

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
**Evaluación del reemplazo de flota de camiones para reducir  
costos en minería a tajo abierto**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Boris Yuri Acuña Garay

 0009-0005-0366-4587

Asesor

Dr. Valeriano Alfredo Marín Suárez

 0000-0002-9945-0532

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Acuña Garay [1]
Referencia/Reference	[1] B. Acuña Garay, “ <i>Evaluación del reemplazo de flota de camiones para reducir costos en minería a tajo abierto</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Acuña, 2024)
Referencia/Reference	Acuña, B. (2024). <i>Evaluación del reemplazo de flota de camiones para reducir costos en minería a tajo abierto</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

## Resumen

La presente investigación cuantitativa desarrolla el estudio que se realiza al evaluar el reemplazo de flota de camiones mineros en una mina a tajo abierto. En la estructura de costos unitarios en una mina el costo de acarreo representa el mayor éstos, asimismo, a medida que aumenta la profundidad del tajo, mayor es la distancia y el tiempo de ciclo de los camiones que transportan material, por lo que el costo de acarreo se incrementa directamente proporcional a los años de operación de la mina.

En el presente estudio se realiza un análisis técnico – económico en el cual se consideran factores importantes como: principales kpi's de mina, estructura de costos unitarios, indicadores económicos, especificaciones técnicas de los camiones, riesgo asociado a un posible cambio de la flota actual de camiones, match pala – camión, metas de producción, seguridad y salud en el trabajo e impacto ambiental. El objetivo es evaluar si al reemplazar la flota de camiones que opera en una mina a tajo abierto los costos operativos disminuirán, por esta razón esta investigación es altamente relevante en la elección de decisiones que impactarán significativamente en los costos operativos a futuro y por lo tanto en los flujos de caja de la mina en estudio.

Las principales motivaciones por las cuales se evalúa el reemplazo de flota de camiones son: disminuir costos operativos, cumplir las metas de producción para los próximos años y la estandarización de flotas camiones.

Palabras clave — camión minero, costos operativos, minería a tajo abierto, análisis económico, algoritmo del costo anual uniforme equivalente.

## **Abstract**

The present quantitative research develops the study that is carried out when evaluating the replacement of the fleet of mining trucks in an open pit mine. Within the structure of unit costs in a mine, the hauling cost represents the highest, there is a measure that increases the depth of the pit, the greater the distance and the cycle time of the trucks that transport material, so the the cost of hauling increases directly proportional to the years of operation of the mine.

In the current study, a technical-economic analysis is carried out in which important factors are considered, such as: main mine kpi's, unit cost structure, economic indicators, technical specifications of the trucks, risk associated with a possible replacement of the current truck fleet, shovel-truck match, production targets, occupational health and safety, and environmental impact. The objective is to evaluate if by replacing the fleet of trucks that operates in an open pit mine the operating costs will decrease, for this reason this research is highly relevant in decision making that will significantly impact future operating costs and therefore in the cash flows of the mine under study.

The main motivations for which the replacement of the truck fleet under study is sought are to reduce operating costs, meet production goals for the coming years and the standardization of truck fleets.

Keywords — Mining trucks, operating cost, open pit mining, economic analysis, equivalent uniform annual cost algorithm.

## Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Introducción.....	xi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del Problema de Investigación.....	1
1.3 Objetivo del Estudio.....	4
1.4 Antecedentes Investigativos.....	4
1.4.1 Antecedentes Investigativos Internacionales.....	4
1.4.2 Antecedentes Investigativos Nacionales.....	5
1.4.3 Antecedentes investigativos locales.....	6
1.5 Hipótesis.....	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 Costos operativos en minería a tajo abierto.....	8
2.1.2 Concepto de reemplazo de equipos.....	9
2.1.3 Causas para el reemplazo de equipos.....	11
2.1.4 Métodos para el reemplazo de equipos.....	12
2.2 Marco conceptual.....	17
2.2.1 Tajo.....	17
2.2.2 Ley.....	17
2.2.3 Modelo.....	17
2.2.4 Mina.....	17
2.2.5 Estéril.....	18
2.2.6 Banco.....	18
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....	19

3.1	Tipo y diseño de la investigación .....	19
3.1.1	Tipo de la investigación basado en el enfoque .....	19
3.1.2	Tipo de la investigación basado en el alcance.....	19
3.1.3	Diseño de la investigación .....	19
3.2	Unidad de análisis .....	19
3.2.1	Equipos de carguío.....	20
3.2.2	Equipos de acarreo .....	20
3.3	Matriz de consistencia .....	21
3.4	Recolección de datos .....	21
3.4.1	Botaderos .....	22
3.4.2	Vida de la mina.....	22
3.4.3	Planta Concentradora.....	24
3.4.4	Tonelaje Movido .....	24
3.4.5	Tiempo de vida de camiones en operación .....	25
3.4.6	Distancias de acarreo .....	26
3.4.7	Consumo de combustible .....	27
3.4.8	Disponibilidad mecánica.....	30
3.4.9	Velocidades.....	32
3.4.10	Costos operativos de mina .....	34
3.4.11	Costos de mantenimiento .....	35
3.5	Procesamiento de datos.....	37
3.5.1	Comparativo de consumo de combustible flotas actuales.....	37
3.5.2	Comparativo de consumo de combustible Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E ....	39
3.5.3	Comparativo de disponibilidad mecánica Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E.....	39
3.5.4	Match Pala – Camión .....	40
3.5.5	Estimación de productividad de camiones.....	41
3.5.6	Cálculo de costos operativos.....	48
3.6	Análisis de la información .....	50

3.6.1	Análisis de costos de Komatsu 980 E y Caterpillar 797 F .....	50
3.6.2	Análisis de inversión de compra de camiones Kom 980 E y Cat 797F .....	51
3.6.3	Equivalencia entre el retador y defensor.....	52
3.6.4	Modelo Matemático Costo Anual Uniforme Equivalente .....	53
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....		59
4.1	Hipótesis nula y contrastación de hipótesis .....	59
4.2	Análisis y discusión de resultados económicos .....	59
4.3	Análisis y discusión de resultados técnicos .....	60
Conclusiones .....		62
Recomendaciones .....		63
Referencias bibliográficas .....		64
Anexos.....		66

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Cantidad de equipos de carguío.....	20
Tabla 2: Cantidad de equipos de acarreo .....	21
Tabla 3: Tiempo de vida de camiones en operación .....	26
Tabla 4: Distancia equivalente por año y por flota de camiones.....	26
Tabla 5: Consumo de combustible histórico Caterpillar 797 F.....	28
Tabla 6: Consumo de combustible histórico Komatsu 930 E.....	29
Tabla 7: Consumo de combustible histórico Caterpillar 793 D .....	29
Tabla 8: Consumo de combustible histórico Komatsu 830 E.....	29
Tabla 9: Consumo de combustible periodo de prueba Komatsu 980 E .....	30
Tabla 10: Disponibilidad mecánica durante periodo de prueba Komatsu 980 E .....	32
Tabla 11: Comparativo de velocidades por pendiente Komatsu 980E y Caterpillar 797F	34
Tabla 12: Estructura de costos de mina .....	35
Tabla 13: Desglose de costo de acarreo.....	35
Tabla 14: Costos de mantenimiento contrato MARC Caterpillar y Komatsu .....	36
Tabla 15: Comparativo de consumo de combustible Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E	39
Tabla 16: Comparativo de disponibilidad mecánica Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E .	40
Tabla 17: Match Pala - Camión.....	40
Tabla 18: Productividad versus distancia equivalente para las 4 flotas en mina.....	42
Tabla 19: Estimados de productividad Caterpillar 793 D.....	44
Tabla 20: Estimados de productividad Komatsu 830 E .....	45
Tabla 21: Productividad versus distancia equivalente Komatsu 980 .....	46
Tabla 22: Estimados de productividad Komatsu 980 E .....	48
Tabla 23: Costo de neumáticos .....	49
Tabla 24: Costo de combustible.....	49
Tabla 25: Costo de labor operador de camión .....	49
Tabla 26: Costos de mantenimiento futuros.....	50

Tabla 27: Costo de combustible Komatsu 980 vs Caterpillar 797 F .....	51
Tabla 28: Capex por compra de 22 camiones.....	52
Tabla 29: Equivalencia de tonelaje entre el retador y defensor .....	53
Tabla 30: Costo de operación y mantenimiento Komatsu 980 E .....	55
Tabla 31: Costo de operación y mantenimiento Komatsu 830 E y Caterpillar 793 D .....	57
Tabla 32: CAUE Retador versus defensor .....	59

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Curvas del valor anual de los elementos de costo que determinan la vida útil económica .....	3
Figura 2: Nuevo plan de botaderos .....	22
Figura 3: Nuevo pit final .....	23
Figura 4: Toneladas de mineral procesados en las plantas concentradoras .....	24
Figura 5: Toneladas de material movidos para los próximos años de vida de la mina ....	25
Figura 6: Disponibilidad mecánica histórica Caterpillar 797F .....	30
Figura 7: Disponibilidad mecánica histórica Komatsu 930E .....	31
Figura 8: Disponibilidad mecánica histórica Caterpillar 793D.....	31
Figura 9: Disponibilidad mecánica histórica Komatsu 830E .....	32
Figura 10: Esquema para el cálculo de velocidades por pendiente.....	33
Figura 11: Comparativo de consumo de combustible (gal/h) para flotas actuales .....	38
Figura 12: Comparativo de consumo de combustible (gal/kt) para flotas actuales .....	38
Figura 13: Regresión para productividad y distancia equivalente flota Caterpillar 793 D.	43
Figura 14: Regresión para productividad y distancia equivalente flota Komatsu 830 E ...	45
Figura 15: Regresión para productividad y distancia equivalente flota Komatsu 980 E ...	47
Figura 16: Movimiento acumulado retador vs defensor.....	60

## Introducción

En la dinámica y desafiante profesión de ingeniería de minas, la eficiencia y la innovación son fundamentales para desarrollar operaciones rentables y sostenibles. En este contexto, la presente tesis se enfoca en un tema indispensable: el reemplazo de camiones obsoletos en minería a tajo abierto como estrategia fundamental para optimizar el rendimiento operativo y reducir los impactos ambientales.

La minería a tajo abierto representa una de las formas más importantes de extracción de recursos minerales a nivel mundial. En este contexto, los camiones desempeñan un rol muy relevante en el transporte de material extraído desde los frentes de trabajo hasta las áreas de procesamiento. Sin embargo, la obsolescencia de la maquinaria y la tecnología utilizada ocasiona una serie de desafíos operativos y económicos.

Esta investigación se propone evaluar detalladamente cómo el reemplazo estratégico de camiones con equipos de última generación influye en la eficiencia general de las operaciones mineras a tajo abierto. Se examinarán aspectos importantes como la mejora en la productividad, la reducción de costos de operativos y de mantenimiento, la disminución de tiempos de inactividad y el impacto positivo en la seguridad laboral. Además, se considerarán los beneficios ambientales derivados de la implementación de tecnologías más limpias y eficientes.

Se presentarán datos empíricos, análisis cuantitativos y un estudio de caso que respalde la relevancia y el impacto del reemplazo de camiones obsoletos en la industria minera a tajo abierto. Con el objetivo de realizar un estudio integral, se evaluarán tanto los aspectos técnicos y financieros como las implicaciones prácticas de esta estrategia. Al concluir, esta tesis se propone mostrar una perspectiva informada y aportar conocimientos valiosos para la elección de decisiones en la gestión de activos y operaciones en el sector minero.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

La presente investigación estudia el problema del incremento de costos operativos por longevidad de flota de camiones en minería a tajo abierto con la finalidad de que en un futuro se genere una herramienta que permita llegar a un escenario de mejora mediante la correcta decisión de reemplazar o retener la flota de camiones que se encuentra operando en una mina.

Si mediante la correcta utilización de un algoritmo de evaluación del reemplazo de flota de camiones se determina que es económicamente viable el reemplazo de la flota no solo generará un impacto económico positivo, además la realidad futura también mejorará en los siguientes aspectos: ergonomía de los operadores, eficiencia la utilización de nuevas tecnologías, seguridad la utilización de nuevos equipos, menor emisión de CO<sub>2</sub> y menor generación de polvo debido a que se utilizarán menos equipos por su mayor capacidad.

La presente investigación utiliza el problema como una oportunidad de mejorar la situación actual de la mina en diferentes ámbitos, de tal forma de lograr una situación futura ventajosa que permita eliminar brechas en los principales indicadores de la operación como por ejemplo cerrar brechas de producción generados por la inoperatividad de equipos. Se recomienda que para lograr este escenario futuro ideal primero se lleve a cabo un estudio de reemplazo idóneo, es decir, saber elegir el algoritmo que mejor se adecúe a las situaciones actuales de la mina en estudio y principalmente determinar el momento oportuno para realizar el reemplazo.

## 1.2 Descripción del Problema de Investigación

En todo proyecto minero a tajo abierto, el mayor costo operativo es representado por el costo de transporte de material el cual se realiza a través de camiones mineros. El componente de transporte suele representar alrededor del 45 % de los costos operativos durante la vida útil de la mina (Tutton et al., 2009).

Debido a la corta distancia de acarreo al inicio de la explotación de una mina el tiempo de ciclo de minado es pequeño. Sin embargo, cuando la vida de la mina se extiende la profundidad del tajo aumenta y por lo tanto también aumenta la distancia la cual se transportará el mineral y desmonte, esto ocasiona que el ciclo de minado se extienda y se reduzca el rendimiento de los camiones por hora. A medida que aumenta la profundidad del tajo, mayor es la distancia y el tiempo de ciclo de los camiones que transportan material. Como resultado, se requieren más camiones para transportar un volumen específico de material. Las fluctuaciones en los precios del combustible, las llantas, las piezas de repuesto, y las emisiones de gases de efecto invernadero debido al sistema de camiones y palas, aumentan los costos operativos (M. Shamsi et al., 2021).

Los altos costos de explotación minera dependen principalmente de la confiabilidad de los equipos que se utilicen y de la gestión de su mantenimiento. Debido a la gran inversión de capital que se realiza en la industria minera, mantener una adecuada operación continua y económicamente eficiente depende de cada proceso minero y de la correcta gestión de los equipos que se utilicen en los diferentes procesos. Es preciso que los proyectos que se realicen por disminuir costos se enfoquen en mejorar la utilización y disponibilidad de camiones y palas mineros, debido a que estos equipos representan más del 70% de los costos operativos en el ciclo de minado. La rentabilidad de una maquinaria depende de su nivel de confiabilidad mecánica, uso de tecnología y gestión de mantenimiento y operación (K. Kyelgyenbai et al., 2021).

Las principales causas por las cuales se deciden retirar un equipo minero son los problemas mecánicos y el alza de los costos de operación. Los desperfectos mecánicos se relacionan con el envejecimiento de los equipos y la destrucción física de las partes mecánicas las cuales provocan dificultades para realizar de forma correcta las labores para las que fueron adquiridas. Los altos costos operativos dependen de la competitividad del equipo, con el tiempo se produce una disminución de la productividad por la necesidad de mantenimiento excesivo lo que causará que cada vez se gaste más dinero en reparar los equipos y su productividad disminuya con los años de operación. Los problemas

operacionales de los equipos en minería ocasionan un incremento en el costo total de mantenimiento, además el desgaste afecta la disponibilidad mecánica e impide que el equipo realice la operación para el cual fue diseñado (E. Guerra y A. Montes, 2019).

En resumen, uno de los mayores problemas de todas las minas a tajo abierto es que a medida que la flota de sus camiones acumula años de operación, incrementan los costos de acarreo, principalmente a los siguientes factores:

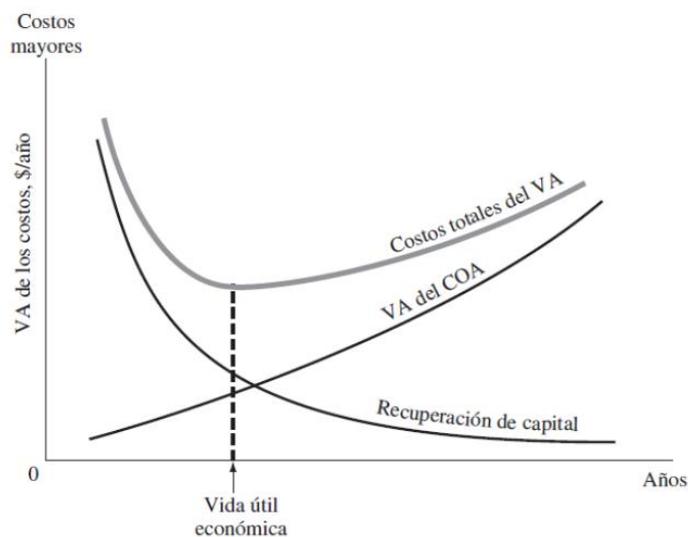
- Incremento de distancias de acarreo
- Incremento del consumo de combustible
- Disminución de velocidades
- Disminución de disponibilidad mecánica
- Incremento del costo de mantenimiento

Lo anteriormente mencionado se resuelve comprando nuevos equipos de acarreo, sin embargo, esto también impacta significativamente en el flujo económico del proyecto minero.

En la Figura 1 se muestra la curva del comportamiento de los costos totales, los costos de operación y mantenimiento, y la recuperación del capital versus la cantidad de años del periodo de estudio.

### Figura 1

*Curvas del valor anual de los elementos de costo que determinan la vida útil económica.*



Fuente: Leland et al, 2012, Ingeniería Económica.

Los años de operación de la flota de acarreo no solo causa el problema del incremento de costos de operación y mantenimiento, también ocasiona problemas de altas emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que la combustión que se genera en el motor es menos eficiente que cuando el equipo estuvo en los primeros años de operación, otro problema es la seguridad al operar los equipos con mayor antigüedad debido a que es muy probable el fallo de algún componente que origine un accidente al operar el equipo, otro problema es la ergonomía con la que trabaja el operador de un equipo antiguo y por último pero no menos importante es el uso de tecnología obsoleta que impida llevar un mejor control sobre el equipo.

¿En qué medida la longevidad de la flota de acarreo incide en los altos costos operativos en una mina a tajo abierto?

### **1.3 Objetivo del Estudio**

Evaluar el reemplazo de flota de camiones en una mina a tajo abierto para reducir costos operativos.

### **1.4 Antecedentes Investigativos**

#### **1.4.1 Antecedentes Investigativos Internacionales**

Al-Chalabi H. (2022). En su artículo de investigación titulado “Development of an economic replacement time model for mining equipment: a case study” indica la importancia de evaluar el remplazo de todo tipo de activos en todas las industrias, además menciona la relevancia de realizar este estudio en la industria minera debido a los altos costos de operación y el tamaño de la inversión.

La importancia de elegir una decisión de reemplazo basada en justificaciones científicas está incrementando a un ritmo sin precedentes, se requieren decisiones de reemplazo efectivas y eficaces. El reemplazo de una maquinaria obsoleta por una nueva varía en función a diversos factores, entre los más importantes están los precios del mercado, cambios tecnológicos, obsolescencia de equipos y seguridad.

Al-Chalabi también destaca la importancia de que las empresas mineras realicen el análisis de costo de ciclo de vida (CCV) para estimar adecuadamente el momento óptimo de remplazo.

Gölbaşı, O. y Dagdelen, K. (2017). En su artículo de investigación titulada “Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck Technology in Open Pit Mines” menciona que el desempeño de la flota de equipos en minería es muy relevante y que impacta directamente en los costos de operación y mantenimiento. El costo de operación y mantenimiento de un equipo está en función de las variables de costo de combustible, costo de neumáticos, costos de repuestos, lubricantes, salarios, herramientas auxiliares, entre otros. Únicamente los costos de mantenimiento constituyen entre el 40 al 50 % los costos totales de operación y mantenimiento de los equipos.

También mencionan el impacto de las altas utilizations de los equipos en la frecuencia de fallas y la disminución de la disponibilidad mecánica. Es preciso que para mantener los costos de operación los más bajos posibles y llevar un mejor control de la producción se consideren las decisiones de reemplazo debido al desgaste de los equipos. Las opciones para considerar son:

- Overhaul completo
- Reemplazo por un equipo nuevo
- Comprar un equipo nuevo y mantener el anterior.

