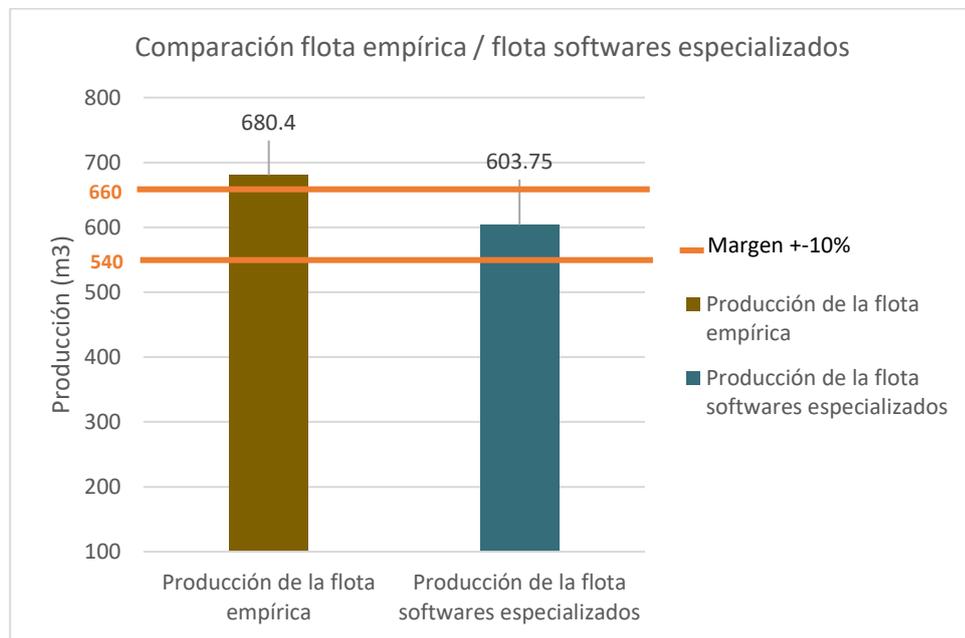
Camión volvo fmx 440	Unidad
Producción por viaje	3.9 m ³
N° Viajes por hora	5.76
Producción por día	201.25 m ³
Producción Requerida	600 m ³
N° de camiones	2.98 ≈ 3
Producción de la flota por día	603.75 m ³

4.3.3. Comparación entre el método empírico y la aplicación de softwares especializados

Se llevó a cabo una comparación detallada entre los resultados obtenidos mediante el método empírico y aquellos derivados de la aplicación de softwares especializados. Los resultados de esta comparación se muestran en la siguiente Figura.

Figura 14

Comparación entre ambos métodos empírico y softwares especializados



En la figura 10 se muestra, los resultados de la comparación de la flota empírica y la flota estimada mediante softwares especializados, si bien ambos métodos cuentan con una flota de camiones de 3 unidades, la producción que estas presentan varía, se evidencia que solo la flota estimada por los softwares especializados cumple con el requerimiento de producción y se encuentra dentro del rango de 600m3 por día con un margen de +-10%.

4.3.4. Discusión del objetivo general

El dimensionamiento de la flota de camiones para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, realizado mediante la aplicación de softwares especializados, demostró ser más preciso y acorde con las condiciones reales de operación, en comparación con el método empírico. El uso de herramientas como Talpac, MineSight y AutoCAD permitió integrar parámetros específicos de la operación, como el tonelaje disponible, las



características del material, el sistema laboral, disponibilidad mecánica de los equipos, las rutas de acarreo y las restricciones operativas. Adicionalmente factores como la disponibilidad mecánica de los equipos, el sistema laboral, las características del material, tiempos de ciclo y velocidades operativas, fueron incorporados en el cálculo, lo que permitió un resultado ajustado a la realidad de la operación.

En el método empírico, aunque el número de camiones requerido fue calculado como tres unidades Volvo FMX 440, la producción diaria estimada para la flota fue de 680.4 m³, excediendo el límite permitido de 600 m³ ±10%. Este exceso refleja que el método empírico no considera factores operativos clave, como la disponibilidad mecánica de los equipos o las restricciones de tiempos laborales, lo que resulta en un sobredimensionamiento de la producción y potenciales ineficiencias operativas.

Por otro lado, el cálculo realizado con softwares especializados arrojó una producción diaria de 603.75 m³, cumpliendo con el rango permitido. Este resultado fue obtenido mediante el uso de Talpac, que consideró la disponibilidad mecánica del 87.5% para los camiones y del 89% para la excavadora, el sistema laboral de 9 horas operativas al día y un tiempo promedio de ciclo de 10.34 minutos. Además, la simulación incluyó el sistema de acarreo y las características específicas del material, como el factor de esponjamiento (1.30), lo que permitió calcular con precisión la producción por viaje y el número de viajes por hora (5.76). Esto garantizó un dimensionamiento adecuado y eficiente de la flota.

En términos de comparación, aunque ambos métodos coinciden en el número de camiones necesarios, la capacidad de producción estimada con el



software respeta las limitaciones normativas y operativas, mientras que el método empírico tiende a sobreestimar las capacidades reales de los equipos y del sistema de trabajo. Esto evidencia la importancia de utilizar herramientas especializadas, que no solo consideran parámetros generales, sino también las particularidades de la operación, reduciendo el margen de error y optimizando los recursos.

Este análisis es consistente con los hallazgos de González (2018) quien encontró que, al comparar los resultados obtenidos con un modelo automático de cálculo de flota con el modelo de cálculo manual, el modelo automatizado logró cumplir con los objetivos establecidos, considerando una cantidad significativa de variables operativas. Esta diferencia subraya la importancia de usar herramientas computacionales especializadas, que permiten tomar en cuenta las complejidades de la operación minera, minimizando el margen de error y optimizando el uso de los recursos disponibles.



V. CONCLUSIONES

- Con respecto al objetivo específico 2, se concluye que la integración de MineSight, AutoCAD y Talpac resultó esencial para el éxito del proceso de dimensionamiento. Cada uno de estos programas cumplió una función específica que permitió modelar con precisión las condiciones reales del terreno. El uso de Talpac para permitió obtener una proyección exacta del número de camiones necesarios y verificar que la capacidad de transporte se ajusta a las condiciones operativas y a los programas de producción de la empresa. Además, la combinación de estos softwares proporcionó un enfoque integral que reduce la incertidumbre en la planificación y mejora la toma de decisiones operativas.
- En cuanto al objetivo específico 1, se concluye que el número de camiones requeridos para el transporte de material morrénico en el nuevo frente de minado es suficiente para garantizar la eficiencia operativa, permitiendo un balance adecuado entre la capacidad de acarreo y las necesidades de producción. Este número de camiones no solo cumple con los requerimientos de producción establecidos por la empresa, sino que incluso permite una ligera mejora sobre los valores considerados óptimos, asegurando que la operación de transporte se realice de manera continua y eficiente.
- En lo que refiere al objetivo general se concluye que el dimensionamiento adecuado de los camiones para el nuevo frente de minado en la Unidad Operativa Minera Halcón de Oro, utilizando softwares especializados, ha permitido obtener una planificación precisa y eficiente de la flota requerida. Este proceso integral incorporó diversas variables operativas como las condiciones del terreno, la ruta de acarreo, la capacidad real de los equipos, y los tiempos de ciclo, lo que garantiza que los recursos estén alineados con los objetivos de producción de la empresa. La utilización de herramientas como MineSight, AutoCAD y Talpac no solo facilitó una estimación



parámetros y datos operacionales, sino que también permitió modelar escenarios operativos que reflejan las condiciones reales del entorno minero. Este enfoque basado en simulaciones detalladas asegura que la operación minera mantenga su continuidad y productividad. En general, el uso de tecnologías avanzadas en el dimensionamiento de camiones permitió superar las limitaciones de métodos empíricos, logrando una planificación más eficiente, sostenible y adaptada a las condiciones específicas de la operación minera. Esto valida la importancia de incorporar herramientas especializadas para la optimización de procesos y el cumplimiento de los objetivos operativos.



