

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Evaluación económica de la selección de un acceso principal y la
reducción de costos de transporte de una mina subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Keller Lisandro Rodriguez Laureano

 [0009-0000-6079-2140](https://orcid.org/0009-0000-6079-2140)

Asesor

M.Sc. Carmen Rosalía Matos Avalos

 [0000-0003-4919-4005](https://orcid.org/0000-0003-4919-4005)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Rodriguez Laureano [1]
Referencia/Reference	[1] K. Rodriguez Laureano, " <i>Evaluación económica de la selección de un acceso principal y la reducción de costos de transporte de una mina subterránea</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Rodriguez, 2025)
Referencia/Reference	Rodriguez, K. (2025). <i>Evaluación económica de la selección de un acceso principal y la reducción de costos de transporte de una mina subterránea</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis queridísimos progenitores, Rómulo Rodríguez y Zorayda Laureano, por ser mi guía, mi fortaleza y el ejemplo más grande de sacrificio y amor; y a mis amadas hermanas, Jazmín y Anita, por su afecto incondicional y su presencia permanente en cada etapa de este sendero. Con todo mi corazón, dedico este logro a todos ustedes y mi agradecimiento eterno.

Agradecimientos

A mi alma mater, Universidad Nacional de Ingeniería, a mi prestigiosa facultad de minas por todos los conocimientos brindados y a mis docentes por sus enseñanzas y experiencia compartida a lado de ellos durante mis años de formación en aquellas aulas de la facultad.

Resumen

La presente investigación analiza el rendimiento (t/h) y costo de extracción (USD/t) a través de control de tiempos y movimientos de los volquetes, durante la extracción de mineral de la zona de carguío a la cancha de gruesos en la planta, que tiene actualmente una distancia de 2.3 km. Debido a que los bajos rendimientos actuales de extracción y siendo el número limitado de 13 viajes por turno, se planteó la selección de una ruta de extracción de 1.4 Km, que era una labor antigua cuya sección debería ser ampliada.

La labor seleccionada tiene una sección de 2.2 m x 2.8 m y se requiere desquinchar un tramo de 200 m a una sección de 4.0 m x 4.5 m con una inversión de USD 192,967.20, para tal efecto se llevará a cabo una evaluación económica de la implementación de esta ruta respecto al ahorro generado por su utilización.

Al realizar el control de tiempo del volquete en la ruta actual de 2.3 km, se realiza la estimación de los rendimientos de la nueva ruta de 1.4 km, obteniendo una mejora en el rendimiento de 12.61 t/h y 0.56 USD/t, respecto a los indicadores de marzo a mayo del año 2023 y al ahorro mensual promedio de 99.14 h en uso de volquete equivalente a 5,658.28 USD.

Mediante el flujo de caja considerando los valores de inversión en el desquinche y ahorro en la valorización mensual de los volquetes y un análisis en un periodo de 5 años se obtiene un VAN de 34,642 USD, un TIR de 22%, una relación beneficio costo de 1.18 y un periodo de retorno de la inversión de 2.16 años.

Palabras clave — Ruta de extracción, tiempo de ciclo, rendimiento, costo, indicador económico.

Abstract

This research analyzes the performance (t/h) and extraction cost (USD/t) by controlling the times and movements of the dump trucks during the extraction of the mineral from the loading area to the coarse field in the plant that it currently has. a 2.3 km route, because current yields were high and limited the number of trips to 13 per shift, it was proposed to execute a new 1.4 km extraction route through an old work.

However, this route has a section of 2.2 m x 2.8 m and requires the removal of a 200 m section to a 4.0 m x 4.5 m section with an investment of USD 192,967.20 Consequently, an economic analysis of this project will be conducted, focusing on the savings that will result from the execution of this route.

By carrying out the time control of the dump truck on the current 2.3 km route, the estimation of the yields at 1.4 km (new route) is made, obtaining an improvement in the yield of 12.61 t/h and 0.56 USD/t with respect to the indicators from March to April 2023 and an average monthly savings of 5,658.28 USD equivalent to 99.14 hours of tipper use.

Through the cash flow considering the investment values in the stripping and savings in the monthly valuation of the dump trucks and analysis over a period of 5 years, an NPV of 34,642 USD is obtained, an TIR of 22%, a benefit-cost ratio of 1.18 and a return on investment period of 2.16 years.

Keywords — Extraction route, cycle time, performance, cost, economic indicator.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivo de estudio	2
1.4 Antecedentes de la investigación	2
1.4.1 Investigaciones internacionales.....	2
1.4.2 Investigaciones nacionales.....	4
1.4.3 Investigaciones locales	5
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	7
2.1 Marco teórico	7
2.1.1 Sistemas de transporte en minas subterráneas.....	7
2.1.2 Factor de acoplamiento.....	9
2.1.3 Costo de transporte minero	10
2.1.4 Costo horario de equipos	11
2.1.5 El impacto del acarreo en la productividad	12
2.1.6 Estimación del tiempo de los equipos en el transporte de mineral.....	12
2.1.7 Variables que intervienen en el proceso de acarreo	14
2.1.8 Teoría de colas aplicada a la industria minera.....	15
2.1.9 Curva de rendimiento y costos	19
2.1.10 Importancia de la reducción de costos de transporte en minas	20
2.2 Marco conceptual.....	22
2.2.1 Rendimiento.....	22
2.2.2 Perforación.....	22

2.2.3	Voladura.....	22
2.2.4	Sostenimiento	23
2.2.5	Carguío	23
2.2.6	Acarreo	23
2.2.7	Punto de Carguío	23
2.2.8	Transporte.....	23
2.2.9	Capacidad de carga	24
2.2.10	Capacidad de carga nominal.....	24
2.2.11	Ciclo de carga	24
2.2.12	Disponibilidad.....	24
2.2.13	Utilización.....	24
2.3	Hipótesis y operacionalización de variables	25
2.3.1	Hipótesis	25
2.4	Operacionalización de variables.....	25
	Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	26
3.1	Enfoque de investigación	26
3.2	Alcance de investigación.....	26
3.3	Diseño de investigación	26
3.4	Unidad de análisis.....	26
3.5	Matriz de consistencia.....	28
3.6	Ubicación del proyecto	29
3.7	Ruta actual de extracción y ruta planteada.....	30
3.8	Costo del equipo de extracción	31
3.9	Análisis de ciclo de acarreo con volquetes	34
3.10	Análisis del ciclo y rendimiento para diferentes distancias.....	37
3.11	Costos de ejecución del desquinche	40
3.12	Valorización mensual de extracción	41
	Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	45

4.1	Análisis de resultados	45
4.1.1	Estimación de valorización con la nueva ruta	45
4.1.2	Análisis de indicadores económicos	47
4.1.3	Demostración de la hipótesis	49
4.2	Discusión de resultados	52
	Conclusiones	55
	Recomendaciones	56
	Referencias bibliográficas	57
	Anexos	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Casos de un sistema de una sola etapa.....	16
Tabla 2 : Variables.....	25
Tabla 3 : Matriz de consistencia.....	28
Tabla 4 : Accesibilidad al proyecto por carretera.....	29
Tabla 5 : Flota de equipos de limpieza y carguío – scooptram.....	30
Tabla 6 : Flota de equipos de extracción – Volquetes.....	30
Tabla 7 : Distancia de ruta de extracción actual y planteada.....	30
Tabla 8 : Descripción y parámetros del equipo de extracción	31
Tabla 9 : Detalle de costo de posesión	32
Tabla 10: Detalle de costo de operación.....	33
Tabla 11: Control de tiempo del ciclo de volquetes	34
Tabla 12: Parámetros de equipo y material.....	36
Tabla 13: Tiempos promedios del ciclo de volquete para 2.3 km	36
Tabla 14: Cálculo del tiempo de ciclo y rendimiento (t/h) para diferentes distancias	38
Tabla 15: Cálculo de volumen para desquinche.....	40
Tabla 16: Presupuesto para la ejecución del desquinche en el acceso.....	40
Tabla 17: Detalle de extracción y consumo horas (marzo - mayo) 2023	41
Tabla 18: Indicadores de rendimiento y costo (marzo - mayo) 2023	41
Tabla 19: Valorización Caso 0	45
Tabla 20: Cálculo de viajes por día de mineral.....	45
Tabla 21: Estimación de valorización N°1 manteniendo la producción mensual	46
Tabla 22: Cálculo de incremento de producción de volquetes	46
Tabla 23: Valorización Caso 2 con el incremento de producción	47
Tabla 24: Cuadro comparativo de Casos y estimaciones planteadas	47
Tabla 25: Flujo de caja económico proyectado de extracción	48
Tabla 26: Indicadores económicos.....	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Elementos considerados en la determinación del costo horario	11
Figura 2 : Variables que afectan al proceso de acarreo	15
Figura 3 : Diagrama de procesos aplicado en el carguío de mineral	18
Figura 4 : Diagrama de Procesos aplicado en el transporte de mineral.....	19
Figura 5 : Plano del proyecto	31
Figura 6 : Comparación de tiempos promedio por actividad para 2.3 km.	37
Figura 7 : Evaluación del tiempo del ciclo del volquete por distancias	39
Figura 8 : Curva de rendimiento de volquete de 13 m ³	39
Figura 9 : Comparación de rendimiento óptimo vs real	42
Figura 10: Comparación de costo optimo vs costo real.....	43
Figura 11: Curva de rendimiento y costo de extracción.....	44
Figura 12: Flujo de caja por periodo proyectado	49
Figura 13: Distribución de t – Student.....	52
Figura 14: Rendimiento de volquete (t/h) de la situación actual y la propuesta	53

Introducción

El trabajo de investigación actual se divide en seis capítulos y dos secciones que resumen sus resultados. Al final, se incluye la bibliografía y los anexos, que se describen a continuación:

El capítulo I corresponde a la introducción y contiene lo siguiente:

- Generalidades: contiene una breve descripción del objeto de estudio que son las distancias recorridas para el carguío de mineral en la minería subterránea.
- Se describe detalladamente como las grandes distancias que se generan con el pasar del tiempo en la vida de una mina subterránea, generan diversos problemas al ciclo de minado y se expone el problema que esta investigación busca resolver.
- Se plantea el objetivo de este trabajo de investigación.
- Los antecedentes investigativos contienen los resúmenes de los últimos trabajos de investigación relacionados con el título del trabajo de suficiencia.

El marco teórico y el marco conceptual están consignados en el Capítulo II los cuales contienen lo siguiente:

- Los resúmenes de los temas relacionado al trabajo de investigación.
- El marco conceptual donde se muestra la lista de términos utilizados que tienen distintas acepciones, se indica la interpretación usada en esta investigación.

Se presentan la operacionalización de variables y la hipótesis, las cuales incluyen lo siguiente:

- Hipótesis: donde se formula la hipótesis que se contrastará al final de la investigación.
- Operacionalización de variables: el proceso en el que se determinan las variables de la hipótesis, tanto las dependientes como las independientes, así como el operador y el cálculo estadístico.

La metodología de la investigación se encuentra en el capítulo III y está dividido en tres partes:

- Tipo y diseño de la investigación: en esta etapa se define el enfoque, la amplitud y la estructura de la investigación.
- Unidad de análisis: el lugar donde se detalla la organización, el área y el proceso, así como sus atributos del objeto de estudio.
- Matriz de consistencia: en la cual se evidencia que las variables de la hipótesis son coherentes con el planteamiento del problema y el propósito del estudio.

En este Capítulo se consigna también el desarrollo de la investigación en el cual se muestra la recolección de datos, en cuanto a rendimientos y costos en el estado inicial antes de la construcción del nuevo acceso principal.

El análisis y discusión se ubican en el capítulo iV, donde se puede observar los resultados obtenidos luego de la construcción del nuevo acceso, así como las variables principales (costo general, rendimiento e indicadores económicos) para luego comprobar si la hipótesis es verdadera.

Demostrada la Hipótesis, se concluye y se puede observar en los resultados en el capítulo conclusiones, también se muestran recomendaciones de este informe de suficiencia.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

La principal problemática de la extracción de una mina subterránea son las grandes distancias por recorrer y el estado de la ruta, muchas veces ejecutados con equipos LHD los cuales disminuyen su rendimiento y vida útil. Por estos parámetros mencionados es que se tiene la necesidad de determinar puntos de acopios intermedios de carguío, los cuales generan gastos extras de acarreo, disminución de rendimiento de los equipos, interferencias y mala ventilación. (Vargas, N.; 2020).

1.1 Descripción del problema

Las fases de acarreo y transporte son las menos eficientes del ciclo completo de minería subterránea. Esto es a causa de varios factores, como el equipo, la distancia, las condiciones de las vías y otros; ya que estos cambian según el plan de minado. (Baldeón, Z.; 2011).

En las minas subterráneas con grandes distancias de transporte, el problema de la eficiencia de los equipos siempre está presente. Cuando los equipos de acarreo tardan en llegar a los equipos de carguío, se producen tiempos improductivos para cargar, lo que causa una disminución en la producción y un aumento en los costos operativos. (Quiliche, R.; 2021)

La actividad de transporte del mineral es fundamental en cualquier operación minera subterránea, porque las distancias pueden ser muy variadas a lo largo de los años que dure la operación. Si se planifican adecuadamente las fases de extracción, se asegurará que los objetivos se logren durante toda la vida útil de la mina. (Torres, R.; 2021)

En resumen, los rendimientos de los equipos de carguío, acarreo y transporte, en este caso los volquetes y scoops varían de acuerdo con la distancia entre el punto de carguío y la planta, esta distancia va aumentando con el tiempo, las distancias de recorrido aumentan considerando que la mina va profundizando.

Estas distancias pueden llegar a repercutir negativamente en la productividad de la mina, esto se evidencia en los mayores tiempos de recorrido, por lo que es necesario enviar

equipos adicionales para el cumplimiento de la producción diaria, generando así costos adicionales por incremento de horas de los equipos debido a las distancias.

1.2 Formulación del problema

¿Como influye las grandes distancias en los costos del transporte de material de una mina subterránea?

1.3 Objetivo de estudio

Determinar una ruta mediante la ampliación de la sección de un acceso existente para reducir la distancia y los costos de transporte de una mina subterránea.

1.4 Antecedentes de la investigación

Se han revisado trabajos vinculados al tema actual de la investigación, los cuales se detallan a continuación:

1.4.1 Investigaciones internacionales

Romero, D.; (2018), en su tesis titulada “Estación de carguío, para reducir costos en el carguío y transporte, en la faena San Luis y Preferida, de minera Cruz Ltda. Chile, año 2014”, el objetivo de este tesis fue determinar la ubicación de la estación de carguío en el sistema de transporte, utilizó datos cuantitativos obtenidos de la estadística chilena, la data permitió establecer la relación de los costos y las distancias en la actividad de Carguío y Transporte; con el objeto de maximizar las utilidades de Minera Cruz Ltda., también, se realizaron todos los cálculos para determinar la ubicación de la estación de carguío.

Además, se calcularon los parámetros que siguieron a la colocación de la estación de carguío. Estos se especifican en los cuadros comparativos del antes y el después, que muestran de manera cuantitativa el objetivo del trabajo investigativo, que posibilitó disminuir los costos en el sistema de carguío y transporte de Minera Cruz Ltda..

Tapia F. (2017), en su tesis titulada “Análisis y evaluación de potenciales riesgos en la logística de recursos para una operación minera subterránea de gran escala”. El objetivo de la investigación es determinar los potenciales riesgos en la logística de recursos

mineros, donde se muestra que Los retos logísticos que se presentan en las operaciones mineras son excepcionales y sumamente complicados.

Los fallos en la concepción o en el diseño deficiente pueden provocar una disminución en la durabilidad y fiabilidad a largo plazo de la mina. Además, se resalta la importancia de reconocer y detallar correctamente los riesgos potenciales en las primeras etapas de los estudios de ingeniería del proyecto.

El estudio examinó cómo los procesos logísticos afectan una operación minera subterránea de gran tamaño y llegó a la conclusión de que una mala planificación logística no ayuda a la producción minera a ser más eficiente, si no refleja adecuadamente las condiciones del trabajo.

Se examinaron diferentes variables durante la investigación para determinar y evaluar cómo los riesgos afectan la productividad de la mina.

La cantidad de vehículos en circulación, los tiempos de espera en paradas internas, las

velocidades límite, los tiempos de atención en los accesos, las distancias recorridas y la ubicación de los componentes claves se identificaron como factores clave que influyen en la logística de la faena.

El proyecto original preveía una productividad inicial del 60% de sus empleados, lo que equivale a 14,4 horas de trabajo diarias. Se comenzó a investigar el efecto de las variables que se han mencionado a partir de este escenario.