#### **1.4.2 Antecedentes Investigativos Nacionales**

Belizario R. (2017). En su tesis titulada “Evaluación económica - financiera para reemplazar camiones de acarreo de mineral y desmonte en la unidad Corihuarmi - Minera I.R.L. Yauyos – Lima” indica que los estudios que se realizan para generar valor en empresas mineras tienen que ser centrados en evaluaciones técnico – económicas con la finalidad de optimizar procesos e implementar proyectos que favorezcan económicamente a la compañía.

Belizario también menciona que el estudio del reemplazo de camiones de acarreo de mineral y desmonte es crucial en la elección de decisiones que impactarán en el flujo

de caja para los futuros años de la compañía minera, además es fundamental analizar elementos económicos y determinar con la máxima precisión posible el horizonte de evaluación el cual está determinado por la vida útil de la mina en estudio.

Teran G y Rojas W (2021) en su tesis titulada “Análisis para la selección y reemplazo de equipos de acarreo para mejorar la producción en una empresa minera de la libertad 2021” indican que el reemplazo de equipos de acarreo es planteado como un problema de sustitución y de mantenimiento el cual se enfoca de forma determinística o probabilística (estocástico), sin embargo, en minería se desarrolla enfoque determinístico. La solución del problema de reemplazo también implementa una mejora en la gestión de procesos de carguío, acarreo y equipos auxiliares.

En resumen, Teran y Rojas indican que el problema de reemplazo de equipos se resuelve cuando el costo de mantener el equipo actual supera el costo de adquisición y el costo de operación y mantenimiento de un nuevo equipo, siempre y cuando se comparen equipos de las mismas características.

#### **1.4.3 Antecedentes investigativos locales**

Campos J. (2021). Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico, Universidad Nacional de Ingeniería “Modelo de reemplazo de equipos multivariable mediante control difuso para maximizar el beneficio económico de empresas del sector construcción”.

Campos diseña un modelo de reemplazo de equipos para el sector de construcción, sin embargo, es aplicable para cualquier sector productivo. En su investigación considera las variables más importantes para la elección de decisión de reemplazo de equipos. La finalidad del trabajo de investigación de Campos es diseñar un modelo de reemplazo multivariable para determinar el momento apropiado de reposición de un equipo, para cumplir este objetivo una de las variables que considera es el pensamiento humano. La principal diferencia con los modelos clásicos de reemplazo de equipos es que el modelo presentado se enfoca en maximizar el beneficio económico teniendo en cuenta los costos contables de operación y mantenimiento, los costos implícitos de obsolescencia, los costos

por tiempo de parada de equipo, costos por crecimiento del sector de construcción y ejecución de nuevos proyectos.

El modelo multivariable proporciona resultados similares a los modelos clásicos de reemplazo, el modelo que diseña Campos es una alternativa de solución al problema de reemplazo de equipos con múltiples variables de entrada y reglas de control difuso, se obtienen resultados que aprueban los expertos en base a la experiencia.

### **1.5 Hipótesis**

Al evaluar el reemplazo de flota de camiones se reducirán costos operativos en minería a tajo abierto.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Costos operativos en minería a tajo abierto

Darling P. (2011). "SME Mining Engineering Handbook". Los costos operativos son aquellos incurridos en el transcurso normal de una operación minera, para el cálculo se excluyen la depreciación, costos no monetarios, financiamiento e impuestos. Los costos operativos también se definen como el egreso del flujo de dinero que se gasta en insumos para la producción del producto final con la finalidad de generar un flujo de ingreso. El costo operativo en minería se relaciona con la producción, el costo operativo se divide por el número de toneladas extraídas, mediante esta relación se genera una métrica utilizada para comparar la eficiencia de la mina en diferentes procesos y operaciones unitarias, esta métrica está expresada en US\$/ton. Los dos principales procesos en los cuales se gasta son el carguío y acarreo de mineral y estéril. Generalmente estos procesos representan entre el 30 % al 50 % de los costos operativos en los que se incurre para llevar a cabo la extracción de material fuera del tajo abierto ya sea hacia los botaderos, stocks o chancadoras.

Hickson R. y Owen T. (2015). "Project Management for Mining". Los costos operativos en proyectos son estimados y se obtienen utilizando las siguientes fuentes:

- Costos vigentes de mano de obra, combustibles, energía, reactivos.
- Experiencia local o pasada de la compañía.
- Referencia de proyectos similares en la región.
- Cálculo utilizando manuales para estimación.

Los costos de mantenimiento se estiman utilizando manuales y tablas de los fabricantes y generalmente están basados en un porcentaje del costo de la maquinaria. Los costos totales se dividen por área de trabajo y se expresan en dólares, los costos operativos unitarios se expresan por unidad de tonelada extraída en US\$/ton. Si se contrata a una empresa tercera encargada de operar y mantener equipos de extracción

como por ejemplo camiones mineros, se considera importante revisar los costos contractuales por tonelada movida y los cargos por exceder o disminuir las distancias según lo planificado, además los cargos por movilización, desmovilización, gastos generales, costos de mano de obra y de equipos auxiliares. En un contrato de mantenimiento los costos son estimaciones en base a experiencia del desempeño de equipos similares del mismo fabricante en operaciones semejantes y están expresados en estimaciones porcentuales del costo inicial de la maquinaria.

### **2.1.2 Concepto de reemplazo de equipos**

Darling P. (2011). "SME Mining Engineering Handbook". El tiempo de vida de un proyecto minero desarrolla un rol muy importante en el análisis de reemplazo de un equipo, es fundamental considerar cuál es el método de minado, la flota actual con la que se opera y si se realiza el minado con equipos propios o de terceros. Las empresas mineras pequeñas generalmente presentan restricciones de capital y optan por la tercerización de equipos, el poco capital disponible también ocasiona que las empresas puedan comprar equipos ya utilizados los cuales serán reemplazados en los primeros años de operación según el tiempo de vida del proyecto minero. Comúnmente los análisis económicos de reemplazo de equipos son demasiado subjetivos. El alza del costo de mantenimiento y la baja disponibilidad son las principales motivaciones para el reemplazo de un equipo, el costo de mantenimiento está compuesto por la mano de obra del mantenimiento y los repuestos. La cantidad de mantenimiento que requiere un equipo está en función a la condición de este y también a las horas de funcionamiento. Cuando un equipo es sometido a un adecuado proceso de overhaul, los costos de mantenimiento serán similares a los costos de un equipo que ha estado en funcionamiento durante unos pocos años, sin embargo, los requisitos del mantenimiento de este equipo aumentarán a una tasa de envejecimiento que es casi el doble que de un equipo nuevo.

Abbaspour H. y Maghaminik A. (2016). En su artículo de investigación titulado "Equipment replacement decision in mine based on decision tree algorithm" resalta la importancia de que un profesional de ingeniería de minas tenga en cuenta la gestión de

recursos, específicamente de los equipos debido a que en todo proyecto de ingeniería el reemplazo de activos afecta el estado económico actual y futuro de la empresa. Los equipos de minería alcanzan la edad de reemplazo al promediar los 5 años para camiones, 10 a 15 años para cargadores y 5 a 10 años para perforadoras, sin embargo, también mencionan que existen casos en los cuales no es necesario reemplazar el equipo durante el todo el tiempo de vida de la mina. La decisión de reemplazar los equipos en una compañía minera es un gran desafío que enfrentan los altos mandos de la compañía debido al tamaño de la inversión que requiere la compra de un equipo nuevo.

Douglas D. Gransberg (2015). En su reporte titulado "Major Equipment Lyfe-cycle Cost Analysis" menciona que la evaluación del costo de ciclo de vida de un equipo se utiliza como herramienta para que la gerencia o dirección de una compañía tome la decisión de reemplazar, reparar o retener algún activo sobre la base de vida útil económica del equipo. La finalidad de evaluar el reemplazo de flotas de equipo es desarrollar una técnica sólida que permita optimizar la rentabilidad general. Douglas también encontró que la tasa de interés aplicada para desarrollar el estudio de reemplazo impacta muy significativamente en el estudio de evaluación de reemplazo de equipos. Además, concluye que el precio de combustible es el insumo más crítico al determinar la vida económica del activo, debido a que el combustible se financia con el presupuesto de operaciones y mantenimiento, cuando un equipo incrementa su tiempo de vida también incrementa el consumo de combustible, y, por lo tanto, actualizar un equipo se convierte importante debido a la utilización de nuevas tecnologías.

Cruvinel E. y Marques U. (2019). "LCC Methodology Application for Equipment Replacement Strategy Definition" indica que la evaluación de reemplazo de un activo es una práctica común que se utiliza para elegir una decisión estratégica la cual considera la disminución de costos de operación y mantenimiento, y, además mejora la eficiencia operativa. Cruvinel y Marques resaltan que las nuevas tecnologías dejan obsoletos los equipos con rapidez. La principal dificultad en una evaluación de reemplazo de flota es conocer el momento óptimo de reemplazo dentro de la vida económica de un activo.

Gabriel Baca (2011). "Fundamentos de Ingeniería Económica" refiere que todas las empresas productoras de bienes o servicios que han adquirido algún activo (excepto terrenos) deben de plantearse el reemplazar dicho activo en algún momento de su vida, sin importar que el activo presente una larga vida útil, por ejemplo, los edificios, los cuales también deben de ser reemplazados. El problema que se formula es ¿Cuándo es favorable reemplazar un activo desde un enfoque económico? En un proyecto en curso el reemplazo de activos requiere de una inversión adicional para la compra de uno nuevo, el desembolso para la compra del nuevo activo se compensará con la disminución o eliminación de los problemas que presenta el activo en uso, desde otra perspectiva, se espera disminuir costos, incrementar la productividad y la calidad.

### **2.1.3 Causas para el reemplazo de equipos**

Sullivan et al. (2004). "Ingeniería Económica". Generalmente se plantea un problema de reemplazo de equipos cuando suceden acontecimientos financieros desfavorables. Cuando se plantea el problema de evaluar el reemplazo, retiro o incremento de un equipo se espera revertir una situación económica desfavorable o mejorar la situación actual de la compañía.

El reemplazo de equipos es una práctica común en muchas industrias, obtiene una gran relevancia en minería principalmente por la magnitud de los equipos utilizados, por el impacto en el costo operativo y en los futuros flujos financieros de la empresa. Adicionalmente las nuevas tecnologías conllevan a una actualización que tendrá que ser evaluada mediante métodos matemáticos descritos más adelante.

En un análisis de reemplazo es necesario determinar los siguientes puntos.

- Vida económica del activo
- El avance de la tecnología
- Horizonte de planeación
- Disponibilidad de capital

Las decisiones de reemplazo nos permiten determinar si un equipo está trabajando de forma óptima y conocer si los costos de operación se reducirán mediante la adquisición

de un nuevo equipo con mejor desempeño, también permite averiguar el momento más indicado en donde se tendrá que reemplazar un equipo.

Según Sullivan se describen cuatro principales razones que resumen la mayor parte de los factores que por los cuales es apropiado evaluar el reemplazo de un equipo.

**2.1.3.1 Desgaste.** El término se refiere al deterioro que es ocasionado por la utilización de un equipo. Es común que el desempeño de un equipo disminuya por la continua operación. Se incrementan los costos de mantenimiento, así como la cantidad de repuestos que se necesitan, también se aumenta la cantidad de combustible que el equipo utiliza o el uso de energía. El desgaste del equipo en ocasiones genera eventos inesperados que terminan en accidentes que afectan la condición física del operador.

**2.1.3.2 Modificación de requerimientos.** Las necesidades de la compañía cambian a medida que varía el mercado y las nuevas necesidades económicas para satisfacer al cliente final, esto implica nuevos requerimientos que los equipos actuales tendrán que cumplir y de no ser así se evaluará un posible cambio.

**2.1.3.3 Tecnología.** El continuo avance tecnológico y el impacto del uso de las nuevas tecnologías varía en diferentes tipos de activos. Con frecuencia los nuevos avances tecnológicos influirán favorablemente sobre los equipos, lo cual generará que los activos que ya existen sean reemplazados con mayor frecuencia por unos nuevos con mayor equipamiento tecnológico.

**2.1.3.4 Financiamiento.** Los factores financieros también implican oportunidades que generalmente son externos a la operación o uso de los equipos, sin embargo, llegan a implicar consideraciones impositivas como por ejemplo situaciones en donde rentar equipos sea más favorable que poseerlos.

#### **2.1.4 Métodos para el reemplazo de equipos**

Gransberg et al. (2006). "Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners". Existen diversos métodos para el reemplazo de equipos, la mayoría de estos se basan en fundamentos de la ingeniería económica. El análisis de reemplazo de algún activo (por ejemplo, un camión) es un método el cual permite al

propietario de dicho activo encontrar el momento óptimo en el cual sustituir un activo antiguo (defensor) por uno nuevo con nuevas características (retador).

A continuación, se describirán algunos de los principales algoritmos matemáticos teóricos y prácticos para llevar a cabo este importante análisis.

**2.1.4.1 Método intuitivo.** Gransberg et al. (2006). "Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners". Tal como su nombre indica el método intuitivo se basa en el juicio de una o varias personas con un nivel de confianza alto como para elegir una decisión de reemplazo basándose en diferentes experiencias o comparaciones con casos similares. El método intuitivo es uno de los más utilizados debido a su alto nivel de simplicidad.

Generalmente se elige la decisión de reemplazar el activo cuando alcanza un nivel significativo de obsolescencia, cuando se ha encontrado con un retador con características más apropiadas, o en el comienzo de un nuevo trabajo que requiera un retador más apropiado. La disponibilidad de capital desarrolla un rol importante en la elección de decisión de reemplazo para el activo.

La desventaja de este método es principalmente no tener una base económica para elegir la decisión de reemplazar un activo antiguo.

**2.1.4.2 Método del máximo beneficio.** Gransberg et al. (2006). "Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners". Este algoritmo está basado en maximizar el beneficio asociado a algún activo. El método tendrá que ser utilizado única y exclusivamente en empresas que son capaces de generar ingresos y ganancias asociadas directamente al funcionamiento del activo a evaluar. Este método tendrá buenos resultados si las ganancias se asocian correctamente al funcionamiento del activo que será evaluado, sin embargo, no siempre es fácil realizar esta relación entre las ganancias y el activo, generalmente existen otros factores los cuales afectan las ganancias y se omiten en el análisis, por ejemplo, en minería, el molino de la planta de procesamiento el cual está completamente aislado de los camiones mineros.

Todo indica que este no es el método apropiado para realizar un correcto análisis en el presente estudio. En esta evaluación se calcula los ingresos y costos anuales luego se restan ambos para cuantificar la ganancia anual tanto del retador como del defensor, este cálculo se realizará año a año, luego se compararán el valor máximo de la ganancia anual del defensor versus el valor máximo de la ganancia anual del retador, finalmente el mayor de estos indicará la decisión que se tome.

**2.1.4.3 Método del periodo de recuperación.** Gransberg et al. (2006). “Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners”. Este método consiste en calcular el periodo de recuperación de capital del retador y del defensor tal como su nombre lo indica. El periodo de recuperación de un activo es la cantidad de tiempo que se tardará en recuperar la inversión realizada en la compra de este. La recuperación de capital se calcula utilizando el total de los ahorros netos después de impuestos y el beneficio fiscal por depreciación sin tener en cuenta los costos de financiamiento. Este método proporciona una métrica que se basa en el tiempo y no en el dinero y permite comparar alternativas en función del tiempo que tarda cada posible equipo en recuperar su inversión. El método del período de recuperación es útil cuando es difícil pronosticar el flujo de caja del equipo debido a la inestabilidad del mercado, la incertidumbre inherente y los cambios tecnológicos. Este método surge de la teoría económica de la ingeniería clásica y, por lo tanto, no pretende identificar la vida económica del equipo o los efectos económicos más allá del período de recuperación. Por lo tanto, se recomienda que este método se utilice junto con otros métodos de análisis para proporcionar otro punto de vista que optimice la decisión de reemplazo del equipo. En este algoritmo se comparará el periodo de recuperación de capital del retador vs el defensor, el menor de estos será el más indicado.

**2.1.4.4 Método del costo anual uniforme equivalente.** Gabriel Baca (2011) “Fundamentos de Ingeniería Económica”. El método del costo anual uniforme equivalente (CAUE) se aplica para reemplazar equipos o sistemas que requieran de una inversión extra, este método se enfoca en facilitar la toma de decisiones considerando los costos de

cada alternativa. Uno de los ejemplos para la aplicación del método del CAUE es cuando se requiera realizar un análisis de reemplazo de uno o más equipos que realicen un subproceso industrial que elabore parte de un producto o servicio, sin embargo, el equipo en sí no fabrica directamente el producto o servicio que se vende para generar beneficio económico, sino que, es parte de un proceso que se requiere para vender un producto o entregar un servicio.

El CAUE representa el presupuesto anual de costos sin considerar la inflación y se calcula mediante los costos de distinto monto y concepto, se expresa en una sola cantidad que por ser anualizado es uniforme durante la vida útil del equipo y está calculado en su valor equivalente. Además, puede existir una situación en donde se consideren los ingresos, para este cálculo los ingresos tendrán un signo positivo y los costos un signo negativo. Para el cálculo solo se utilizan los costos futuros para el tiempo de vida del proyecto, los datos históricos de los costos y precios de adquisición del activo a reemplazar solo sirven de referencia, sin embargo, no son tomados en cuenta en el cálculo del costo anual uniforme equivalente, pues lo único que se considera relevante son los datos desde el tiempo cero (presente) hacia adelante.

Tarquin A. y Blank. L (2012) "Ingeniería Económica". Se considera que Blank y Taquin utilizan el término VA para referirse al costo anual uniforme equivalente (CAUE). Los autores mencionan que para realizar este análisis es muy importante primero encontrar la vida útil económica (VUE) del activo. La VUE es el número de años en que son mínimos los costos del valor anual (VA) uniforme equivalente, considerando las estimaciones del costo más vigentes durante todos los años en los cuales el activo suministra el servicio.

La VUE indica que el activo debe reemplazarse para disminuir los costos totales. Para llevar a cabo correctamente un análisis de reemplazo es importante determinar la VUE del retador y la del defensor, debido a que por lo general sus valores no están preestablecidos.

La VUE se determina al calcular el VA total de los costos si el activo está en servicio un año, dos años, tres años, etcétera, hasta el último año en que el activo se considere

útil. El VA total de costos es la suma de la recuperación de capital (RC), que es el VA de la inversión inicial y cualquier valor de rescate, así como el VA del costo de operación anual (COA).

$$\begin{aligned} VA_{total} &= \text{recuperación de capital} - VA_{\text{del costo de operación anual}} \\ &= RC - VA_{\text{del COA}} \end{aligned}$$

La recuperación de capital es el costo anual de la inversión, además se añade el valor de rescate (S) el cual normalmente disminuye con el tiempo de operación.

$$\text{Recuperación de capital (RC)} = -P(A/P, i, n) + S(A/F, i, n)$$

Donde:

P = inversión inicial o valor comercial actual.

S = valor de rescate.

i = tasa de interés.

n = número de años.

El siguiente término de la ecuación (VA del costo de operación anual) es el costo anual uniforme del activo en análisis, es decir, los costos de operación y mantenimiento del activo que por lo general son distintos todos los años y aumentan cada vez que acumulan más años de operación.

$$CAUE = VA_k \text{ total} = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j(P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

Donde:

P = inversión inicial o valor comercial actual

Sk = valor de rescate o valor comercial después de k años

COAj = costo anual de operación y mantenimiento por año j (j = 1 a k)

(A/P, i, k) = Se refiere a hallar el valor anualizado del monto presente P en k años y con una tasa i mediante la fórmula:  $A/P = P * \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ .

(A/F, i, k) = Se refiere a hallar el valor anualizado del monto futuro F en k años y con una tasa i mediante la fórmula:  $A/F = F * \frac{i}{(1+i)^n - 1}$

(P/F,i,j) = Se refiere a hallar el valor presente del monto futuro F en n años y con una tasa i mediante la fórmula:  $P/F = F * (1 + i)^{-n}$ .