VI. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de monitoreo continuo de los parámetros operativos relacionados con el acarreo y carguío. Esto incluye el seguimiento de la disponibilidad mecánica de los equipos, tiempos de ciclo y condiciones del terreno. Este enfoque permitirá ajustes dinámicos que optimicen la operación en tiempo real.
- Fomentar investigaciones adicionales que busquen mejores prácticas en el dimensionamiento de flotas mineras, considerando diferentes tipos de materiales y condiciones operativas. Esta investigación podría ayudar a afinar las estrategias de acarreo, maximizando la productividad y eficiencia.
- Promover estudios comparativos sobre las mejores prácticas en otras operaciones mineras similares. Esto puede ofrecer perspectivas valiosas sobre técnicas de operación y gestión que podrían adaptarse a la Unidad Operativa Halcón de Oro.
- Realizar investigaciones sobre el impacto de tecnologías emergentes, como vehículos eléctricos y sistemas automatizados de acarreo, en la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones mineras.
- Se sugiere realizar estudios que analicen el impacto ambiental de las operaciones mineras y cómo las mejoras en el dimensionamiento de camiones y la eficiencia operativa pueden contribuir a una minería más sostenible.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anchiraico Giraldo, A. L., & Rojas Oré, K. R. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la ECM Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/655408>.
- Bazán Cupri, A. M. (2016). *Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Gerardo, perteneciente a la Compañía Minera Atacocha*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/2955>.
- Brazil, M., Lee, D. H., Rubinstein, J. H., Thomas, D. A., Weng, J. F., & Wormald, N. C. (2002). *A network model to optimise cost in underground mine design*. Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers, 93, 97-103. <https://users.monash.edu.au/~nwormald/papers/convexity.pdf>
- Cabezas G., R., Cataldo, C., & Aguilar Vidal, V. (2021, noviembre 22). Reducción de costo de combustible debido a mejoramiento de la resistencia a la rodadura en minas a cielo abierto. Universidad de Chile. https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Cabezas-G/publication/357380380_Reducccion_de_Costo_de_Combustible_debido_a_Mejoramiento_de_la_Resistencia_a_la_Rodadura_en_Minas_a_Cielo_Abierto/links/61cb5a64b6b5667157b04c45/Reduccion-de-Costo-de-Combustible-debido-a-Mejoramiento-de-la-Resistencia-a-la-Rodadura-en-Minas-a-Cielo-Abierto.pdf
- Codelco. (2018). *Corporación Nacional de cobre de Chile*. Obtenido de <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/extraccion.html>
- CODELCO NORTE. (2005). *Norma ASARCO*. Documento Interno, División Codelco Norte.



- CODELCO NORTE. *Reglamento de Carguío y Transporte de las minas de Codelco Norte R-033*. En Reglamento Interno Específico de Operaciones Críticas de Minería.
- Córdova Castillo, M. (2018). *Carguío y Transporte. Trabajo de Carguío y Transporte*, 5 - 36.
https://www.academia.edu/7623618/TRABAJO_MABI_CORDOVA_CASTILLO.
- Deloitte Global Mining & Metals. (2020). *Tracking the trends 2020: The top 10 issues shaping mining in the next decade*. Deloitte.
<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/energy-and-resources/articles/tracking-the-trends.html>
- Felippe, P. da C., Marcone, J. F., & Souza, L. R. P. (2005). *Un modelo de programación matemática para ubicación estática de camiones visando al atendimento de metas de producción y calidad*. REM - Revista Escola de Minas. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672005000100013>
- Gil Crespin, M. Y. (2019). *Aplicación de software minero Minehaul para cálculo de camiones en plan minero LOM 2019 en Unidad Minera La Arena S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
<https://hdl.handle.net/20.500.14414/12698>
- González, V. P. (2018). *Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en compañía minera doña Inés de Collahuasi*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/164023>.
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Ecuador: Editorial Saberes del Conocimiento.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173).
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6^a ed.). McGraw Hill.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>.



- Inca Centeno, N. D. (2023). *Estimación de la flota de camiones y palas en la compañía minera Antapaccay tajos norte y sur para la producción del año 2022 Espinar–Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8292>.
- Jacobo Minchola, J. (2018). *Dimensionamiento de flota de acarreo considerando variables operativas de minado para incrementar la producción, minera La Zanja-Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/11051>
- Kaufman, W. W., & Ault, J. C. (1979). *Design of surface mine haulage roads – A manual*. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/ic8758.pdf>
- Koppe, J. (2007). A lavra e a indústria mineral no Brasil. Estado da arte e tendências tecnológicas. *Tendencias - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral, Parte II - Tecnologia Mineral*. Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral. <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1285>.
- Lins de Noronha, O. L., Nuñez, A. E. C., Dos Reis, A. F., & Ortiz, C. E. A. (2018). *Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas*. *Interfases*, (11), 43-55. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/7633>.
- Leiva, C. I. (2020). *Análisis de implementación de camiones autónomos en mina a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177041>
- Marambio Pizarro, G. A. (2010). *Efecto del Diseño Minero en la Velocidad de los Equipos de Transporte*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103948>.



- Neyra Ayma, A. A. (2020). *Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1937/1/T026_45425791_T.pdf.
- Nyberg, D. (2012). *An Investigation of Qualitative Research Methodology for Perceptual Audio Evaluation*. Engineering Society. Obtenido de <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:990443/FULLTEXT01.pdf>
- Olivares Tarrillo, B. A., & Pinto Rodriguez, V. E. (2023). *Evaluación del carguío y acarreo con simulación en software Talpac para mejorar la productividad en la UM La Arena*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/670725>.
- Ortiz, J. M. (2014). Curso Minería "*Carguío y Transporte*". Curso Minería.
- Quiñones Reyna, A. B. (2024). *Dimensionamiento de flota de acarreo para el incremento de producción en Minera Las Lomas Doradas, Piura, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/22680>.
- Rea Lupa, R. (2024). *Aplicación del software MineSight para el modelamiento del diseño del tajó trapiche en la Unidad Minera el Molle Verde SAC-Apurímac, 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1483>.
- Rivera Salas, R. M. (2018). *Mejoramiento de la flota de carguío y acarreo en operaciones mina, para el incremento de la producción, sociedad Minera Cerro Verde SAA*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7732>
- Rodríguez, F. E. (2018). *Gestión del transporte y acarreo de mineral y desmonte en Mina Cuajone de Southern Perú Copper Corporation*. [Tesis de



pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/4969>

Runger Limited. (2010). *Guía de capacitación Talpac*. Brisbane: Box.

Salazar Sarmiento, M. E. (2021). *Incremento de la productividad mediante el análisis de indicadores de rendimiento en los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/27627>.

Sánchez Alaya, J. B. (2021). *Dimensionamiento óptimo de flota de carguío y acarreo para la reubicación de la relavera La Catedral, Minera Sayapullo SA 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86990>.