Por último, se examinó el modelo logístico de suministros de la empresa, que abordó una variedad de temas, incluido un diagnóstico inicial del lugar de trabajo, el reconocimiento de retos y oportunidades, los peligros en la cadena de suministro y los proveedores, la administración de contratos, el establecimiento de alianzas estratégicas, entre otros aspectos.

Los resultados indican que el manejo adecuado de las esperas en las estaciones interiores es fundamental, ya que tienen un impacto significativo en los tiempos de viaje de los autobuses. La tecnología utilizada para controlar el acceso de las personas también

tiene un rol significativo porque afecta los tiempos de espera antes de entrar al túnel de acceso. El estudio se presenta como una herramienta clave para fortalecer y optimizar cualquier sistema de logística en esta industria para lograr un mayor control de las operaciones, asegurando su sostenibilidad y fiabilidad en el futuro.

1.4.2 Investigaciones nacionales

Pillaca E. (2017), en su tesis titulada “Cambio de Ruta de Transporte del Mineral para Mejorar la Producción en la Mina Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C”, su objetivo es la viabilidad de la disminución de los costos operativos en la empresa minera, mediante la implementación de estándares de trabajo óptimos en el sistema de transporte, optimizando así el ciclo de minado completo. Este éxito se alcanza mediante un sistema de control y medición riguroso del sistema de transporte. Estos principios se basan en la supervisión y formación continua vinculada a la implementación de estándares óptimos de trabajo en la operación.

En el comienzo de este proyecto, se examinó minuciosamente el sistema de transporte de la unidad minera para determinar los elementos que afectan la productividad de las operaciones, así como los procedimientos operativos y los sistemas de control utilizados.

Se propuso una solución para aumentar la eficiencia en la actividad que generaba más tiempo improductivo, mediante la capacitación y supervisión del personal por parte de la empresa minera. El proceso de construcción de la rampa Saynocca fue un paso posterior que cambiaría la ruta de transporte de minerales y mejoraría la producción de la mina Catalina Huanca S.A.C. Los beneficios de esta nueva ruta incluyen una disminución significativa en la distancia de transporte, que se redujo del 64.76% de 16.46 km a 5.8 km. Esto resultó en un ahorro mensual de \$119,785.14 en costos de transporte y una optimización general del sistema de transporte de minerales.

Vega M. (2021). en su trabajo de suficiencia profesional titulada “Análisis de las Demoras para Mejorar la Productividad de Equipos de Bajo Perfil en Empresas Mineras de Extracción de Oro”, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los equipos de baja altura

utilizados en la extracción de oro en las minas subterráneas, se examinaron las demoras en las tareas de limpieza y carga mediante la observación de tiempos y movimientos.

El diagrama de Ishikawa se utilizó para determinar Las causas subyacentes de las interrupciones en el proceso operativo. Además, se utilizó el diagrama de Pareto para evaluar la magnitud de las demoras y se determinó que los factores predominantes son el refrigerio, la distribución de guardias, el traslado del equipo a la zona de trabajo y la espera de volquetes que afectan el ciclo productivo. La investigación sostiene que la instauración de un centro de control operativo potenciará la eficiencia y la productividad mediante la optimización de la distribución de recursos y la disminución de los periodos de espera.

Osorio J. (2021). en su trabajo de suficiencia profesional titulada " Análisis Técnico Económico Para La Selección Del Sistema De Extracción De Mineral En Una Mina Tracklees Basado En Un Método De Explotación Sub Level Stopping", para reducir los costos de extracción por tonelada transportada, es imperativo llevar a cabo un minucioso análisis técnico económico del sistema de transporte de minerales. Esto se logrará mediante la elección adecuada entre los sistemas de transporte sin ruedas y los sistemas de transporte fijos, como la perforación elevada, la locomotora y el pique.

En general, las minas subterráneas optan por utilizar un método de extracción masiva cuando buscan aumentar su producción. En este estudio, se examinaron varios enfoques para determinar cuál era el más eficiente. El cierre de nivel inferior resultó ser el método más adecuado, ya que permitía una alta productividad de los recursos.

El estudio se realizó en la mina Uchucchacua en 2019, en particular en la zona Socorro Alto del Tajo 6189 en la ciudad de Lima, provincia de Oyón.

1.4.3 Investigaciones locales

Herrera, P. (2022), en su tesis titulada. "Influencia en El Rendimiento de Extracción del Nv 720 con la Implementación del Túnel Yauricocha-Sociedad Minera Corona-2021". El objetivo principal de este estudio es diseñar y llevar a cabo un plan para la construcción del túnel Yauricocha con el fin de mejorar la eficiencia del sistema de extracción de la mina Yauricocha, especialmente en el área de extracción subterránea donde se extraen

minerales y desechos. Para lograr esta meta, se utilizarán los túneles Yauricocha y Klepetko.

Se efectuó un estudio exhaustivo del sistema de extracción en la Mina Yauricocha, incluyendo la extracción de Dumpers, Locomotoras Niveles Inferiores, Izaje Winche y la extracción de Locomotoras Nivel 720. Luego, se llevó a cabo una evaluación de la disponibilidad mecánica, la eficiencia de uso, el rendimiento y la capacidad en la operación de extracción con locomotoras en la profundidad del Nv 720. Estos aspectos fueron analizados con el objetivo de mejorar la eficiencia en la extracción con locomotoras en el recién construido túnel Yauricocha. Se logró optimizar el proceso de extracción de minerales y desechos, esto condujo a un incremento en la producción y a una disminución en los costos.

Pardo K. (2019) en su tesis titulada. "Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona SA." Tiene como objetivo reducir los tiempos de espera de los equipos de carga y transporte (cargador frontal y volquetes), para lo cual se llevó a cabo un estudio del sistema que integra frentes de carga y puntos de descarga.

A través de la utilización de instrumentos del modelo de colas, se calculó el costo de la espera y se exploró la posibilidad de disminuir dicho costo mediante el incremento de puntos de carga. La información examinada se deriva de los tiempos de transporte y las interrupciones producidas entre los puntos de carga y los puntos de descarga. La variable evaluada es la cantidad de puntos de carga en comparación con el costo de la demora de los transportadores y el costo unitario del uso de las tolvas en el interior de la mina.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Sistemas de transporte en minas subterráneas*

El transporte es una operación crucial en las minas subterráneas porque es responsable de transportar el material extraído desde los puntos de extracción hasta las áreas de carga y finalmente hacia superficie de la unidad minera (planta y/o depósito de desmonte).

Este sistema tiene dos etapas: la primera implica transportar el material desde las zonas de extracción hasta los puntos de carga, mientras que la segunda lleva el material desde los puntos de carga o cámaras de carga hasta la superficie, ya sea vertical u horizontal.

En la minería subterránea, el método de explotación, la capacidad de producción, las dimensiones de los equipos, el capital disponible y el costo de operación, determinan el método de transporte. Mientras que el transporte que se realiza de forma horizontal requiere el uso de dumpers, volquetes y locomotoras, los sistemas de transporte vertical utilizan piques.

Un sistema de transporte por vías y carreteras, como los volquetes, puede llegar a todas las áreas de producción en la mina subterránea, mientras que algunos sistemas de extracción tienen infraestructuras fijas, como piques y sistemas de locomotoras, que limitan la flexibilidad.

La forma en que se transporta el mineral suele estar relacionada con el objetivo de una mina subterránea de aumentar su capacidad de producción. Si se utiliza un sistema de transporte de camiones, la expansión se logra gradualmente agregando más vehículos según sea necesario para alcanzar la capacidad inicialmente planificada.

Los sistemas estáticos, como las locomotoras o el izaje con winche, pueden aumentar su eficiencia hasta que se alcanza el máximo diseño del sistema. Es posible que sea necesario duplicar el sistema actual para aumentar la utilización de estos sistemas, lo

cual resultará en un costo considerable, pero será justificado si se logra aumentar las reservas de mineral. Los métodos de transporte elegidos deben ser adaptables y liberarse de las restricciones impuestas por las instalaciones mineras existentes, así como compatibles con el programa de producción y las condiciones geológicas.

2.1.1.1 Los sistemas de transporte con equipos scoop (LHD). Es un sistema compacto destinado a extraer y transportar minerales metálicos o no metálicos desde las profundidades subterráneas. Este cargador de bajo perfil y alargado tiene una altura máxima de 2,5 m, lo que lo hace ideal para abrir pasajes en túneles y minas. Debido a que los espacios dentro de la mina son limitados, el diseño del equipo facilita el desplazamiento hacia adelante y hacia atrás. Con un cucharón, puede cargar hasta diez toneladas de material en camiones de bajo perfil.

El funcionamiento de este sistema comienza después de la voladura de la roca, cuando se encarga de transportar el material desde la entrada de la mina hasta un punto de almacenamiento. La productividad diaria del equipo puede variar debido a muchos factores, como la iluminación, la ventilación, el área de carga, la temperatura, la altura, el estado de las vías de acceso y la granulometría del material a transportar.

Existen dos opciones de alimentación para este equipo: diésel o eléctrica. Las unidades diésel son versátiles y pueden trasladarse fácilmente entre distintas ubicaciones. Por otro lado, las unidades eléctricas están equipadas con un tambor de cable y se basan en cadenas cortacables eléctricas. Estas últimas tienen niveles de ruido bajos, emisiones cero y son altamente eficientes en minas donde el mineral se transporta desde varios puntos de extracción hasta una ubicación fija. (De la Cruz, 2021)

2.1.1.2 Los sistemas de transporte con volquetes. En operaciones mineras subterráneas a largo plazo, los volquetes son frecuentemente utilizados para transportar material desde las tolvas de los niveles inferiores o de los puntos de carga. Luego, este material se eleva a la superficie con un LHD. Puede depositarse en una cancha de mineral o enviarse directamente a la planta beneficio de la mina.

Los camiones de chasis rígido con volquete frontal y camiones de chasis rígido con volquete trasero, los camiones articulados y los camiones con remolque independiente son las tres categorías de vehículos utilizados en la minería subterránea. La mayoría de estos vehículos tienen motores diésel y se utilizan para transportar materiales a través de rampas y túneles. Para garantizar el desplazamiento de los camiones, se consideran pendientes de hasta un 12% al construir rampas.

El desempeño de los vehículos determina el diseño de las curvas y el ancho de las vías, evitando curvas muy cerradas que pueden reducir la velocidad y afectar la eficiencia del trabajo. El ancho y la inclinación de las carreteras permiten a los camiones mantener una velocidad adecuada en las curvas, lo que garantiza un giro seguro.

2.1.2 Factor de acoplamiento

Este índice fue desarrollado por la sociedad de Caterpillar como un primer paso para calcular la proporción entre la cantidad de transporte y la cantidad de carga, y se presenta de la siguiente manera.

$$MF = \frac{Nh * Lcty}{Nl * Hcty}$$

Donde:

MF = Factor de coincidencia o acoplamiento

Nh = Número de unidades de transporte

Nl = Número de unidades de carga

Lcty - Hcty = Tiempos de carga y acarreo de cada ciclo

El índice de MF de 1 ó >1 indica una alta demanda en el sistema de camiones o un exceso de cargadores, mientras que el índice de MF de 1 ó 1< indica una baja demanda en el sistema de camiones. Una coincidencia teórica entre los camiones y los cargadores se indica con un índice de MF igual a 1. Solo el cálculo del factor de acoplamiento puede calcular el equilibrio ideal entre los cargadores y los camiones. Sin embargo, el tiempo de

ciclo estimado del camión, la productividad estimada y el tiempo disponible durante un cambio son factores que afectan el número total de vehículos.

La velocidad de los camiones en diferentes pendientes, así como la resistencia y la resistencia a la rodadura, afectan el ciclo de transporte. Las pendientes y las resistencias más pronunciadas reducirán la velocidad de los vehículos, lo que aumentará el tiempo de ciclo.

El cálculo teórico de la cantidad de camiones no tiene en cuenta otros factores, como la congestión del tráfico o la espera en la cola para la carga y descarga. La longitud esperada de la cola y el tiempo de espera se tienen en cuenta al determinar el tamaño de la flota. Cuando la cantidad de camiones necesarios supera la capacidad de la zona de carga, se produce una congestión. Para reducir esto, es esencial una gestión eficiente del tráfico mediante la implementación de sistemas de retraso espaciados adecuadamente y una gestión eficiente de las zonas de acumulación.

2.1.3 Costo de transporte minero

La determinación del costo por metro cúbico o tonelada transportada y cargada por un equipo minero se efectúa mediante la correlación entre el costo y la producción horaria. La estimación del costo de carga y transporte se realizará a través de las ecuaciones siguientes:

$$\text{Costo}/m^3 = \frac{\text{Costo horario del equipo } \left(\frac{\$}{h}\right)}{\text{Produccion por hora } \left(\frac{m^3}{h}\right)}$$

$$\text{Costo}/tonelada = \frac{\text{Costo horario del equipo } \left(\frac{\$}{h}\right)}{\text{Produccion por hora } \left(\frac{t}{h}\right)}$$

Para estimar la producción esperada de un equipo, se requiere planificar el transporte del mineral y verificar la disponibilidad de los equipos de carga y transporte.

Para realizar este cálculo, también es necesario considerar las características y el tipo de material que se van a cargar y transportar.

2.1.4 Costo horario de equipos

El precio por hora de los equipos utilizados en las tareas de carga, transporte y traslado es una parte importante de los costos de la minería y tiene un impacto significativo en la producción. Es fundamental establecer un marco claro que permita determinar de manera efectiva estos costos dentro de la operación minera, debido al avance a nivel nacional e internacional.

Elementos en el cálculo del costo horario

Con el paso del tiempo, un equipo experimenta desgaste y pierde valor debido a su uso continuo, por lo que es necesario que su propietario reserve fondos regularmente para poder reemplazarlo por uno nuevo o renovarlo cuando sea necesario. En el siguiente grafico podemos ver todos los costos que influyen en el costo horario de un equipo

Figura 1

Elementos considerados en la determinación del costo horario



Nota: Información tomado de (Cuti, C; 2019)

2.1.5 El impacto del acarreo en la productividad

El proceso productivo en una mina representa el gasto más elevado, junto con el transporte de material, debido a la considerable cantidad de equipos implicados (flota), un elevado nivel de mecanización, un rendimiento productivo por equipo reducido y su naturaleza prácticamente constante y lenta.

El transporte en la minería es el proceso de transportar el material extraído de la mina, puede ser continuo, discontinuo o combinado. Los sistemas de transporte por gravedad en pozos y chimeneas y las cintas transportadoras se utilizan en el transporte continuo. Por otro lado, en el transporte de tipo discontinuo, los medios de transporte alternativos, como los ferrocarriles y los camiones, realizan movimientos adicionales entre el punto de carga y el punto de descarga. El arrastre, que es el transporte horizontal a la misma altura, y la extracción, que es el transporte vertical para llevar el mineral a la superficie, se distinguen en las minas subterráneas.

2.1.6 Estimación del tiempo de los equipos en el transporte de mineral

Este estudio examina cómo funcionan los equipos mixtos, que pueden realizar tanto la carga como el transporte de materiales en una sola operación. El Load Haul Dump (LHD), es una pala de bajo perfil diseñada para la minería subterránea puede transportar materiales hasta 300 m de distancia, aunque su rendimiento disminuye a medida que aumenta la distancia recorrida, es el equipo más destacado en esta categoría.

El LHD está diseñado para cargar mineral a los volquetes de gran altura y camiones de bajo perfil. También, puede descargar sobre el suelo o los piques de traspaso para que otro equipo pueda cargar el mineral. Estos equipos cargan, acarrear y descargan el mineral de manera discreta, lo que significa que cada operación tiene un tiempo determinado para el ciclo de transporte.

La secuencia del ciclo de transporte se segmenta en diversas fases: tiempo de carga, tiempo de descarga, tiempo de maniobra, tiempo de viaje con el balde lleno y tiempo de viaje con el balde desprovisto. Únicamente los dos primeros periodos se perciben como fijos y dependen del equipo en sí, mientras que los restantes periodos son variables y

dependen de una diversidad de factores, tales como el estado del camino, la distancia de traslado, la carga del equipo, la pendiente, la experiencia del operador y la visibilidad del ambiente.

Contar con información veraz y confiable sobre el tiempo de ciclo es esencial para estimar el rendimiento de estos equipos de manera precisa. La duración de un ciclo (T ciclo) de un LHD se expresa en minutos.