Finalmente, para elegir la mejor alternativa de reemplazo de un equipo mediante el costo anual uniforme equivalente se comparan los valores absolutos del |VA defensor| y |VA retador|, el menor de ambos representa el menor costo y por ende la mejor alternativa.

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Tajo**

Dentro de la presente investigación se emplea la palabra tajo cuando se refiere al método de explotación de una mina a cielo abierto. Una mina a tajo abierto se aplica cuando el cuerpo de mineral se encuentra cerca de la superficie y se emplean métodos mecánicos o explosivos para retirar parte del terreno en forma de bancos.

### **2.2.2 Ley**

Se utilizará la palabra ley cuando se refiera a la concentración de algún elemento valioso dentro de una determinada muestra y se expresará en porcentaje. Por ejemplo, una ley de cobre de 2.0 % significa que de 100 kg de muestra existen 2 kg de cobre puro. La ley nos proporciona una noción de cuán valiosa es una muestra determinada.

### **2.2.3 Modelo**

Se utilizará la palabra modelo cuando se refiera a un modelo matemático que se utiliza para analizar la relación entre una o más variables. En este caso el modelo de reemplazo de equipos ayudará a entender mejor el comportamiento de los costos versus los años de vida del proyecto minero y también nos ayuda a predecir cuál será la tendencia de los costos a futuro.

### **2.2.4 Mina**

Se utilizará la palabra mina cuando se refiera a un yacimiento de mineral en explotación, está conformada por las distintas labores que se requieren para realizar la extracción de un cuerpo mineral del subsuelo.

### **2.2.5 Estéril**

En la presente investigación se utilizará la palabra estéril cuando se refiera a todo material sin valor económico que se extrae mediante los métodos de explotación en una mina.

### **2.2.6 Banco**

Se utilizará la palabra banco cuando se refiera a los cortes que se realicen en un yacimiento minero a tajo abierto. En estos cortes también son niveles en los cuales se divide el yacimiento para facilitar los trabajos de perforación, carguío y acarreo.

## **Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación**

### **3.1 Tipo y diseño de la investigación**

#### **3.1.1 Tipo de la investigación basado en el enfoque**

El tipo de la presente investigación con respecto al enfoque es cuantitativo, debido a que cumple con seis de las siete características epistemológicas de una investigación cuantitativa.

En la característica de percepción de la realidad, la presente investigación es objetiva, se utilizarán instrumentos de recolección de datos cualitativos. En razonamiento, la investigación es deductiva, se contrastará la hipótesis planteada. En finalidad, la investigación está orientada a la comprobación de la hipótesis planteada. En orientación, la investigación está orientada a resultados. En principio de la verdad, la investigación se particulariza para un determinado sector. En causalidad, la investigación se basa en datos históricos.

#### **3.1.2 Tipo de la investigación basado en el alcance**

El tipo de la presente investigación con respecto al alcance es correlacional, debido a que se determinará el grado de correlación que existe entre las variables años de operación de la flota de camiones, disponibilidad mecánica y finalmente costos operativos.

#### **3.1.3 Diseño de la investigación**

El diseño de la presente investigación es experimental, debido a que se realizarán pruebas de campo en ambientes controlados para corroborar los resultados obtenidos mediante los algoritmos matemáticos descritos en el marco teórico, esto permitirá elegir una decisión acertada.

### **3.2 Unidad de análisis**

La presente investigación se desarrolla en Compañía Minera Antapaccay, una mina a tajo abierto ubicada en Cusco, Perú, la compañía alcanzó una producción de 171,000 toneladas de cobre fino en 2021 según su reporte de sostenibilidad, además ese mismo año aportó el 7.4 % de la producción nacional de cobre en Perú, es una mina que siempre

se enfoca en superar sus objetivos y optimizar la operación en base a tecnologías capaces de incrementar el desempeño global, mejorando y agilizando los diferentes procesos productivos y de seguridad.

La mina opera en 02 tajos, tajo norte y tajo sur, ambos corresponden a depósitos tipo Skarn - Pórfido de Cu, con valores marginales de Ag y Au, la mineralización de cobre se encuentra diseminada y en venillas hospedada en monzonitas y diorita, al contacto con las rocas sedimentarias cretácicas calcáreas formaron cuerpos irregulares de skarn, y stockwork en hornfels y cuarcitas conteniendo valores de cobre, pero estos representan un componente menor de todos los recursos.

Se han diferenciado dos sectores denominados:

- Tajo Norte con 1500 x1600 m. ligeramente elongado en dirección NW-SE.
- Tajo Sur siendo el más extenso con 2300 x 1700 a 430 m en dirección NW-SE.

Los afloramientos en el área del Proyecto son limitados a algunos de caliza y mármol al NW y SE; así como afloramientos de intrusivos dacíticos en el área de Atalaya. Muchas de las descripciones litológicas fueron hechas de muestras de perforación.

### **3.2.1 Equipos de carguío**

Actualmente se operan un total de 06 palas eléctricas, 01 pala diésel y 02 cargadores frontales los cuales están resumidos en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1**

*Cantidad de equipos de carguío.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Capacidad de cuchara (y3)</b>	<b>Carga por cuchara (t)</b>
P&H 2800 XPB	2	43	57
CAT 7495 AC	4	73	115
CAT 6060 FS	1	34	53
CAT 994 F	2	24.5	38
Total	9		

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2 Equipos de acarreo**

Actualmente se cuenta con un total de 55 camiones mineros, los cuales pertenecen a 04 distintas flotas de las marcas Komatsu y Caterpillar según la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2***Cantidad de equipos de acarreo.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Capacidad de carga (t)</b>
Komatsu 830 DC	11	210
Komatsu 930 DC	9	290
Caterpillar 793 D	10	225
Caterpillar 797 F	25	360
<b>Total</b>	<b>55</b>	

Fuente: Elaboración propia.

La actual flota de camiones Cat 797 trabaja mediante contrato con Ferreyros con el soporte de Caterpillar. Estos camiones nunca han logrado las metas propuestas a pesar de intervenciones significativas de Caterpillar.

### 3.3 Matriz de consistencia

<b>TÍTULO</b>	Evaluación del reemplazo de flota de camiones para reducir costos en minería a tajo abierto.
<b>PROBLEMA</b>	¿En qué medida la longevidad de la flota de acarreo incide en los altos costos operativos en una mina a tajo abierto?
<b>OBJETIVO</b>	Evaluar el reemplazo de flota de camiones en una mina a tajo abierto para reducir costos operativos.
<b>HIPÓTESIS</b>	Al evaluar el reemplazo de flota de camiones se reducirán los costos operativos en minería a tajo abierto.
<b>VARIABLES</b>	<b>DEPENDIENTE</b> Costos operativos
	<b>INDEPENDIENTE</b> Evaluación del reemplazo de flota de camiones
<b>INDICADORES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disponibilidad mecánica de camiones</li> <li>* Velocidad de camiones</li> <li>* Costo de operación y mantenimiento</li> <li>* Consumo de combustible</li> <li>* Payload</li> </ul>
<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tabla de distancia equivalente por flota</li> <li>* Tabla de consumo de combustible por flota</li> <li>* Tabla de velocidades por pendiente y por flota</li> <li>* Tabla de costo por tonelada movida</li> <li>* Tabla de costos de mantenimiento versus tiempo de operación</li> </ul>

### 3.4 Recolección de datos

En la presente sección se muestran los datos recopilados mediante los instrumentos de recolección especificados en la sección de anexos, también datos

puntuales que son relevantes para establecer un correcto horizonte de evaluación del reemplazo de flota de camiones.

Cabe resaltar que únicamente se muestran datos relevantes para cumplir el objetivo de la presente investigación y realizar una correcta evaluación de reemplazo de flota de camiones.

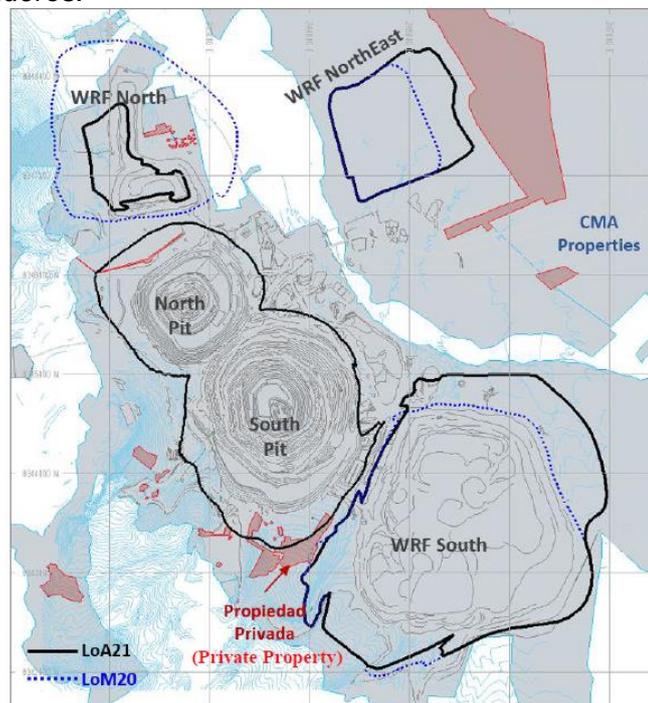
### 3.4.1 Botaderos

Se diseñaron de acuerdo con las áreas propiedad de la mina, resultando en una disminución de la capacidad del Botadero Norte debido a que la negociación planificada de la compra de tierras no fue exitosa. Esto ocasionó que se planifique aumentar la capacidad del Botadero Sur y del Botadero Noreste.

En la Figura 2 se muestra la nueva distribución de botaderos debido a cambios en la negociación de compra de tierras.

**Figura 2**

*Nuevo plan de botaderos.*



Fuente: Documento interno "Reporte LoA 21 Antapaccay".

### 3.4.2 Vida de la mina

La mina en estudio realiza una serie de simulaciones teniendo como lineamientos las metas del nuevo plan de minado LoA 2021 para revisar si es factible evitar comprar

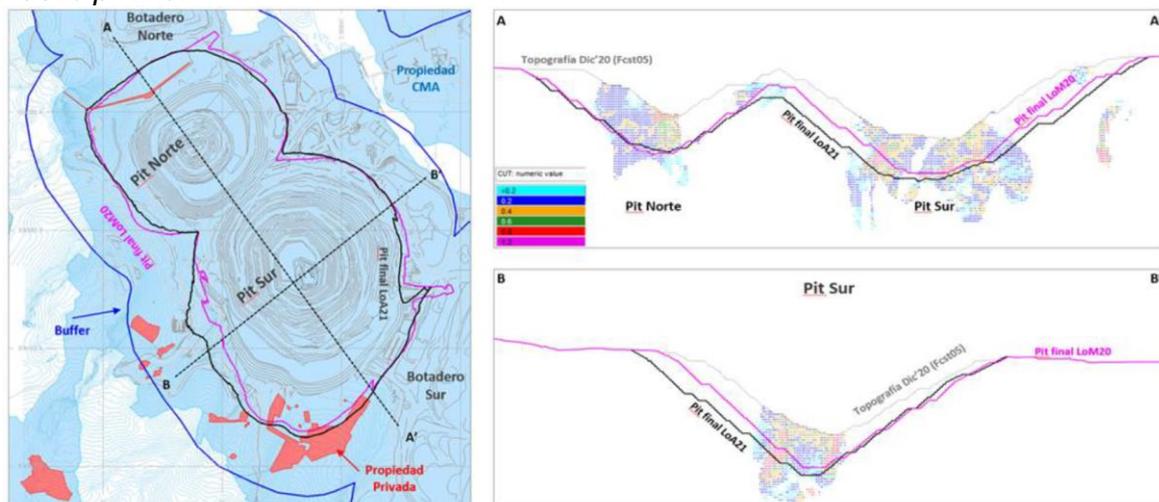
más equipos tanto de acarreo como de carguío. Como resultado, el efecto de no comprar más equipos impacta negativamente en el movimiento de material, siendo imposible lograr con éxito el budget y planes futuros; ya que la operación sería ineficiente por retrasos en los tiempos de producción.

Se logró incrementar los recursos de mineral en base al modelo geológico, de tal forma que se pudo aumentar 2 años de vida a la mina. Asimismo, se incrementa el Strip Ratio de 2.8 a 3.2.

En la Figura 3 se observa la línea de color magenta, la cual representa el pit final del plan del LOM 2020 y la línea de color negro la cual representa el pit final del nuevo plan 2021 LoA 2021.

### Figura 3

*Nuevo pit final.*



Fuente: Documento interno "Reporte LoA 21 Antapaccay".

Se prioriza el minado en el Tajo Sur debido a que presenta un mayor número de fases que no requieren adquisición de propiedad de terceros; sin embargo, operar este tajo significa desarrollar una relación de desbroce más alta y, como consecuencia, requiere mover más tonelaje de desmonte para obtener el mineral

Para cumplir exitosamente con el nuevo plan de minado se requiere incorporar 1 pala de las dimensiones de la actual Caterpillar 7495 y 22 camiones de las dimensiones de la actual flota de camiones Caterpillar 797F.

Con la finalidad de elegir adecuadamente la nueva flota de camiones a incorporarse, la mina se propone la opción de comprar camiones Komatsu 980 los cuales presentan la misma capacidad de carga que los camiones Caterpillar 797F. Mediante un acuerdo con Komatsu, se pondrán a prueba 04 camiones de la flota Komatsu 980E en la operación, con la finalidad de evaluar su desempeño en campo y compararlos con la flota Caterpillar 797F y las demás flotas que operan en mina.

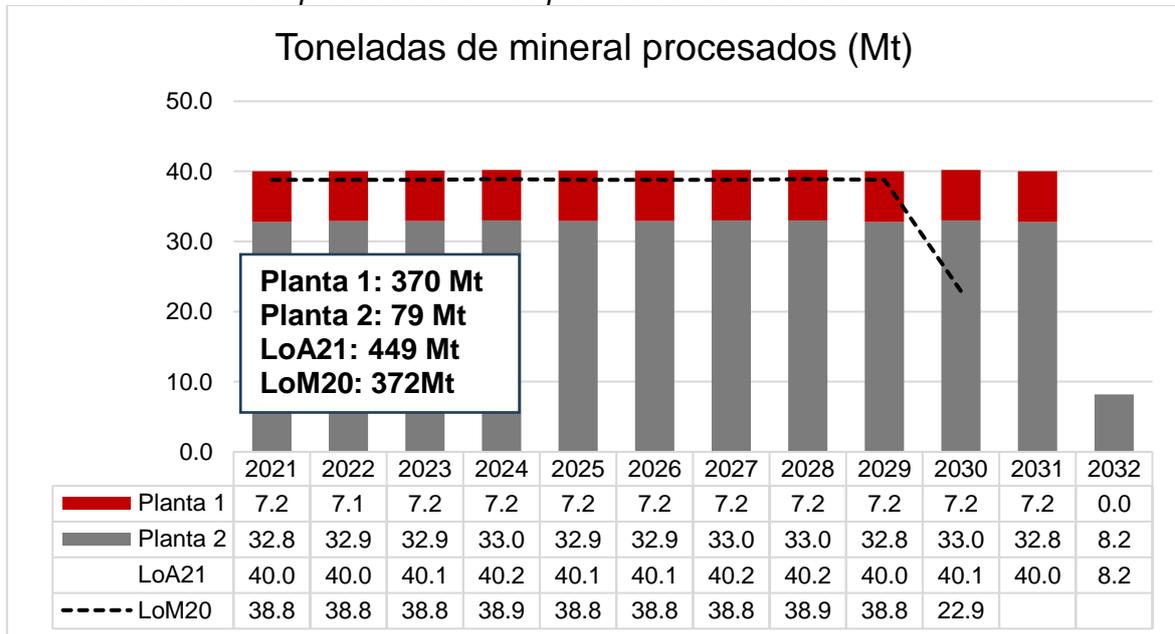
### 3.4.3 Planta Concentradora

El performance de la planta concentradora se incrementa, logrando alcanzar un tonelaje de 40 millones de toneladas procesadas por año, 1.2 millones de toneladas más comparado con lo planificado anteriormente en 2020.

En la Figura 4 se observa el cuadro de toneladas procesadas según el nuevo plan y comparado con el plan 2020.

**Figura 4**

*Toneladas de mineral procesados en las plantas concentradoras.*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.4 Tonelaje Movido

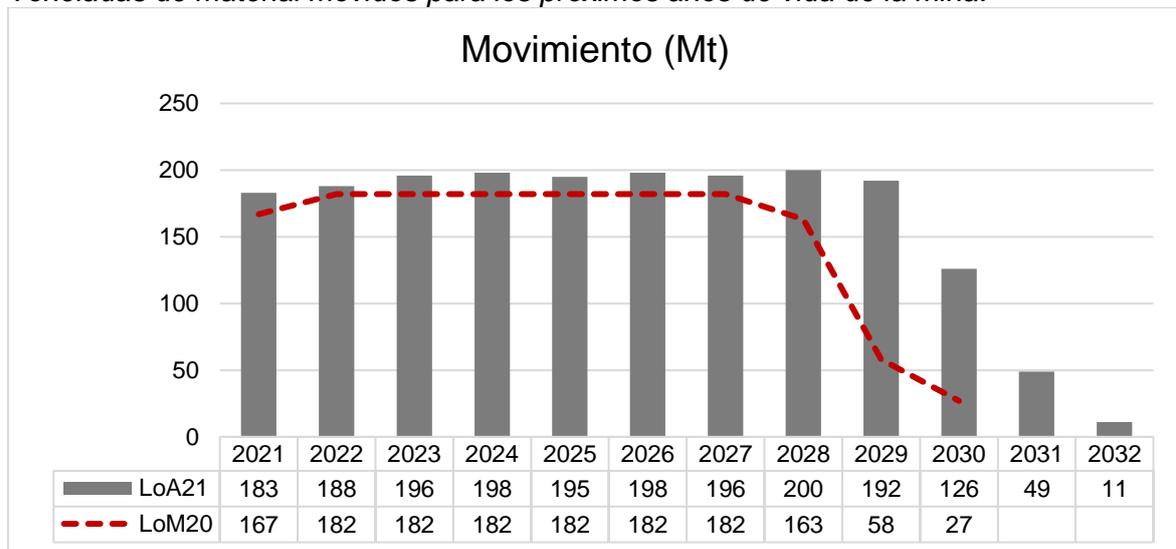
La nueva planificación considerando los cambios en los botaderos, incremento de capacidad de la planta concentradora y extensión de la vida de la mina resulta en un aumento sostenido en el tonelaje movido para los próximos años, sobre todo por el

aumento de la distancia equivalente debido a la reducción de la capacidad del botadero norte, esto conllevará a descargar aproximadamente 200 millones de toneladas de desmonte minado desde el tajo norte hacia el botadero sur. Y además el incremento de la vida de la mina.

En la Figura 5 se muestra el incremento de toneladas movidas por año debido a la modificación del nuevo plan de minado para los futuros años de la mina.

**Figura 5**

*Toneladas de material movidos para los próximos años de vida de la mina.*



Fuente: Elaboración propia.

El material movido en el nuevo plan del 2021 se incrementa significativamente, lo cual impacta directamente con la necesidad de aumentar la capacidad de carguío y acarreo. Las simulaciones concluyen en la necesidad de incorporar una nueva pala eléctrica de similar dimensión a la pala más grande que actualmente opera en la mina en estudio, la CAT 7495, y además incorporar 22 camiones de las dimensiones de Caterpillar 797.

### **3.4.5 Tiempo de vida de camiones en operación**

En la operación minera actualmente se trabaja con un total de 55 camiones mineros que han sido comprados en diferentes años según el plan inicial de minado y según el desarrollo de la mina.

En la Tabla 3 se muestra la tabla con el detalle del año de ingreso de cada flota y los años de operación hasta el 2021.

**Tabla 3**

*Tiempo de vida de camiones en operación.*

Modelo	Cantidad de camiones	Año de ingreso	Edad (años)
CAT 797 F	25	2016	5
KOM 930 E	9	2012	9
CAT 793 D	10	2007	14
KOM 830 E	11	2000	21

Fuente: Elaboración propia.