Sánchez Bolivar, J. D., & Cruz Huamán, C. F. (2023). *Simulación de la estimación de tiempos variables de acarreo y movimiento de tierras utilizando el software TALPAC en la etapa de cierre de mina de la Unidad Minera Florencia TUCARI*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/7151>

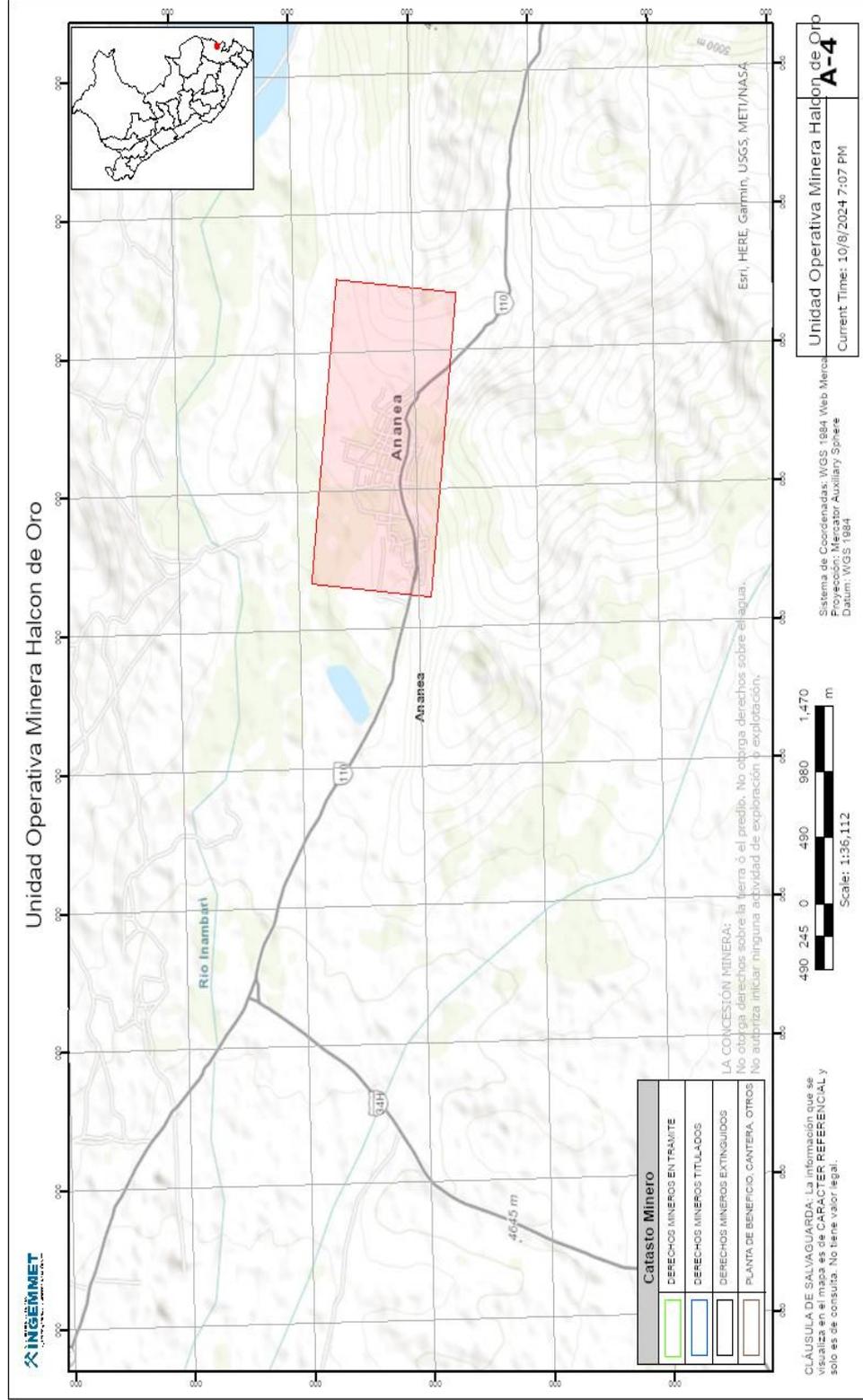
Soto Vilca, C. Y., & Tarazona Yábar, N. (2016). *Diseño, validación e implementación de una aplicación de acarreo en minería superficial*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7151>

Unidad Operativa Minera Halcón de Oro. (2023). *Plan de minado* (Informe interno).

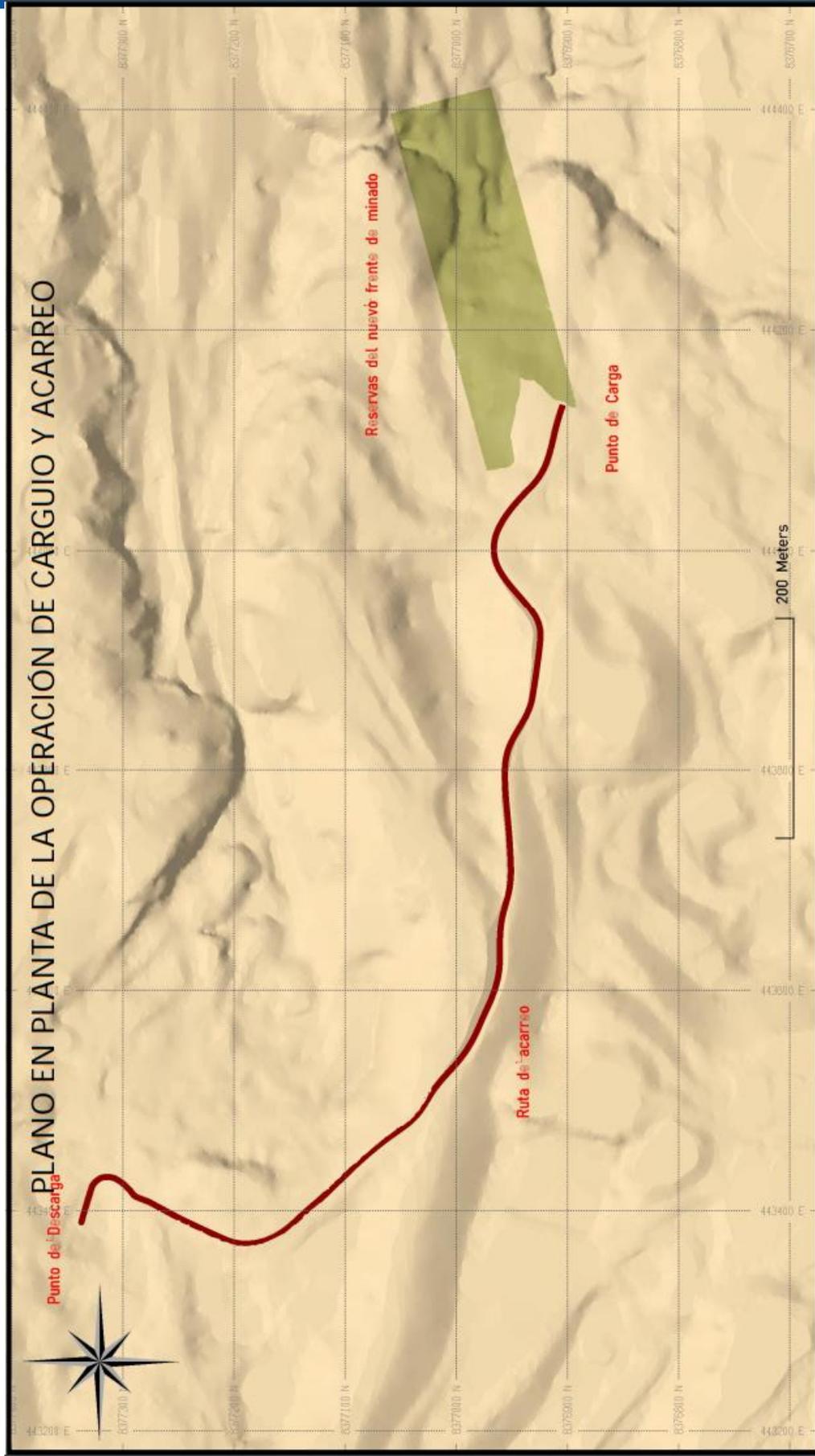
Vidal Loli, M. A. (2010). *Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/534>