Cálculo de tiempo de ciclo para LHD

$$T_{\text{ciclo}} = T_c + T_d + T_m + T_{vc} + T_{vv}$$

Donde:

T_c = Tiempo de carga

T_d = Tiempo de descarga

T_m = Tiempo de maniobras

T_{vc} = Tiempo de viaje cargado

T_{vv} = Tiempo de viaje vacío

Factores que inciden en la eficiencia y funcionamiento del LHD comprenden elementos como la eficiencia y la operatividad del LHD:

- **Estado mecánico:**

Desgaste de componentes, mantenimiento preventivo, vida útil del motor, transmisión, neumáticos, sistema hidráulico.

- **Capacidad de carga:**

Si se sobrecarga, disminuye la eficiencia y aumenta el desgaste.

- **Consumo de combustible/energía:**

Equipos diésel vs eléctricos; los equipos eléctricos suelen tener menor costo operativo.

- **Tecnología incorporada:**

Monitoreo en tiempo real, sensores, telemetría.

- **Tipo y tamaño del balde:**

Afecta el volumen por ciclo y la eficiencia en el carguío.

- **Ciclo operativo:**

Tiempos de carga, desplazamiento y descarga; menor tiempo por ciclo genera mayor productividad.

- **Condiciones del piso y túneles:**

Caminos bien mantenidos reducen vibraciones, evitan daños y permiten mayor velocidad.

- **Diseño de la mina:**

Inclinación, altura y ancho de galerías influyen en maniobrabilidad.

- **Tipo de material a cargar:**

Densidad, granulometría, humedad.

- **Mantenimiento preventivo vs correctivo:**

Si se prioriza el preventivo, se reducen paradas no planificadas.

- **Disponibilidad de repuestos:**

Si no hay stock, los tiempos muertos se alargan.

- **Gestión de fallas:**

Detección temprana de problemas mecánicos, eléctricos o hidráulicos.

- **Turnos de trabajo:**

La continuidad de operación (24/7) puede influir en la fatiga del equipo y del operador.

- **Condiciones climáticas (en minas no subterráneas):**

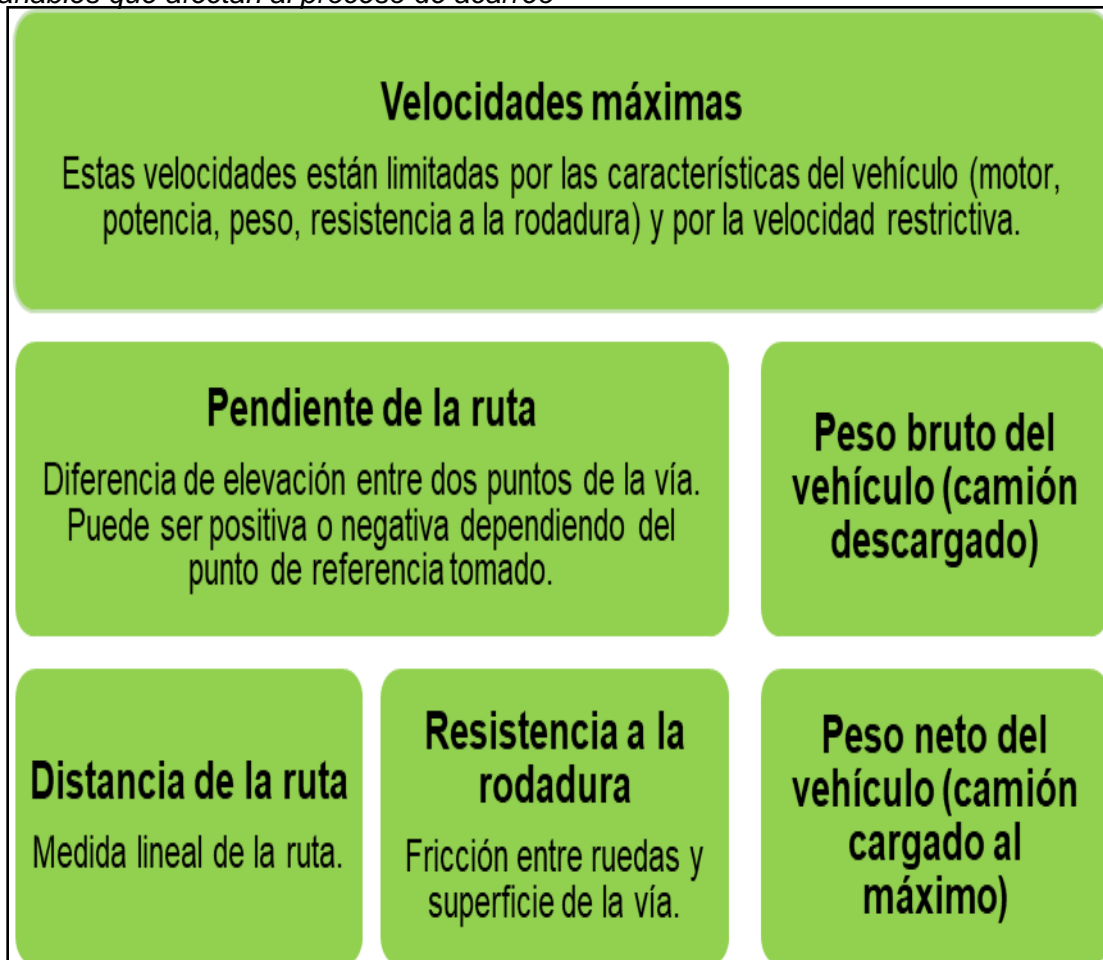
Humedad, polvo, temperatura.

2.1.7 Variables que intervienen en el proceso de acarreo

Las variables intervinientes se presentan en la siguiente figura:

Figura 2

Variables que afectan al proceso de acarreo



Nota: Adaptado de (Pereda, 2020)

2.1.8 Teoría de colas aplicada a la industria minera

La "Línea de espera" o "Cola" es el resultado de un sistema cuando la demanda de un bien o servicio excede la capacidad del sistema para proporcionarlo.

Para establecer un equilibrio y establecer una capacidad de atención adecuada, se utilizan varios modelos matemáticos para explicar las colas de espera que ocurren en situaciones reales. Este conjunto de teorías se utiliza en una variedad de campos, pero su importancia se destaca en la industria minera.

La formación de una cola ocurre cuando hay más entidades que requieren servicio que servidores disponibles. Este proceso se compone de tres elementos: el Sistema de la población, el Sistema de Cola y el Sistema de Servicio.

- **Proceso de llegada**

Es relevante la distribución de probabilidad de las llegadas en un cierto periodo de tiempo. Cada llegada sucede de forma aleatoria e independiente de las demás, sin poder anticipar su momento exacto. La distribución de Poisson es la mejor manera de describir este patrón de llegadas.

- **Proceso de servicio**

Hace alusión a una distribución de probabilidad que determina la duración del servicio otorgado a un cliente. En este escenario, la distribución de probabilidad del tiempo de servicio es de tipo exponencial.

- **Sistema de una etapa**

El sistema de una etapa puede desarrollarse bajo tres escenarios:

Tabla 1

Casos de un sistema de una sola etapa

	COLA	CANALES
CASO I	Una línea de espera	Un servidor
CASO II	Una línea de espera	Varios servidores
CASO III	Varias líneas de espera	Varios servidores

Nota: Adaptación de Tesis de De la Cruz

- **Sistema de multietapas**

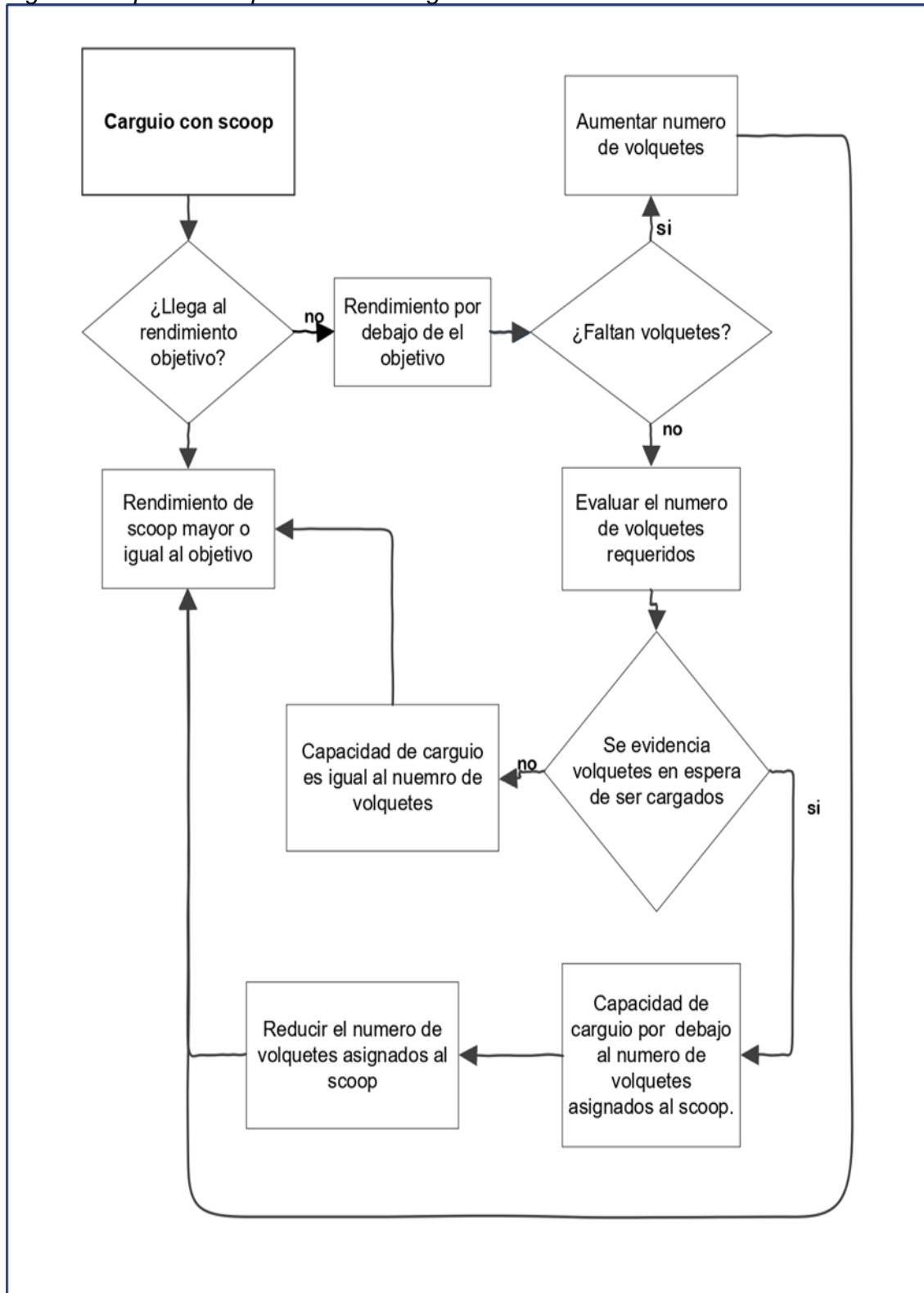
Este sistema está constituido por la unión de los casos de un sistema de una etapa. La programación de camiones tolva es una de las aplicaciones comerciales más importantes, ya que ayuda a optimizar los ciclos de transporte desde los frentes de trabajo hasta la planta de procesamiento, cargando el material extraído de la mina. Las palas actúan como servidores en este proceso, llenando los camiones que están en espera en una cola para ser cargados con material. El objetivo es mantener un flujo continuo, minimizar los tiempos de espera y mejorar la eficiencia del proceso de extracción de minerales.

Las ecuaciones de los modelos de la línea de espera permiten prever los niveles de servicio, lo que facilita la simulación de escenarios para redistribuir recursos y capacidades. Esto permite que la capacidad instalada de palas y camiones se utilice al máximo, lo que garantiza una producción óptima de minerales hacia la planta. De esta manera, se puede lograr una configuración programada que reduzca el tiempo y los costos operativos. (De la Cruz, 2021)

Diagrama de procesos en el ciclo de carguío

Figura 3

Diagrama de procesos aplicado en el carguío de mineral

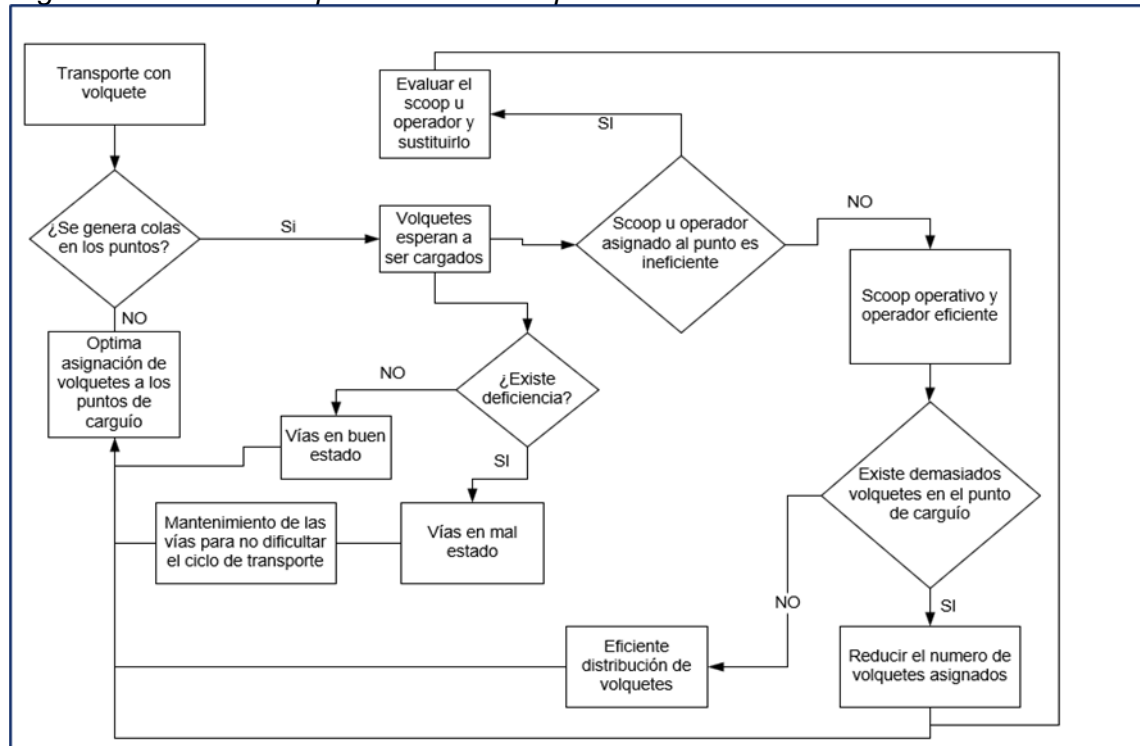


Nota: Tomado de la Tesis de De la Cruz, 2021

Diagrama de procesos en el ciclo de transporte

Figura 4

Diagrama de Procesos aplicado en el transporte de mineral



Nota: Tomado de la Tesis de De la Cruz (2021)

2.1.9 Curva de rendimiento y costos

Se muestran los cálculos del rendimiento de las flotas de transporte:

▪ Rendimiento de volquete

Este factor está determinado por la siguiente ecuación:

$$R = 60 * Q * E * T$$

Donde:

R = Rendimiento en el banco

Q = Capacidad de la tolva del volquete

E = Eficiencia de trabajo

T = Tiempo de un ciclo completo.

- **Cálculo de rendimiento para LHD**

Es importante, para determinar el rendimiento para LHD además, tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{N^{\circ}\text{ciclos} \times Cb \times Fl \times dmxx}{(1 + esp)}$$

Donde:

N°ciclos = Cantidad de ciclos que realiza en una hora

Cb = Capacidad del balde

Fl = Factor de llenado del balde

dmxx = Densidad in situ del mineral a transportar

esp = Esponjamiento del mineral.

2.1.10 Importancia de la reducción de costos de transporte en minas

En primer lugar, la reducción de costos de transporte suele estar relacionados a un aumento de la eficiencia del transporte y la productividad general de la mina, aunque no siempre ocurre esto. En segundo lugar, la reducción de costos de transporte se logra a menudo mediante la implementación de una variedad de criterios respaldados por el análisis detallado de sus variables. Estos enfoques optimizan la estructura de costos y los procedimientos, en general, reducen los retrasos del ciclo de transporte además de mejorar la seguridad.

Para optimizar el funcionamiento de todas las operaciones del complejo minero, es fundamental reducir los costos de transporte. También es esencial para mantener una economía sostenible.

Resolver los desafíos de transporte en minas no se limita únicamente a adquirir los mejores camiones o aumentar la flota. Cada mina tiene su propio contexto y está influenciada por sus variables y parámetros, así como, por la incertidumbre inherente a sus

recursos minerales del sector minero. Los factores políticos y económicos también tienen impacto en su funcionamiento.