La flota Komatsu 830 E es la flota más antigua en operación con 21 años de antigüedad y alrededor de 130,000 horas de operación, también es importante dar a conocer que esta flota no realiza buen match con las palas que actualmente se encuentran en operación, así como también presentan limitaciones mecánicas por sobrecalentamiento de rueda motriz, motivo por el cual se existe la restricción operativa de solo trabajar en rampas con pendientes menores a 9 % y en las rutas más cortas de acarreo.

### **3.4.6 Distancias de acarreo**

Para realizar la recolección de datos de distancias de acarreo se ha decidido medir las distancias equivalentes y no distancias inclinadas.

También es importante mencionar que las flotas de camiones pequeños como los camiones Komatsu 830 y Caterpillar 793 generalmente son asignados a rutas cortas, como de stocks a chancadora primaria, debido a la restricción operativa que presentan.

En la Tabla 4 se muestran las distancias que han recorrido todas las flotas de camiones desde el año 2015 hasta el año 2021.

**Tabla 4**

*Distancia equivalente por año y por flota de camiones.*

		Distancia Equivalente (Km)							
Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio
Flota	CAT 797 F	8.5	9.7	12.3	8.9	13.9	13.5	13.0	11.4
	KOM 930 E	7.0	6.5	8.0	7.3	6.9	7.4	8.9	7.4
	CAT 793 D	7.8	9.2	10.9	8.6	10.3	12.0	11.6	10.1
	KOM 830 E	7.0	8.0	8.5	6.0	8.4	7.2	7.0	7.4

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 4, las flotas Komatsu 830 y Caterpillar 793 recorren prácticamente la misma distancia de acarreo en promedio desde el 2015. Mientras que las flotas Komatsu 930 y Caterpillar 797 recorren similares distancias de acarreo, superando en magnitud a las flotas más pequeñas.

Este resultado ya era pronosticable ya que como se mencionó líneas arriba las flotas Komatsu 830 y Caterpillar 793 operan con restricciones operativas y por lo tanto se les asigna rutas cortas y con menores pendientes.

Adicionalmente, se infiere que es necesario realizar el comparativo de consumo de combustible por separado, es decir, de las flotas Komatsu 930 vs Caterpillar 797 y Komatsu 830 vs Caterpillar 793.

#### **3.4.7 Consumo de combustible**

La recopilación de datos de consumo de combustible se ha realizado bajo las mismas condiciones para las distintas flotas de camiones, los parámetros como la cantidad de carga que transportadas y las rutas de acarreo recorridas (pendientes, longitudes, amplitud de vías, etcétera) han sido debidamente controladas para posteriormente comparar los valores de consumo de combustible adecuadamente.

La mina en estudio trabaja con un sistema de asignación de camiones dinámico mediante el software Dispatch®, logrando maximizar la producción y el uso efectivo de los recursos. Este software asigna camiones a diferentes puntos de carguío basado en 3 modelos matemáticos: programación lineal, programación dinámica y mejor ruta, si se analiza una gran cantidad de viajes como por ejemplo todos los viajes del año, finalmente se obtendrán similares condiciones para todas las flotas de acarreo con excepción de la flota Komatsu 830 y Cat 793, la primera por tener la restricción de sobrecalentamiento de rueda motriz en pendientes pronunciadas y la segunda por baja velocidad en rampas positivas.

También es importante resaltar que el consumo de combustible es expresado mediante 2 diferentes unidades de medida, el primero se refiere a cuántos galones consume un camión por hora (gal/h) y el segundo es calculado en base al consumo de

galones por hora y la cantidad de toneladas que transporta el camión por viaje, resultando en la unidad (gal/kt).

Antes de realizar la recolección de datos de consumo de combustible, primero se mencionará a continuación los principales factores que influyen en el consumo de combustible de un camión minero.

- Payload (Cantidad de carga que transporta el camión).
- Distancia y pendientes ruta de acarreo.
- Estado de vías de acarreo.
- Velocidades por pendiente.
- Cambio de marchas durante la operación (RPM's del motor).
- Estado de filtro de combustible.

En cuanto al payload, se llevó un estricto control para que las diferentes flotas carguen el tonelaje objetivo para el cual están diseñados y según recomendación del fabricante; para efectos prácticos se considerará constante.

**3.4.7.1 Consumo de combustible flota Caterpillar 797 F.** Actualmente la flota Caterpillar 797 F es la flota con mayor capacidad de carga en la mina en estudio y también es la que mayor distancia recorre por viaje debido a que no presenta restricciones operativas.

En la Tabla 5 se muestran los datos de consumo de combustible desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Caterpillar 797 F.

**Tabla 5**

*Consumo de combustible histórico Caterpillar 797 F.*

		Consumo de combustible (gal/h)							
	Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio ponderado
Flota	Cat 797	76	78	83	81	78	80	78	79

Fuente: Elaboración propia.

**3.4.7.2 Consumo de combustible flota Komatsu 930 E.** La flota Komatsu 930 E es la segunda flota con mayor capacidad de carga en la mina en estudio y también la

segunda que mayor distancia recorre por viaje, esta flota tampoco presenta restricciones operativas.

En la Tabla 6 se muestran los datos de consumo de combustible desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Komatsu 930 E.

**Tabla 6**

*Consumo de combustible histórico Komatsu 930 E.*

		Consumo de combustible (gal/h)							
Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio ponderado
Flota	Kom 930	57	59	58	59	60	61	61	59

Fuente: Elaboración propia.

**3.4.7.3 Consumo de combustible flota Caterpillar 793 D.** La flota Caterpillar 793 D es la segunda flota más antigua en operación, esta flota presenta restricciones de asignación a equipos de carguío debido a bajas velocidades.

En la Tabla 7 se muestran los datos de consumo de combustible desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Caterpillar 793 D.

**Tabla 7**

*Consumo de combustible histórico Caterpillar 793 D.*

		Consumo de combustible (gal/h)							
Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio ponderado
Flota	Cat 793	44	43	48	45	45	43	42	44

Fuente: Elaboración propia.

**3.4.7.4 Consumo de combustible flota Komatsu 830 E.** La flota Komatsu 830 E es la flota más antigua en operación, esta flota presenta restricciones de asignación a equipos de carguío debido a sobrecalentamiento de motor y rueda motriz.

En la Tabla 8 se muestran los datos de consumo de combustible desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Komatsu 830 E.

**Tabla 8**

*Consumo de combustible histórico Komatsu 830 E.*

		Consumo de combustible (gal/h)							
Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio ponderado
Flota	Kom 830	44	45	47	46	45	48	50	46

Fuente: Elaboración propia.

**3.4.7.5 Consumo de combustible flota Komatsu 980 E.** Como se mencionó, la flota Komatsu 980 E está trabajando a modo de prueba para compararla con la flota Caterpillar 797F y elegir una decisión de compra de los 22 camiones adicionales según el nuevo plan de minado LoA21.

En la Tabla 9 se muestran los datos de consumo de combustible durante el periodo de prueba para la flota Komatsu 980 E.

**Tabla 9**

*Consumo de combustible periodo de prueba Komatsu 980 E.*

Consumo de combustible (gal/h)				
Flota	Set-21	Oct-21	Nov-21	Promedio ponderado
Kom 980E	68.3	70.9	68.7	69.3

Fuente: Elaboración propia.

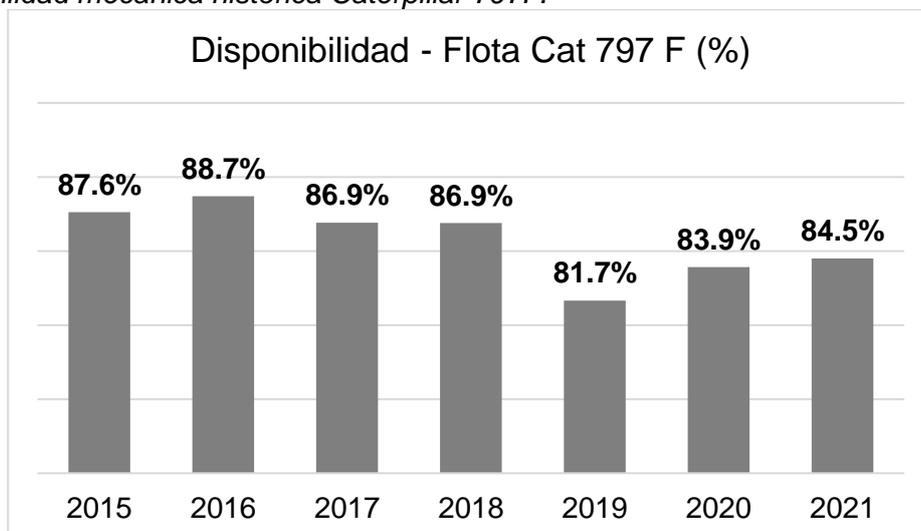
**3.4.8 Disponibilidad mecánica**

**3.4.8.1 Disponibilidad mecánica flota Caterpillar 797 F.** La flota Caterpillar 797 F es la más nueva en la operación, sin embargo, también es flota con menor disponibilidad mecánica de todas las flotas que operan actualmente en la mina en estudio.

En la Figura 6 se muestran los datos de disponibilidad mecánica desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Caterpillar 797 F.

**Figura 6**

*Disponibilidad mecánica histórica Caterpillar 797F.*



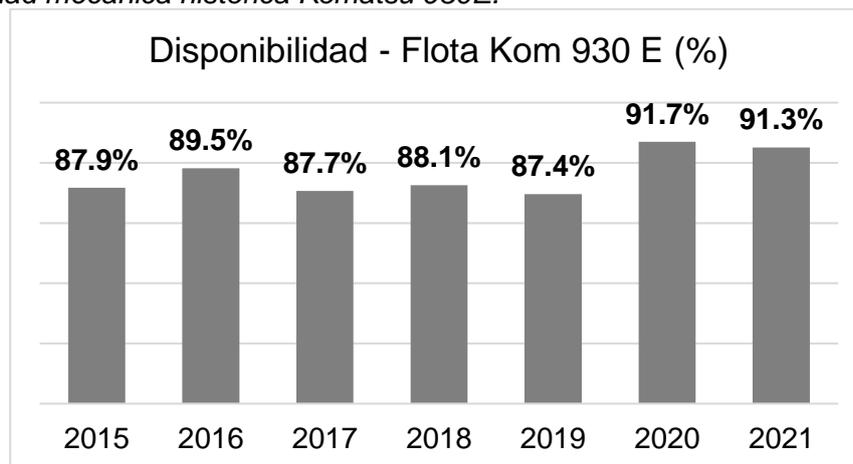
Fuente: Elaboración propia.

**3.4.8.2 Disponibilidad mecánica flota Komatsu 930 E.** La flota Komatsu 930 E es la más que mejor desempeño mecánico tiene en la operación, alcanzando disponibilidades por encima del 90 % en los dos últimos años.

En la Figura 7 se muestran los datos de disponibilidad mecánica desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Komatsu 930 E.

**Figura 7**

*Disponibilidad mecánica histórica Komatsu 930E.*



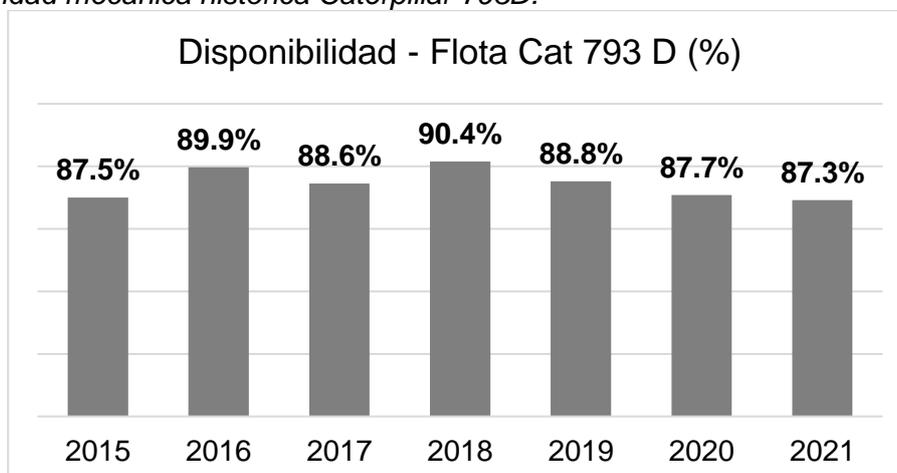
Fuente: Elaboración propia.

**3.4.8.3 Disponibilidad mecánica flota Caterpillar 793 D.** La flota Caterpillar 893 D ha cumplido con lo prometido por el fabricante en términos de desempeño mecánico.

En la Figura 8 se muestran los datos de disponibilidad mecánica desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Caterpillar 793 D.

**Figura 8**

*Disponibilidad mecánica histórica Caterpillar 793D.*



Fuente: Elaboración propia.

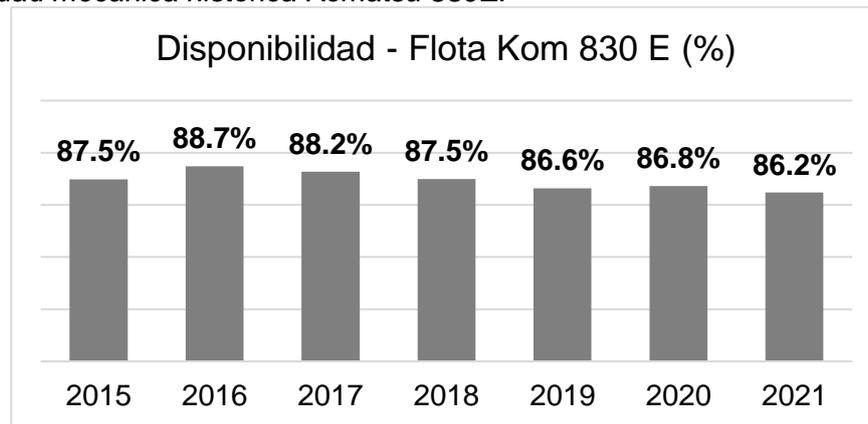
#### 3.4.8.4 Disponibilidad mecánica flota Komatsu 830 E.

La flota Komatsu 830 E también ha cumplido con lo establecido por el fabricante en términos de desempeño mecánico.

En la Figura 9 se muestran los datos de disponibilidad mecánica desde el 2015 hasta el 2021 año por año para la flota Caterpillar 793 D.

**Figura 9**

*Disponibilidad mecánica histórica Komatsu 830E.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.8.5 Disponibilidad mecánica flota Komatsu 980 E.

Durante el periodo de prueba la flota Komatsu 980 logró desempeñarse por encima de lo establecido por el fabricante en términos de disponibilidad mecánica.

En la Tabla 10 se muestran los datos de disponibilidad mecánica durante el periodo de prueba para la flota Komatsu 980 E.

**Tabla 10**

*Disponibilidad mecánica durante periodo de prueba Komatsu 980 E.*

Flota	Disponibilidad mecánica (%)			
	Set-21	Oct-21	Nov-21	Promedio ponderado
Kom 980E	95.0	95.3	94.4	94.8

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.9 Velocidades

En el presente estudio es importante determinar qué flota de camiones se considerará para la evaluación del replazo de la actual flota, por esta razón es muy relevante determinar las velocidades por pendiente de los posibles replazantes, las flotas

Komatsu 980 E y Caterpillar 797 F, ya que este factor influirá directamente en el rendimiento (t/h) de estos camiones.

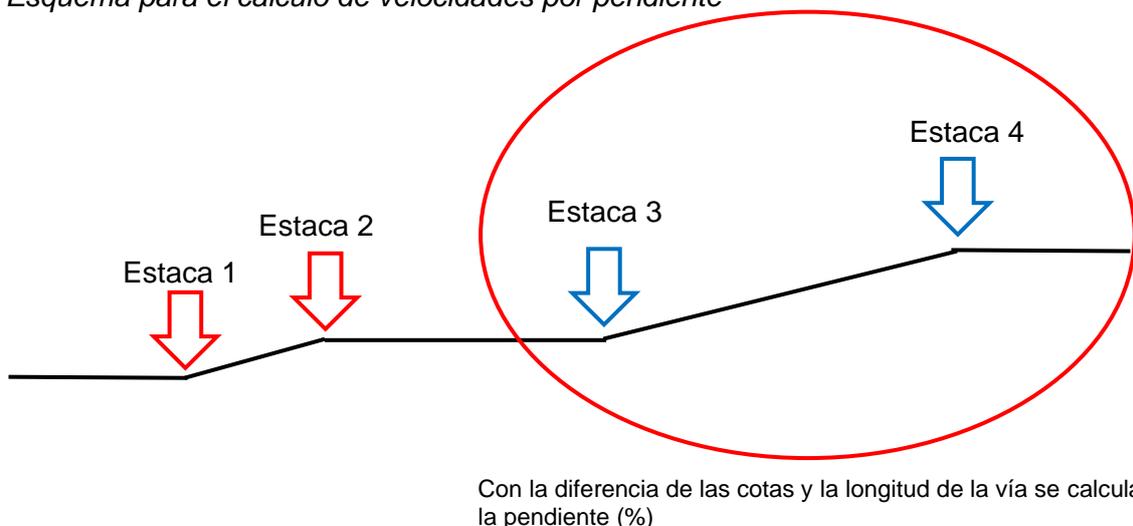
Para esta prueba se realizaron las siguientes actividades.

- Se midieron las cotas de la ruta de acarreo donde se realizó la prueba.
- Se colocaron estacas de distintos colores que indiquen la pendiente por la cual transitó el camión.
- Se midieron las distancias entre estaca y estaca.
- Se midió el tiempo que demora en transitar el camión entre estaca y estaca tanto cargado como vacío.

En la Figura 10 se muestra el diagrama que se utilizó para el cálculo de las velocidades por pendiente

### Figura 10

*Esquema para el cálculo de velocidades por pendiente*



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los 3 meses de prueba se muestran en la Tabla 11, los valores representan el promedio de las velocidades de los 04 camiones más nuevos de Caterpillar 797F y los 04 camiones de prueba de Komatsu 980E. Para diferenciar mejor, los números resaltados de color verde indican una mayor velocidad.

**Tabla 11**

*Comparativo de velocidades por pendiente Komatsu 980E y Caterpillar 797F.*

Pendiente (%)	Velocidad por pendiente (km/h)			
	Cat 797F		Kom 980E	
	Cargado	Vacío	Cargado	Vacío
12	9.4	24.1	9.8	24.7
11	10.5	25	10.9	25.6
10	11.7	26	12.2	26.7
9	13.1	26.9	13.6	26.9
8	14.7	28	15.1	28.1
7	16.5	29	16.8	29.3
6	18.5	30.1	18.8	30.6
5	20.9	31.2	20.7	32
4	23.3	32.4	23.1	33.4
3	25.9	33.6	25.9	34.9
2	28.9	34.9	29	36.4
1	32.2	36.2	32.5	38
0	35.9	37.6	36.4	39.7
-1	32.3	34.6	34.4	39.6
-2	30.5	33.4	31.3	37.9
-3	28.8	32.2	28.5	36.4
-4	27.2	31	25.9	34.9
-5	25.7	29.9	23.6	33.4
-6	24.3	28.8	21.5	32
-7	22.9	27.8	19.6	30.7
-8	21.6	26.8	17.8	29.4
-9	20.4	25.8	16.2	28.2
-10	19.3	24.9	14.8	27
-11	18.2	24	13.4	25.9
-12	17.2	23.1	12.2	24.9

Fuente: Elaboración propia.

La flota Komatsu 980 E es la que desarrolla un mejor desempeño en cuanto a velocidad, lo cual significa una oportunidad de reducir los tiempos de ciclo de acarreo si es que se decide comprar camiones de esta flota.

#### **3.4.10 Costos operativos de mina**

La Tabla 12 muestra los costos de mina expresado en dólares por tonelada movida (\$/t) por cada operación unitaria, también se muestra en la última columna el porcentaje del impacto de cada actividad sobre el costo total.

**Tabla 12***Estructura de costos de mina.*

Descripción	Costo (\$/t)	Porcentaje (%)
Mine Management	0.04	4%
Drilling	0.04	3%
Blasting	0.13	13%
Loading	0.07	7%
Hauling	0.61	61%
Open Pit (Construction & Dewatering)	0.11	11%
Total	1.01	100

Fuente: Elaboración propia.

El costo total de mina es 1.01 \$/t, siendo la actividad de acarreo el que mayor impacto sobre el costo total de mina con un 61 %.