ANEXOS

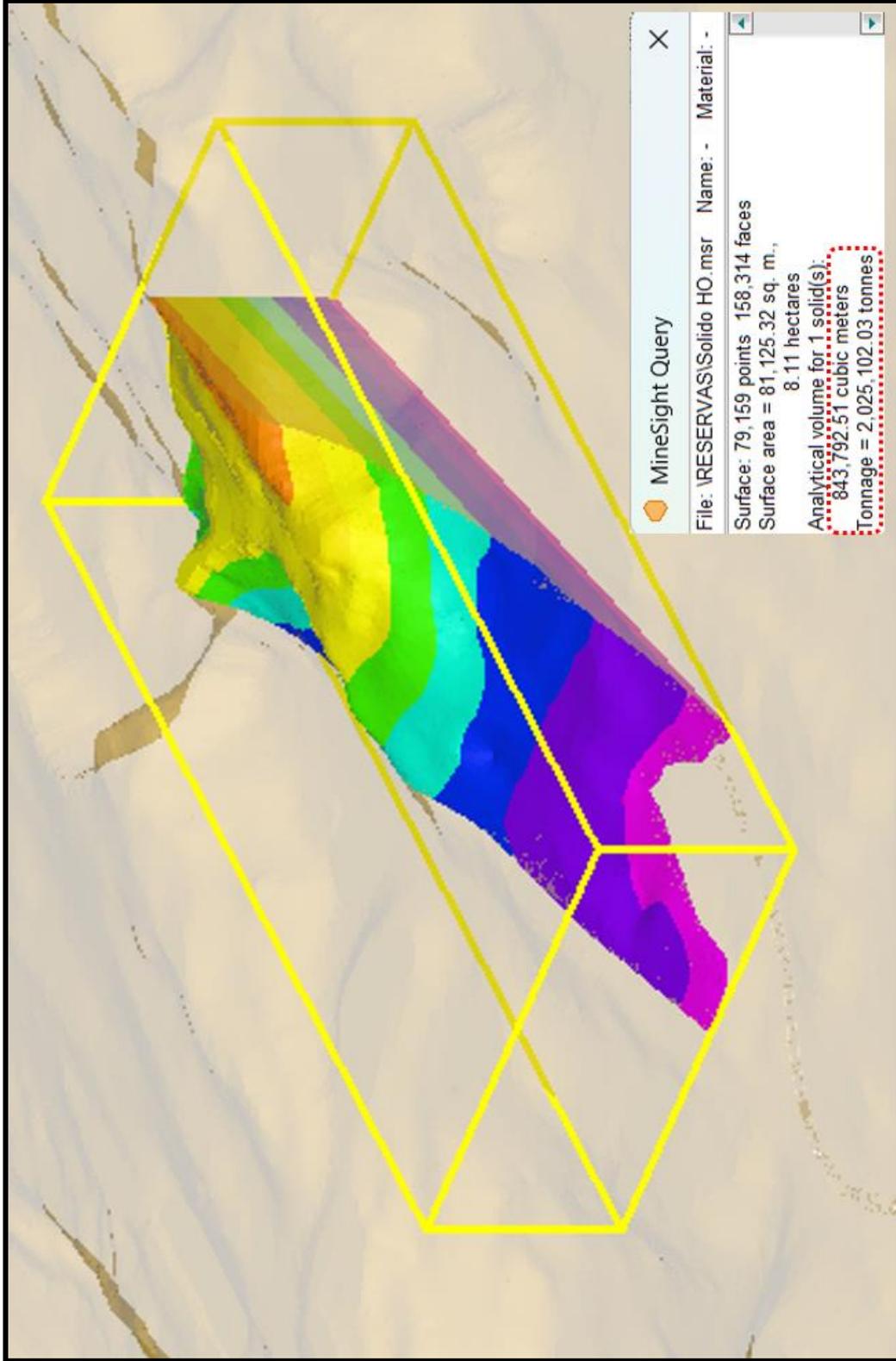
ANEXO 1. Ubicación de la concesión de la empresa



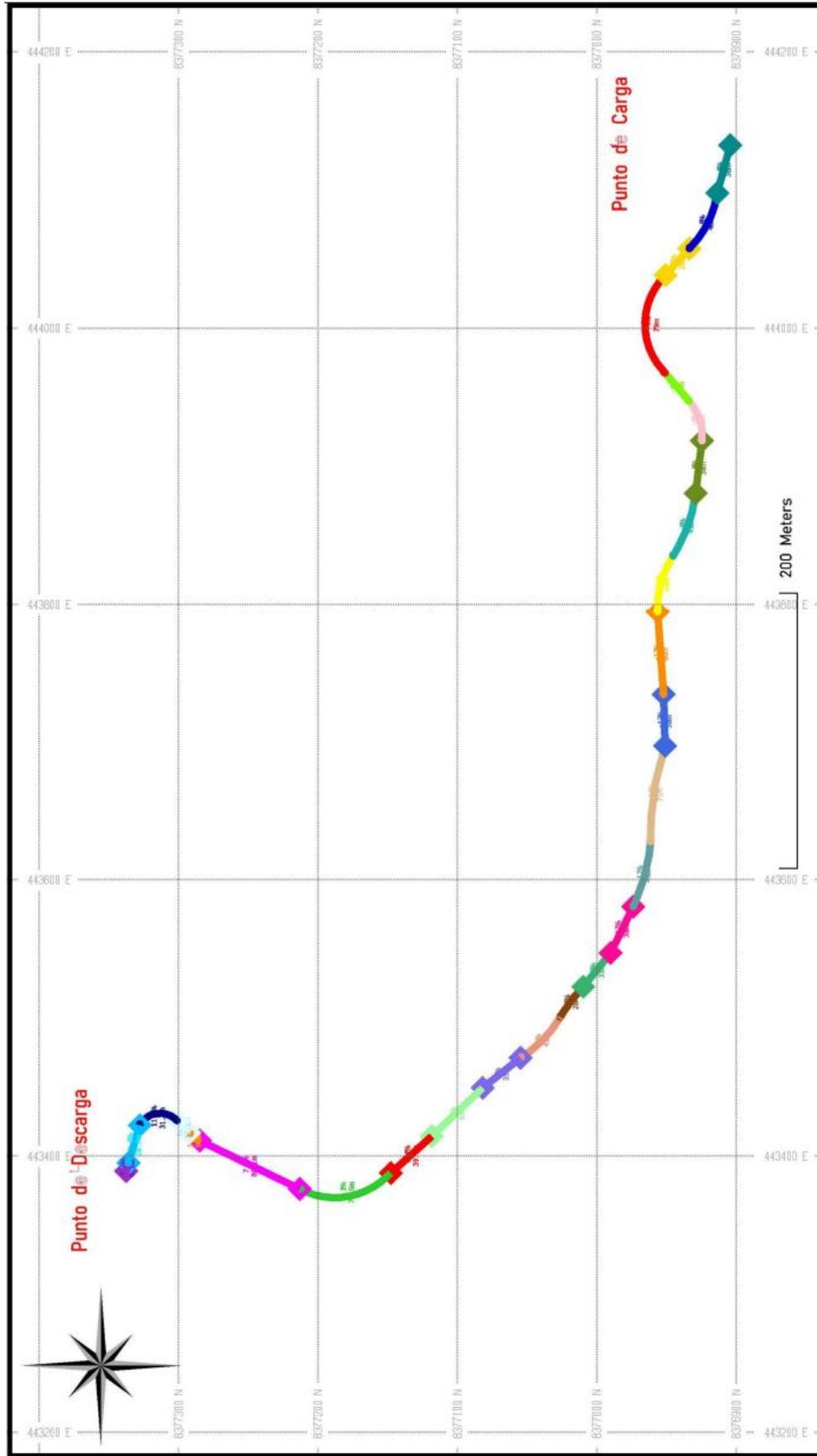
ANEXO 2. Plano en vista planta de la operación de carguio y acarreo