Para llevar a cabo este análisis, se deben evaluar numerosas variables significativas.

Estos incluyen el tipo de mineral que se transporta, las condiciones del terreno, las carreteras, la proporción de maquinaria en relación con los elementos involucrados, la profundidad de la mina, los recursos disponibles, las ganancias proyectadas y otros factores relevantes.

Las minas a cielo abierto enfrentan desafíos importantes a medida que se adentran en profundidades mayores, especialmente en lo que respecta al transporte de materiales. A pesar de que el uso de vehículos automotores han sido la opción predominante para este propósito, el método de ciclo continuo de transporte, que combina camiones y cintas transportadoras para lograr una operación más eficiente, es una alternativa altamente eficaz.

Como resultado, los camiones recorren menos distancias, además, se reduce el deterioro de la maquinaria y se agilizan las operaciones de transporte. lo que conlleva a una mejor organización en la explotación de la mina.

Nakousi (2018) presentó un modelo de programación mixta de enteros que toma en cuenta factores como el consumo de combustible, el deterioro de la maquinaria y la capacidad de carga de los camiones de transporte minero con el fin de reducir los costos durante el proceso de acarreo. Con un ahorro previsto de diez años, los resultados de aplicar este programa mostraron que se puede reducir en un 13% los costos de transporte.

Debido a que los procesos de transporte representan hasta el 50% de los costos operativos de una mina a cielo abierto, es importante encontrar métodos de transporte para reducir estos costos.

El modelo de programación utiliza las variables como, la cantidad de camiones, la carga que llevan, el tiempo de espera y la hora de despacho, los resultados que el programa genera ayudan a organizar de manera eficiente los esquemas de transporte.

La función del programa es determinar cómo reducir el uso de combustible, mejorar el mantenimiento de la flota y optimizar las operaciones de la mina, brindando información detallada para la planificación y la toma de decisiones

En el análisis de investigación se utilizó el método de análisis estadístico, la Técnica de Monte Carlo, y el estudio de Kumykova y Kumykov (2018). El objetivo fue crear un sistema de producción para minas a cielo abierto que tuviera en cuenta los sistemas pala-camión como pala-camión de volteo.

A través de las mediciones, se analizó la relación entre la producción del sistema, el grado de fragmentación del material y las sobrecargas de contenedores. Según el estudio, la fragmentación del material como resultado de la voladura tiene un impacto directo en el tiempo de carga de los camiones.

El método se desarrolló basado en la distribución geométrica de la Mina Delnezapadny y logró un equilibrio óptimo que consiste en obtener el rendimiento óptimo de la pala y de la flota de camiones, generando una reducción de costos y un menor tiempo de espera para la carga de camiones de volteo. Con tres camiones esperando en promedio y un tiempo de carga de un minuto y una espera de 3,3 minutos, el método resultó en una reducción de costos en el sistema de transporte.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Rendimiento

Se refiere al volumen o peso teórico de producción por unidad de tiempo de un equipo específico. Generalmente, se presenta en términos de productividad por hora; sin embargo, también puede calcularse utilizando la producción por turno o por día.

2.2.2 Perforación

Es etapa en la cual se perfora la roca para depositar cargas explosivas, para que luego detonar la roca fragmentándola en el tamaño diseñado.

2.2.3 Voladura

La voladura se realiza utilizando explosivos que se colocan en los taladros perforados y mediante una reacción química, explotan y se genera la fragmentación de

las rocas. El proceso de fractura y desplazamiento de las rocas, son el resultado final de esta reacción, que provoca altas temperaturas y presiones.

2.2.4 Sostenimiento

Se refiere a las técnicas y sistemas utilizados para garantizar que la estabilidad de las excavaciones subterráneas y disminuyan el riesgo de derrumbes o colapsos de las rocas circundantes. En función de las propiedades geológicas y de ingeniería del terreno, estas técnicas pueden incluir el uso de pernos, mallas metálicas y shotcrete (hormigón proyectado), entre otras técnicas.

2.2.5 Carguío

Se trata de una operación en la que se cargan y/o descargan los materiales en camiones o volquetes, que luego se transportan a la planta concentradora o a un lugar de almacenamiento de minerales. La tarea implica la remoción y el almacenamiento de materiales fragmentados.

2.2.6 Acarreo

El acarreo en una mina se refiere al transporte de material roto en cortas distancias por equipos Scooptram desde los frentes de operación a un lugar definido.

2.2.7 Punto de Carguío

Esta es una excavación subterránea acondicionada en la que se instala el equipo de carga, tales como palas o cargadores frontales, con el propósito de transportar el mineral o desmonte a los camiones de volquete que transportarán el material fuera de la mina. El pique de carga generalmente está ubicado de manera estratégica para facilitar la carga eficiente de los camiones y reducir las distancias de transporte dentro de la mina.

2.2.8 Transporte

Una vez realizada la voladura en la mina, se procede a sacar el mineral al exterior, donde se acumula y se carga en los distintos medios de transporte disponibles, proceso conocido como transporte.

2.2.9 Capacidad de carga

La capacidad se refiere al volumen de material que posee una unidad de carga o transporte durante el desarrollo de la actividad de transporte en cuestión. Es posible articularlo de dos formas: La capacidad al ras se refiere al volumen de material que se llena al tope; mientras que la capacidad colmada se refiere al volumen máximo de material que se acumula en el contenedor conforme a su máxima capacidad de llenado.

2.2.10 Capacidad de carga nominal

La capacidad de un equipo para soportar el peso máximo de un material especificado por el productor. La mayoría de los dispositivos están diseñados para transportar un peso específico, y la resistencia de los componentes del equipo establece este peso máximo. En consecuencia, el peso máximo que un equipo puede soportar es constante, mientras que el volumen de material que puede gestionar un equipo fluctúa en función de la densidad del material.

2.2.11 Ciclo de carga

Se trata del tiempo que transcurre desde que el camión se cuadra para el llenado de material y luego el operador de la excavadora libera la primera carga de material al volquete está llenarlo. El tiempo total del ciclo se compone por la suma de las tareas que son intervalos de tiempo que comprende un ciclo completo.

2.2.12 Disponibilidad

Se refiere a las horas en las que el equipo está preparado y en condiciones de operar mecánicamente de manera efectiva.

2.2.13 Utilización

Período en el que la máquina está efectivamente desempeñando la actividad para la que fue diseñada, en comparación con el tiempo total disponible.

2.3 Hipótesis y operacionalización de variables

2.3.1 Hipótesis

Al determinar las rutas con menores distancias los costos de transporte también serán menores; se cumplirá con el programa de producción y se incrementará la productividad.

2.4 Operacionalización de variables

- **Variable dependiente (Y):**

Costos de transporte

- **Variable independiente (X):**

Distancias de las rutas

Tabla 2

Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Independiente	Esta variable representa la distancia de recorrido de los equipos para extraer el mineral de los tajos de producción (interior mina) a la cancha de gruesos en planta (superficie).	Esta variable permite medir el tiempo de ciclo de los equipos y el rendimiento para cada valor a evaluar, la forma más efectiva de ver su comportamiento es mediante una curva de rendimiento y distancia.	Tiempo de ciclo de acarreo (h/viaje)
Distancia de extracción			Cumplimiento de producción
Dependiente	Esta variable representa el costo que tiene que realizar para ejecutar la actividad de extracción del mineral con los equipos involucrados.	Esta variable ira cambiando de acuerdo con el consumo horario por actividad del equipo que va relacionado a la variable independiente, cuando mayor sea la variable independiente para esta investigación el valor de la variable dependiente ira incrementándose.	Precio unitario de equipo
Costo de extracción			Indicadores económicos

Nota: Elaboración propia.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Enfoque de investigación

Este estudio adopta una metodología cuantitativa debido a que, de las siete características epistemológicas, cinco de ellas son cuantitativas, las cuales se detallan a continuación. De acuerdo con la interpretación de la realidad, la investigación se caracteriza por su objetividad, ya que se fundamenta en métodos que utilizan datos numéricos para corroborar la hipótesis propuesta.

Desde la perspectiva lógica, la investigación se caracteriza por ser deductiva, ya que elabora la resolución de un caso específico a partir de la observación de un caso de estudio general.

De acuerdo con el objetivo, la investigación propone una validación fundamentada en la experimentación de nuevas distancias y el análisis subsiguiente de sus hallazgos para corroborar la hipótesis planteada. La investigación se caracteriza por su orientación hacia el resultado, enfocándose en la adquisición de valores para contrastar con la hipótesis planteada.

3.2 Alcance de investigación

La investigación adopta un enfoque correlacional, dado que se recolectan los datos derivados de la medición de tiempos y posteriormente se examina su impacto y cuantificación en los costos de transporte.

3.3 *Diseño de investigación*

La investigación adopta un enfoque correlacional, dado que se recolectan los datos derivados de la medición de tiempos y posteriormente se examina su impacto y cuantificación en los costos de transporte.

3.4 *Unidad de análisis*

El análisis se centra en la flota de volquetes Mercedes Actros perteneciente a la unidad minera Sumaq Rumi, situada en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción y departamento de Junín, a los cuales se les hará seguimiento de sus tiempos

en la operación tanto por la ruta antigua como también con la ruta del nuevo acceso (Cx 849) Nv +40, el cual se le hará una evaluación de su costo de construcción y posteriormente el costo de transporte que este general.

3.5 Matriz de consistencia

Tabla 3

Matriz de consistencia

Título: “Evaluación económica de la selección de un acceso principal y la reducción de costos de transporte de una mina subterránea”					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES
			INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE	
¿Como influye las grandes distancias de transporte en los costos operativos de una mina subterránea?	Determinar una ruta existente con la menor distancia y asegurar la sección de la ruta para el acceso de los camiones y reducir los costos de transporte de una mina subterránea.	Al determinar las rutas con menores distancias los costos de transporte serán menores incrementando la producción y la productividad	Distancias de las rutas	Costos de transporte	Rendimiento (t/h) Costo de Transporte (\$/t) Indicadores económicos: VAN - TIR - B/C – PAYBACK

Nota: Elaboración propia

3.6 Ubicación del proyecto

La Unidad Minera Sumaq Rumi, está ubicada en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción, Región Junín.

El acceso al proyecto es mediante la carretera central, Lima, La Oroya, desvío Pachacayo, y finalmente unidad minera Sierra Sumaq Rumi.

Tabla 4

Accesibilidad al proyecto por carretera

TRAMO	DISTANCIA (KM)	TIEMPO DE VIAJE (H)
Lima- oroya	175	3.5
Oroya – Pachamayo	45	0.5
Pachamayo – Mina	40	2
Total	260	6

Nota: Elaboración propia

La unidad minera Sumaq Rumi cuenta con una flota de volquetes los cuales realizan la extracción del mineral roto de los tajos de explotación a superficie a una cancha de gruesos de planta.

La extracción del mineral actualmente es realizada a través del túnel ubicado en el Nv. (-40) la cual tiene una distancia de 2.3 km; sin embargo, el ciclo de extracción es de 45 minutos por viaje, lo que solo permite una extracción de alrededor de 20 viajes por guardia.

Entonces, se planteó la reducción del ciclo de extracción de mineral mediante una ruta más corta que se conecte a la cancha de gruesos; generando la reducción del ciclo de extracción con mayor cantidad de viajes por guardia y que incremente la productividad debido a menor tiempo de extracción.

Durante una supervisión de las labores actuales en la unidad minera, se observó que se tiene una labor antigua con una distancia de 200 m de la superficie a los tajos en interior mina con una sección de 2.2 m x 2.8 m. La flota de volquetes requiere una sección de 4 m x 4.5 m por lo que la sección de esta labor se debe ampliar mediante el desquinche.

Para la actividad limpieza, carguío y extracción en la unidad minera, se hace uso de la siguiente flota de equipos:

Tabla 5

Flota de equipos de limpieza y carguío - scooptram

CÓDIGO DE EQUIPOS	MARCA	MODELO	MAGNITUD	CAPACIDAD	FAMILIA
SCOOP N°3	CATERPILLAR	R1600	m3	4.59	SCOOP
SCOOP N°4	CATERPILLAR	R1300	m3	3.06	SCOOP
SCOOP N°5	CATERPILLAR	R1600	m3	4.59	SCOOP
SCOOP N°6	CATERPILLAR	R1300	m3	3.06	SCOOP
SCOOP N°7	CATERPILLAR	R1300	m3	3.06	SCOOP

Nota: Elaboración propia

Tabla 6

Flota de equipos de extracción - Volquetes

CÓDIGO DE EQUIPOS	MARCA	MODELO	MAGNITUD	CAPACIDAD	FAMILIA
V9Q-705	MERCEDES	Actros	m ³	13	VOLQUETE
V9Q-739	MERCEDES	Actros	m ³	13	VOLQUETE
V9N-791	MERCEDES	Actros	m ³	13	VOLQUETE
V9N-721	MERCEDES	Actros	m ³	13	VOLQUETE

Nota: Elaboración propia

3.7 Ruta actual de extracción y ruta planteada

La nueva ruta de extracción tiene una distancia de 1.4 km, esta ruta planteada requiere la ejecución de 200 m de trabajos de desquinche.

Tabla 7

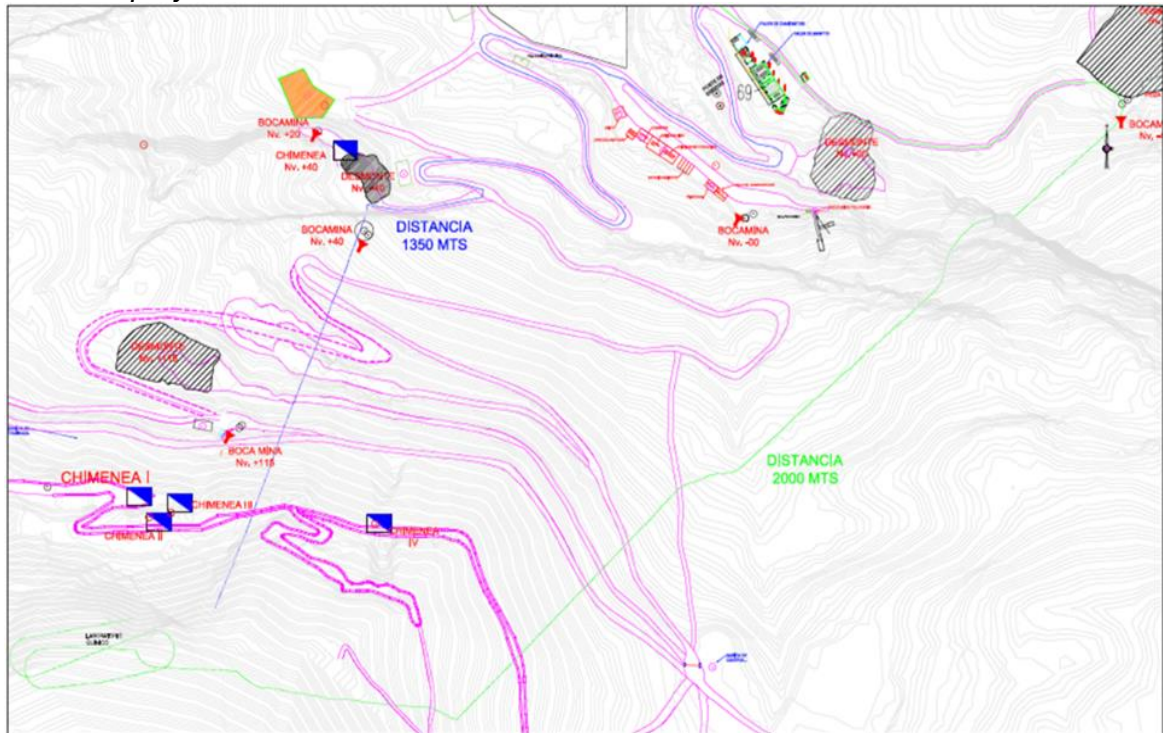
Distancia de ruta de extracción actual y planteada

DESCRIPCIÓN	DISTANCIA (Km)
Ruta actual de extracción	2.3
Ruta planteada de extracción	1.4

Nota: Elaboración propia

Figura 5

Plano del proyecto



Nota: Elaboración propia

3.8 Costo del equipo de extracción

En la unidad minera se realiza la extracción del mineral con volquetes de capacidad de 13 m³.

Tabla 8

Descripción y parámetros del equipo de extracción

DESCRIPCIÓN	DETALLE
Equipo	volquete
Capacidad (m3)	13.00
Vida Útil en Horas	17,337.50
Vida Útil en Años	2.50
Horas al Año	6,935.00
Horas Por Guardia	9.50
Guardias	2.00

Nota: Elaboración propia

El costo del equipo para la actividad está determinado en US\$/h, de manera resumida el equipo volquete tiene un costo de US\$ 270,000, el costo de posesión es de 14.36 US\$/h y el costo de operación es de 42.72 US\$/h, los cuales se detalla a continuación.

Tabla 9

Detalle de costo de posesión

DEPRECIACIÓN	12.46
Valor de Adquisición	270,000.00
Valor de Rescate (20% de Adquisición)	54,000.00
Vida Útil en Horas	17,337.50
INTERÉS CAPITAL INVERTIDO	1.31
Inversión Media Anual	189,000.00
Tasa Interés	12%
Vida Útil en Horas	17,337.50
# de Años de Vida Útil	2.5
SEGURO E IMPUESTOS	0.59
Inversión Anual Media	205,200.00
Tasa de Seguro	3.00%
Tasa de Impuesto	2.00%
Vida Útil en Horas	17,337.50
COSTO DE POSESIÓN	14.36

Nota: Elaboración propia

Tabla 10*Detalle de costo de operación*

MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	13.43
Costo de Mano de Obra	3.50
Costo de Repuestos	9.93
COMBUSTIBLE	17.60
Gal/h	4.00
Costo (\$/gal)	4.40
LUBRICANTES	0.77
	Galones
Aceite de Motor Grado 40	0.028
Aceite de Caja de Cambio; Giro 140	0.004
Aceite Toma Fuerza, Reductor, Dirección, Grado	0.005
Aceite Dirección	0.004
Refrigerante	0.002
Aceite de Corona	0.008
GRASAS	1.48
	Galones
Grasas	0.43
FILTROS (ud)	3.67
	Galones
Combustible	17.60
Lubricantes	0.77
LLANTA O NEUMÁTICOS (ud)	3.59
PIEZAS DE DESGASTE (ud)	2.17
COSTO DE OPERACIÓN (\$/h)	42.72

Nota: Elaboración propia

3.9 Análisis de ciclo de acarreo con volquetes

Debido a que la operación de los volquetes se costea por hora trabajada, es necesario realizar un control de tiempo de utilización de los volquetes, la data del control de tiempos nos permitirá determinar el tiempo del ciclo total de los volquetes por viaje y obtener valores promedio para encontrar el costo por volumen o tonelaje transportado. Para el control de los tiempos de volquete se consideran los siguientes parámetros y se realiza la toma de tiempos de 29 viajes desde la cámara de carguío a la cancha de gruesos 2.3 km.

Tabla 11

Control de tiempo del ciclo de volquetes

TOMA DE TIEMPOS VOLQUETES					
Nº VIAJE	CARGA Y MANIOBRAS	DESPLAZAMIENTO LLENO	DESCARGA Y MANIOBRAS	DESPLAZAMIENTO VACÍO	TOTAL
1	00:16:54	00:16:32	00:00:27	00:08:52	00:42:45
2	00:17:44	00:16:32	00:00:53	00:09:52	00:45:01
3	00:16:35	00:17:49	00:00:55	00:09:46	00:45:05
4	00:15:50	00:16:24	00:00:45	00:08:58	00:41:57
5	00:15:40	00:17:32	00:01:04	00:09:14	00:43:30
6	00:17:39	00:17:55	00:00:59	00:08:52	00:45:25
7	00:17:28	00:16:49	00:01:08	00:09:23	00:44:48
8	00:16:54	00:16:23	00:00:35	00:08:58	00:42:50
9	00:15:44	00:17:32	00:00:53	00:10:14	00:44:23
10	00:16:35	00:17:55	00:00:55	00:08:52	00:44:17
11	00:19:50	00:17:49	00:01:00	00:08:52	00:47:31
12	00:15:40	00:16:24	00:01:11	00:08:58	00:42:13

13	00:18:39	00:17:32	00:00:58	00:09:14	00:46:23
14	00:17:28	00:16:55	00:01:11	00:08:52	00:44:26
15	00:17:44	00:17:49	00:00:51	00:08:58	00:45:22
16	00:16:35	00:17:08	00:01:21	00:09:14	00:44:18
17	00:17:50	00:17:32	00:00:40	00:08:58	00:45:00
18	00:15:40	00:16:55	00:00:59	00:09:14	00:42:48
19	00:17:39	00:17:49	00:00:47	00:08:58	00:45:13
20	00:20:28	00:17:10	00:00:43	00:09:54	00:48:15
21	00:17:44	00:16:32	00:00:54	00:08:58	00:44:08
22	00:16:35	00:18:55	00:00:56	00:10:24	00:46:50
23	00:17:50	00:17:49	00:00:24	00:08:58	00:45:01
24	00:15:40	00:17:09	00:01:00	00:09:14	00:43:03
25	00:22:39	00:17:32	00:01:00	00:09:58	00:51:09
26	00:17:28	00:16:55	00:00:46	00:09:14	00:44:23
27	00:22:44	00:16:49	00:00:51	00:08:58	00:49:22
28	00:16:35	00:18:04	00:00:30	00:09:14	00:44:23
29	00:17:50	00:16:32	00:00:50	00:08:58	00:44:10
Tiempo Promedio	00:17:35	00:17:16	00:00:53	00:09:15	00:44:58
Tiempo Promedio (min)	17.58	17.27	0.88	9.25	44.96
Tiempo Promedio (h)	0.293	0.288	0.015	0.154	0.75

Nota: Elaboración propia

Tabla 12*Parámetros de equipo y material*

PARÁMETROS	
Distancia KM	2.30
Capacidad m ³	13.50
Densidad in situ	2.80
Factor de llenado (%)	85.00
Factor de esponjamiento (%)	30.00
M3 por ciclo	8.83
t por ciclo	24.72

Nota: Elaboración propia

De la toma de tiempos podemos calcular las velocidades de traslado del equipo con carga y sin carga ya que este valor permitirá calcular los tiempos de desplazamiento para una distancia que se requiera evaluar.

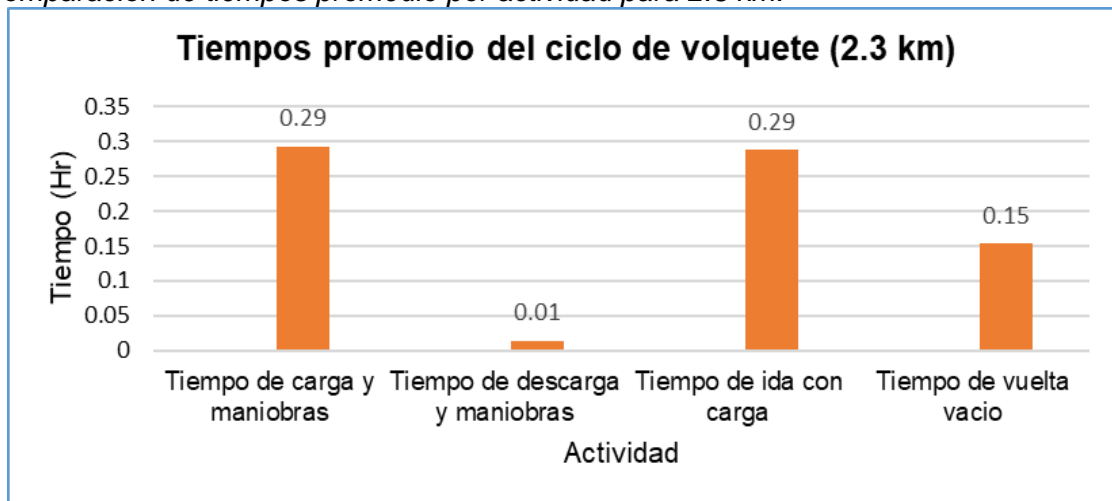
Tabla 13*Tiempos promedios del ciclo de volquete para 2.3 km*

TIEMPOS PROMEDIOS		
Tiempo de carga y maniobras	0.293	h
Tiempo de descarga y maniobras	0.015	h
Tiempo de ida con carga	0.29	h
Tiempo de vuelta vacío	0.15	h
TIEMPO DE CICLO	0.75	H
Velocidad de equipo lleno	8.0	Km/h
Velocidad de equipo vacío	14.9	Km/h

Nota: Elaboración propia

Figura 6

Comparación de tiempos promedio por actividad para 2.3 km.



Nota: Elaboración propia.

La grafica indica que los tiempos variables (ida y retorno) son superiores a los tiempos fijos.

3.10 Análisis del ciclo y rendimiento para diferentes distancias

Con la información obtenida del control de tiempo de volquetes podemos estimar el tiempo del ciclo para diferentes distancias, ya con el análisis anterior se encontró las velocidades del equipo con carga y sin carga para determinar el tiempo de las actividades que tienen un tiempo variable, respecto a las actividades que tiene un tiempo fijo tendrán el mismo valor que en el control de tiempos realizado.

Como se mencionó anteriormente se plantea realizar el desquince en una labor que permitirá tener una nueva ruta de extracción del mineral con una distancia de 1.4 km a la cancha de gruesos, esta nueva labor reducirá el tiempo del ciclo de los volquetes y mejorar el rendimiento (t/h) transportado.

En la evaluación del ciclo y rendimiento para 1.4 km (ruta planteada) se tiene un ciclo de 34.59 min con un rendimiento de 42.87 t/h; en la evaluación de 2.3 km (ruta actual) se tiene un ciclo de 44.96 min con un rendimiento de 32.98 t/h.

Con la ruta seleccionada se tendría una reducción del ciclo de extracción de 10.37 min menor al actual por cada viaje y el rendimiento incrementaría en 9.89 t/h. Ver Tablas 15.

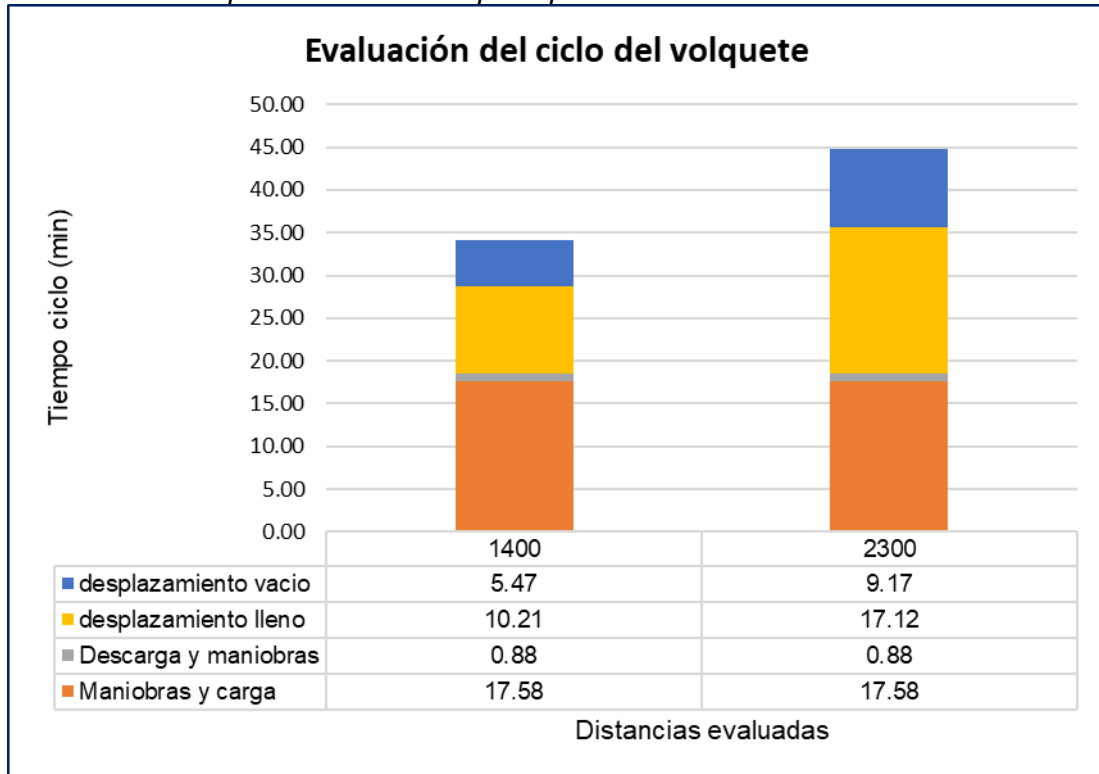
Tabla 14*Cálculo del tiempo de ciclo y rendimiento (t/h) para diferentes distancias*

Distancia (m)	TIEMPOS FIJOS (MIN)		TIEMPOS VARIABLES (MIN)		Tiempo total por ciclo (min)	Rendimiento (t/h)
	Maniobras y carga	Descarga y maniobra	desplazamiento lleno	desplazamiento vacío		
1200	17.58	0.88	9.01	4.82	32.28	45.93
1240	17.58	0.88	9.31	4.99	32.75	45.29
1280	17.58	0.88	9.61	5.15	33.21	44.66
1320	17.58	0.88	9.91	5.31	33.67	44.05
1360	17.58	0.88	10.21	5.47	34.13	43.45
1400	17.58	0.88	10.51	5.63	34.59	42.87
1440	17.58	0.88	10.81	5.79	35.05	42.31
1480	17.58	0.88	11.11	5.95	35.51	41.76
1520	17.58	0.88	11.41	6.11	35.97	41.22
1560	17.58	0.88	11.71	6.27	36.43	40.70
1600	17.58	0.88	12.01	6.43	36.90	40.19
1640	17.58	0.88	12.31	6.59	37.36	39.70
1680	17.58	0.88	12.61	6.75	37.82	39.21
1720	17.58	0.88	12.91	6.91	38.28	38.74
1760	17.58	0.88	13.21	7.08	38.74	38.28
1800	17.58	0.88	13.51	7.24	39.20	37.83
1840	17.58	0.88	13.81	7.40	39.66	37.39
1880	17.58	0.88	14.11	7.56	40.12	36.96
1920	17.58	0.88	14.41	7.72	40.58	36.54
1960	17.58	0.88	14.71	7.88	41.05	36.13
2000	17.58	0.88	15.01	8.04	41.51	35.73
2040	17.58	0.88	15.31	8.20	41.97	35.33
2080	17.58	0.88	15.61	8.36	42.43	34.95
2120	17.58	0.88	15.91	8.52	42.89	34.57
2160	17.58	0.88	16.22	8.68	43.35	34.21
2200	17.58	0.88	16.52	8.84	43.81	33.85
2240	17.58	0.88	16.82	9.01	44.27	33.49
2280	17.58	0.88	17.12	9.17	44.73	33.15
2300	17.58	0.88	17.27	9.25	44.96	32.98
2340	17.58	0.88	17.57	9.41	45.43	32.64
2380	17.58	0.88	17.87	9.57	45.89	32.32
2420	17.58	0.88	18.17	9.73	46.35	32.00
2460	17.58	0.88	18.47	9.89	46.81	31.68
2500	17.58	0.88	18.77	10.05	47.27	31.37

Nota: Elaboración propia

Figura 7

Evaluación del tiempo del ciclo del volquete por distancias

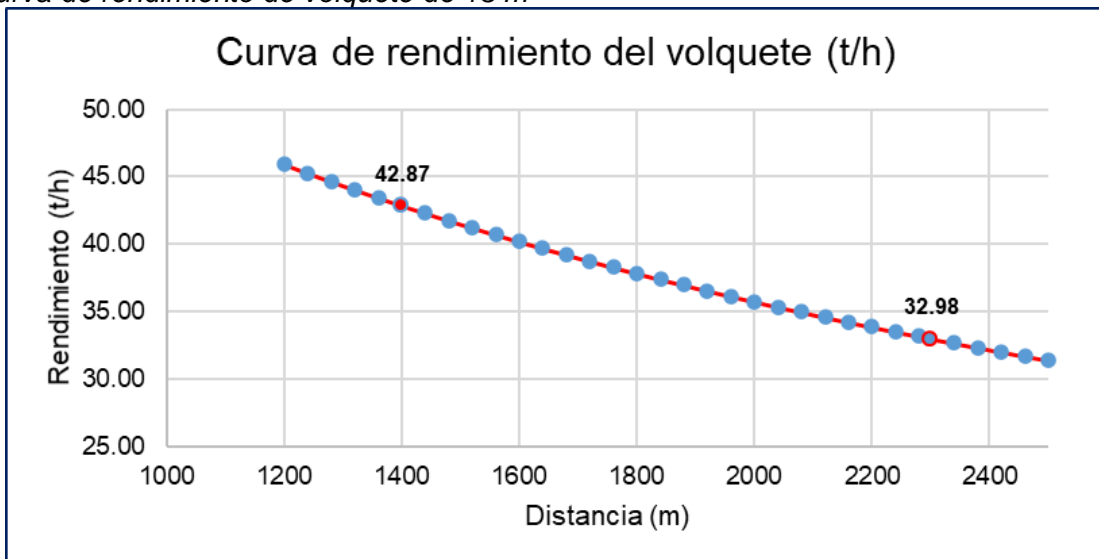


Nota: Elaboración propia

La grafica compara los ciclos del volquete para una distancia de 1.4 km (34.59 min) respecto a 2.3 km (44.96 min).

Figura 8

Curva de rendimiento de volquete de 13 m³



Nota: Elaboración propia

La curva de rendimiento indica que, a menor distancia de transporte, el rendimiento es mayor comparado a distancias superiores y vemos la gran diferencia en el rendimiento para las distancias que estamos comparando.

3.11 Costos de ejecución del desquinche

La labor por donde se plantea realizar la nueva ruta de extracción tiene un tramo de 200 m con sección de 2.2 m x 2.8 m, pero los equipos volquete necesitan que tenga una sección de 4.0 m x 4.5 m.

Tabla 15

Cálculo de volumen para desquinche

DESCRIPCIÓN	VALOR	MAGNITUD
Factor de sección	91%	%
Longitud labor	200	m
Volumen (4 x 4.5)	3290	m3
Volumen (2.2 x 2.8)	1126	m3
Volumen a desquinchar	2164	m3

Nota: Elaboración propia

Adicional al desquinche esta labor requerirá sostenimiento posterior, en la unidad minera el sostenimiento se realiza con shotcrete, malla electrosoldada y pernos helicoidales, de acuerdo con esto se calcula el siguiente presupuesto para la ejecución del desquinche.

Tabla 16

Presupuesto para la ejecución del desquinche en el acceso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO. UNITARIO	PARCIAL
Desquinche Crucero	m3	2164	19.2	\$ 41,548.80
Pernos Helicoidales	ud	2100	18.2	\$ 38,220.00
Shotcrete E=2"	m2	500	87	\$ 43,500.00
Malla Electrosoldada	m2	384	14	\$ 5,376.00
Imprevistos 5%				\$ 64,322.40
				\$ 192,967.20

Nota: Elaboración propia

3.12 Valorización mensual de extracción

Durante el año 2023 en los meses de marzo – mayo se tuvo una extracción promedio de 10,224 t de mineral, con un consumo de 338 h Diesel de los volquetes filtrado desde el Nv.40 con destino a la cancha de gruesos con una distancia de 2.3 km.

Tabla 17

Detalle de extracción y consumo horas (marzo - mayo) 2023

MES	EXTRACCIÓN (t)	HORÓMETRO DIESEL
		(h)
Marzo	10,192	342
Abril	9,396	327
Mayo	11,083	344
Total general	10,224	338

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Indicadores de rendimiento y costo (marzo - mayo) 2023

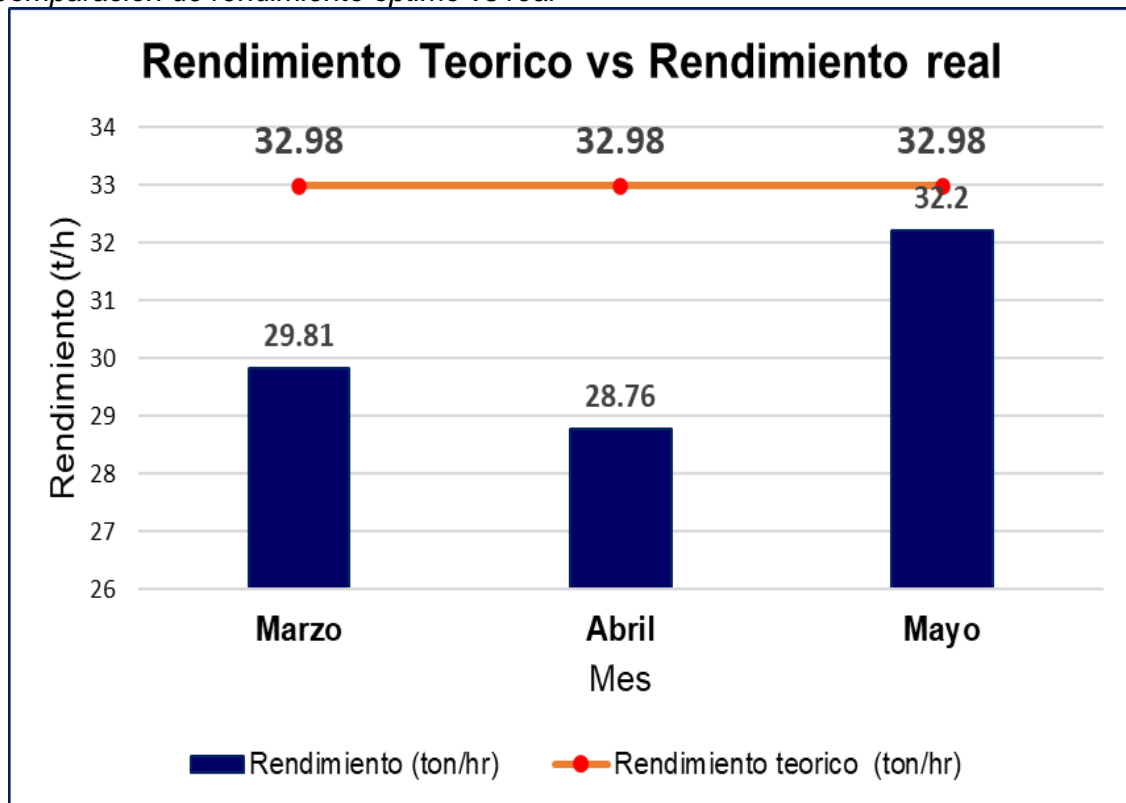
MES	RENDIMIENTO (t/h)	VALORIZACIÓN (USD)	COSTO EXTRACCIÓN (USd/t)
Marzo	29.81	19,514.22	1.91
Abril	28.76	18,647.81	1.98
Mayo	32.20	19,646.63	1.77
Total general	30.26	19,269.55	1.89

Nota: Elaboración propia

Si realizamos una comparación de los rendimientos de los meses de marzo a mayo 2023 con lo obtenido en el control de tiempos, se evidencia una deficiencia en los rendimientos de estos meses, ya que ninguno llego al óptimo encontrado en la curva de rendimiento realizado anteriormente, esto se debe a que en tramos como este se presentan imprevistos que pueden generar demoras en el ciclo de extracción.

Figura 9

Comparación de rendimiento óptimo vs real



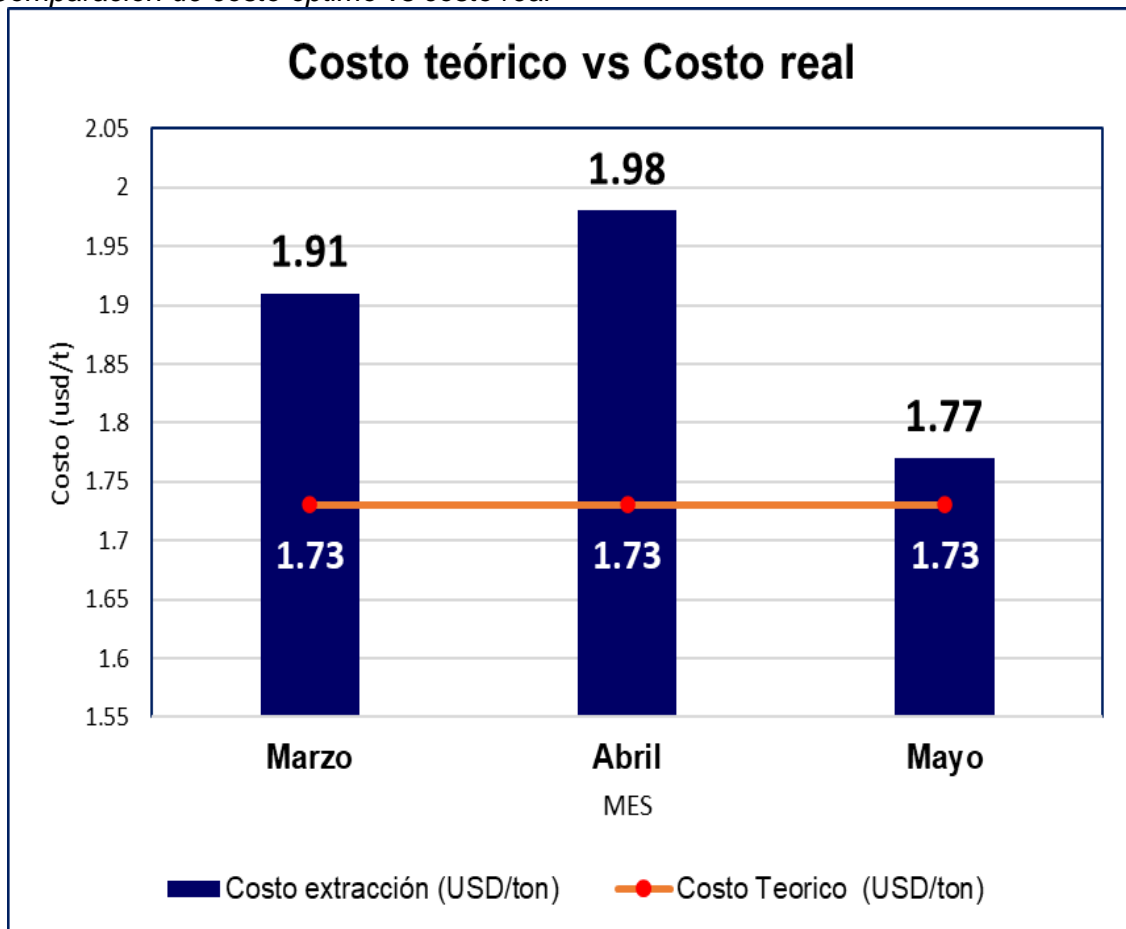
Nota: Elaboración propia

Durante los meses de marzo a mayo el rendimiento de transporte real se encuentra por debajo del teórico. Los rendimientos ejecutados son deficientes comparados a los rendimientos del control de tiempo de los volquetes, tuvo una diferencia de 2.72 t/h en promedio.

De igual manera si realizamos un análisis de los costos, estos se incrementarán al tener un rendimiento deficiente comparado a la curva de rendimiento, por estos resultados se busca una ruta de extracción de menor distancia ya que tendrá un rendimiento mayor en los equipos.

Figura 10

Comparación de costo optimo vs costo real



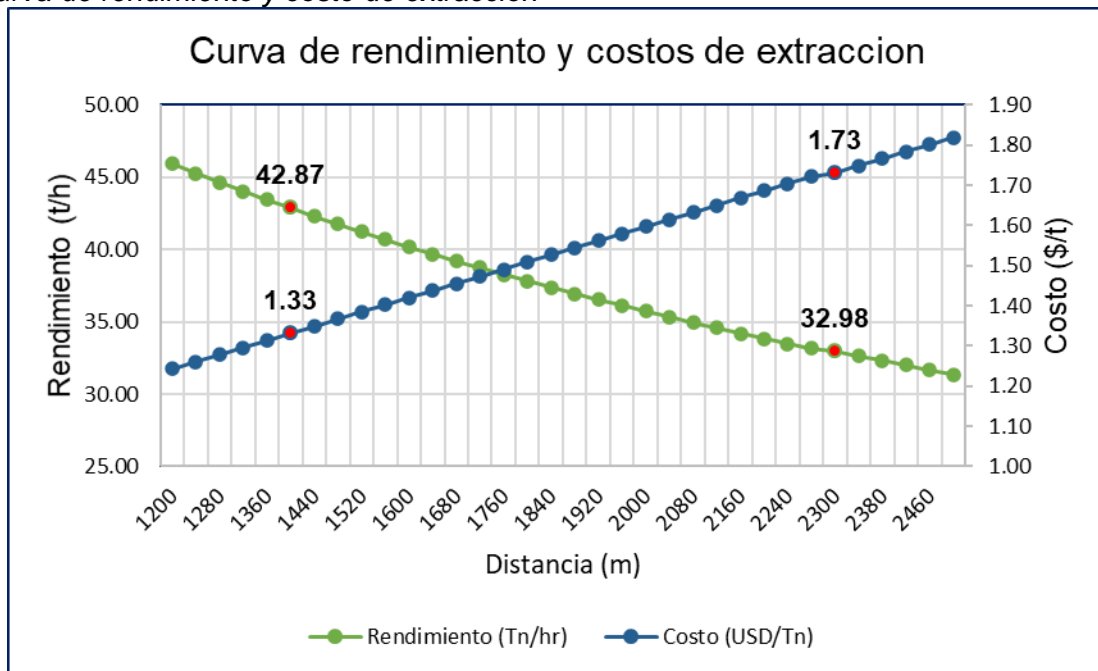
Nota: Elaboración propia

Durante los meses de marzo a mayo el costo de transporte real es superior al teórico. el costo de extracción se incrementó en 0.16 USD/t.

De acuerdo con la información obtenida se puede determinar la curva de rendimiento y extracción para esta investigación; para un costo de 57.08 \$/h se tiene una distancia de 1.4 km un rendimiento de 42.87 t/h a un costo de 1.33 t/h y para una distancia de 2.3 km se tiene un rendimiento de 32.98 t/h a un costo de 1.73 \$/h.

Figura 11

Curva de rendimiento y costo de extracción



Nota: Elaboración propia

La gráfica muestra el comportamiento del rendimiento y el costo de extracción en función del incremento de la variable independiente "distancia", se observa que a menor distancia el rendimiento es alto a un bajo costo en comparación a distancias superiores.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de resultados

Teniendo en cuenta que nuestro Caso 0 es la ruta de 2.3 km de distancia en la cual el rendimiento promedio es de 30.26 t/h, con lo cual el monto de nuestra valorización mensual es de US\$19,269.55

Tabla 19

Valorización Caso 0

INDICADORES	CASO 0 (2.3 km)
Extracción (t)	10,224
Horómetro Diesel (h)	337.61
Rendimiento (t/h)	30.26
Valorización (\$)	19,269.55
Costo extracción (\$/t)	1.89

Nota: Elaboración propia

Y se tiene en promedio 7 viajes por turno de mineral

Tabla 20

Cálculo de viajes por día de mineral

MES	EXTRACCIÓN (t)	HORÓMETRO DIESEL (h)	N° VIAJES/MES	N° VIAJES/TURNO
Marzo	10,192.04	341.90	412	7
Abril	9,395.53	326.72	380	7
Mayo	11,082.98	344.22	448	8
Total general	10,223.52	337.61	414	7

Nota: Elaboración propia

4.1.1 Estimación de valorización con la nueva ruta

En la presente investigación se planteó una nueva ruta de extracción con una distancia de 1.4 km, la cual según la curva de rendimiento nos permite obtener un rendimiento de 42.87 t/h, si llevamos estos cálculos a los indicadores de extracción

obtenidos en el periodo marzo - mayo 2023 se tendría menos horas de utilización de volquetes a valorizar de manera mensual manteniendo la producción; asimismo, manteniendo la flota podemos incrementar el tonelaje extraído.

Caso 1.

Manteniendo el tonelaje a extraer de manera mensual en la nueva ruta, se tendría un ahorro de US\$ 5,658.28 equivalente a 99.14 h por la reducir las horas de viajes, adicionalmente, el costo de extracción se reduce en 0.56 \$/t.

Tabla 21

Estimación de valorización N°1 manteniendo la producción mensual

INDICADORES	CASO 0 (2.3 KM)	CASO 1 (1.4 KM)	DIFERENCIA
Extracción (t)	10,224	10,224	0.00
Horómetro Diesel (h)	337.61	238.48	-99.14
Rendimiento (t/h)	30.26	42.87	12.61
Valorización (\$)	19,269.55	13,611.28	-5,658.28
Costo extracción (\$/t)	1.89	1.33	-0.56

Nota: Elaboración propia

Caso 2.

La flota en la nueva ruta mejoró su rendimiento de extracción, por lo que, en un turno con el mismo tamaño de flota la capacidad de traslado de mineral se incrementaría de 7 a 10 viajes/turno en mineral (600 viajes de mineral al mes), la capacidad del equipo es de 24.72 t y esta nueva ruta permitiría la extracción de 14,829 t mensuales.

Tabla 22

Cálculo de incremento de producción de volquetes

ESTADOS	CASO 0 (2.3 km)	CASO 2 (1.4 km)
Viajes por turno	7	10
Extracción de mineral	10,224	14,829

Nota: Elaboración propia

Al aumentar la extracción genera el incremento de 8.30 h en viajes mineral/turno que equivale a un valor de 473.63 \$, el costo de extracción se reduce en 0.56 \$/t debido a que depende del rendimiento de la flota en la nueva ruta de 1.4 km

Tabla 23

Valorización Caso 2 con el incremento de producción

INDICADORES	CASO 0 (2.3 km)	CASO 2 (1.4 km)	DIFERENCIA
Extracción (t)	10,224	14,829	4605.71
Horómetro Diesel (h)	337.61	345.91	8.30
Rendimiento (t/h)	30.26	42.87	12.61
Valorización (\$)	19,269.55	19,743.18	473.63
Costo extracción (\$/t)	1.89	1.33	-0.56

Nota: Elaboración propia

Tabla 24

Cuadro comparativo de Casos y estimaciones planteadas

INDICADORES	CASO 0 (2.3 km)	CASO 1 (1.4 km)	CASO 2 (1.4 km)
Extracción (t)	10,224	10,224	14,829
Horómetro Diesel (h)	337.61	238.48	345.91
Rendimiento (t/h)	30.26	42.87	42.87
Valorización Viajes(\$)	19,269.55	13,611.28	19,743.18
Costo extracción (\$/t)	1.89	1.33	1.33

Nota: Elaboración propia

4.1.2 Análisis de indicadores económicos

En la presente investigación se realizó el análisis de indicadores de VAN, TIR, B/C y PAYBACK, se realizará en un periodo de 5 años con una tasa de interés del 10%, los valores considerados serán una la inversión de 192,967.20 \$ ejecutado en el desquince de la labor por donde se ejecutará la nueva ruta de acceso y se considera el ahorro obtenido en el Caso 1 llevado a un valor anual.

Se construyó un flujo de caja que considera estos datos, aplicando:

- **Inversión inicial:**
192,967.20 \$
- **Ahorro mensual:**
5,658.28 \$
- **Ahorro anual estimado:**
67,899.36 \$
- **Horizonte del análisis:**
5 años

Tabla 25

Flujo de caja económico proyectado de extracción

ÍTEM	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Inversión proyecto (\$)	-192,967					
Valorización actual (\$)		231,235	231,235	231,235	231,235	231,235
Valorización Caso 1 (USD)		163,335	163,335	163,335	163,335	163,335
Ahorro estimado (\$)	-192,967	67,899	67,899	67,899	67,899	67,899

Nota: Elaboración propia

Considerando solo el ahorro obtenido en las horas equipo que se dejaron de consumir por la extracción, en los 5 años de análisis se tendrá un VAN de 34,642 \$ y la inversión se recuperara en 2.16 años.

Se construyó un flujo de caja que considera estos datos, aplicando:

VAN (Valor Actual Neto):

$$VAN = \sum_{t=1}^5 \frac{Flujo_t}{(1+r)^t} - Inversión$$

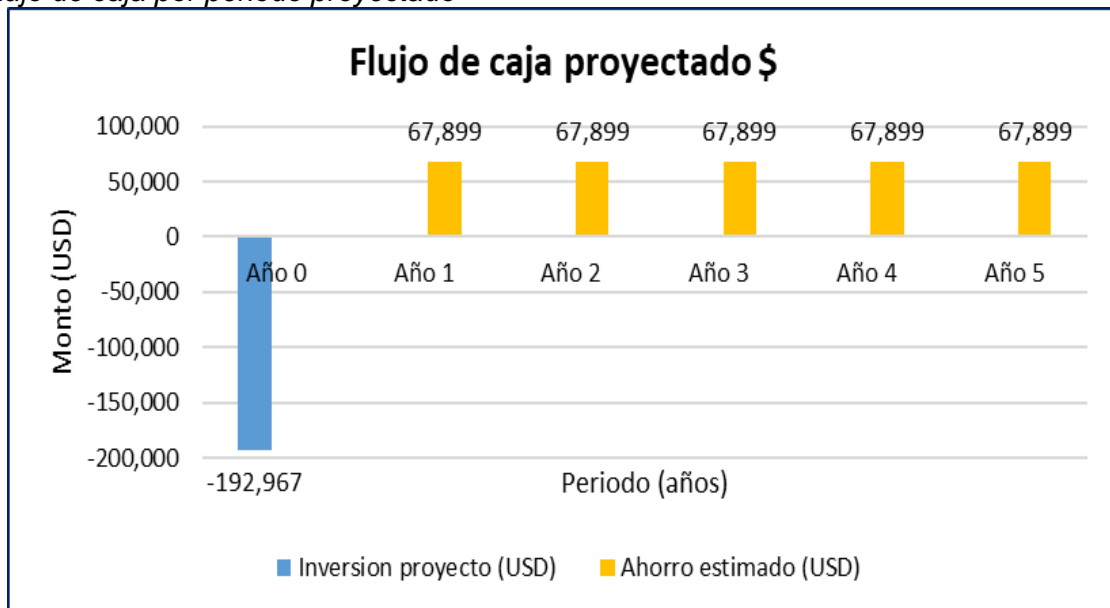
Donde:

$r = 10\%$ como tasa de descuento referencial.

VAN: USD 34,642

Figura 12

Flujo de caja por periodo proyectado



Nota: Elaboración propia

La gráfica muestra la inversión requerida para la ejecución del desquinche (año 0) y el ahorro anual que tendrá la compañía en extracción.

TIR (Tasa Interna de Retorno):

Tasa que hace que el VAN sea cero.

$$TIR = 22\%$$

B/C (Relación Beneficio/Costo):

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor actual de beneficios}}{\text{Valor actual de costos}} = \frac{227,609.2}{192,967.2} = 1.18$$

PAYBACK (Periodo de recuperación):

$$PAYBACK = \frac{192,967.20}{67,899.36} \approx 2.84 \text{ años}$$

4.1.3 Demostración de la hipótesis

4.1.3.1 Formulación de la hipótesis.

▪ **Hipótesis nula (H₀):**

Las distancias de las rutas no influyen significativamente en la reducción de los costos de transporte.

- **Hipótesis alternativa (H_1):**

Las rutas con menores distancias reducen significativamente los costos de transporte, incrementando la producción y productividad

4.1.3.2 Nivel de significancia. Se establece un nivel de significancia estándar de $\alpha=0.05\approx 5\%$

4.1.3.3 Selección del estadístico de prueba. Dado que se comparan dos condiciones antes y después de la implementación de la nueva ruta (distancia y costos), se puede aplicar una prueba t de Student para muestras relacionadas (pre y post-intervención), si los datos son normales, o bien una prueba no paramétrica (como Wilcoxon) si no lo son. Según los datos disponibles, se puede aplicar t de Student en este caso

- **4.1.3.4 Cálculo estadístico.**

- **Distancia anterior:**

2.3 km

- **Distancia nueva:**

1.4 km

- **Tiempo de ciclo anterior:**

20.00 min (0.333 h)

- **Tiempo de ciclo nuevo:**

10.37 min (0.173 h)

- **Rendimiento anterior:**

32.98 t/h

- **Rendimiento nuevo:**

42.87 t/h

- **Costo de extracción Caso 0:**

1.89 USD/t

- **Costo de extracción Caso 1:**

1.33 USD/t

Media de reducción en costo:

$$\bar{x}diff = 1.89 - 1.33 = 0.56 \text{ USD/t}$$

Desviación estándar estimada (s) para diferencias en costos:

Dado que no se presentan todos los valores individuales, se aproxima con una desviación típica estimada en función del rango comparativo con otras investigaciones (variación ≈ 0.16 USD/t como se menciona en los resultados reales).

Supongamos $n = 10$ evaluaciones de rendimiento (mínimo para un análisis t básico).

4.1.3.4 Formulación de la hipótesis.

4.1.3.4.1 Prueba de hipótesis.

Hipótesis nula (H_0): $C_0 = C_1$

Hipótesis alternativa (H_1): $C_0 \neq C_1$

Donde:

C_0 = Costo de extracción en el Caso 0

C_1 = Costo de extracción en el Caso 1

4.1.3.4.2 Nivel de significancia.

$$\alpha = 0.05 \approx 5\% \rightarrow \alpha/2 = 0.025$$

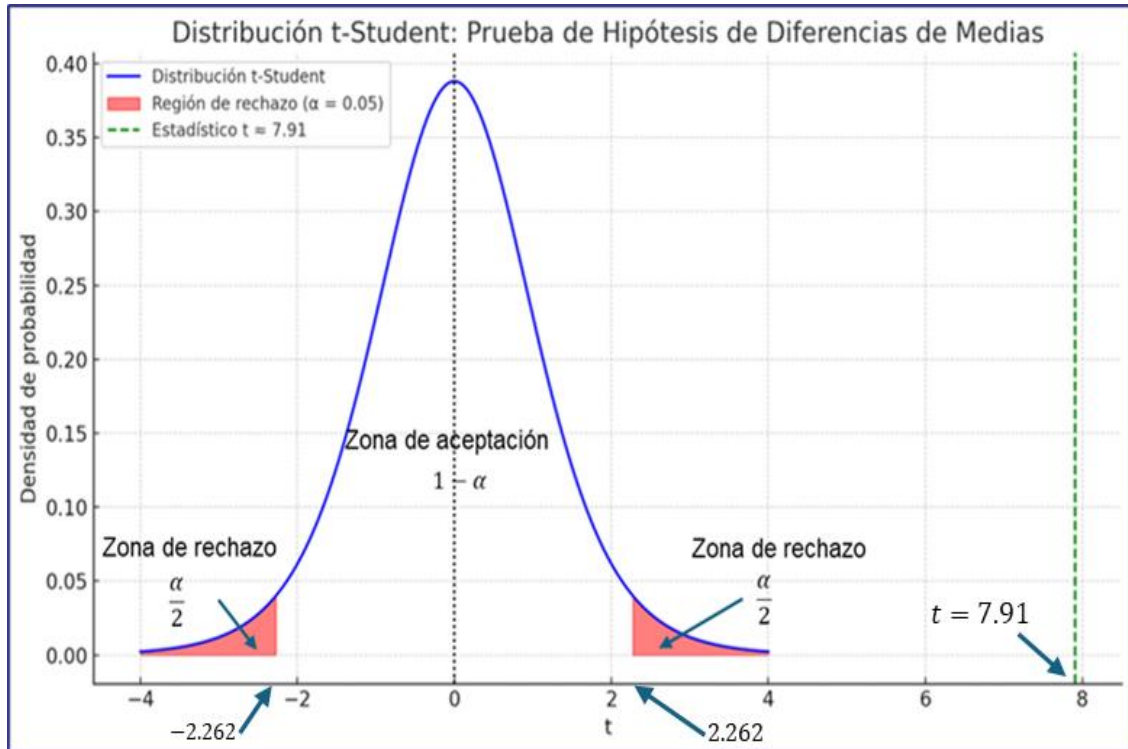
4.1.3.4.3 Estadístico de prueba.

$$t = \frac{\bar{x}}{s/\sqrt{n}} = \frac{0.56}{0.16/\sqrt{10}} \approx \frac{0.56}{0.0506} \approx 7.9$$

4.1.3.4.4 Regla de decisión

Figura 13

Distribución de *t* – Student



Nota: Elaboración propia

4.1.3.4.5 Toma de decisión. Como el valor del estadístico *t* calculado (≈ 7.90) supera ampliamente el valor crítico (2.262), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

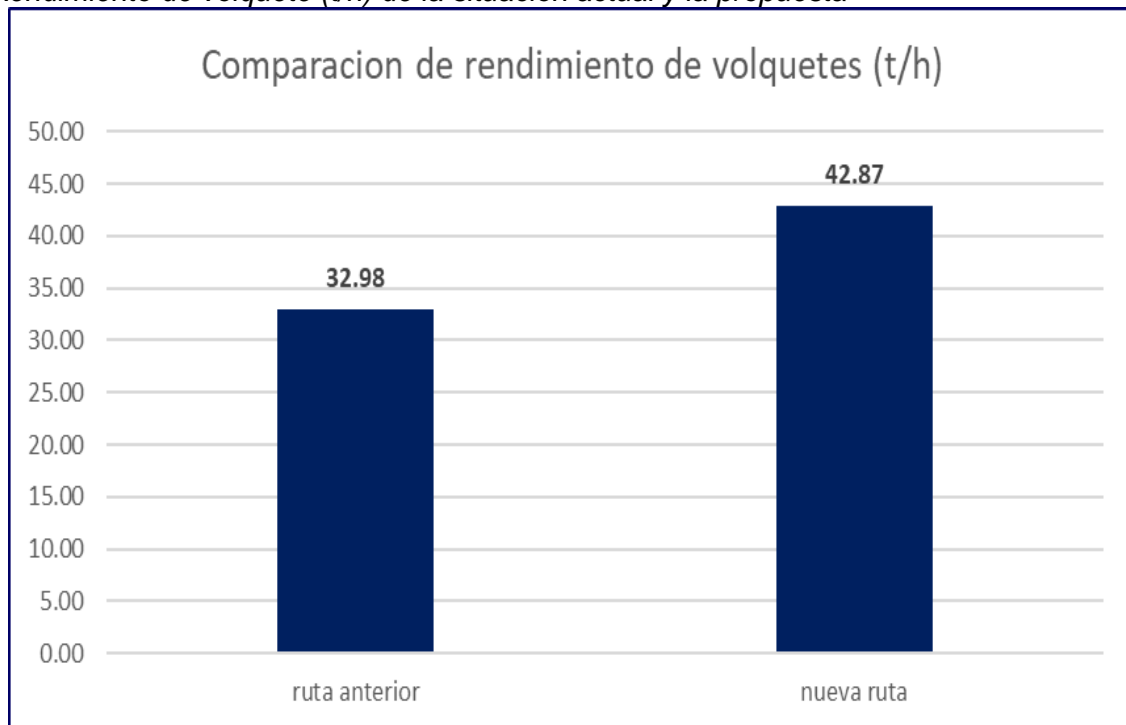
Esto indica que existe evidencia suficiente para afirmar que la distancia de acarreo influye significativamente en el costo de extracción, validando así el planteamiento principal del estudio.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos muestran cómo la reducción de la distancia de acarreo impacta directamente en la eficiencia del transporte subterráneo. Al disminuir la distancia de 2.3 km a 1.4 km, se logró incrementar el rendimiento promedio en 12.61 t/h. Este cambio representa una mejora significativa en la cantidad de material transportado por turno y en el aprovechamiento de la flota.

Figura 14

Rendimiento de volquete (t/h) de la situación actual y la propuesta



Nota: Elaboración propia

La reducción del tiempo de ciclo fue el factor clave que impulsó esta mejora. Cada viaje demandó menos tiempo y menos consumo de combustible, lo que a su vez redujo el desgaste de los equipos y los costos de mantenimiento. En conjunto, el costo unitario de extracción disminuyó en 0.56 USD/t, demostrando que los ajustes en la infraestructura pueden tener efectos notables en la rentabilidad operativa. Este resultado coincide con lo señalado por autores como Pillaca (2017) y Herrera (2022), quienes destacan la relación directa entre distancia de acarreo, rendimiento y costos en minería subterránea.

Desde el punto de vista económico, los indicadores financieros (VAN = 34,642 USD; TIR = 22 %; B/C = 1.18; PR = 2.16 años) respaldan la decisión de ejecutar la mejora. Más allá de las cifras, estos resultados reflejan una inversión viable ya que es una solución técnica que se traduce en beneficios sostenibles. El ahorro mensual promedio de 5,658.28 USD no solo confirma la viabilidad económica del proyecto, sino que también demuestra que la decisión es correcta desde una perspectiva gerencial.

Tabla 26*Indicadores económicos*

VAN (\$)	34,642
TIR (%)	22%
B/C	1.18
PAYBACK (años)	2.16

Nota: Elaboración propia

El análisis de sensibilidad respalda esta conclusión. Incluso ante variaciones en los costos o en la productividad, el proyecto mantiene indicadores positivos, lo que evidencia su solidez y capacidad de adaptación frente a escenarios adversos. En otras palabras, no se trata de una mejora circunstancial, sino de un cambio estructural que contribuye a la eficiencia y estabilidad operativa en el tiempo.

Desde una perspectiva de gestión, este caso deja una lección relevante: las decisiones en el ámbito minero deben considerar de manera conjunta los factores técnicos, económicos y humanos. Optar por una ruta más corta no implica únicamente reducir la distancia, sino aplicar una estrategia integral. En este estudio, el aprovechamiento de una labor existente permitió disminuir la inversión inicial, incrementar la productividad y fortalecer la sostenibilidad de la operación.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada: una menor distancia de acarreo genera una reducción significativa en los costos de extracción y una mejora directa en la productividad. Esta conclusión no solo valida el modelo analítico propuesto, sino que también evidencia que las mejoras en infraestructura pueden transformarse en decisiones estratégicas con un impacto técnico, económico y ambiental positivo para la empresa.

Conclusiones

Se determinó la ruta de extracción con menor distancias hacia la Planta de Beneficio, con una distancia de 1.4 km menor a 2.3 Km de la ruta actual; la nueva ruta permitió la reducción del tiempo del ciclo del transporte de 44.96 min a 34.59 min.

La nueva ruta permitió una mayor producción en la extracción con los volquetes, incrementando la producción de 32.98 t/h a 42.87 t/h. Asimismo, el costo de extracción se redujo de 1.86 US\$/t a 1.33 US \$/t determinando mejores indicadores de productividad.

La evaluación económica indica que el valor actual neto de la nueva ruta es de 34,642 USD y la tasa de interés de retorno es de 22%; considerando el ahorro que genera la extracción por un periodo de 5 años, el proyecto es rentable con una relación beneficio/costo de 1.18 y un periodo de retorno de la inversión de 2.84 años.

Recomendaciones

Se recomienda ejecutar el desquinche para habilitar la nueva ruta de extracción ya que se estima una mejora en los indicadores de productividad: rendimiento y costo en la actividad de extracción.

Se recomienda controlar los rendimientos de manera mensual y compararlo con el rendimiento promedio de esta nueva ruta para analizar las demoras y tiempos improductivos presentes en el ciclo del volquete que no dependen de la distancia.

Se recomienda mantener un inventario de la infraestructura con el objetivo de su reutilización, lo cual disminuye el tiempo de implementación y disminuye el costo de inversión, para proyectos futuros de transporte de mineral y la implementación de servicios mina.

Se recomienda evaluar las rutas de los diferentes materiales que se transportan en la unidad minera como: relleno sanitario, desmonte, agregados, etc. para encontrar oportunidades de mejora.

Referencias bibliográficas

- Baldeón Quispe, Z. L. (2011). *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en Cía. Minera Condestable SA.*
- Chuquicallata, F. (2022). *Optimización del sistema de carguío con el uso de scooptrams para la extracción de minerales en la Unidad Minera Orcopampa, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- De la Cruz, A. (2021). *Optimización en la extracción de mineral y desmonte con volquetes mediante la aplicación de la teoría de colas en la ECM American Rent a Car – U.P. San Cristóbal, Yauli - La Oroya 2021. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.*
- Egoavil, L. (2021). *Reducción de la sobrerotura y su influencia en el costo del ciclo de minado en la zona Valeria III – Cía. Minera Aurífera Retamas S.A. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.*
- Flores, M. (2022). *Mejora en reducción de costos de transporte de la Mina Condestable, Mala, Cañete, 2020-2021 con uso del volquete de doble tolva de 80 tn. Pontificia Universidad Católica del Perú.*
- Hajarian, A., & Osanloo, M. (2020). *A New Developed Model to Determine Waste Dump Site Selection in Open Pit Mines: An Approach to Minimize Haul Road Construction Cost. International Journal of Engineering.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.5829/IJE.2020.33.07A.29>
- Kumykova, T., & Kumykov, V. (2018). *Method of Shaping Loading-and Transportation System in Deep Open Pit Complex Ore Mines. Journal of Mining Science.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1134/S1062739117042702>
- Mayhua, Á., & Mendoza, L. (2012). *Optimización del Sistema de Transporte de Mineral del Nivel 1070 a superficie de la Unidad de Producción San Cristóbal - Volcan CIA Minera-S.A.A. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.*

- Nakousi, C., Pascual, R., Anani, A., Kristjanpoller, F., & Lillo, P. (2018). *An asset management oriented methodology for mine haul-fleet usage scheduling*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.07.034>
- Oggeri, C., Fenoglio, T., Godio, A., & Vinai, R. (2019). *Overburden management in open pits: options and limits in large limestone quarries*. International Journal of Mining Science and Technology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.011>
- Pardo Navarro, K. (2019). *Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona S.A*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo
- Pereda, W. (2020). *Diseño de rutas de transporte de mineral, mallas de perforación y voladura para incremento de la productividad de la compañía minera La Libertad, 2019*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Quiliche Cercado, R. W., & Torres Mestanza, R. F. (2021). *Evaluación del sistema de transporte de mineral en una mina subterránea-Pataz La-Libertad-2021*.
- Ramos, M., & Salomón, E. (2021). *Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua*. Universidad Continental, Huancayo.
- Quiliche Cercado, R. W., & Torres Mestanza, R. F. (2021). *Evaluación del sistema de transporte de mineral en una mina subterránea-Pataz La-Libertad-2021*.
- Vargas Caceres, N. C. (2020). *Análisis de manejo de marinas para una mina subterránea por block caving* (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Formato para recolección de datos	1
Anexo 2: Cuadro de control de tiempos	2
Anexo 3: Plan anual.....	3
Anexo 4: Zona de explotación.....	4
Anexo 5: Secuencia de minado	5
Anexo 6: Zona de desquinche	6

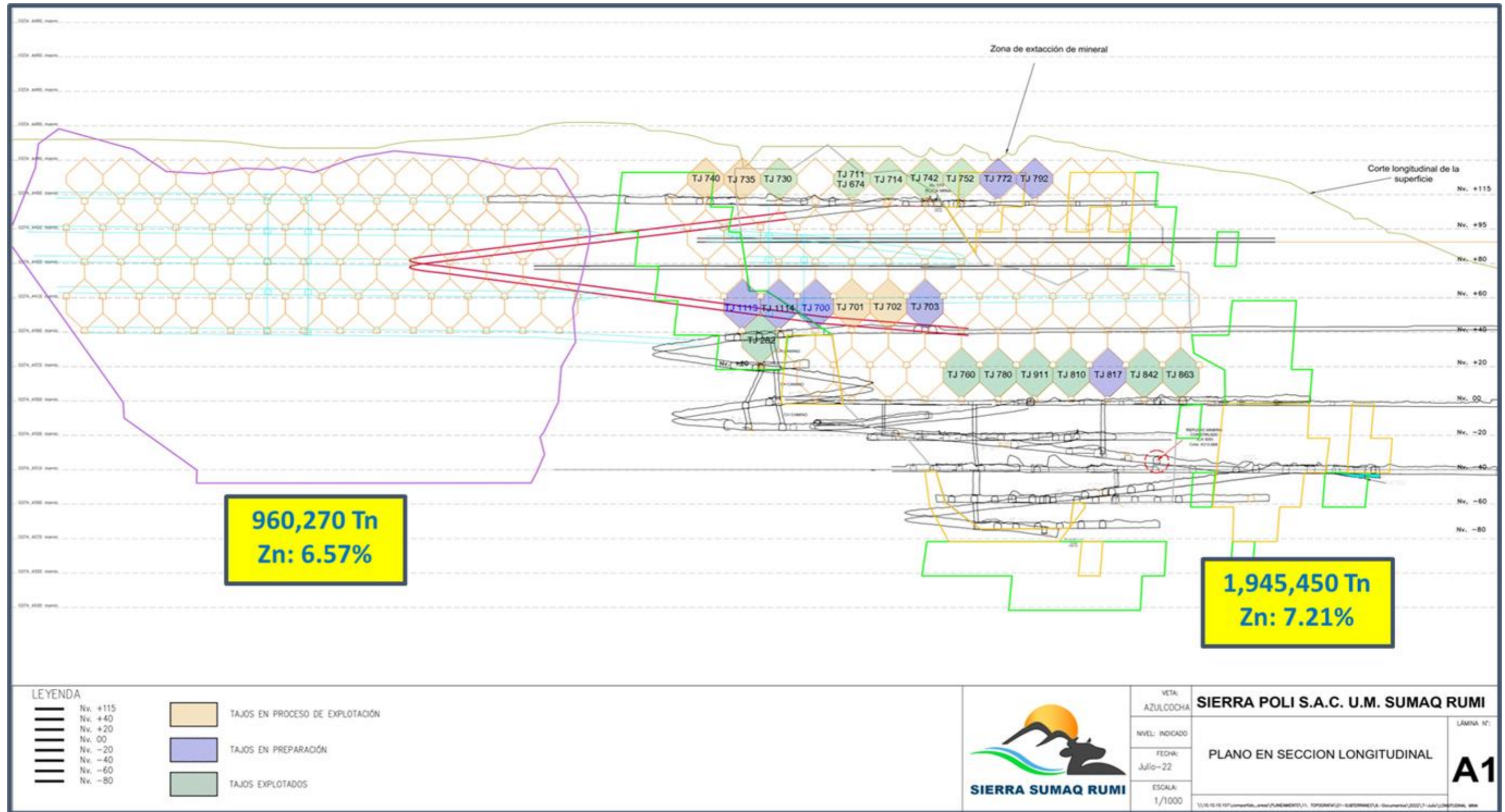
Anexo 2: Cuadro de control de tiempos

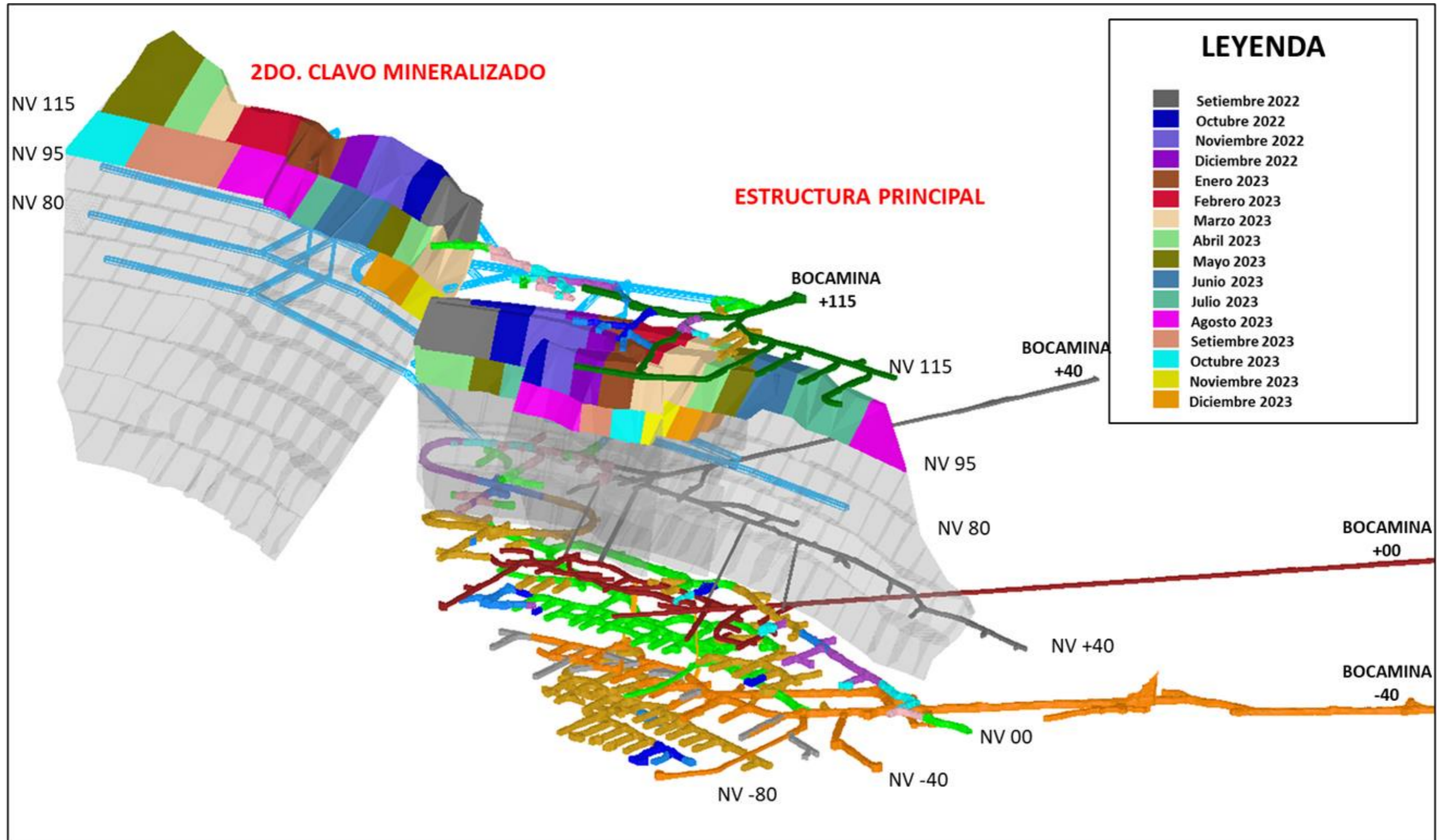
CONTROL DE VIAJES					
N° Viaje	Carga y maniobras	Desplazamiento lleno	Descarga	Desplazamiento vacío	Total
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
Tiempo Promedio					
Tiempo Promedio (min)					
Tiempo Promedio (hr)					

Anexo 3: Plan anual

Descripcion	Unid.	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23	2023
AVANCE														
Preparación	m.	214	214	214	214	214	214	257	257	257	257	257	257	2,822
Desarrollo	m.	369	409	369	409	360	430	402	447	432	601	561	601	5,387
Exploración	m.	50		50		50		50		50		50		300
Subtotal	m.	632	622	632	622	624	644	709	704	739	857	867	857	8,509
EXPLORACIÓN														
SUMA Q RUMI														
TPD	TPD	800	800	800	800	800	800	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	900
Tonelaje	Tonelaje	24,800	22,400	24,800	24,000	24,800	24,000	31,000	31,000	30,000	31,000	30,000	31,000	328,800
%Zn	%	5.86	5.89	5.84	5.87	5.81	5.83	5.49	5.62	5.40	5.30	5.47	5.63	5.65
%As	%	0.80	0.92	0.85	0.87	0.82	0.92	0.78	0.86	0.84	0.93	0.97	0.85	0.87
%Mn	%	3.10	4.50	4.70	4.90	4.62	5.84	4.78	4.65	5.30	4.65	4.15	5.20	4.71
%Pb	%	0.10	0.07	0.08	0.08	0.09	0.78	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.14
%Fe	%	3.41	4.23	4.15	4.78	4.85	5.24	4.22	4.89	4.76	5.21	4.98	5.10	4.68
%OxZn	%	0.91	0.85	0.94	0.87	0.95	0.88	0.84	0.91	0.95	0.97	0.86	0.87	0.90
Ratio Oxido		16%	14%	16%	15%	16%	15%	15%	16%	18%	18%	16%	15%	16%
EXTERNO														
TPD	TPD	645	714	645	667	645	667	645	645	667	645	667	645	658
Tonelaje	Tonelaje	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	240,000
%Zn	%	6.49	6.51	6.49	6.55	6.51	6.47	6.48	6.52	6.49	6.52	6.48	6.51	6.50
%As	%	0.80	0.90	0.81	0.89	0.91	0.81	0.87	0.85	0.92	0.80	0.81	0.87	0.85
%Mn	%	3.50	4.50	3.70	3.90	4.12	5.40	6.50	5.21	4.59	5.60	4.23	4.71	4.66
%Pb	%	0.10	0.10	0.08	0.09	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09
%Fe	%	3.41	3.46	3.49	4.70	3.80	3.79	4.22	4.27	3.99	3.85	4.50	4.27	3.98
%OxZn	%	0.60	0.61	0.62	0.59	0.62	0.57	0.59	0.61	0.60	0.63	0.64	0.65	0.61
Ratio Oxido		9%	9%	10%	9%	10%	9%	9%	9%	9%	10%	10%	10%	9%
TOTAL														
TPD	TPD	1,445	1,514	1,445	1,467	1,445	1,467	1,645	1,645	1,667	1,645	1,667	1,645	1,558
Tonelaje	Tonelaje	44,800	42,400	44,800	44,000	44,800	44,000	51,000	51,000	50,000	51,000	50,000	51,000	568,800
%Zn	%	6.14	6.18	6.13	6.18	6.12	6.12	5.88	5.97	5.84	5.78	5.87	5.98	6.01
%As	%	0.80	0.91	0.83	0.88	0.86	0.87	0.82	0.86	0.87	0.88	0.90	0.86	0.86
%Mn	%	3.28	4.50	4.25	4.45	4.40	5.64	5.45	4.87	5.02	5.02	4.18	5.01	4.69
%Pb	%	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.46	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.11
%Fe	%	3.41	3.87	3.86	4.74	4.38	4.58	4.22	4.65	4.45	4.68	4.79	4.77	4.38
%OxZn	%	0.77	0.74	0.80	0.74	0.80	0.74	0.74	0.79	0.81	0.84	0.77	0.78	0.78
Ratio Oxido		13%	12%	13%	12%	13%	12%	13%	14%	14%	15%	13%	13%	13%

Anexo 4: Zona de explotación





Anexo 6: Zona de desquinche