**3.4.10.1 Costo de Acarreo.** Para un mejor entendimiento de la composición del costo de transporte, se realizó el desglose de costos de transporte el cual se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13***Desglose de costo de acarreo.*

Hauling	Costo (\$/t)	Porcentaje (%)
Labor	0.04	6%
Combustible	0.41	67%
Llantas	0.13	21%
Contratistas / Servicios	0.03	6%
Hauling Total	0.61	100%

Fuente: Elaboración propia.

En el transporte solo el costo de combustible es el 67% del costo total de acarreo, lo cual representa el 41 % del costo total de mina. Le sigue el costo de neumáticos con un impacto del 21% sobre el costo de acarreo.

**3.4.11 Costos de mantenimiento**

Para estimar y obtener un valor con el cual comparar los costos de mantenimiento de las nuevas flotas a adquirir se pidió a Caterpillar y Komatsu los costos de mantenimiento a futuro siguiendo los lineamientos de MARC (Contrato de reparación y mantenimiento), en donde ambos proveedores tendrán que poner a disposición de la mina en estudio personal especialista en ambas flotas.

La respuesta de Caterpillar y Komatsu se resume en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Costos de mantenimiento contrato MARC Caterpillar y Komatsu.*

		Propuesta de CATERPILLAR					Propuesta de KOMATSU				
Intervalo (hr)		Disp. Mecánica	Disp. Física	Partes US\$/hr	Labor US\$/hr	Labor + Partes US\$/hr	Disp. Mecánica	Disp. Física	Partes US\$/hr	Labor US\$/hr	Labor + Partes US\$/hr
-	6,000	90%	88%	2.8	37.5	40.3	92%	90%	24.5	31.1	55.6
6,000	12,000	90%	88%	14.5	37.5	52.0	91%	89%	60.7	31.1	91.8
12,000	18,000	90%	88%	199.7	37.5	237.2	90%	88%	74.6	31.1	105.7
18,000	24,000	90%	88%	132.1	37.5	169.6	90%	88%	259.0	31.1	290.1
24,000	30,000	90%	88%	11.2	37.5	48.7	89%	87%	42.3	31.1	73.4
30,000	36,000	90%	88%	210.0	37.5	247.5	87%	85%	96.7	31.1	127.8
36,000	42,000	90%	88%	135.8	37.5	173.3	87%	85%	225.1	31.1	256.2
42,000	48,000	90%	88%	20.3	37.5	57.8	87%	85%	64.3	31.1	95.4
48,000	54,000	90%	88%	199.5	37.5	237.0	86%	84%	99.2	31.1	130.3
54,000	60,000	90%	88%	131.5	37.5	169.0	86%	84%	105.3	31.1	136.4
		90%	88%	105.7	37.5	143.2	88%	86%	105.2	31.1	136.3

Fuente: Elaboración propia.

Ambos proveedores incluyeron beneficios adicionales en términos de descuentos en repuestos, componentes principales, entre otros, al optar por comprar los camiones junto con el contrato MARC. Parte de estos beneficios se ven reflejados en sus respectivas tarifas de repuestos y costos de mano de obra en sus contratos MARC.

En el caso de ambos contratos, el pool de componentes al final del contrato se repara y pasa a formar parte de la mina en estudio, transfiriendo la propiedad. Ambas propuestas incluyen el costo de los filtros y mantenimiento del aire acondicionado de los camiones.

Se muestra que los costos de mantenimiento son menores en la flota Komatsu 980, sin embargo, también se observa que cerca de cumplir las 30,000 horas la disponibilidad de esta flota cae por debajo de la de Caterpillar.

Los beneficios de elegir un contrato MARC son:

- No se tendrá que lidiar con problemas de ausentismo o licencias sindicales.
- No se contratará personal nuevo debido al aumento de camiones en los próximos años.
- No se tendrá que pagar bonificaciones tales como utilidades si se contratase personal nuevo.
- Permite hacer una separación más ordenada del personal en la operación.

### **3.5 Procesamiento de datos**

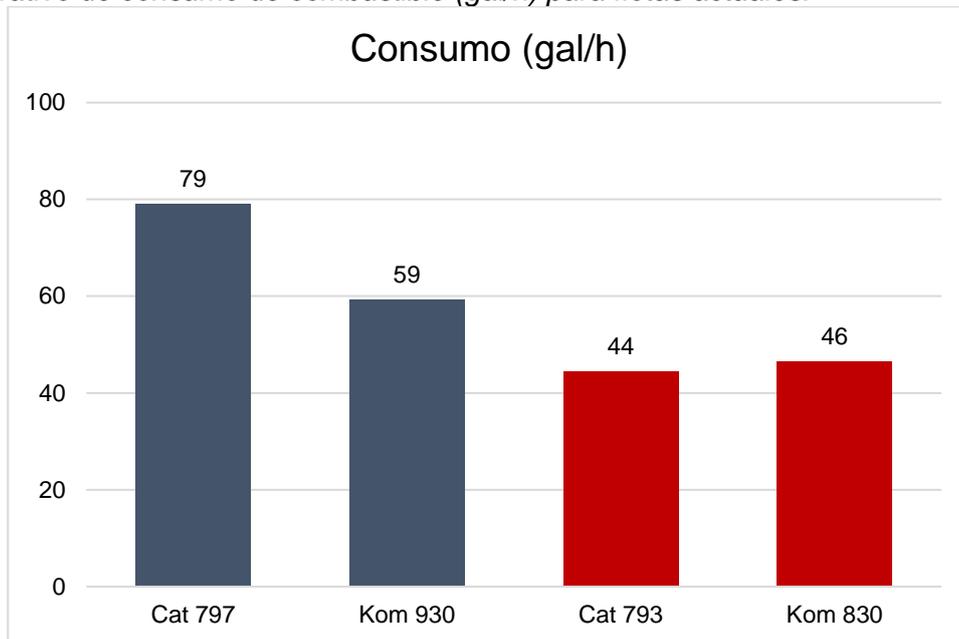
#### **3.5.1 Comparativo de consumo de combustible flotas actuales**

Para realizar un correcto comparativo del consumo de combustible es necesario acotar que las flotas Komatsu 830 E y Caterpillar 793 D presentan restricciones operativas y que generalmente son asignados a rutas similares. Las flotas Komatsu 930 E y Caterpillar 797 F no presentan restricciones operativas.

La Figura 11 muestra el gráfico de consumo de combustible expresado en gal/h para las flotas disponibles en mina.

**Figura 11**

*Comparativo de consumo de combustible (gal/h) para flotas actuales.*

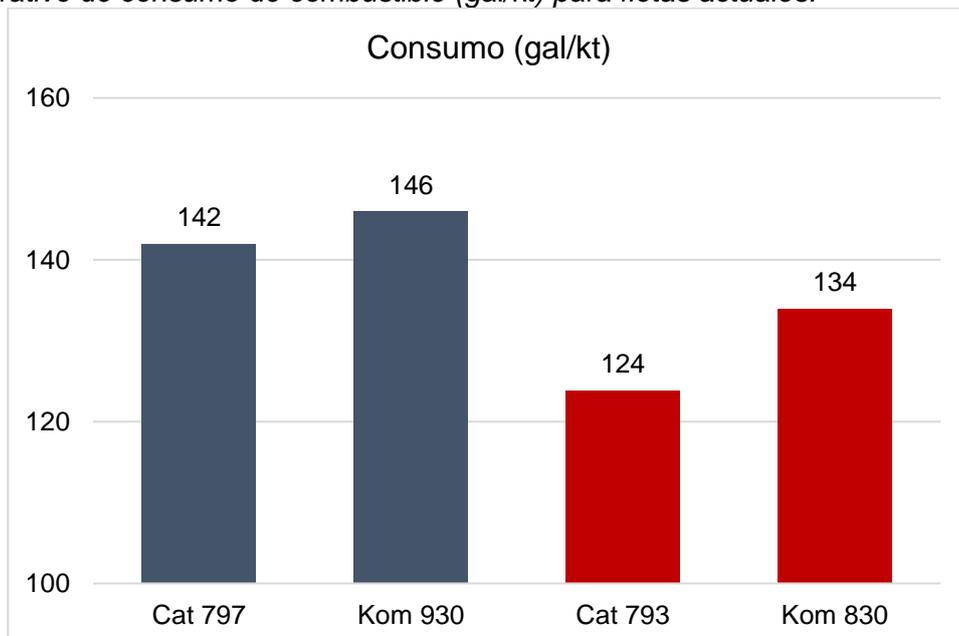


Fuente: Elaboración propia.

También se calculó el consumo de combustible expresado en gal/kt, este indicador expresa la cantidad de galones que consume cada flota para transportar mil toneladas de material, los resultados de muestran en la Figura 12.

**Figura 12**

*Comparativo de consumo de combustible (gal/kt) para flotas actuales.*



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la flota Caterpillar consume menos combustible que la flota Komatsu.

### **3.5.2 Comparativo de consumo de combustible Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E**

Se evaluó el desempeño los camiones Komatsu y Caterpillar en las mismas condiciones tales como: pendientes, payload, distancia de acarreo, etcétera, además para esta prueba se seleccionó los 04 camiones más nuevos de Caterpillar 797 y los camiones de prueba Komatsu 980. Los resultados de estas pruebas en campo se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Comparativo de consumo de combustible Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E.*

<b>Consumo de combustible (gal/h)</b>				
<b>Flota</b>	<b>Set-21</b>	<b>Oct-21</b>	<b>Nov-21</b>	<b>Promedio ponderado</b>
Cat 797F	74.1	76.9	73.6	74.9
Kom 980E	68.3	70.9	68.7	69.3

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los camiones Komatsu consumen 5.6 galones menos por cada hora que la flota Caterpillar, no es necesario calcular la cantidad de galones consumidas por cada kilotonelada transportada ya que ambos transportan la misma cantidad de tonelaje y el consumo seguirá siendo menor para Komatsu.

### **3.5.3 Comparativo de disponibilidad mecánica Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E.**

Durante los 03 meses de prueba se ha medido la disponibilidad mecánica de los camiones Komatsu 980, y para mantener igualdad en la comparación se ha vuelto medir la disponibilidad mecánica de los 04 camiones más nuevos de Caterpillar y con intervención significativa de Ferreyros.

Los resultados se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Comparativo de disponibilidad mecánica Caterpillar 797 F y Komatsu 980 E.*

Disponibilidad mecánica (%)				
Flota	Set-21	Oct-21	Nov-21	Promedio ponderado
Cat 797F	86.8	84.3	84.9	84.4
Kom 980E	95.0	95.3	94.4	94.8

Fuente: Elaboración propia.

Es significativa la superioridad de Komatsu en el desempeño mecánico, supera a Caterpillar por prácticamente 10 % de disponibilidad, a pesar de que las pruebas se desarrollaron haciendo el máximo esfuerzo para mantener la igualdad de condiciones como por ejemplo en: filtros, mangueras, fluidos, sistema eléctrico, etcétera.

### **3.5.4 Match Pala – Camión**

Para lograr maximizar la productividad global es necesario que el par pala – camión tenga un dimensionamiento adecuado, es decir, que tengan un buen match. Si la pala carga al camión con más de 6 pases, el tiempo del ciclo incrementará y reducirá la producción. Por otro lado, si la pala carga al camión con 2 pases, se tendrá una flota de carguío sobredimensionada y se perderá productividad por el tiempo de cuadrado de camiones.

En términos generales y como regla de oro se ha determinado que el manejando valores de 3 o 4 pases para llenar la tolva del camión mejorará la productividad efectiva.

En la Tabla 17 se muestra cantidad de pases necesarios para cargar completamente la flota de camiones disponibles.

**Tabla 17**

*Match Pala - Camión.*

Equipo	Número de pases			
	Cat 7495AC	P&H 2800XPB	Cat 6060FS	Cat 994F
Komatsu 830 E	2	4	4	6
Komatsu 930 E	3	6	5	8
Caterpillar 793 D	2	4	4	6
Caterpillar 797 F	4	7	6	10

Fuente: Elaboración propia.

La flota más importante de carguío es la CAT 7495, sin embargo, se observa que no realiza buen match pala – camión con todos los camiones, únicamente es bueno el match entre dicha pala y las flotas Caterpillar 797 F y Komatsu 930 E.

### **3.5.5 Estimación de productividad de camiones**

La productividad de la flota de acarreo depende de los tiempos de ciclo del camión, los tiempos de ciclo están en función a la velocidad y la distancia que recorre el camión en cada viaje que realiza. Las velocidades de los camiones varían muy poco y al realizar el análisis se consideran constantes. Por lo tanto, la productividad de los camiones está relacionada de forma inversa a la distancia de acarreo, mientras mayor es la distancia, menor es la productividad.

Los datos históricos de productividad y distancia equivalente para las 4 flotas que operan actualmente en la mina en estudio se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18***Productividad versus distancia equivalente para las 4 flotas en mina.*

Año	Komatsu 830 E		Caterpillar 793 D		Komatsu 930 E		Caterpillar 797 F	
	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)
2015	7.0	361	7.0	392	7.8	524	8.5	693
2016	8.0	344	6.5	410	9.2	473	9.7	687
2017	8.5	335	8.0	348	10.9	404	12.3	528
2018	6.0	379	7.3	356	8.6	447	8.9	671
2019	8.4	322	6.9	374	10.3	393	13.9	520
2020	7.2	353	7.4	359	12.0	358	13.5	489
2021	7.0	355	8.9	315	11.6	337	13.0	493

Fuente: Elaboración propia.

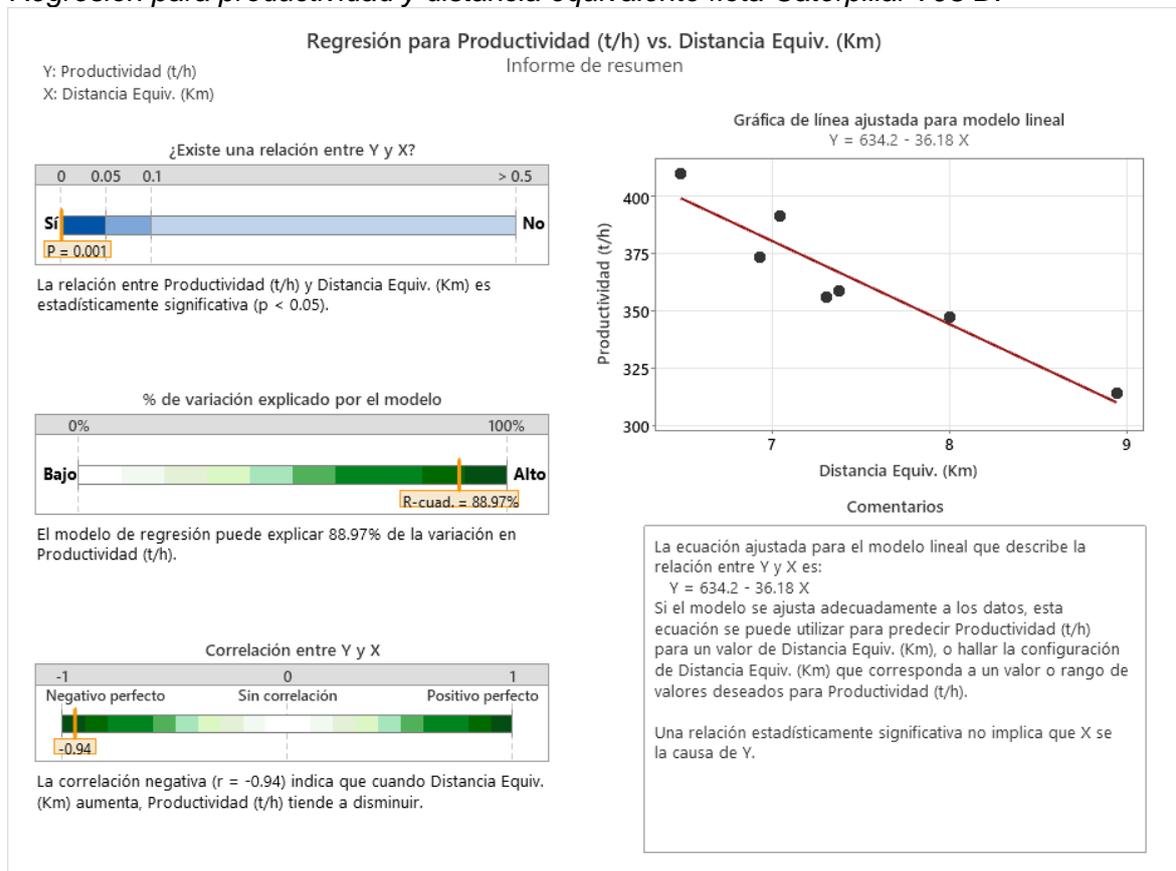
En el presente estudio se evaluará el reemplazo de las flotas Caterpillar 793 D y Komatsu 830 E, ya que ambas flotas son las que presentan mayor tiempo en operación. Los valores de distancia equivalente y productividad para estas flotas fueron analizados a través del software Minitab® para estimar la relación matemática que existen entre estas dos variables y estimar las productividades para los próximos años.

**3.5.5.1 Productividad versus distancia flota Caterpillar 793 D.** La Figura 13 muestra el informe del análisis de regresión entre las variables productividad y distancia equivalente para la flota Caterpillar 793 D.

El análisis de regresión nos muestra una fuerte correlación negativa que indica que mientras la distancia equivalente aumenta la productividad disminuye, además concluye en la existencia de una relación que se ajusta al modelo de regresión lineal estadísticamente significativa con un valor de  $p = 0.001$ .

**Figura 13**

*Regresión para productividad y distancia equivalente flota Caterpillar 793 D.*



Fuente: Reporte obtenido con datos procesados en Minitab®.

La ecuación para calcular la productividad de los camiones Caterpillar 793 D teniendo como variable la distancia equivalente es:

$$Productividad \left(\frac{t}{h}\right) = 634.2 - 36.18 * Distancia\ equivalente(km)$$

La distancia equivalente es un dato proporcionado por el área de planeamiento a largo plazo en base a las simulaciones del plan de minado.

Se calculó las productividades hasta el 2031 y los resultados se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Estimados de productividad Caterpillar 793 D.*

FLOTA		
Caterpillar 793 D		
Año	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)
2022	9.3	298
2023	9.2	301
2024	9.6	287
2025	8.6	323
2026	9.1	305
2027	8.4	330
2028	9.3	298
2029	8.7	319
2030	8.3	334
2031	8.2	338

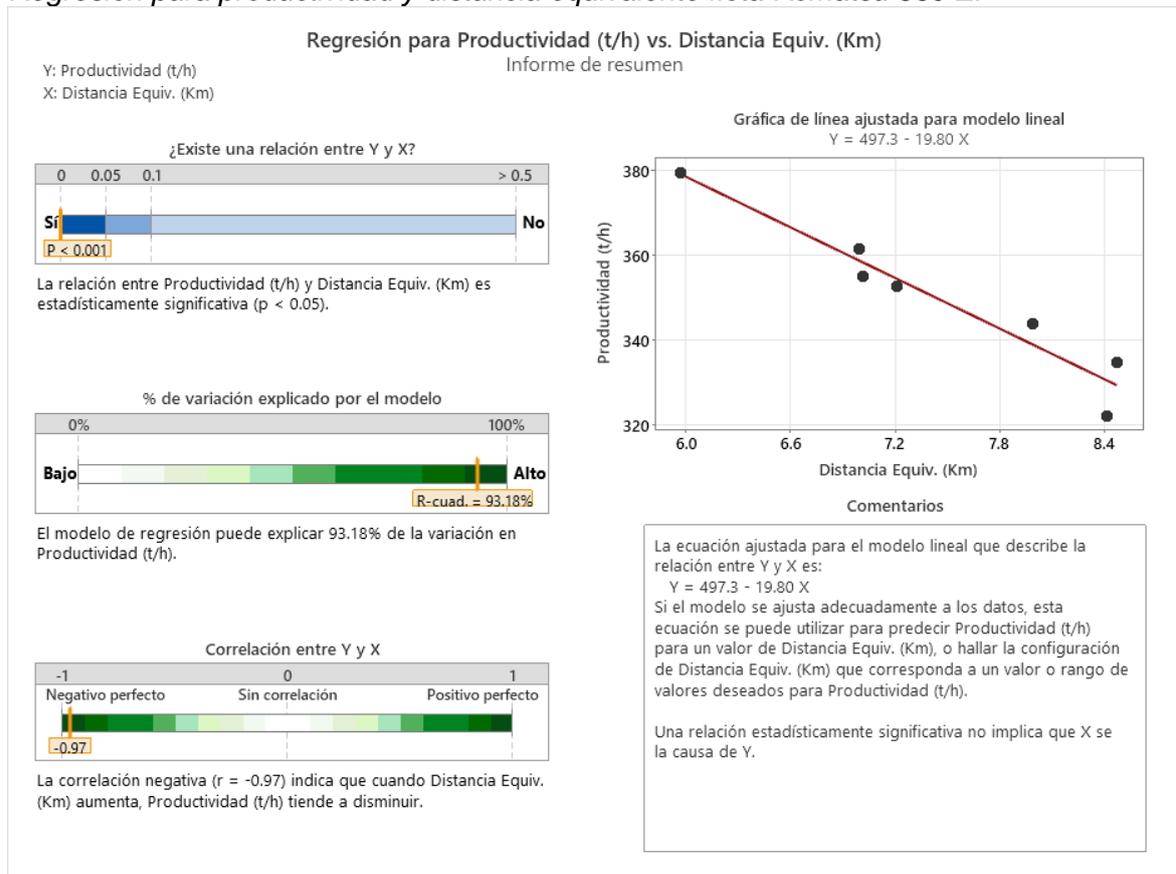
Fuente: Elaboración propia.