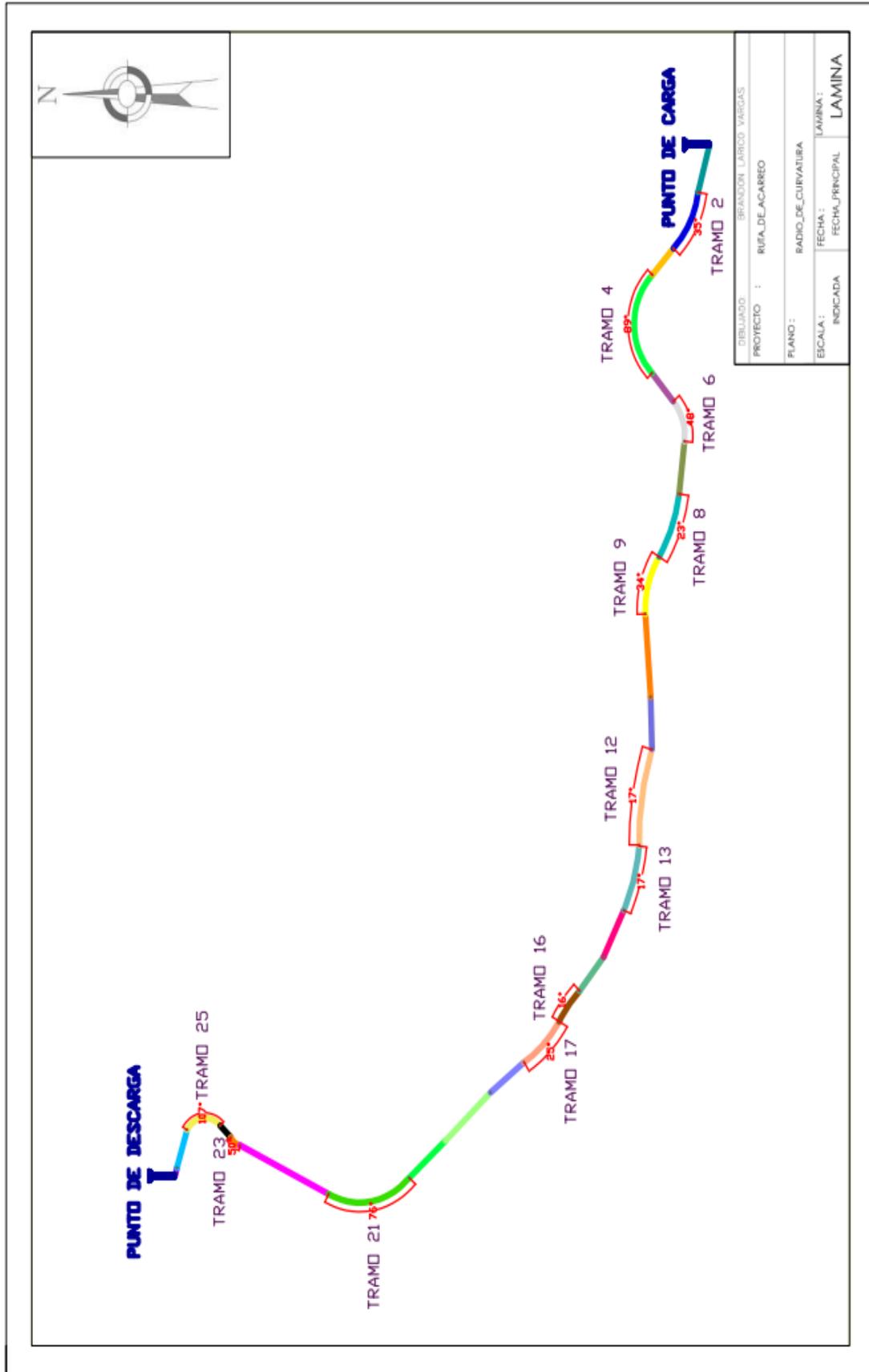
ANEXO 3. Tonelaje estimado



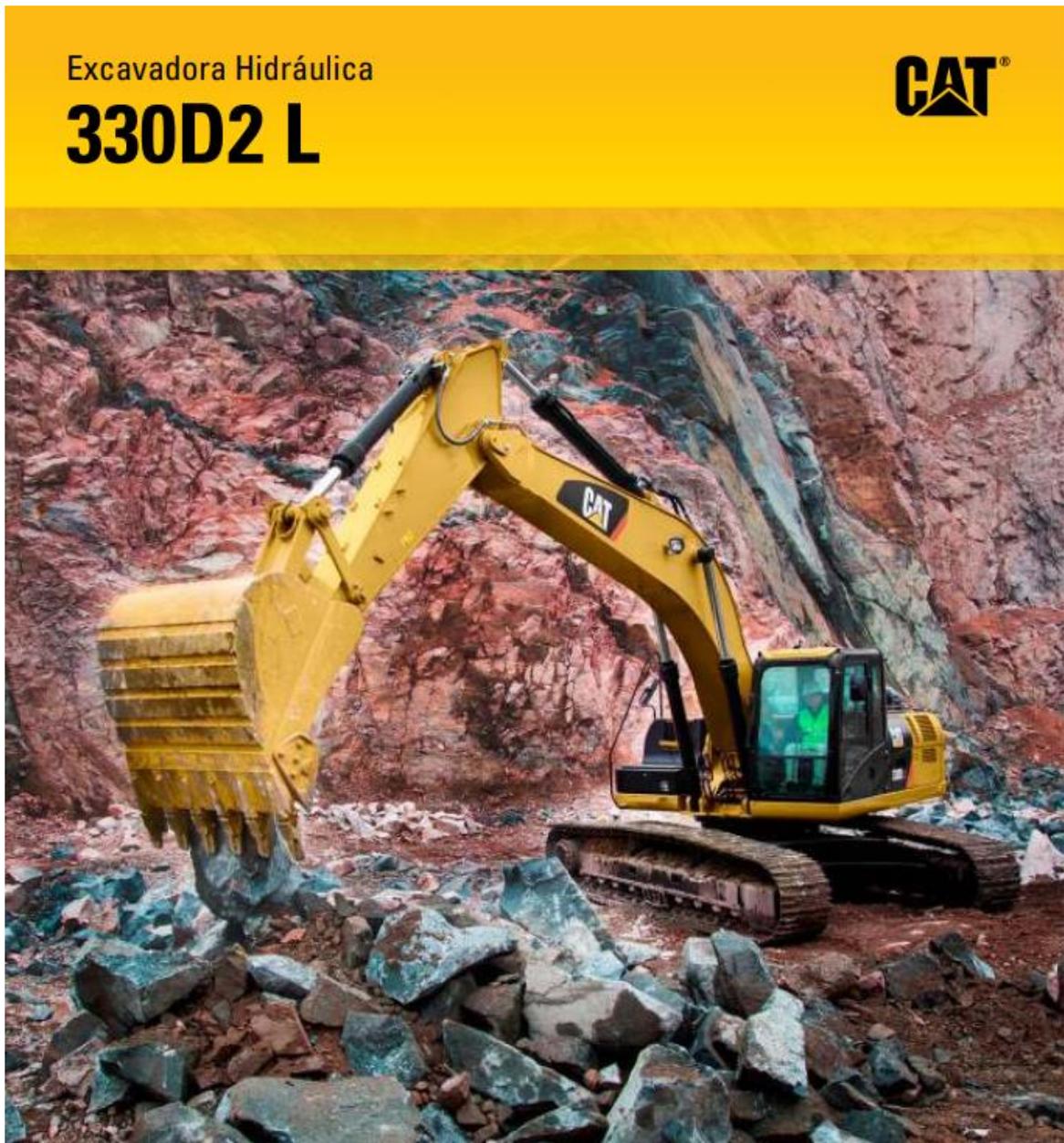
ANEXO 4. Ruta de acarreo seccionada en 27 tramos