**3.5.5.2 Productividad versus distancia flota Komatsu 830 E.** Se realizó el informe del análisis de regresión entre las variables productividad y distancia equivalente para la flota Komatsu 830 E.

La Figura 14 muestra el análisis obtenido del software minitab, el análisis indica una regresión lineal con un valor de  $p < 0.001$  y un R cuadrado de 93.18, o cual indica que ambas variables son correctamente representadas por una ecuación lineal.

**Figura 14**

**Regresión para productividad y distancia equivalente flota Komatsu 830 E.**



Fuente: Reporte obtenido con datos procesados en Minitab®.

La ecuación para calcular la productividad de los camiones Komatsu 830 E teniendo como variable la distancia equivalente es:

$$Productividad \left(\frac{t}{h}\right) = 497.3 - 19.8 * Distancia\ equivalente(km)$$

En la Tabla 20 se muestran los valores de productividad calculados hasta el 2024 ya que la flota Komatsu 830 cumplirá su tiempo de vida en dicho año.

**Tabla 20**

*Estimados de productividad Komatsu 830 E.*

FLOTA		Komatsu 830 E	
Año	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	
2022	8.0	339	
2023	8.3	333	
2024	7.9	341	

Fuente: Elaboración propia.

**3.5.5.3 Productividad versus distancia flota Komatsu 980 E.** Para el análisis de la productividad versus distancia equivalente en la flota Komatsu 980 E se midieron las distancias de acarreo y las productividades durante el tiempo de prueba, en total 12 semanas.

Los datos utilizados para el análisis de regresión se muestran en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Productividad versus distancia equivalente Komatsu 980.*

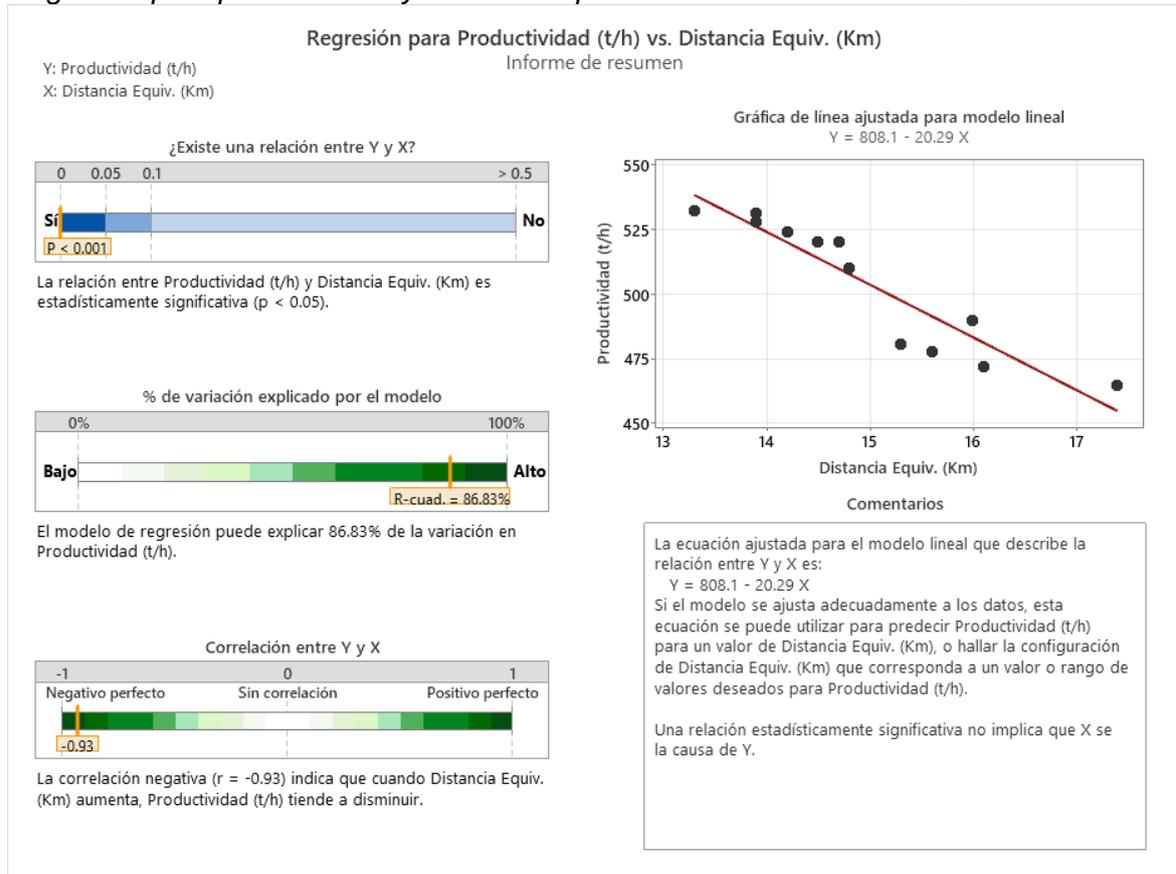
FLOTA		Komatsu 980 E	
Semana	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	
Semana 1	13.3	532	
Semana 2	14.8	510	
Semana 3	14.2	524	
Semana 4	16.1	472	
Semana 5	15.3	481	
Semana 6	13.9	531	
Semana 7	17.4	465	
Semana 8	14.5	520	
Semana 9	15.6	478	
Semana 10	13.9	528	
Semana 11	14.7	520	
Semana 12	16.0	490	

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra el resumen del informe elaborado en minitab.

**Figura 15**

**Regresión para productividad y distancia equivalente flota Komatsu 980 E.**



Fuente: Reporte obtenido con datos procesados en Minitab®.

La ecuación para calcular la productividad de los camiones Komatsu 980 E teniendo como variable la distancia equivalente es:

$$Productividad \left( \frac{t}{h} \right) = 808.1 - 20.29 * Distancia\ equivalente(km)$$

Utilizando los datos de distancia equivalente futuros para la flota Komatsu 980 E, se estimaron las productividades para los próximos años. Los resultados se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22***Estimados de productividad Komatsu 980 E.*

FLOTA		Komatsu 980 E	
Año	Distancia Equiv. (Km)	Productividad (t/h)	
2022	14.5	514	
2023	15.1	502	
2024	16.0	483	
2025	16.4	475	
2026	17.8	447	
2027	18.5	433	
2028	19.3	417	
2029	18.5	433	
2030	18.1	441	
2031	16.5	473	

Fuente: Elaboración propia.

**3.5.6 Cálculo de costos operativos**

Se calculó el costo de acarreo mediante la siguiente expresión matemática.

$$\text{Costo de acarreo } \left(\frac{\text{US\$}}{h}\right) = \text{Costos de neumático} + \text{combustible} + \text{labor} + \text{mantenimiento}$$

Los costos de neumáticos se calcularon utilizando las variables de rendimiento de neumático (h) y precio de cada neumático (US\$).

El costo de combustible se calculó utilizando las variables de consumo de combustible (gal/h) y precio de combustible (US\$/gal).

El costo de labor es considerado un costo fijo, sin embargo, incrementa cada año debido a que el sueldo de los operadores también aumenta cada año según el convenio colectivo y el costo de mantenimiento es variable, depende de la cantidad de horas de operación del camión y se obtuvo del contrato de reparación y mantenimiento MARC.

**3.5.6.1 Costo de neumáticos.** La Tabla 23 muestra el cálculo del costo de neumáticos, se consideró que cada camión trabaja con 6 neumáticos y los rendimientos considerados como referencia son el promedio del año 2021 y coincide con el desempeño desde el 2015.

**Tabla 23***Costo de neumáticos.*

	Costo de neumáticos		
	Komatsu 980	Caterpillar 793	Komatsu 830
Rendimiento (h)	4,300	5,000	5,000
Precio de neumático (US\$)	46,000	30,000	30,000
Costo de neumático (US\$/h)	64.19	36.00	36.00

Fuente: Elaboración propia.

**3.5.6.2 Costo de combustible.** La Tabla 24 muestra el cálculo del costo de combustible, el precio del combustible es el precio actual puesto en mina, considerar que esta variable es impredecible. El rendimiento (gal/h) es el promedio ponderado del rendimiento histórico para cada flota.

**Tabla 24***Costo de combustible.*

	Costo de combustible		
	Komatsu 980	Caterpillar 793	Komatsu 830
Rendimiento (gal/h)	69.3	44.4	46.5
Precio de combustible (US\$/gal)	4	4	4
Costo de combustible (US\$/h)	277.2	177.6	186.0

Fuente: Elaboración propia.

**3.5.6.3 Costo de labor.** La Tabla 25 muestra el costo de labor para los próximos años, el costo de labor es el mismo para todas las flotas de camiones ya que el sueldo de los operadores de camión es el mismo independientemente del tipo de flota que operan.

**Tabla 25***Costo de labor operador de camión.*

Costo de labor (US\$/h)	
2022	22.3
2023	23.5
2024	24.8
2025	26.3
2026	27.1
2027	28.6
2028	29.3
2029	30.3
2030	31.7
2031	32.9

Fuente: Elaboración propia.

**3.5.6.4 Costo de mantenimiento.** El costo de mantenimiento está en función a las horas de operación del equipo, este costo no necesariamente se incrementa de forma lineal, debido a que en algunos años será necesario un mantenimiento mayor y en otros no. El costo de mantenimiento se obtuvo directamente del área de mantenimiento y del contrato de reparación y mantenimiento MARC.

La Tabla 26 muestra los futuros costos de mantenimiento expresados en US\$/h hasta el año 2031, se nota que los costos no necesariamente incrementan de forma lineal.

**Tabla 26**

*Costos de mantenimiento futuros.*

Año	Costo de mantenimiento (US\$/h)		
	Komatsu 980	Caterpillar 793	Komatsu 830
2022	64.7	72.4	146.6
2023	87.6	120.5	140.7
2024	165.8	163.8	141.5
2025	277.0	118.1	-
2026	149.7	150.8	-
2027	202.0	155.3	-
2028	220.2	152.5	-
2029	157.2	156.9	-
2030	215.3	162.3	-
2031	235.6	167.1	-

Fuente: Elaboración propia.

### **3.6 Análisis de la información**

#### **3.6.1 Análisis de costos de Komatsu 980 E y Caterpillar 797 F**

En la sección 3.4.10 se demostró que el consumo de combustible representa el 67 % del costo total de acarreo y es el más impactante dentro del desglose de costos, por lo tanto, para elegir una decisión adecuada entre adquirir una u otra flota se consideró el comparativo del costo del consumo de combustible para estos 2 competidores.

Anteriormente en la Tabla 27 se ha determinado que la flota Komatsu 980 consume 69.3 gal/h, mientras que la flota Caterpillar 797 consume 74.9 gal/h.

Asimismo, dentro la sección 3.4.2 se ha mencionado que se piensa adquirir 22 camiones adicionales para cumplir el plan de minado, los candidatos a compra son las flotas Komatsu 980 E y Caterpillar 797 F.

La Tabla 27 muestra el cálculo de costo de combustible por año para los 22 camiones que serán adquiridos. Para una comparación más precisa se consideró una utilización de 90% y una disponibilidad de 90% para ambas flotas, solo para simular el mismo escenario para ambas flotas.

**Tabla 27**

*Costo de combustible Komatsu 980 vs Caterpillar 797 F.*

Flota	Costo de combustible			
	Consumo de combustible (gal/h)	Precio de diésel (US\$/gal)	Horas al año (h/año)	Costo anual (US\$/año)
Cat 797 F	74.9	4	153,965	46,127,854
Kom 980 E	69.3	4	153,965	42,679,043
			Dif.	- 3,448,812

Fuente: Elaboración propia.

Si se elige la flota Komatsu 980 E se gastará US\$ 3.45 MM menos por año en combustible. Los otros costos de labor y llantas serán prácticamente los mismos tanto para Komatsu 980 E o Caterpillar 797 F, mientras que el costo de mantenimiento según el contrato MARC de ambas flotas es menor para la flota Komatsu 980 tal como muestra la Tabla 14. El costo de operación y mantenimiento para la flota Komatsu 980 E es menor.

### **3.6.2 Análisis de inversión de compra de camiones Kom 980 E y Cat 797F**

Se recolectó la información de costo de cada camión para ambos proveedores en términos RTW (ready to work). Cada camión Komatsu 980 E cuesta US\$ 6.04 MM y cada camión Caterpillar 797 F cuesta US\$ 5.78 MM, estos precios no incluyen beneficios.

Si bien los camiones Komatsu 980 E presentan un mayor costo, Komatsu ofreció mediante la opción de compra de los 22 camiones una serie de beneficios gratuitos principalmente orientados al software Modular Mining utilizado por el área de Dipatch el cual pertenece a su compañía.

Dentro de los beneficios más resaltantes ofrecidos por KOMATSU están:

- 18 % de descuento en repuestos para la actual y nueva flota durante 10 años (US\$ 1.8 MM / año).
- Actualización del sistema Modular sin costo (US\$ 2.2 MM).
- Programa de entrenamiento de operadores durante 10 años (US\$ 2.4 MM).

La Tabla 28 muestra el Capex que ha sido pactado entre la mina en estudio y ambos proveedores considerando la opción de compra de los 22 camiones, este resumen incluye los beneficios ofrecidos por ambos.

**Tabla 28**

*Capex por compra de 22 camiones.*

	KOMATSU		CATERPILLAR	
	980		797	
RTW (22 Camiones)		121,037,400		115,242,600
Neumáticos, Dispatch, aros, etc.		11,811,800		11,811,800
Subtotal		132,849,200		127,054,400
Adicional sin costo	-	5,501,700	-	5,238,300
Beneficios	-	23,200,000	-	7,000,000
Subtotal sin contrato MARC		104,147,500		114,816,100
Componentes mayores		-		-
Tolvas		3,500,000		3,500,000
Costo de movilización y desmovilización		372,000		-
Total con contrato MARC		108,019,500		118,316,100

Fuente: Elaboración propia.

Si consideramos el Capex y Opex para ambas flotas, la flota Komatsu 980 E es la mejor alternativa de compra.

### **3.6.3 Equivalencia entre el retador y defensor**

Para el presente estudio se considera como defensor al camión que será reemplazado por ser obsoleto y retador al nuevo camión que reemplazará al obsoleto. Los camiones defensores son las flotas Komatsu 830 E y Caterpillar 793 D y los camiones retadores son la flota Komatsu 980 E.

Para hallar una equivalencia entre el retador y defensor se consideró que los camiones Komatsu 830 solo operarán hasta el año 2024 inclusive, debido a que para dicho año ya cumplirán su tiempo de vida útil, mientras que los camiones Caterpillar 793 continuarán hasta el 2031 pasando por un proceso de overhaul el 2022.

Se calculó el tonelaje movido para los siguientes años hasta el 2031 por cada unidad de camión de las flotas Komatsu 830, Caterpillar 793 y Komatsu 980, los cálculos se realizaron utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Tonelaje} \left( \frac{t}{\text{año}} \right) = \text{Disponibilidad} * \text{Utilización} * \text{Ratio de Productividad} \left( \frac{t}{h} \right) * \text{días al año}$$

En la sección 3.5 del presente estudio se estimaron los valores de disponibilidad, utilización y productividad para los siguientes años a fin de hallar correctamente el tonelaje movido por cada camión hasta el 2031.

La Tabla 29 muestra los tonelajes movidos en millones de toneladas por el retador y defensor según los cálculos realizados para los próximos años. La información completa de los cálculos se encuentre en la sección de anexos.

**Tabla 29**

*Equivalencia de tonelaje entre el retador y defensor.*

Año	Toneladas movidas (Mt)			
	11 Kom 830	4 Cat 793	11 Kom 830 + 4 Cat 793	5 Kom 980
2022	18.7	6.0	24.7	15.2
2023	18.3	6.1	24.3	14.5
2024	18.6	5.7	24.4	13.6
2025	0.0	6.4	6.4	12.9
2026	0.0	6.0	6.0	12.1
2027	0.0	6.5	6.5	11.3
2028	0.0	5.8	5.8	11.0
2029	0.0	6.2	6.2	11.5
2030	0.0	6.5	6.5	11.4
2031	0.0	6.5	6.5	12.2
Total	55.6	61.9	117.5	125.8

Fuente: Elaboración propia.

La equivalencia más cercana entre el retador y el defensor es que 5 camiones Komatsu 980 E equivalen a 11 camiones Komatsu 830 E + 4 camiones Caterpillar 793 D.

Para el presente análisis el retador será 5 camiones Komatsu 980 E y el defensor será 11 camiones Komatsu 830 E + 4 camiones Caterpillar 793 D.

### **3.6.4 Modelo Matemático Costo Anual Uniforme Equivalente**

La mejor opción de compra considerando el Capex y Opex es la flota Komatsu 980 E, por lo que para satisfacer el plan de minado de largo plazo se optará por incorporar 22 camiones Komatsu 980, sin embargo, este estudio propone adquirir más camiones Komatsu 980 E con el objetivo de reemplazar la flota actual de camiones Caterpillar 793 D y Komatsu 830 E.

Para el presente estudio se consideró un horizonte de evaluación de 10 años, desde el 2022 hasta el 2031.

Como se acotó dentro del marco conceptual para realizar este estudio es necesario definir exactamente al defensor (activo que podría ser sustituido) y al retador (activo que podría reemplazar al defensor).

Generalmente el estudio de reemplazo se realiza con 1 defensor versus 1 retador, sin embargo, debido que en el presente estudio se evalúa reemplazar camiones se definirán varios defensores y retadores. Para este estudio se definió a los retadores y defensores en función al tonelaje que moverán.

Retador: 5 Komatsu 980 E

Defensor: 4 Caterpillar 793 D y 11 Komatsu 830 E

Ahora que ya se definió correctamente al retador y defensor, se realizará el procedimiento del análisis de reemplazo. Para tal motivo se necesita hallar las variables de la ecuación siguiente, esta ecuación será utilizada para calcular los VA del retador y defensor.

$$VA_k \text{ total} = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

Donde:

P = inversión inicial o valor comercial actual

Sk = valor de rescate o valor comercial después de k años

COAj = costo anual de operación y mantenimiento por año j (j = 1 a k)

**3.6.4.1 VA del retador.** El retador para este estudio son 05 camiones Komatsu 980 E con una inversión inicial que asciende a P = US\$ 30,193,000 ya que cada camión cuesta US\$ 6,038,600 (Ready to Work).

El valor de rescate para el retador es del 20% del precio, es decir  $S_k = \text{US\$ } 6,038,600$ .