ANEXO 5. Tramos de la ruta de acarreo que presenta curvatura



ANEXO 6. Ficha técnica, excavadora caterpillar 330D2L



Motor		Pesos	
Modelo del motor	C7.1 ACERT™ Cat®	Peso en orden de trabajo mínimo	28.955 kg 63.830 lb
Potencia del motor (ISO 14396)	159 kW 213 hp	Peso en orden de trabajo máximo	30.305 kg 66.810 lb
Potencia neta (SAE J1349/ISO 9249)	156 kW 209 hp		

Nota: Ficha técnica caterpillar

ANEXO 7. Ficha técnica, volvo fmx 440

VOLVO TRUCKS. DRIVING PROGRESS.

VOLVO FMX 6x4R / 6x4T

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FMX 6x4R - 6x4T

MOTOR		D13A400	D13A440
Potencia (kW) (net)	440 (598 CV) (3800 rpm)	440 (598 CV) (3800 rpm)	440 (598 CV) (3800 rpm)
Torque (Nm) (net)	2000 (1470 lb-ft) (1300 rpm)	2200 (1610 lb-ft) (1300 rpm)	2200 (1610 lb-ft) (1300 rpm)
Cilindrada (cm³)	1300	1300	1300
Diámetro x Carrera del pistón (mm)	130 x 130	130 x 130	130 x 130
Relación de compresión	16.1:1	16.1:1	16.1:1
Rango velocidad (km/h)	4000-1000	4000-1000	4000-1000
Área de radiador (m²)	38	38	38
Área de enfriamiento (m²)	38	38	38

FRENOS DE MOTOR: HEA 400 / VED 300

Este freno de motor de 400 CV está diseñado para ser usado en vehículos de alto tonelaje, como camiones, tractores, tractores de riego, tractores agrícolas, tractores de construcción y tractores de riego. Este freno de motor de 400 CV está diseñado para ser usado en vehículos de alto tonelaje, como camiones, tractores, tractores de riego, tractores agrícolas, tractores de construcción y tractores de riego.

EJES		TRONCO	
Tipos	Independiente en cada eje con amortiguadores de torsión (vehículos de alto tonelaje) / Suspensión de eje rígido (vehículos de alto tonelaje)	Tipos	Tronco integral de acero con amortiguadores de torsión, freno a disco (vehículos de alto tonelaje) / Tronco integral de acero con amortiguadores de torsión, freno a disco (vehículos de alto tonelaje)
Área entre ejes (mm)	3000	Área de frenado (mm²)	3000
Área del eje (mm)	3000	F (Eje trasero) (mm²)	3000
Área del eje (mm)	3000	F (Eje delantero) (mm²)	3000
Distancia del eje (mm)	3000	Área de frenado (mm²)	3000
Distancia del eje (mm)	3000	Área de frenado (mm²)	3000

CABINA		EQUIPAMIENTO	
Tipos	Cabina totalmente equipada de alto rendimiento, con amortiguadores, protección antirrotura por desbordamiento	Tipos	Equipamiento
Área interior (mm)	1300	Área interior	1300
Longitud (mm)	1800 x 2400	Área exterior	1800 x 2400
Área exterior (mm)	1800 x 2400	Área exterior	1800 x 2400
Equipamiento exterior	Parabrisas / antirrotura	Área exterior	1800 x 2400
Equipamiento interior	Parabrisas / antirrotura	Área exterior	1800 x 2400

DIMENSIONES (mm)		FMX 6x4R		FMX 6x4T	
A - Distancia entre ejes	3000	3000	3000	3000	3000
B - Distancia entre ejes traseros	3000	3000	3000	3000	3000
C - Distancia entre ejes delanteros	3000	3000	3000	3000	3000
D - Longitud total	10000	10000	10000	10000	10000
E - Distancia eje delantero - centro de la cabina	400	400	400	400	400
F - Distancia eje delantero - eje trasero	3000	3000	3000	3000	3000
G - Distancia de la cabina	1000	1000	1000	1000	1000
H - Distancia del eje delantero al eje trasero	1000	1000	1000	1000	1000
I - Distancia de la cabina	1000	1000	1000	1000	1000
J - Longitud máxima	10000	10000	10000	10000	10000
K - Altura	3000	3000	3000	3000	3000
L - Altura del eje	1000	1000	1000	1000	1000

PESOS (kg)		FMX 6x4R		FMX 6x4T	
Peso en el eje delantero	4000	4000	4000	4000	4000
Peso en el eje trasero	4000	4000	4000	4000	4000
Peso total del chasis	8000	8000	8000	8000	8000

CAPACIDADES DE CARGA (kg)		FMX 6x4R		FMX 6x4T	
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000
Capacidad de carga	10000	10000	10000	10000	10000

Nota: Ficha técnica volvo

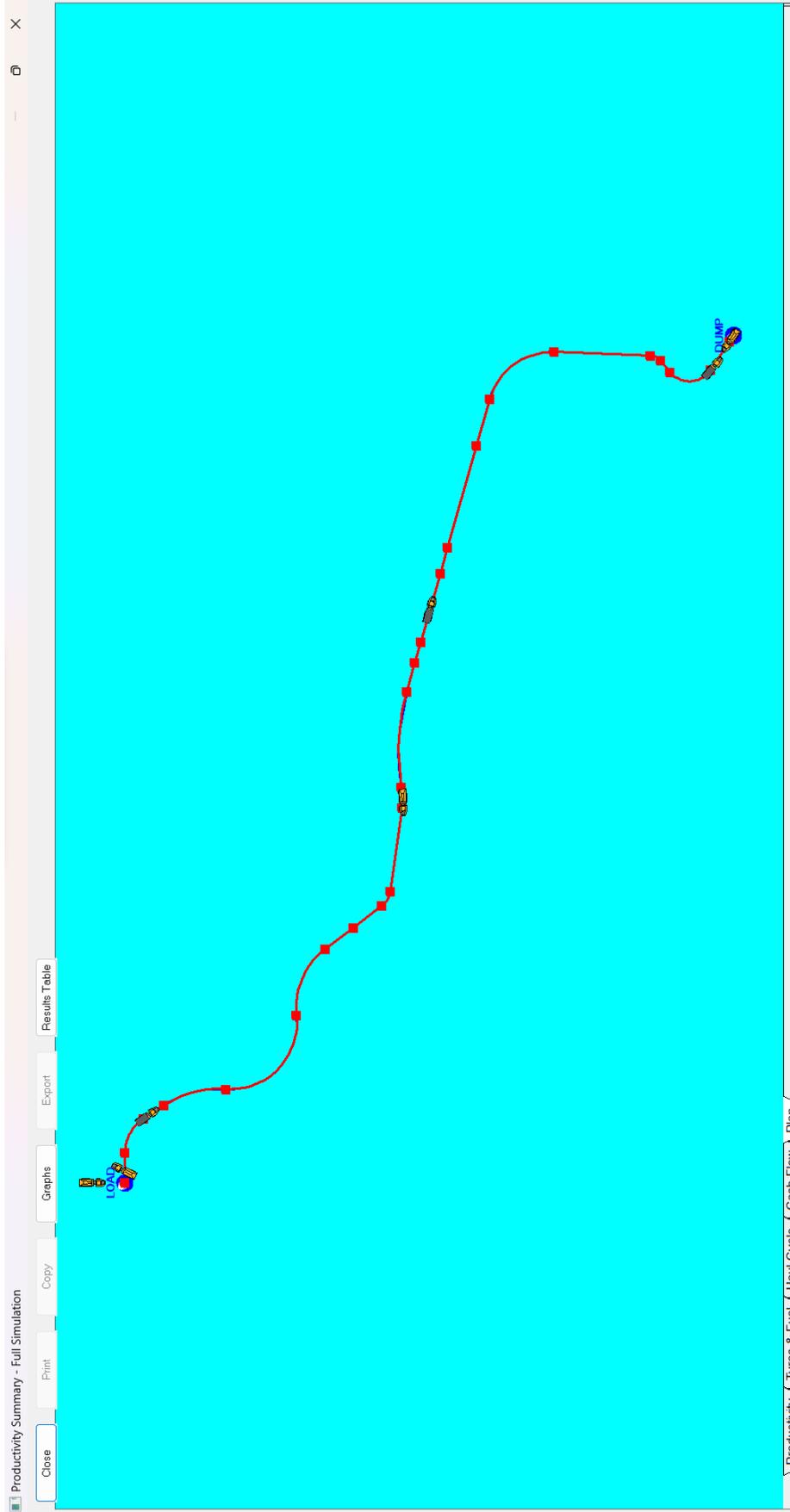
ANEXO 8. Camiones de acarreo



ANEXO 9. Equipo de carguío



ANEXO 10. Resultado de la simulación de la ruta de acarreo en talpac





ANEXO 11. Descripción de la ruta de acarreo en el software talpac

Full Simulation Results															
Material: [PRJ] Grava Auríferas										Haulage System: Dimensionamiento HO					
Roster: [PRJ] Roster Minado HO										Haul Cycle: [PRJ] Ruta HO					
Type	Segment Title	Distance	Grade	Rolling Resist.	Curve Angle	Load	Segment Time	Cycle Time	Max Vel.	Final Vel.	Velocity Limit.	Average Velocity	Elevation Change	Fuel Usage	% Duty Cycle
		metres	%	%	degrees	%	min	%	km/h	km/h		km/h	metres	litre/OpHr	%
[PRJ] VOLVO FMX 440 6X4															
Queue	Queue at Loader	Auto	Mins				0.26	2.53						0.0	
Spot	Spot Time at loader	Auto	Mins				0.78	7.58						0.0	
Load	Loading	Auto	Mins				0.87	8.41						0.0	
1	Tramo 1	36	-8.0	6.0	0.0	Full	0.22	2.11	19.7	19.7	Max Accel.	9.8	-2.9	0.0	5.8
2	Tramo 2	46	-8.0	1.0	35.0	Full	0.14	1.33	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-3.7	0.0	2.8
3	Tramo 3	26	-8.0	1.0	0.0	Full	0.08	0.75	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-2.1	0.0	0.0
4	Tramo 4	79	-9.0	1.0	-89.0	Full	0.24	2.28	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-7.1	0.0	0.0
5	Tramo 5	27	-8.0	1.0	0.0	Full	0.08	0.78	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-2.1	0.0	0.0
6	Tramo 6	31	-8.0	1.0	48.0	Full	0.09	0.90	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-2.5	0.0	0.0
7	Tramo 7	38	-8.0	1.0	0.0	Full	0.12	1.11	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-3.1	0.0	0.0
8	Tramo 8	49	-9.0	1.0	23.0	Full	0.15	1.41	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-4.4	0.0	0.0
9	Tramo 9	44	-12.0	1.0	-34.0	Full	0.13	1.26	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-5.2	0.0	0.0
10	Tramo 10	60	-12.0	1.0	0.0	Full	0.18	1.75	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-7.3	0.0	0.0
11	Tramo 11	38	-12.0	1.0	0.0	Full	0.11	1.09	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-4.5	0.0	0.0
12	Tramo 12	71	-12.0	1.0	-17.0	Full	0.21	2.06	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-8.5	0.0	0.0
13	Tramo 13	49	-12.0	1.0	17.0	Full	0.15	1.43	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-5.9	0.0	0.0
14	Tramo 14	38	-12.0	1.0	0.0	Full	0.11	1.09	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-4.5	0.0	0.0
15	Tramo 15	31	-9.0	1.0	0.0	Full	0.09	0.91	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-2.8	0.0	0.0
16	Tramo 16	28	-5.0	1.0	-16.0	Full	0.08	0.80	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	-1.4	0.0	0.0
17	Tramo 17	41	1.0	3.0	25.0	Full	0.11	1.09	22.6	20.0	Final Sp.	22.1	0.4	0.0	11.1
18	Tramo 18	35	8.0	9.0	0.0	Full	0.10	1.01	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	2.8	0.0	82.4
19	Tramo 19	51	8.0	9.0	0.0	Full	0.15	1.47	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	4.1	0.0	82.4
20	Tramo 20	40	3.0	3.0	0.0	Full	0.11	1.05	23.8	20.0	Final Sp.	22.0	1.2	0.0	21.7
21	Tramo 21	71	6.0	9.0	76.0	Full	0.21	2.07	20.0	20.0	Final Sp.	20.0	4.3	0.0	72.7
22	Tramo 22	80	7.0	9.0	0.0	Full	0.27	2.63	20.0	11.2	Final Sp.	17.6	5.6	0.0	35.8
23	Tramo 23	10	12.0	9.0	50.0	Full	0.05	0.51	11.2	11.2	Max Sp.	11.2	1.2	0.0	58.6
24	Tramo 24	12	11.0	9.0	0.0	Full	0.05	0.52	13.9	13.8	Final Sp.	13.4	1.3	0.0	44.6
25	Tramo 25	32	12.0	9.0	-107.0	Full	0.14	1.34	13.8	13.8	Max Sp.	13.8	3.8	0.0	72.4
26	Tramo 26	29	12.0	9.0	0.0	Full	0.15	1.49	13.9	6.6	Retard	11.2	3.4	0.0	0.6
27	Tramo 27	6	0.0	3.0	0.0	Full	0.11	1.07	5.1	0.0	Final Sp.	3.3	0.0	0.0	0.0
Spot Dump	Spot Time at Dump Dumping	Auto	Mins				0.83	8.06						0.0	
	Dumping	Auto	Mins				1.02	9.87						0.0	
28	Tramo 27 (rev.)	6	0.0	3.0	0.0	Empty	0.09	0.87	8.1	8.1	Rimpull	4.1	0.0	0.0	5.2
29	Tramo 26 (rev.)	29	-12.0	9.0	0.0	Empty	0.13	1.26	16.5	13.8	Final Sp.	13.2	-3.4	0.0	1.6
30	Tramo 25 (rev.)	32	-12.0	9.0	107.0	Empty	0.14	1.34	13.8	13.8	Max Sp.	13.8	-3.8	0.0	0.0
31	Tramo 24 (rev.)	12	-11.0	9.0	0.0	Empty	0.05	0.52	14.1	11.2	Final Sp.	13.4	-1.3	0.0	0.2
32	Tramo 23 (rev.)	10	-12.0	9.0	-50.0	Empty	0.05	0.51	11.2	11.2	Max Sp.	11.2	-1.2	0.0	0.0
33	Tramo 22 (rev.)	80	-7.0	9.0	0.0	Empty	0.23	2.27	25.0	24.5	Final Sp.	20.5	-5.6	0.0	13.0