La tercera variable de la ecuación corresponde a los costos de operación y mantenimiento por año para los 5 camiones Komatsu 980 E. Los resultados de estos cálculos se muestran en la Tabla 30. Las horas operativas se calcularon en función a los valores estimados de disponibilidad y utilización para cada año y los costos de diésel, neumáticos y labor se calcularon según los estimados mostrados en la sección 3.5.6, los cálculos completos se muestran en la sección de anexos.

**Tabla 30**

*Costo de operación y mantenimiento Komatsu 980 E.*

KOMATSU 980 E						
Año	Horas operativas (h)	Diesel (US\$)	Tires (US\$)	Labor (US\$)	Maintenance (US\$)	COA (US\$)
2022	35,770	9,915,333	2,295,909	798,973	2,313,757	15,323,972
2023	35,381	9,807,558	2,270,954	831,274	3,098,728	16,008,514
2024	34,798	9,645,895	2,233,520	863,575	5,767,990	18,510,980
2025	34,214	9,484,232	2,196,087	898,376	9,476,774	22,055,469
2026	34,214	9,484,232	2,196,087	928,177	5,122,633	17,731,128
2027	33,631	9,322,569	2,158,654	960,478	6,793,527	19,235,227
2028	33,826	9,376,456	2,171,132	992,779	7,447,224	19,987,591
2029	33,826	9,376,456	2,171,132	1,025,080	5,318,503	17,891,170
2030	33,437	9,268,681	2,146,176	1,059,779	7,198,943	19,673,579
2031	33,437	9,268,681	2,146,176	1,098,449	7,877,710	20,391,016

Fuente: Elaboración propia.

$$VA_k \text{ retador} = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

$$VA_k \text{ retador} = -30,193,000(A/P, 8.9\%, 10) + 6,038,600(A/F, 8.9\%, 10)$$

$$- \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, 8.9\%, 10)$$

$$VA_k \text{ retador} = -30,193,000 \left[ \frac{8.9\% * (1 + 8.9\%)^{10}}{(1 + 8.9\%)^{10} - 1} \right] + 6,038,600 \left[ \frac{8.9\%}{(1 + 8.9\%)^{10} - 1} \right]$$

$$- \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] \left[ \frac{8.9\% * (1 + 8.9\%)^{10}}{(1 + 8.9\%)^{10} - 1} \right]$$

$$VA_k \text{ retador} = -US\$ 4,683,988 + US\$ 399,362 - US\$ 18,394,537$$

$$VA_k \text{ retador} = -US\$ 22,679,163.00$$

La hoja de cálculo completa se encuentra en la sección de anexos.

**3.6.4.2 VA del defensor.** El retador para este estudio son 4 Caterpillar 793 D y 11 Komatsu 830 E, para este caso la inversión inicial no es una compra ya que actualmente se trabaja con esta flota, sin embargo, es necesario que se realice overhaul en el presente año a ambas flotas el overhaul para cada camión de flota Komatsu 830 E cuesta US\$ 479,511 y para cada camión de la flota Caterpillar 793 D cuesta US\$ 2,682,083, por lo tanto, el valor de P para el retador es  $P = \text{US\$ } 16,002,953$ .

El valor de rescate para el defensor es de 0 ya que al terminar el horizonte de evaluación estos camiones serán considerados como chatarra  $S_k = \text{US\$ } 0$ .

La tercera variable de la ecuación corresponde a los costos de operación y mantenimiento por año para los 11 camiones Komatsu 830 E y camiones Caterpillar 793 D. El resumen de estos cálculos se muestra en la Tabla 31. Los cálculos completos se encuentran en la sección de anexos.

**Tabla 31**

*Costo de operación y mantenimiento Komatsu 830 E y Caterpillar 793 D.*

Año	Horas operativas		Diesel		Tires		Labor		Maintenance		COA
	(Miles de h)		(Miles deUS\$)								
	Cat 793	Kom 830	Cat 793	Kom 830	Cat 793	Kom 830	Cat 793	Kom 830	Cat 793	Kom 830	Cat 793 + Kom 830
2022	26.44	72	4,696	13,454	952	2,604	148	1,616	1,914	10,603	35,986
2023	26.37	72	4,684	13,430	949	2,599	155	1,696	3,177	10,157	36,848
2024	26.31	72	4,672	13,406	947	2,595	163	1,789	4,310	10,195	38,076
2025	26.24	-	4,661	-	945	-	172	-	3,100	-	8,877
2026	26.18	-	4,649	-	942	-	178	-	3,948	-	9,717
2027	26.11	-	4,637	-	940	-	186	-	4,055	-	9,818
2028	26.04	-	4,625	-	938	-	191	-	3,971	-	9,725
2029	25.98	-	4,614	-	935	-	197	-	4,077	-	9,823
2030	25.91	-	4,602	-	933	-	205	-	4,206	-	9,946
2031	25.85	-	4,590	-	930	-	212	-	4,319	-	10,052

Fuente: Elaboración propia.

$$VA_k \text{ defensor} = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

$$VA_k \text{ defensor} = -16,002,953(A/P, 8.9\%, 10) + 0(A/F, 8.9\%, 10)$$

$$- \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, 8.9\%, 10)$$

$$VA_k \text{ defensor} = -16,002,953 \left[ \frac{8.9\% * (1 + 8.9\%)^{10}}{(1 + 8.9\%)^{10} - 1} \right]$$

$$- \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] \left[ \frac{8.9\% * (1 + 8.9\%)^{10}}{(1 + 8.9\%)^{10} - 1} \right]$$

$$VA_k \text{ defensor} = -US\$ 2,482,617 - US\$ 20,379,199 = -US\$ 22,861,81$$

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Hipótesis nula y contrastación de hipótesis

A continuación, se define la hipótesis nula  $H_0$  y la hipótesis alternativa  $H_1$ .

$H_0$ : Reemplazar la flota de camiones defensora aumenta o mantiene el costo.

$H_1$ : Reemplazar la flota de camiones defensora disminuye el costo.

$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$

$H_1: \mu_1 > \mu_2$

$\mu_1$ : Costo anual uniforme equivalente antes del reemplazo | VA defensor |

$\mu_2$ : Costo anual uniforme equivalente después del reemplazo | VA retador |

El resultado de la presente investigación demuestra que  $\mu_1 = |VA \text{ defensor}| = 22.9$  M y  $\mu_2 = |VA \text{ retador}| = 22.7$  M.

Por lo que  $22.9 > 22.7$ ,  $\mu_1 > \mu_2$  se rechaza la hipótesis nula por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa que sugiere que al reemplazar la flota de camiones defensora disminuirán los costos.

### 4.2 Análisis y discusión de resultados económicos

En la presente sección se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo de investigación. La Tabla 32 muestra el comparativo de los principales indicadores para elegir la mejor alternativa económica y conocer si es correcto reemplazar la flota actual de camiones en base al modelo matemático Costo Anual Uniforme Equivalente.

**Tabla 32**

*CAUE Retador versus defensor.*

Ítem	Defensor	Retador	Dif. (Ret.-Def.)
Flota	4 Cat 793 D + 11 Kom 830 E	5 Kom 980 E	-
Tonelaje movido (Mt)	117.5	125.8	8.3
Inversión	USD 16,002,953	USD 30,193,000	USD 14,190,047
CAUE	USD 22,861,816	USD 22,679,163	-USD 182,652

Fuente: Elaboración propia.

La teoría indica que VA representa el costo anual uniforme equivalente de cada alternativa y para elegir la mejor alternativa económica se comparan los valores absolutos

del | VA defensor | y | VA retador | , el menor de ambos representa la mejor alternativa. En el presente estudio el | VA defensor | = US\$ 22.9 MM y | VA retador | =US\$ 22.7 MM. El VA o CAUE representa en una sola cifra el costo de operación y mantenimiento y también el costo de inversión. Para la presente investigación el retador es la mejor opción económica con una diferencia de USD 182,665 por año.

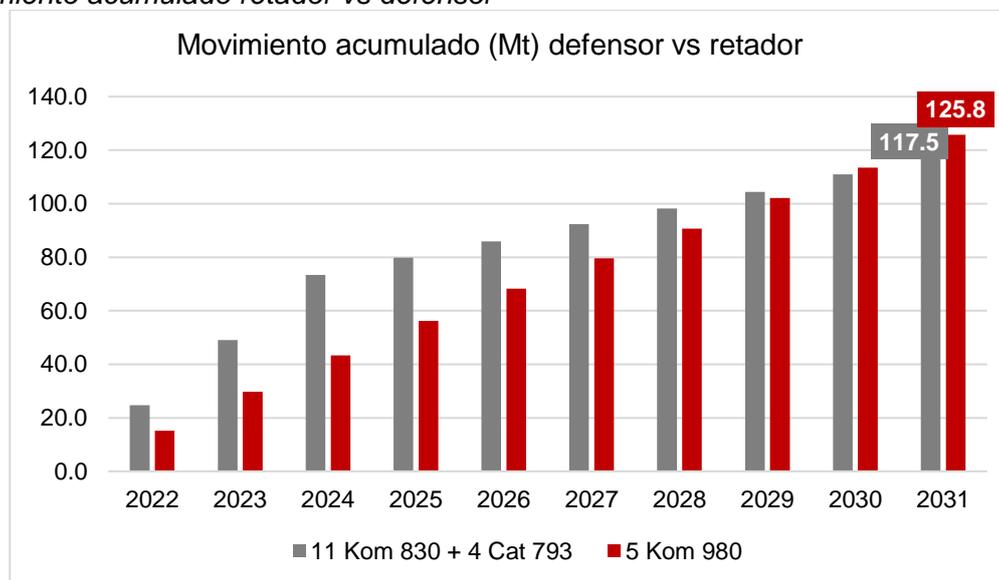
#### 4.3 Análisis y discusión de resultados técnicos

La flota Komatsu 980 E realiza el mismo match pala – camión que la flota Caterpillar 797 F, esta flota de camiones realiza el mejor match pala – camión con la flota actual de palas lo cual indica que se lograrán mejores productividades cuando se opere con esta flota de camiones.

En la Figura 16 se muestra la diferencia del tonelaje movido en millones de toneladas (Mt) entre el retador compuesto por 5 camiones Komatsu 980 E y el defensor compuesto por 11 Komatsu 830 E + 4 Caterpillar 793 D. El acumulado de tonelaje del retador para el 2031 supera en 8.3 millones de toneladas al defensor.

**Figura 16**

*Movimiento acumulado retador vs defensor*



Fuente: Elaboración propia.

Reemplazar la flota actual de camiones significa reducir en 10 camiones la flota de acarreo, lo cual impacta muy positivamente debido a que se produce mayor cantidad de toneladas con menos recursos, se reduce el tránsito en las vías de acarreo y por

consecuencia se disminuye los tiempos del ciclo de acarreo y las colas en los frentes de carguío.

Uno de los 10 peligros fatales en la mina en estudio es la interacción de equipos en mina. Reducir la cantidad de camiones y operar camiones de mayor capacidad disminuye la interacción de vehículos que transitan en mina y por lo tanto se mitiga el riesgo de colisión.

## Conclusiones

Reemplazar al defensor compuesto por 11 camiones Komatsu 830 E y 4 camiones Caterpillar 793 D por el retador compuesto por 5 camiones Komatsu 980 E reduce los costos de operación y mantenimiento con una diferencia de USD 182,665 por año.

Al reemplazar el defensor se logrará cumplir con las metas de producción debido a que se incrementarán 8.3 Mt movidas.

La flota Komatsu 980 E tiene mejor match pala – camión con la flota actual de palas lo cual indica que se alcanza mejores productividades cuando se opere con esta flota de camiones.

La opción de reemplazar la flota defensora con los nuevos camiones Komatsu 980 E beneficiará a los trabajadores debido a que operarán camiones con mejor ergonomía, con nuevas tecnologías, componentes nuevos y tendrán menor riesgo en su ambiente de trabajo.

La flota Caterpillar 797 F consume 5.6 gal/h de combustible más que la flota Komatsu 980 E, lo cual ocasiona que su costo de operación sea mayor.

Técnico – económicamente es más conveniente contratar un convenio MARC para el mantenimiento de la flota de camiones Komatsu 980 E.

En promedio, el costo de mantenimiento de la flota Caterpillar 797 F es mayor en 6.9 USD/h que el costo de mantenimiento de la flota Komatsu 980 E según el contrato MARC.

Al reemplazar la flota de camiones se requerirá menor cantidad de personal debido a la reducción de la flota de acarreo, asimismo disminuirán las restricciones operativas por el cese de operación de la flota Komatsu 830 E.

## Recomendaciones

Realizar el mismo análisis de reemplazo en el año 2026 con posibles nuevos retadores versus la flota Caterpillar 793 D, este nuevo análisis proporcionará la certeza de operar con la flota ideal y optimizar los costos operativos y de mantenimiento en el proceso de acarreo.

Cuando se opere con la nueva flota Komatsu 980 E se recomienda actualizar, validar y evaluar nuevamente el impacto en los costos que se obtuvo por el reemplazo de la flota de camiones.

En operaciones a tajo abierto que utilicen flotas de acarreo de propiedad de la misma compañía y con un tiempo en operación de más de 10 años se recomienda realizar una evaluación de reemplazo de camiones con la finalidad de utilizar nuevas tecnologías, mejorar la seguridad, además disminuir costos operativos y de mantenimiento en la actividad unitaria de acarreo la cual es la que mayor impacto tiene en las operaciones mineras.

Se recomienda que al realizar un estudio de evaluación de reemplazo de equipos en minería se considere la importancia de la seguridad, medio ambiente, ergonomía, uso de nuevas tecnologías y aspectos técnicos como disminución del tránsito en principales vías de acarreo, match pala – camión y velocidades por pendiente con el objetivo de elegir la mejor decisión operativa y económica.

## Referencias bibliográficas

- Abbaspour, H., & Maghaminik, A. (2016). Equipment replacement decision in mine based on decision tree algorithm. *Scientific Reports on Resource Issues*, 187-194.
- Al-Chalabi, H. (2022). Development of an economic replacement time model for mining. En *Life Cycle Reliability and Safety Engineering* (págs. 203-217). Lulea: University of Technology. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s41872-022-00188-1>
- Baca Urbina, G. (2011). *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Mexico: McGraw Hill.
- Belizario Amanqui, R. (2017). Evaluación económica-financiera para reemplazar camiones de acarreo de mineral y desmonte en la Unidad Corihuarmi - Minera E.I.R.L YAUYOS - LIMA. (Tesis): Universidad Nacional del Altiplano.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería Económica*. México: McGraw Hill.
- Campos Gutierrez, J. E. (2021). Modelo de reemplazo de equipos multivariable mediante control difuso para maximizar el beneficio económico de empresas del sector construcción. (Tesis): Universidad Nacional de Ingeniería.
- Connor, D. D. (2015). *Major Equipment Life-cycle Cost Analysis*. Minnessota: Minnesota Department of Transportation.
- Cruvinel Kayashima, E., & Marques Junior, U. (2019). LCC methodology application. Minas Gerais: REM International Engineering Journal.
- Darling, P. (2011). *SME Mining Engineering Handbook*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Gölbaşı, O., & Dagdelen, K. (2017). Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck. *Proceedings of the International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*.
- Gransberg, D. D., Popescu, C. M., & Ryan, R. C. (2006). *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners*. Boca Raton: CRC Taylor & Francis.

- Guerra-López, E., & Montes, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra* 45.
- Hickson, R., & Owen, T. (2015). *Project management for mining : handbook for delivering project success*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration.
- Kyelgyenbai, K., Pysmennyi, S., Chukharev, S., Purev, B., & Jambaa, I. (2021). Modelling for decreasing the mining equipment downtime by optimizing blasting period at Erdenet surface mine. *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters*.
- Maldonado Astorga, R. (2016). *Economía Minera - UNI*. [Apuntes de clase].
- Shamsi, M., & Nehring, M. (2021). Determination of the optimal transition point between a truck and shovel system and a semi-mobile in-pit crushing and conveying system. Obtenido de *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*: <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/1564/2021>
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Luxhoj, J. T. (2004). *Ingeniería Económica de Degarmo*. México: Pearson Educación.
- Teran, G., & Rojas, W. E. (2021). *Análisis para la Selección y Reemplazo de Equipos de Acarreo para Mejorar la Producción de una Empresa Minera de La Libertad*. (Tesis): Universidad Privada del Norte.
- Tutton, D., & Streck, W. (2009). The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines. *Mining Magazine Congress*

## Anexos

	Pág.
Anexo 1: Consumo de combustible en galones por hora de cada flota desde el año 2015.....	1
Anexo 2: Velocidades por pendiente expresado en km/h para las flotas Cat 797 F y Kom 980 E.....	2
Anexo 3: Costos de mantenimiento y reparación para las flotas Komatsu 980 y Caterpillar 797.....	3
Anexo 4: Aplicación del modelo matemático Costo Anual Uniforme Equivalente.....	4
Anexo 5: Cálculo de toneladas movidas para el retador y defensor.....	5
Anexo 6: Ficha técnica Caterpillar 797 F.....	6
Anexo 7: Ficha técnica Komatsu 980 E.....	7
Anexo 8: Matriz de consistencia.....	8
Anexo 9: Flujo de trabajo.....	9

Anexo 1: Consumo de combustible en galones por hora de cada flota desde el año 2015.

Consumo de combustible (gal / h)								
Flota	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio ponderado
Cat 797	76	78	83	81	78	80	78	79
Cat 793	44	43	48	45	45	43	42	44
Kom 930	57	59	58	59	60	61	61	59
Kom 830	44	45	47	46	45	48	50	46

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Velocidades por pendiente expresado en km/h para las flotas Cat 797 F y Kom 980 E.

Velocidad por pendiente (km/h)				
Pendiente (%)	Cat 797 F		Kom 980 E	
	Cargado	Vacío	Cargado	Vacío
12	9.4	24.1	9.8	24.7
11	10.5	25	10.9	25.6
10	11.7	26	12.2	26.7
9	13.1	26.9	13.6	26.9
8	14.7	28	15.1	28.1
7	16.5	29	16.8	29.3
6	18.5	30.1	18.8	30.6
5	20.9	31.2	20.7	32
4	23.3	32.4	23.1	33.4
3	25.9	33.6	25.9	34.9
2	28.9	34.9	29	36.4
1	32.2	36.2	32.5	38
0	35.9	37.6	36.4	39.7
-1	32.3	34.6	34.4	39.6
-2	30.5	33.4	31.3	37.9
-3	28.8	32.2	28.5	36.4
-4	27.2	31	25.9	34.9
-5	25.7	29.9	23.6	33.4
-6	24.3	28.8	21.5	32
-7	22.9	27.8	19.6	30.7
-8	21.6	26.8	17.8	29.4
-9	20.4	25.8	16.2	28.2
-10	19.3	24.9	14.8	27
-11	18.2	24	13.4	25.9
-12	17.2	23.1	12.2	24.9

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Costos de mantenimiento y reparación para las flotas Komatsu 980 y Caterpillar 797.

Intervalo (h)		Caterpillar 797 F			Komatsu 980 E		
		Disp. Mecánica.	Disp. Física	Labor + Partes (\$/h)	Disp. Mecánica.	Disp. Física	Labor + Partes (\$/h)
-	6,000	90%	88%	40.3	92%	90%	55.6
6,000	12,000	90%	88%	52.0	91%	89%	91.8
12,000	18,000	90%	88%	237.2	90%	88%	105.7
18,000	24,000	90%	88%	169.6	90%	88%	290.1
24,000	30,000	90%	88%	48.7	89%	87%	73.4
30,000	36,000	90%	88%	247.5	87%	85%	127.8
36,000	42,000	90%	88%	173.3	87%	85%	256.2
42,000	48,000	90%	88%	57.8	87%	85%	95.4
48,000	54,000	90%	88%	237.0	86%	84%	130.3
54,000	60,000	90%	88%	169.0	86%	84%	136.4
Promedio ponderado		90%	88%	143.2	88%	86%	136.3

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 4: Aplicación del modelo matemático Costo Anual Uniforme Equivalente.

Costo Anual Uniforme Equivalente Komatsu 980 E x 5 un.											
Year	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Add 5 KOM 980</b>											
Diesel		9,915,333	9,807,558	9,645,895	9,484,232	9,484,232	9,322,569	9,376,456	9,376,456	9,268,681	9,268,681
Tires		2,295,909	2,270,954	2,233,520	2,196,087	2,196,087	2,158,654	2,171,132	2,171,132	2,146,176	2,146,176
Labor (operators)		798,973	831,274	863,575	898,376	898,376	928,177	960,478	992,779	1,059,779	1,098,449
Maintenance (total)		2,313,757	3,098,728	5,767,990	9,476,774	5,122,633	6,793,527	7,447,224	5,318,503	7,198,943	7,877,710
COA		15,323,972	16,008,514	18,510,980	22,055,469	17,731,128	19,235,227	19,987,591	17,891,170	19,673,579	20,391,016
Rescue value											- 6,038,600
Buy of 5 trucks Kom 980	30,193,000										
P	30,193,000	A		-S/4,683,988							
n	10	B		S/399,362							
		C		-S/18,394,537							
S	6,038,600										
i	8.90%	<b>VAretador</b>		<b>-S/22,679,163</b>							

$$VA_k total = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

A                      B                      C

Costo Anual Uniforme Equivalente 11 Komatsu 830 E & 4 Caterpillar 793 D											
Year	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>4 x Cat 793 D</b>											
Diesel		4,695,621	4,683,922	4,672,222	4,660,523	4,648,824	4,637,125	4,625,425	4,613,726	4,602,027	4,590,328
Tires		951,815	949,444	947,072	944,701	942,329	939,958	937,586	935,215	932,843	930,472
Labor (operators)		147,641	154,911	163,219	172,259	177,526	186,419	191,098	196,816	205,323	212,274
Maintenance (total)		1,914,312	3,177,244	4,309,578	3,099,619	3,948,232	4,054,685	3,971,270	4,077,149	4,205,569	4,318,940
COA		7,709,389	8,965,521	10,092,092	8,877,101	9,716,911	9,818,187	9,725,380	9,822,906	9,945,761	10,052,013
<b>11 x Kom 830 E</b>											
Diesel		13,453,827	13,429,684	13,405,541	-	-	-	-	-	-	-
Tires		2,603,966.56	2,599,293.70	2,594,620.83	-	-	-	-	-	-	-
Labor (operators)		1,615,664.21	1,696,404.78	1,788,636.83	-	-	-	-	-	-	-
Maintenance (total)		10,602,780	10,156,784	10,195,286	-	-	-	-	-	-	-
COA		28,276,238	27,882,166	27,984,085	-	-	-	-	-	-	-
COA (11 Kom 830 E + 4 Cat 793 D)		35,985,628	36,847,687	38,076,176	8,877,101	9,716,911	9,818,187	9,725,380	9,822,906	9,945,761	10,052,013
Rescue value											-
Overhaul Cat 793 D	10,728,332										
Overhaul Kom 830 E	5,274,621										
P	16,002,953	A		-S/2,482,617							
n	10	B		S/0							
		C		-S/20,379,199							
S	-										
i	8.90%	<b>VAdefensor</b>		<b>-S/22,861,816</b>							

$$VA_k total = -P(A/P, i, k) + S_k(A/F, i, k) - \left[ \sum_{j=1}^{j=k} COA_j (P/F, i, j) \right] (A/P, i, k)$$

A                      B                      C

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Cálculo de toneladas movidas para el retador y defensor.

		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Disponibilidad	Cat 793 D	87%	87%	87%	86%	86%	86%	86%	85%	85%	85%
	Kom 830 E	86%	86%	86%	-	-	-	-	-	-	-
	Kom 980 E	92%	91%	90%	88%	88%	87%	87%	87%	86%	86%
Utilización	Cat 793 D	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
	Kom 830 E	88%	88%	88%	-	-	-	-	-	-	-
	Kom 980 E	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Horas operativas (h)	Cat 793 D	6,610	6,593	6,577	6,560	6,544	6,527	6,511	6,495	6,478	6,462
	Kom 830 E	6,576	6,564	6,552	-	-	-	-	-	-	-
	Kom 980 E	7,154	7,076	6,960	6,843	6,843	6,726	6,765	6,765	6,687	6,687
Productividad (t/h)	Cat 793 D	298	301	287	323	305	330	298	319	334	338
	Kom 830 E	339	333	341	-	-	-	-	-	-	-
	Kom 980 E	514	502	483	475	447	433	417	433	441	473
Tonelaje (kt)	11x Kom 830 E	18,657	18,264	18,631	-	-	-	-	-	-	-
	4x Cat 793 D	6,022	6,065	5,745	6,437	6,046	6,515	5,843	6,238	6,487	6,524
	5x Kom 980 E	15,220	14,538	13,551	12,881	12,111	11,330	11,031	11,461	11,409	12,249

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Ficha técnica Caterpillar 797 F.

## Especificaciones del Camión Minero 797F

Motor		
Modelo del motor	Cat C175-20	
Potencia bruta: SAE J1995	2.983 kW	4.000 hp
Potencia neta: SAE J1349	2.828 kW	3.793 hp
Calibre	175 mm	6,9"
Carrera	220 mm	8,7"
Cilindrada	106 L	6.469 pulg <sup>3</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada.</li> <li>Las clasificaciones están basadas en la norma SAE J1995 sobre las condiciones del aire a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,32 Hg) de presión barométrica. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (69 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (38 °F).</li> <li>No se requiere una reducción de potencia del motor en una configuración de baja altitud (LAA) hasta 2.134 m (7.000').</li> <li>No se requiere reducción de potencia del motor en una configuración de altitud elevada (HAA) hasta 4.877 m (16.000').</li> <li>Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-20 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.</li> </ul>		

Pesos: aproximados		
Peso bruto de la máquina en orden de trabajo (GMW)	623.690 kg	1.375.000 lb
Gama de los pesos de las cajas	41.368 a 61.235 kg	91.200 a 135.000 lb
Gama de los pesos del chasis	210.630 a 219.146 kg	464.359 a 483.134 lb
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consulte la política de carga útil 10/10/20 para camiones mineros Cat para obtener información sobre las limitaciones del peso bruto máximo de la máquina.</li> <li>El peso de la caja varía de acuerdo con la configuración de la caja y el revestimiento. Gama de pesos para las aplicaciones conocidas.</li> <li>Peso del chasis con el tanque lleno, grupo de montaje y elevación de la caja, llantas y neumáticos.</li> </ul>		

Especificaciones de operación		
Capacidad de carga útil nominal	363 tons métricas	400 tons EE.UU.
Capacidad colmada SAE (2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>
Velocidad máxima: cargado	67,6 km/h	42 mph
Ángulo de dirección	40 grados	
Diámetro de giro de espacio libre de la máquina	42 m	138'

Mandos finales	
Relación diferencial	1,276:1
Relación planetaria	16,67:1
Relación de reducción total	21,26:1
• Planetario de doble reducción con ejes totalmente libres.	

Transmisión		
Avance 1	11,3 km/h	7 mph
Avance 2	15,2 km/h	9,5 mph
Avance 3	20,5 km/h	12,7 mph
Avance 4	27,7 km/h	17,2 mph
Avance 5	37,2 km/h	23,1 mph
Avance 6	50,3 km/h	31,2 mph
Avance 7	67,6 km/h	42 mph
Retroceso	11,9 km/h	7,4 mph

Suspensión		
Carrera efectiva del cilindro: delantera	313,6 mm	12,3"
Carrera efectiva del cilindro: trasera	165,1 mm	6,5"
Oscilación del eje trasero	±4,0 grados	

Dispositivos de levantamiento de cajas		
Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	1.200 L/min	317 gal EE.UU./min
Configuración de la válvula de alivio de levantamiento	24.200 kPa	3.510 lb/pulg <sup>2</sup>
Tiempo de levantamiento de la caja a velocidad alta en vacío	25 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: posición libre	19 segundos	

Frenos		
Cantidad de discos por lado: delantero	10	
Cantidad de discos por lado: trasero	15	
Diámetro exterior	1.067 mm	42"
Superficie de freno	330.517 cm <sup>2</sup>	51.243 pulg <sup>2</sup>
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450-1996	

Fuente: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C782781>

# ESPECIFICACIONES



## MOTOR

FABRICANTE Y MODELO	Komatsu SSDA18V170.
COMBUSTIBLE	Diésel.
CANTIDAD DE CILINDROS	18.
CICLOS DE OPERACIÓN	4 ciclos.
POTENCIA BRUTA*	2.610 kW 3.500 hp @ 1.800 r. p. m.
POTENCIA NETA EN EL VOLANTE**	2.495 kW 3.346 hp @ 1.800 r. p. m.
PESO (HÚMEDO)	11.750 kg 25.897 lb.
PESO (SECO)	11.250 kg 24.795 lb.

Opcional: el motor cumple con la norma de emisiones Tier 4 para el mercado norteamericano, pero no para otros mercados. \*Potencia bruta: es la potencia del motor tal y como está instalado en este equipo, a rpm reguladas y con el ajuste de combustible aprobado por el fabricante del motor. Las pérdidas de los accesorios incluidos son la bomba de agua, la bomba de combustible y la bomba de aceite. \*\* Potencia neta en el volante: es la potencia nominal en el volante del motor menos la pérdida de accesorios promedio. Los accesorios incluyen el ventilador y el alternador de carga. El valor nominal representa el rendimiento neto del motor de acuerdo con las condiciones de la norma SAE J1349.



## ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO

CORRIENTE AC/DC:	
ALTERNADOR	GTA-39.
SOPLADOR PRINCIPAL DEL VENTILADOR DUAL	340 m <sup>3</sup> /min 12.000 cfm.
CONTROL	Sistema de control de torque AC.
RUEDAS MOTORIZADAS*	Motores de tracción por inducción GDY10B-C.
RATIO	35,02:1.
VELOCIDAD (MÁXIMA)	64 km/h 40 mph.

\*El rendimiento del sistema de transmisión depende del peso bruto del vehículo, el grado de inclinación del camino de acarreo, la longitud del camino de acarreo, la resistencia a la rodadura y otros parámetros. Komatsu debe analizar cada condición de trabajo para asegurar la correcta aplicación.



## NEUMÁTICOS Y AROS

NEUMÁTICOS PARA SUELOS ROCOSOS, SIN CÁMARA Y RADIALES	
NEUMÁTICO ESTÁNDAR*	59/80 R63.
ARO CON PESTAÑA, DE CINCO PIEZAS	1.118 mm x 1.600 mm x 140 mm. 44" x 63" x 5,5" montaje de aro.

CONFIGURACIÓN DE LOS AROS A UNA PRESIÓN DE INFLADO EN FRÍO DE 758 KPa 110 PSI:  
PESO TÍPICO TOTAL DEL NEUMÁTICO 32.585 kg 71.838 lb.

\*Los neumáticos deben cumplir los requerimientos de la aplicación para tkph/tmph, banda de rodadura, compuesto, presión de inflado, cantidad de capas o equivalente, etc.



## CABINA

Ambiente de operador de última tecnología con una estructura de 4 pilares ROPS/FOPS nivel 2 (ISO 3449), asiento con suspensión neumática ajustable con soporte lumbar y apoyabrazos, asiento del pasajero de tamaño completo, aislamiento de valor R máximo, columna de dirección inclinable y telescópica, limpiaparabrisas eléctrico con líquido lavador, vidrios de seguridad polarizados, ventanas eléctricas, PLMIV, calentador y desempañador para 55.000 Btu/hr, aire acondicionado para 21.600 Btu/hr (refrigerante HFC - 134A).



## SUSPENSIÓN

PROPORCIÓN HIDRONEUMÁTICA VARIABLE CON CONTROL DE REBOTE INTEGRAL:	
CARRERA DELANTERA MÁXIMA	303 mm 11,92".
CARRERA TRASERA MÁXIMA	239 mm 9,40".
OSCILACIÓN DEL EJE TRASERO MÁXIMA	± 6,5°.



## CHASIS

Tecnología avanzada, bastidor de tipo escalera seccional de caja soldada a tope con soporte integral ROPS, parachoques delantero completo, travesaño tubular trasero, acero fundido en todas las zonas de transición de tensión cruciales, collarín continuo resistente.

MATERIAL DE LA PLACA	Acero de alta resistencia 482,6 MPa 70.000 psi.
MATERIAL FUNDIDO	Acero de alta resistencia 620,5 MPa 90.000 psi.
ANCHO DEL RIEL	305 mm 12".
PROFUNDIDAD DEL RIEL (MÍNIMO)	864 mm 34".
ESPESOR DE LA PLACA SUPERIOR E INFERIOR	45 mm 1,77".
ESPESOR DE LA PLACA LATERAL	Trasera 25 mm 0,98". Delantera 32 mm 1,26".
MONTAJE DEL EJE DE ACCIONAMIENTO	Pasador y rótula.
ALINEAMIENTO DEL EJE DE ACCIONAMIENTO	Conexión de giro entre el bastidor y el eje.



## TOLVA

Tolva con superficie plana de acero, completamente soldada con refuerzos y visera completa. Cuenta con soportes de goma en el chasis, protección lateral para el operador y estinga de elevación como equipamiento estándar. La visera extendida y el calentador de escape pivote son opcionales.

LÁMINA DEL PISO	Exterior 16 mm 0,63". Centro 19 mm 0,75". Acero de alta resistencia 1.379 MPa 200.000 psi.
LÁMINA DELANTERA	Exterior 10 mm 0,39". Centro 12 mm 0,47". Acero de alta resistencia 1.379 MPa 200.000 psi.
LÁMINA LATERAL	Exterior 10 mm 0,39". Acero de alta resistencia 1.379 MPa 200.000 psi.
LÁMINA DE LA VISERA	6 mm 0,24". Acero de alta resistencia 690 MPa 100.000 psi.
SAE COLMADA Z1	250 m <sup>3</sup> 327 yd <sup>3</sup> .
PESO DE LA TOLVA KOMATSU ESTÁNDAR	41.731 kg 92.000 lb.



## SISTEMA DE FRENOS

FRENOS DE SERVICIO	Frenos de discos múltiples, accionados de forma hidráulica y enfriados por aceite en cada rueda.
SISTEMA DE TRACCIÓN	Control de giro/estabilizamiento de la rueda.
PRESIÓN DE APLICACIÓN MÁXIMA DE SERVICIO	18.960 kPa 2.750 PSI.
SUPERFICIE DE FRICCIÓN TOTAL POR FRENO	103.729 cm <sup>2</sup> 16.078 pulgadas <sup>2</sup> .
SISTEMA DE APLICACIÓN AUTOMÁTICA	Aplicación automática antes de que la presión del sistema hidráulico baje del nivel necesario para los requerimientos de detención secundaria.
SISTEMA DE FRENADO SECUNDARIO	Cumple con los estándares ISO 3450.
FRENO DE TRABAJO	Activación por interruptor.
FRENOS DE ESTACIONAMIENTO	Frenos secos de discos múltiples, aplicado por resorte, liberados hidráulicamente en el extremo interior de cada eje del rotor del motor de tracción. Configurado para una pendiente de ± 15 % con el peso bruto máximo del vehículo.
RETARDADOR DINÁMICO ELÉCTRICO	4.476 kW 6.000 hp.



## SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Conjunto del radiador con núcleo sustituible, de flujo dividido con tanque superior tipo purgador de aire.

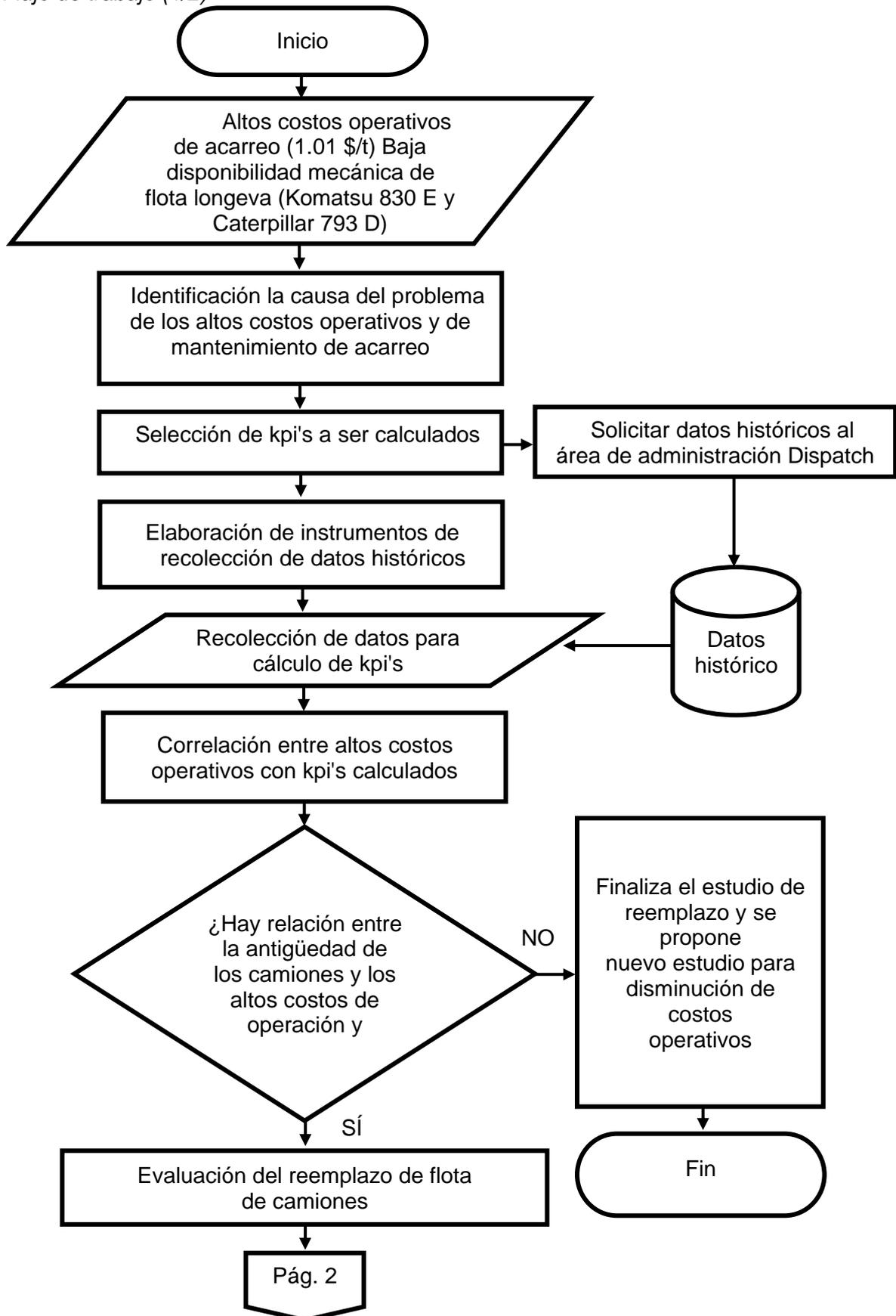
ÁREA DELANTERA DEL RADIADOR	7,02 m <sup>2</sup> 75,5 ft <sup>2</sup> .
-----------------------------	--

Anexo 8: Matriz de consistencia.

<b>PROBLEMA</b>		¿En qué medida la longevidad de la flota de acarreo incide en los altos costos operativos en una mina a tajo abierto?
<b>OBJETIVO</b>		Evaluar el reemplazo de flota de camiones en una mina a tajo abierto para reducir costos operativos.
<b>HIPÓTESIS</b>		Al evaluar el reemplazo de flota de camiones se podrá reducir costos operativos en minería a tajo abierto.
<b>VARIABLES</b>	<b>DEPENDIENTE</b>	Costos operativos y de mantenimiento
	<b>INDEPENDIENTE</b>	Evaluación del reemplazo de flota de camiones
<b>INDICADORES</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disponibilidad de camiones.</li> <li>* Velocidad de camiones</li> <li>* Costo de operación y mantenimiento</li> <li>* Consumo de combustible</li> </ul>
<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tabla de distancia equivalente por flota.</li> <li>* Tabla de consumo de combustible por flota</li> <li>* Tabla de velocidades por pendiente y por flota</li> <li>* Tabla de costo por tonelada movida</li> <li>* Tabla de costos de mantenimiento versus tiempo de operación</li> </ul>

Anexo 9: Flujo de trabajo.

Flujo de trabajo (1/2)



Flujo de trabajo (2/2)