34	Tramo 21 (rev.)	71	-6.0	9.0	-76.0	Empty	0.18	1.69	24.5	24.5	Max Sp.	24.5	-4.3	0.0	10.5
35	Tramo 20 (rev.)	40	-3.0	3.0	0.0	Empty	0.09	0.86	28.0	25.0	Final Sp.	26.8	-1.2	0.0	7.2
36	Tramo 19 (rev.)	51	-8.0	9.0	0.0	Empty	0.12	1.18	25.0	25.0	Final Sp.	25.0	-4.1	0.0	3.6
37	Tramo 18 (rev.)	35	-8.0	9.0	0.0	Empty	0.08	0.81	25.0	25.0	Final Sp.	25.0	-2.8	0.0	3.6
38	Tramo 17 (rev.)	41	-1.0	3.0	-25.0	Empty	0.09	0.84	30.8	30.0	Final Sp.	28.7	-0.4	0.0	19.1
39	Tramo 16 (rev.)	28	5.0	1.0	16.0	Empty	0.06	0.53	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	1.4	0.0	26.4
40	Tramo 15 (rev.)	31	9.0	1.0	0.0	Empty	0.06	0.61	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	2.8	0.0	43.9
41	Tramo 14 (rev.)	38	12.0	1.0	0.0	Empty	0.07	0.73	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	4.5	0.0	57.1
42	Tramo 13 (rev.)	49	12.0	1.0	-17.0	Empty	0.10	0.95	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	5.9	0.0	57.1
43	Tramo 12 (rev.)	71	12.0	1.0	17.0	Empty	0.14	1.37	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	8.5	0.0	57.1
44	Tramo 11 (rev.)	38	12.0	1.0	0.0	Empty	0.08	0.73	30.0	30.0	Final Sp.	30.0	4.5	0.0	57.1
45	Tramo 10 (rev.)	60	12.0	1.0	0.0	Empty	0.12	1.17	30.0	28.6	Final Sp.	29.9	7.3	0.0	49.5
46	Tramo 9 (rev.)	44	12.0	1.0	34.0	Empty	0.09	0.88	28.6	28.6	Max Sp.	28.6	5.2	0.0	54.0
47	Tramo 8 (rev.)	49	9.0	1.0	-23.0	Empty	0.10	0.95	30.0	28.8	Max Sp.	29.8	4.4	0.0	40.7
48	Tramo 7 (rev.)	38	8.0	1.0	0.0	Empty	0.09	0.91	27.8	20.3	Final Sp.	24.6	3.1	0.0	0.0
49	Tramo 6 (rev.)	31	8.0	1.0	-48.0	Empty	0.09	0.89	20.3	20.3	Max Sp.	20.3	2.5	0.0	25.6
50	Tramo 5 (rev.)	27	8.0	1.0	0.0	Empty	0.07	0.67	25.0	23.7	Final Sp.	23.2	2.1	0.0	32.5
51	Tramo 4 (rev.)	79	9.0	1.0	89.0	Empty	0.20	1.92	23.7	23.7	Max Sp.	23.8	7.1	0.0	33.8
52	Tramo 3 (rev.)	26	8.0	1.0	0.0	Empty	0.06	0.57	28.1	28.9	Final Sp.	26.4	2.1	0.0	41.9
53	Tramo 2 (rev.)	46	8.0	1.0	-35.0	Empty	0.11	1.08	28.9	19.7	Max Sp.	24.7	3.7	0.0	3.1
54	Tramo 1 (rev.)	36	8.0	6.0	0.0	Empty	0.22	2.11	18.7	0.0	Final Sp.	9.8	2.9	0.0	0.0
Total		2,192					10.34	100.00				12.7	0		



ANEXO 12. Resultados de producción obtenidos por el software talpac

Production Summary - Full Simulation			
Haulage System: Dimensionamiento HO		Haul Cycle: [PRJ] Ruta HO	
Material: [PRJ] Grava Auríferas		Roster: [PRJ] Roster Minado HO	
Loader		[PRJ] CATERPILLAR_330D2L	
Availability	%		89.00
Bucket Fill Factor			0.91
Average Bucket Load Volume	cu.metres		1.92
Average Payload	tonne		3.55
Operating Hours per Year	OpHr/Year		2,866.50
Average Operating Shifts per Year	shifts/Year		819.00
Average Bucket Cycle Time	min		0.43
Production per Operating Hour	tonne		137.68
Production per Loader Operating Shift	tonne		482
Production per Year	tonne		394,655
Wait Time per Operating Hour	min		30.94
Truck		[PRJ] VOLVO_FMX_440_6X4	
Availability	%		87.50
Payload in Template	tonne		10.50
Operating Hours per Year	OpHr/Year		2,503.41
Average Payload	tonne		10.66
Production per Operating Hour	tonne		52.55
Production per Loader Operating Shift	tonne		161
Production per Year	tonne		131,552
Queue Time at Loader	min/ Cycle		0.26
Spot Time at loader	min/ Cycle		0.78
Average Loading Time	min/ Cycle		0.87
Travel Time	min/ Cycle		6.57
Spot Time at Dump	min/ Cycle		0.83
Average Dump Time	min/ Cycle		1.02
Average Cycle Time	min/ Cycle		10.34
Fleet Size			3
Average No. of Bucket Passes			3.00
Haulage System			
Production per Year	tonne/Year		394,655
Excavation Target	tonne		2,025,102.02
Time to move Excavation Target	Years		5.13
Loader Hrs to move Target	Op. Hours.		14,709
Total Truck Hrs to move Target	Op. Hours.		38,537



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo BRANDON LARCO VARGAS
identificado con DNI 70061554 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES PARA UN NUEVO FRENTE DE MINADO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARES ESPECIALIZADOS EN LA UNIDAD OPERATIVA MINERA HALCÓN DE ORO"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de DICIEMBRE del 2021

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo BRANDON LARICO VARGAS
identificado con DNI 7008 1556 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES PARA UN NUEVO FRENTE DE MINADO MEDIANTE EL USO DE
SOFTWARES ESPECIALIZADOS EN LA UNIDAD OPERATIVA MINERA MALCON DE ORO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella