

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo
para mejorar la productividad de empresas cupríferas a tajo
abierto**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Arturo Aldo Garay Huallpa

 [0009-0005-0986-0810](https://orcid.org/0009-0005-0986-0810)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Garay Huallpa [1]
Referencia/Reference	[1] A. Garay Huallpa, “Análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Garay, 2024)
Referencia/Reference	Garay, A. (2024). <i>Análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis hijos, esposa y a mis padres, que fueron todos y cada uno de ellos parte de este esfuerzo; con sus consejos, su apoyo incondicional y paciencia constante que me impulsan para ser mejor persona y aun mejor profesional.

Agradecimientos

Agradezco a los docentes la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica que impartieron en mí conocimiento durante mi estadía universitaria, en especial a quien en vida fue el Ing. Jorge Diaz Artieda, quien, con su enseñanza, experiencia y dedicación, impulsaron en mi continuar la ardua carrera profesional con ética, tanto en lo personal y profesional. También al Ingeniero Celso Arturo Salvador Ricra, quien me dio la oportunidad de iniciar mi carrera profesional en la minería.

Resumen

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo analizar las capacidades de los camiones mineros para evaluar diversos escenarios que permitirán mejorar la productividad de la operación minera, tanto en las actividades de acarreo como en las actividades de carguío.

Se tomo como caso base el plan LOM, en función a ese caso se trabajó en tres escenarios (Caso 1, 2 y 3) para poder comparar y evaluar con el caso base.

Durante el desarrollo del trabajo de investigación, se analizaron diversos factores que afectan la productividad de la operación, entre ellos están, los tiempos en el ciclo de acarreo, el incremento del número de camiones, el tiempo de espera o demoras; esto último se analizó en función al número de camiones y usando el método de regresión lineal se encontró una relación que permitió estimar el tiempo de espera asumidos, para los diversos escenarios analizados.

Previamente al análisis final se debe mencionar que se tuvo inputs propios de cada compañía, como por ejemplo las políticas de reemplazo de equipos, esto fue relevante en la evaluación, debido a que se tomó en cuenta los costos de equipos de acarreo usados y con rebuilt o equipos de acarreo nuevos.

Como resultado del análisis cuantitativo de las capacidades de los camiones en los tres casos mencionados, se logra obtener una reducción de los costos unitarios respecto al Caso 0, donde se logra reducir en 0.05 \$/TM el costo unitario fijo en promedio por año de operación lo que genera un ahorro de 15 M\$ promedio anual en el Caso 1. De igual manera en el Caso 2, se logra reducir el costo unitario fijo en 0.10 \$/TM promedio anual y en 29 M\$ el costo total anual. Finalmente, en el Caso 3, se reduce el costo unitario en 0.13 \$/TM y costo total en 36 M\$ por año. Siendo este caso el que genera mayor ahorro para la empresa.

Finalmente, se realizó mediante el criterio de valor presente neto de los escenarios propuestos, donde se tomaron rangos de tiempos de 5, 10 y 15 años para la evaluación, dando valor agregado a la empresa en el aspecto económico y operacional.

Palabras claves — Capacidad de camiones, Regresión Lineal, Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno, Productividad de camiones, Tiempo de Espera, Minería a Tajo Abierto.

Abstract

The objective of this work of professional competence is to analyze the capacities of mining trucks to evaluate different scenarios that will improve the productivity of the mining operation, both in hauling and loading activities.

The LOM plan was taken as the base case, and based on this case, three scenarios were worked on (Case 1, 2 and 3) in order to compare and evaluate with the base case.

During the development of the research work, several factors that affect the productivity of the operation were analyzed, among them are the time in the hauling cycle, the increase in the number of trucks, the waiting time or delays; the latter was analyzed in terms of the number of trucks and using the linear regression method, a relationship was found that allowed estimating the assumed waiting time for the various scenarios analyzed.

Prior to the final analysis, it should be mentioned that each company had its own inputs, such as equipment replacement policies, which were relevant in the evaluation, since the costs of used hauling equipment and rebuilt or new hauling equipment were considered.

As a result of the quantitative analysis of the truck capacities in the three cases mentioned, a reduction in unit costs is achieved with respect to Case 0, where the average fixed unit cost is reduced by \$0.05/MT per year of operation, which generates an average annual saving of \$15 million in Case 1. Similarly, in Case 2, the average fixed unit cost is reduced by \$0.10/MT per year and the total annual cost by \$29 million. Finally, in Case 3, the unit cost is reduced by \$0.13/MT and the total cost by \$36 million per year, this being the case that generates the greatest savings for the company.

Finally, the net present value criterion was used for the proposed scenarios, where time ranges of 5, 10 and 15 years were used for the evaluation, giving added value to the company in the economic and operational aspects.

Keywords — Truck Capacity, Linear Regression, Net Present Value, Internal Rate of Return, Truck Productivity, Lead Time, Open Pit Mining.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vii
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.3 Objetivo del estudio.....	4
1.4 Hipótesis general	4
1.5 Operacionalización de variables.....	4
1.6 Antecedentes investigativos	4
1.6.1 Antecedentes internacionales	4
1.6.2 Antecedentes nacionales	5
1.6.3 Antecedentes Locales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	9
2.1 Marco Teórico	9
2.1.1 Evaluación de proyectos	9
2.1.2 Dimensionamiento de equipos de acarreo	10
2.2 Marco conceptual.....	12
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	15
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	15
3.1.1 Enfoque.....	15
3.1.2 Alcance	15
3.1.3 Diseño de investigación	15
3.2 Unidad de análisis:	15
3.2.1 Descripción	17
3.2.2 Geología Regional.....	17

3.2.3	Geología estructural	19
3.2.4	Operaciones unitarias	23
3.3	Matriz de consistencia	26
3.4	Población y muestra	28
3.4.1	Población	28
3.4.2	Muestra	28
3.5	Recolección de datos	28
3.5.1	Costos de capital de los camiones mineros.....	28
3.5.2	Costos unitarios de la operación minera.....	29
3.5.3	Velocidades de la operación unitaria de acarreo	29
3.5.4	Plan de minado a largo plazo (LOM)	29
3.6	Procesamiento de la información	30
3.6.1	Plan de minado Largo plazo (LOM).....	30
3.6.2	Escenarios propuestos.....	33
3.6.3	Parámetros asumidos (Velocidades, tiempos de acarreo).....	35
3.6.4	Tiempos de espera estimado del ciclo de acarreo (Queue time)	35
3.6.5	Consumos de combustible de camiones Gigantes	38
3.7	Análisis de la información.....	38
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		41
4.1	Análisis de productividad.....	41
4.2	Validación de hipótesis.....	52
Conclusiones		57
Recomendaciones		59
Referencias bibliográficas.....		60
Anexos		61

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Propiedades del Sistema Flexigel.....	24
Tabla 2: Matriz de consistencia.....	27
Tabla 3: Cuadro de velocidades en la operación minera.....	29
Tabla 4: Valores de tiempos y velocidades asumidas en el ciclo de acarreo.....	35
Tabla 5: Data dispatch hang time y Queue Time.....	36
Tabla 6: Relación dentro del ciclo de acarreo para cada tipo de camión minero.....	37
Tabla 7: Relación dentro del ciclo de acarreo para cada tipo de camión minero.....	37
Tabla 8: Constantes para el cálculo de consumo de combustible.....	38
Tabla 9: Costos horarios de componentes.....	39
Tabla 10: Costos horarios de aceites y filtros.....	39
Tabla 11: Vida útil de llantas y tolvas.....	39
Tabla 12: Supuestos generales para el análisis de costos.....	44
Tabla 13: Supuestos generales para el análisis de costos.....	45
Tabla 14: VPN acumulado para costos fijos.....	46
Tabla 15: Comparación de incremental entre casos para costos fijos.....	46
Tabla 16: VPN acumulado para costos variables.....	47
Tabla 17: Comparación de incremental entre casos para costos variables.....	47
Tabla 18: Costo unitario fijo (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.....	53
Tabla 19: Pruebas de normalidad.....	55
Tabla 20: Comparación por parejas.....	56
Tabla 21: Resumen de estadísticos de prueba.....	56

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Ciclo de Carguío y Acarreo.....	6
Figura 2: Arreglo final de Mina Cerro Verde.....	7
Figura 3: VAN vs Tasa.....	9
Figura 4: Vía de acarreo de camiones mineros.....	12
Figura 5: Mapa de Ubicación Geográfica.....	16
Figura 6: Columna Estratigráfica del Proyecto Minero Cerro Verde.....	19
Figura 7: Columna Estratigráfica del Proyecto Minero Cerro Verde.....	22
Figura 8: Esquema de Voladura de Contorno.....	23
Figura 9: Configuración voladura de contorno.....	25
Figura 10: Carguío de camión minero con pala Eléctrica.....	25
Figura 11: Transporte de material con camiones mineros.....	26
Figura 12: Pit final LOM 2018.....	30
Figura 13: Vista de sección 2018 del Pit final.....	31
Figura 14: Plan de producción de mineral hacia las chancadoras primarias.....	32
Figura 15: Minado a los diferentes destinos KTPD.....	34
Figura 16: Relación Hang y Queue Time.....	36
Figura 17: Camiones totales a lo largo de la vida de la mina.....	41
Figura 18: Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 0.....	42
Figura 19: Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 1.....	42
Figura 20: Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 2.....	43
Figura 21: Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 3.....	44
Figura 22: Costos operativos (\$/hr) del Caso 0.....	45
Figura 23: VPN acumulado para costos fijos.....	46
Figura 24: VPN acumulado para costos variables.....	47
Figura 25: Flujo de caja detallado para costos fijos.....	48
Figura 26: Flujo de caja detallado para costos variables.....	48

Figura 27: Costo unitario fijo para operación de camiones (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.....	49
Figura 28: Costo operativo fijo total (M\$) a lo largo de la vida de la mina.....	49
Figura 29: Costo unitario variable para operación de camiones (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.....	50
Figura 30: Costo operativo variable total (M\$) a lo largo de la vida de la mina.....	50
Figura 31: Detalle de costo operativo variable total por componentes.....	51
Figura 32: Comparaciones del NPV de los diferentes casos.....	52
Figura 33: Gráfico Q-Q normal de Caso 0.....	54
Figura 34: Gráfico Q-Q normal de Caso 1.....	54
Figura 35: Gráfico Q-Q normal de Caso 2.....	54
Figura 36: Gráfico Q-Q normal de Caso 3.....	55
Figura 37: Prueba de Friedman para muestras relacionadas usando Software SPSS.....	56

Introducción

El presente trabajo de investigación está elaborado en cuatro capítulos que se detallan a continuación:

El Capítulo I titulado Parte introductoria del trabajo contiene;

Generalidades, se describe tanto el alcance del presente trabajo de investigación, la problemática asociada y la finalidad de la investigación.

Descripción del Problema de Investigación: Detalla la problemática de las empresas cupríferas a tajo abierto de gran minería para lograr reducir los costos operativos de la operación minera.

Objetivo del estudio: Donde se detalla la finalidad del trabajo de investigación.

Antecedentes Investigativos: Donde se expone y detallan tesis que aportan información teórica y práctica relevante para el presente trabajo de investigación

El Capítulo II, con el título de Marcos teórico y conceptual contiene:

Marco teórico, donde se desarrollan temas relevantes para la elaboración del presente trabajo, como el valor presente neto, regresión lineal, evaluación de proyectos, dimensionamiento de equipos.

Marco Conceptual, donde se definen términos recurrentes en el presente trabajo de investigación, explicando un significado específico.

El Capítulo III, con el título Desarrollo del trabajo de Investigación contiene:

El tipo y diseño de la investigación, donde se enfatiza el enfoque, alcance y diseño del presente trabajo.

Unidad de análisis, donde se menciona la unidad minera y sus características geológicas y regionales.

Matriz de consistencia, donde se analiza el tipo de trabajo de investigación que se ha elaborado.

Población y muestra, donde se indica el origen de la información y su naturaleza

Datos requeridos para el análisis, como el costo capital, los costos operativos, tiempos asumidos dentro del ciclo de acarreo y otros datos relevantes adicionales.

Etapas de la investigación, en esta parte de la investigación se desarrolla la recolección de datos, procesamiento de datos y análisis de la información.

Procesamiento de la información mediante el valor presente neto y el retorno de la inversión en el tiempo, para tomar una adecuada decisión respecto a la inversión requerida.

El capítulo IV, con el título Análisis y discusión de resultados y contiene:

En este ítem se indica la opción más adecuada a la operación minera en análisis, indicando las justificaciones para la toma de decisión.

En este capítulo se realiza la contrastación de la hipótesis “un adecuado análisis cuantitativo mejoraría la productividad de las empresas cupríferas a tajo abierto”, es positiva

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La presente investigación titulada “análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto” surge a raíz de la necesidad de buscar alternativas para dar valor agregado a las actividades de empresas mineras.

Las operaciones de minado a tajo abierto, por la naturaleza de la actividad, involucra gran movimiento de material para obtener el mineral deseado.

Este tipo de operación poseen una característica común en sus planes de minado, a medida que se profundiza el minado, se observa una tendencia al incremento de las unidades de camión minero; siendo la actividad de acarreo

uno de los componentes principales de los costos operativo, siendo esta actividad la encargada del transporte del material minado a los diversos destinos (procesos de mineral y desmonte). por tanto, es importante analizar las variables involucradas en esta actividad así permita mejorar la productividad de la operación minera.

El tiempo de espera o tiempo de colas es una de las variables que influye directamente con la cantidad de unidades de camiones mineros en la operación y al tener un incremento de las unidades, esto genera tiempos de espera mayores, mayor consumo de combustible, se incrementa la emisión de gases por efecto invernadero entre otros efectos.

Como parte de la mejora continua en la operación se buscan alternativas que mejoren el rendimiento de los equipos, tanto de acarreo como de carguío de material.

La presente investigación se enfocó en alternativas para el reemplazo de los camiones mineros actuales por otros de mayor capacidad, esto lograría reducir el número de unidades.

Las unidades analizadas para reemplazar los camiones actuales serán de fabricación de las empresas Komatsu y Caterpillar, donde se utilizará información del fabricante, tanto como el Payload, consumo de combustible,

También se considerará información que la empresa minera a tajo abierto proporcionará, como por ejemplo valor comercial de compra de los camiones, costos de mantenimiento, velocidades asumidas por la corporación entre otros.

Finalmente, esto se traducirá en mayor rentabilidad y una evaluación económica favorable a la operación a tajo abierto.

Adicionalmente a la evaluación realizada y los resultados obtenidos, la reducción de unidades está directamente relacionada con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero esto último alineado a la estrategia nacional ante el cambio climático (DS- 011-2015 MINAN). Anexo 1.

1.2 Descripción del problema de investigación

La minería a tajo abierto por la naturaleza de la actividad tiene un gran impacto en su entorno, con el avance de la operación se profundiza la mina y esto conlleva a un incremento de camiones mineros, con el tiempo esto afecta negativamente a la productividad de la operación.

Una operación a tajo abierto, con un movimiento de material de aproximadamente 1,000 KTM por día, se requiere hasta 129 unidades de camiones mineros entre modelos CAT 793 y KOM 930;

Los camiones que se utilizan estos camiones tienen capacidades de 245 y 300 Tn respectivamente (Caterpillar Performance Handbook 43 y Specification & application handbook Edition 32).

En este escenario actual, el tránsito de camiones genera mayores tiempos en colas (Data estadística del sistema Dispatch), afectando la productividad de la operación minera.

Adicionalmente, los equipos analizados utilizan combustible derivado del petróleo y como efecto origina mayores emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el

consumo promedio de un camión en 60 Gln/hr, Specification & application handbook Edition 32, página 1006.

Con el tiempo se va a requerir hasta 170 unidades, producto de la profundización del minado.

Con el tránsito que se tendría, la productividad se verá afectada y los gases por combustión se incrementarían; esto último no estaría alineado a la estrategia nacional ante el cambio climático (DS- 011-2015 MINAN).

Desde ya muchos años atrás, la industria en general se ve impactada por el incremento del consumo de combustible y esto trae como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero, donde la industria minera no es la excepción a esto.

Durante años, la búsqueda de la mejora en la productividad no estuvo enfocada en reducir el consumo de combustible, sino en incrementar los volúmenes de producción. El enfoque actual ya incluye, no solo el incremento de la producción sino en, reducir los impactos negativos que conlleva estos escenarios. Uno de estos impactos negativos es la emisión de gases de efecto invernadero.

Una consecuencia adicional de este incremento de unidades, será la mayor exposición a los peligros que los camiones en tránsito generarían.

Al tener mayor número de unidades en el tiempo, se ve mayor tránsito en las vías de la mina, lo cual aumenta la exposición de las personas a estos equipos de gran energía.

Los accidentes de tránsito o vehículos en movimiento es uno de los mayores eventos que se registran en una operación minera y es algo que toda empresa busca reducir o eliminar, siendo esto un objetivo prioritario para una organización.

Formulación del problema

¿En qué medida la limitada capacidad de los camiones de acarreo impacta negativamente a la productividad de la operación?

1.3 Objetivo del estudio

Desarrollar un análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad, logrando reducir la cantidad de camiones mineros y la emisión de gases de efecto invernadero.

1.4 Hipótesis general

Un adecuado análisis cuantitativo mejoraría la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto.

1.5 Operacionalización de variables

Variable dependiente (V.D.): Productividad de empresas cupríferas a tajo abierto

Variable independiente (V.I.): Análisis cuantitativo de las capacidades de camiones mineros

1.6 Antecedentes investigativos

A continuación, se describen los antecedentes relacionados al tema de investigación, realizados en los ámbitos internacionales y nacionales.

1.6.1 Antecedentes internacionales

Luque, E. (2016), tesis "Modelo de Estimación y Comparación de Velocidades Reales o Simuladas de los Camiones Komatsu 930E en Minera los Pelambres – Antofagasta Minerals Chile", Desarrolla un análisis comparativo de las variables en el ciclo de acarreo, en este caso los tiempos Reales y los tiempos simulados.

Parte de estas variables lo conforma el tiempo de espera o cola que se genera como parte del ciclo de acarreo; el tiempo en espera es afectado por el número de unidades de camión minero.

Se analiza el efecto de los tiempos y se elabora una adecuada estimación del ciclo de acarreo, esto afecta directamente a decidir el destino del material en el tiempo.

El planeamiento de minado optimizado da como resultado una mejor productividad en todo el proceso a tajo abierto.

1.6.2 Antecedentes nacionales

Chumacero, J. (2021), Documento de trabajo N°02 “Técnicas para Evaluación de proyectos de inversión”; el documento profundiza los aspectos teóricos para una evaluación de proyectos utilizando como criterios el valor presente neto (VAN), la tasa interna de retornos (TIR) y el tiempo de retorno de la inversión.

El criterio del valor presente neto calcula la ganancia o pérdida esperada de un proyecto al descontar todas las entradas y salidas de efectivo futuras, analizando estos flujos en el presente; para cálculo del valor presente se utiliza una tasa de descuento.

El valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN) es el resultado de la diferencia entre el valor actualizado de una serie de flujos netos de efectivo y la inversión inicial, calculado en el momento presente.

Valor actualizado (o valor descontado) se refiere al hecho de “traer” todos los flujos netos de efectivo al momento presente, utilizando para ello el factor actualización $1/(1+i)^n$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{FNE_t}{(1+i)^n} \quad (1)$$

La tasa de descuento (i) utilizada representa la tasa de costo de capital (TCK) requerida del inversionista.

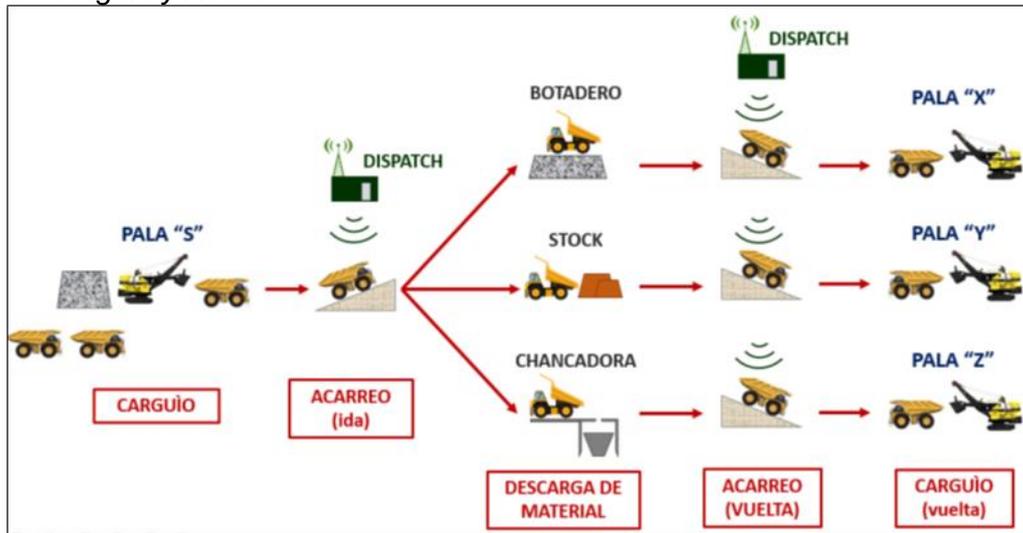
Champi R., Collanqui A. (2021), tesis “Cálculo de la flota de camiones, para optimizar el plan de producción de una mina a tajo abierto”; analiza y desarrolla el cálculo del número óptimo de unidades para la flota de camiones, que realizarán el acarreo de material (mineral y desmonte) a los diversos destinos asignados a cada proceso de la operación a tajo abierto.

Adicionalmente a la elaboración de un planeamiento de minado, con todo lo que involucra esto, se realiza un análisis económico utilizando el criterio del Valor presente neto de los escenarios presentados, corroborando la factibilidad del proyecto para su ejecución.

Como resultados de todo el análisis y cálculo de la flota adecuada, se mejora la productividad del minado lo que involucra un mejor costo unitario en la operación a tajo abierto.

Figura 1

Ciclo de Carguío y Acarreo



Fuente: Tesis "Calculo de la flota de camiones, para optimizar el plan de producción de una mina a tajo abierto", autor: Ronal Champi Mamani

1.6.3 Antecedentes Locales

Gonzales, T. (2010), en la tesis "Diseño de Minas a Tajo Abierto"; la investigación describe, analiza y evalúa cada una de las etapas, desarrolla el cálculo de las reservas de un determinado yacimiento, así como el diseño de mina. El límite final de diseño de la mina y límite final económico del Tajo abierto no son lo mismo, la diferencia radica en que los optimizadores no incluyen en los cálculos el valor del dinero en el tiempo.

Los precios, recuperaciones, costos y parámetros físicos de un determinado proyecto son esenciales para determinar los contornos y límites económicos del proyecto. Estos parámetros pueden determinar la viabilidad o no del proyecto, por ejemplo, si el costo de extracción es alto o las recuperaciones son muy bajas o costosas debido a un contaminante el proyecto no es viable; el precio es una de las variables más importantes debido a que es controlado por el mercado y no por la compañía.

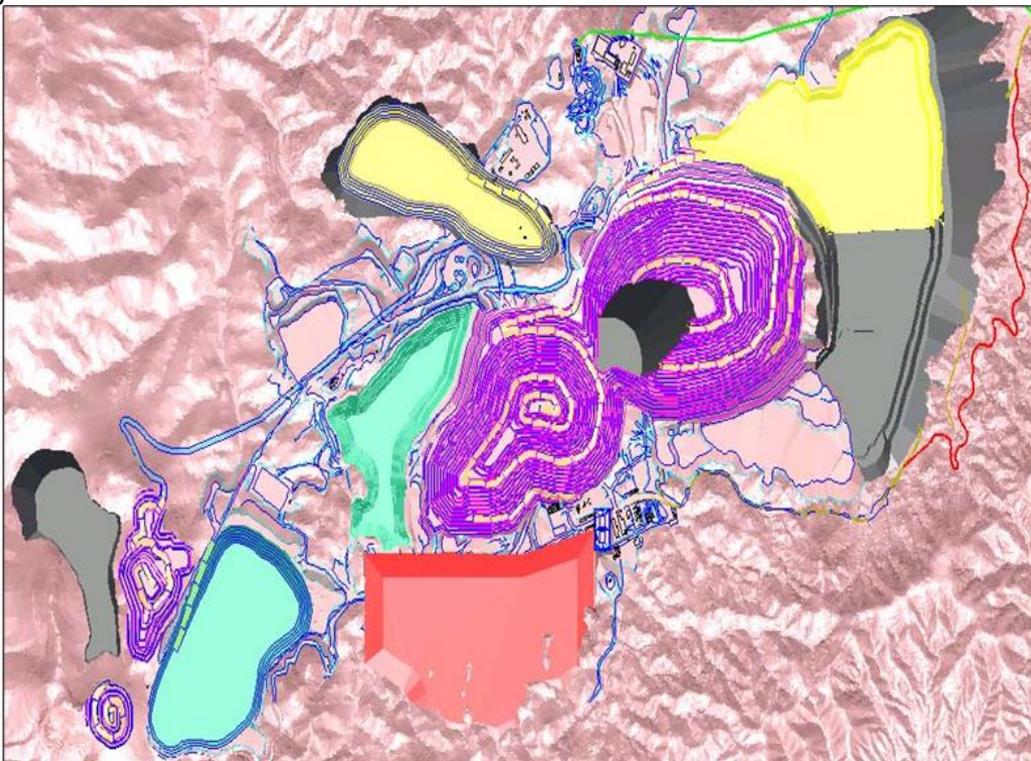
Los anchos de carretera dependen del tamaño de equipo de acarreo a usar, En general en minas a tajo abierto de gran escala de aturas de banco de 15 metros, 50 pies

de altura, tienen las carreteras con una gradiente entre 8 y 10%, el ancho total de carretera entre 32 y 35 metros.

En el mercado existen muchos softwares que permiten hacer el trabajo de diseño de manera sencilla y su flexibilidad permite hacer muchas alternativas, la guía para el diseño son los contornos proporcionados por los optimizadores, dependiendo de la complejidad del yacimiento los diseños pueden empezar desde la parte superior, intermedia, inferior o una combinación de ellos, los demás parámetros como ángulos inter - rampa, etc., deben de ser los mismos usados en la optimización, una regla practica del chequeo del diseño es que la diferencia de tonelaje entre las reservas o cantidad de mineral dentro del diseño sin rampas y el diseño final operativo no debe de exceder el 2%, esto de alguna manera garantiza que no se hayan añadido rampas adicionales, descansos o usados ángulos inter - rampa diferentes.

Figura 2

Arreglo final de Mina Cerro Verde



Fuente: Tesis "Diseño de minas a tajo abierto", Autor: Tomas Gonzales Padua.

Calampa Pinedo, Jardey. (2010), en la tesis “Descripción de una metodología de diseño de un tajo abierto”; Dentro de las etapas para el minado de un tajo abierto o minería superficial se tiene como metodología un punto importante como es el ALGORITMO DE LERCHS GROSSMAN.

El método de Lerchs-Grossman 2D optimiza los límites de diseño del tajo en secciones verticales, se puede analizar los resultados de diferentes secciones verticales y ser suavizados y revisados en forma manual, pero aun cuando el pit es óptimo en cada una de las secciones, es probable que el pit final resultante del proceso de suavizamiento no lo sea. Describiremos el proceso de optimización de Algoritmo en 2D:

$$P_{ij} = M_{ij} + \max (P_i + k_j - 1) \quad (2)$$

Dónde:

$K = -1, 0, 1$, M_{ij} , representa el beneficio obtenido para extraer una sola columna de bloques con el bloque ij en su base. P_{ij} , es el beneficio máximo que pueden generar columnas 1 hasta j dentro de un pit que contiene el bloque ij en su límite. Este método se puede ilustrar mejor por medio de un ejemplo.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Evaluación de proyectos

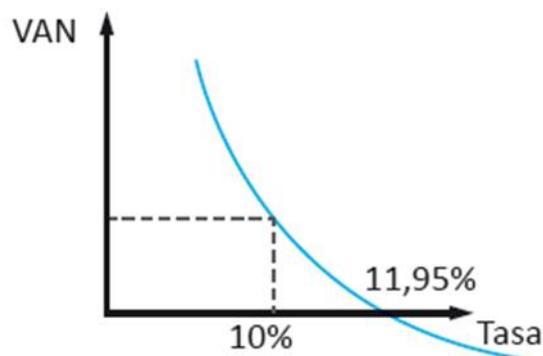
Sapag Chain, N. (2011), "Proyecto de Inversión Formulación y evaluación" Valor Actual Neto (VAN) o también valor presente neto, es el criterio que se utiliza como parte de una evaluación de un proyecto, es el método más conocido y aceptado por los evaluadores de proyectos; Mide el excedente resultante después de obtener la rentabilidad deseada o exigida y después de recuperar toda la inversión. Para ellos se calcula el valor actual de todos los flujos futuros de casa a partir del primer periodo de operación y se le resta la inversión total.

La tasa interna de retorno (TIR) es la que mide la rentabilidad como porcentaje, si bien este criterio se utiliza en evaluaciones económicas, en la actualidad existen razones por las que menos aceptación y estas son:

- El resultado conduce a la misma regla de decisión que la obtenida con el valor presente neto
- No sirve para comparar proyectos; un mayor TIR no representa una mejor inversión por que la cuantía se mide en función a la inversión realizada.

Figura 3

VAN vs Tasa



Gráficamente, la TIR (11.95%) muestra la tasa donde el VAN se hace 0.



Fuente: Nassir Sapag Chain, Proyecto de inversión Formulación y evaluación, Pág. 289

En la Figura se ilustra que un valor inicial incrementa al pasar del tiempo, ya sea porque debe pagarse un interés o porque se recibe un interés a una tasa establecida.

Matemáticamente, esta relación se resuelve por:

$$VF = VA(1 + i)^n \quad (3)$$

Donde i es la tasa de interés pagado o cobrado (Tasa), y n es el número de periodos (Nper) entre el momento en que están expresados VA y VF .

Si lo que se busca es calcular el valor actual de un valor futuro (por ejemplo, para determinar cuánto se debe depositar hoy para lograr tener ahorrado un cierto monto después de un número de periodos definido), se despeja el elemento VA de la Ecuación 9.1, multiplicando el valor futuro por un factor de descuento que debe ser menor que 1 y que se expresa como $1 / (1 + i)^n$. De esta forma, el valor actual de un valor futuro se obtiene de:

$$VA = VF \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (4)$$

2.1.2 Dimensionamiento de equipos de acarreo

Vásquez, A. et al, (1998), en el libro “Diseño y operaciones de minas a cielo abierto”; dentro de los parámetros de diseño se debe dimensionar los equipos involucrados en la operación y parte de esto son los camiones Mineros que acarrear el material en la mina.

En el ciclo de acarreo los tiempos involucrados son afectados por los diferentes destinos y procesos que existen en la operación.

Los diversos destinos planificados en un horizonte a largo plazo afectan directamente a los tiempos del ciclo de acarreo.

En los destinos como las chancadoras y frentes de pala se generan tiempos de espera o colas que se analizarán para evidenciar el efecto en el ciclo de acarreo.

Dentro de esta actividad participan los equipos de servicios mina, aunque a veces se requiere de la participación de los equipos productivos (perforación, voladura, carguío y transporte) para realizar movimientos específicos de materiales.

Dentro de la geometría de los accesos podemos destacar:

- Ancho de Bermas.
- Ancho de Cunetas.
- Pendiente.
- Ángulo de la pared del camino (corte o relleno).

Estos últimos ítems deben ser analizados desde un punto de vista operativo, por ser parte del presente trabajo de investigación.

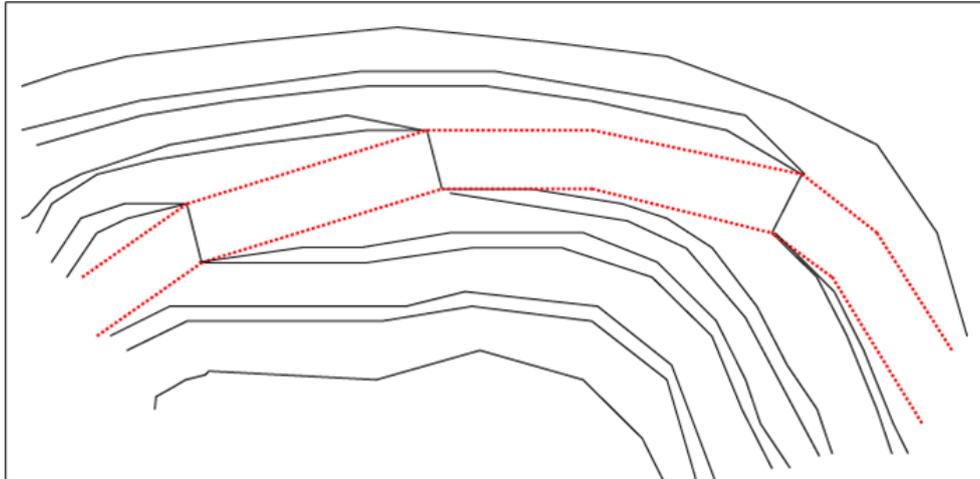
Otros parámetros geométricos a considerar dentro del diseño de una mina son:

- Ancho máximo de expansión.
- Desfase entre palas.
- Ancho mínimo de operación (Perforación, Carguío y Transporte).
- Cruce de Camiones o doble vía.
- Ángulo Overall.
- Ángulo inter rampas.
- Ángulo de la pared del banco.

Para la explotación de un tajo abierto se puede observar que los accesos (rampas o accesos específicos) se visualizan de la siguiente manera (Líneas rojas):

Figura 4

Vía de acarreo de camiones mineros



Fuente: Alejandro Vásquez, Benjamín Galdames, René Le-Feaux

Para la unidad de análisis a estudiar se tiene un perfil de acarreo detallado que se puede visualizar en el Anexo 1.

2.2 Marco conceptual

- **Colas**

Tiempos de espera durante el ciclo de acarreo de los camiones Mineros, estos tiempos serán analizados para mejorar la productividad del proceso.

- **Mineral**

Material con alto contenido de cobre, superior a la ley de corte y será procesado en la planta concentradora o en la planta industrial.

- **Estéril**

Referido al tipo de material con un bajo contenido de cobre y que no es económicamente rentable; es también llamado desmonte. Este material tendrá como destino los botaderos.

- **Carguío**

Referido a la actividad que realiza la pala para cargar de material al camión minero.

- **OPEX**

Es el costo operativo que la compañía genera a raíz de las actividades diarias en la operación minera.

- **CAPEX**

Es la inversión o gasto que la compañía realiza ya sea en bienes y/o equipos.

- **PAD's**

Son pilas o acopios de material que poseen contenido de cobre; este material cumple características químicas especiales, por medio del regadío con soluciones acidas, se logra liberar el contenido de cobre de las rocas.

- **ROM**

Run of Mine, es el mineral que se extrae directamente del yacimiento y se deposita en el PAD de lixiviación, sin considerar procesos intermedios.

- **CRUSH LEACH**

Material lixiviable que por su contenido de cobre (mayor al material ROM), pasa por el proceso de chancado, acopio en Stock Pile luego pasa por el proceso de aglomeración para que facilite a la lixiviación del material depositado en los PAD's.

- **MILL1:**

Principalmente conformado por Sulfuro primario que tiene como destino la chancadora MILLCHAN, material que será procesado en la planta concentradora C1

- **MILL 2**

Principalmente conformado por Sulfuro primario que tiene como destino la chancadora MILLCRUSH, material que será procesado en la planta concentradora C2

- **Queue Time**

Es el tiempo de espera de un camión minero dentro del ciclo de acarreo.

- **Load Time**

Tiempo que demora en cargarse un camión minero con algún equipo de carguío como palas, cargadores frontales o excavadoras.

- **Spot Time**

Tiempo que le toma a un camión minero para que pueda acomodarse y esperar la carga de material.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

En base con la naturaleza de la investigación y a la problemática planteada, a continuación, se detalla el tipo de Investigación:

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Enfoque

La presente investigación con respecto al enfoque corresponde a uno del tipo cuantitativo, considerando que cinco de las siete características epistemológicas son de naturaleza de una investigación cuantitativa:

- Percepción de la realidad: Objetiva (en base a análisis).
- Finalidad: Comprobación.
- Orientada: al Resultado.
- Principio de verdad: Particulariza.
- Causalidad: Antecedentes específicos.

3.1.2 Alcance

El alcance de la presente investigación es explicativo, debido a que la investigación está orientada a explicar detalladamente diversos escenarios que se presentan, para obtener un mejor resultado en la evaluación económica, así darle más valor a la empresa.

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es experimental, ya que se analizan los diferentes escenarios y casos, que podrían mejorar la productividad de la operación actual, con la finalidad de lograr mayor rentabilidad al negocio, caso contrario se podría obtener valores no deseados.

3.2 Unidad de análisis:

El análisis de la presente investigación es la unidad de producción de Cerro Verde, que pertenece a la empresa Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (SMC1V). Siendo propietaria de la unidad minera, desde el 2007, la cooperación Freeport-McMoran. empresa norteamericana.

La operación de la Unidad de producción Cerro verde se encuentra ubicada en los distritos de Uchumayo, Yarabamba y Tiabaya, en la provincia y departamento de Arequipa, aproximadamente a 30 Km al suroeste de la ciudad de Arequipa, a una altitud promedio de 2700 m.s.n.m;

Las coordenadas UTM en el sistema DATUM PSAD – 56 son las siguientes:

N 8,170,700

E 222 800

En coordenadas Geográficas:

Latitud: 16° 32' (Sur).

Longitud: 71° 36' (Oeste).

Figura 5

Mapa de Ubicación Geográfica



Fuente: Google Earth - Abril 2024

3.2.1 Descripción

La Unidad de producción Cerro Verde es un yacimiento de cobre del que se extrae principalmente sulfuros secundarios y primarios, con estos materiales se produce concentrado de cobre, concentrado de molibdeno y cátodos de cobre.

Los concentrados de cobre y molibdeno son producidos por las plantas concentradoras y los cátodos de cobre en la planta industrial; cada uno de estos procesos tiene un origen distinto, principalmente según el tipo de mineralización y contenido de cobre del mineral.

Actualmente la Unidad de producción Cerro Verde acarrea con los camiones mineros aproximadamente 1 Millón de TM diarias como material Movido, siendo esto un gran reto para la operación.

Cabe resaltar que este material movido se incrementará en el tiempo según los planes de minado a largo plazo.

La unidad minera cerro verde consta de una planta concentradora y una planta industrial; la planta concentradora produce el concentrado de cobre principalmente de los sulfuros primarios y para la producción de cátodos principalmente se usan los sulfuros secundarios, transicionales y óxidos de cobre , este tipo de mineral es llevado a los Pads de lixiviación que luego ser liberado el cobre de la roca , esta solución es llevada a la planta industrial SX-EW, donde se producen los cátodos de cobre.

3.2.2 Geología Regional

El área circunscrita a los yacimientos de Cerro Verde y Santa Rosa está conformada por rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas, teniendo como basamento y las más antigua al Gneis Charcani de edad Precámbrica, por encima afloran el volcánico Chocolate y formación Socosani del Jurásico Inferior a medio, continua el Grupo Yura con dos formaciones: Cachios y Labra del Jurásico Superior –Cretáceo Inferior, en el Cretáceo Medio se deposita el volcánico Toquepala, luego de una intensa actividad tectónica y magmática se emplazan los intrusivos del Batolito de la Caldera.

Gneis Charcani como evidencia, es la más antigua del área y forma parte del basamento regional, siendo el más abundante y es de color gris oscuro con tonalidades cremas y verdes claro de grano fino, también presenta una estructura bandeada compuesta por cuarzo, biotita, ortoclasa, plagioclasa y moscovita (en menor cantidad estos dos últimos).

El conglomerado tinajones es reconocido en el afloramiento a 2.5 km al NE de Cerro Verde, con fragmentos redondeados y angulares de diferentes tamaños caóticamente distribuidos.

El volcánico chocolate, se encuentra al norte y NE de cerro verde, compuesto por derrames andesíticos y aglomerados de color verde y marrón oscuro, con tufos y pizarras.

La formación Socosani aflora en el cerro Nicholson a 10km. Al Noroeste de cerro verde, compuesto por calizas y grano grueso de color gris a gris oscuro y marrón en las zonas pizarrosas.

El grupo yura aflora al sur de los tajos cerro verde y santa rosa, pero no es reconocido en la zona de los tajos. el grupo yura tiene una potencia de 500m.

El volcánico Toquepala es reconocido a 15 km al Sur este de cerro verde, es posible que debido a la erosión el volcánico Toquepala a desaparecido de cerro verde y santa rosa.

El Volcánico sencca, formado por Tobas lapillíticas de composición Riolítica de color blanquecina a beige claro, muy deleznable hacia el piso, presencia de líticos entre 2 y 10 cm.

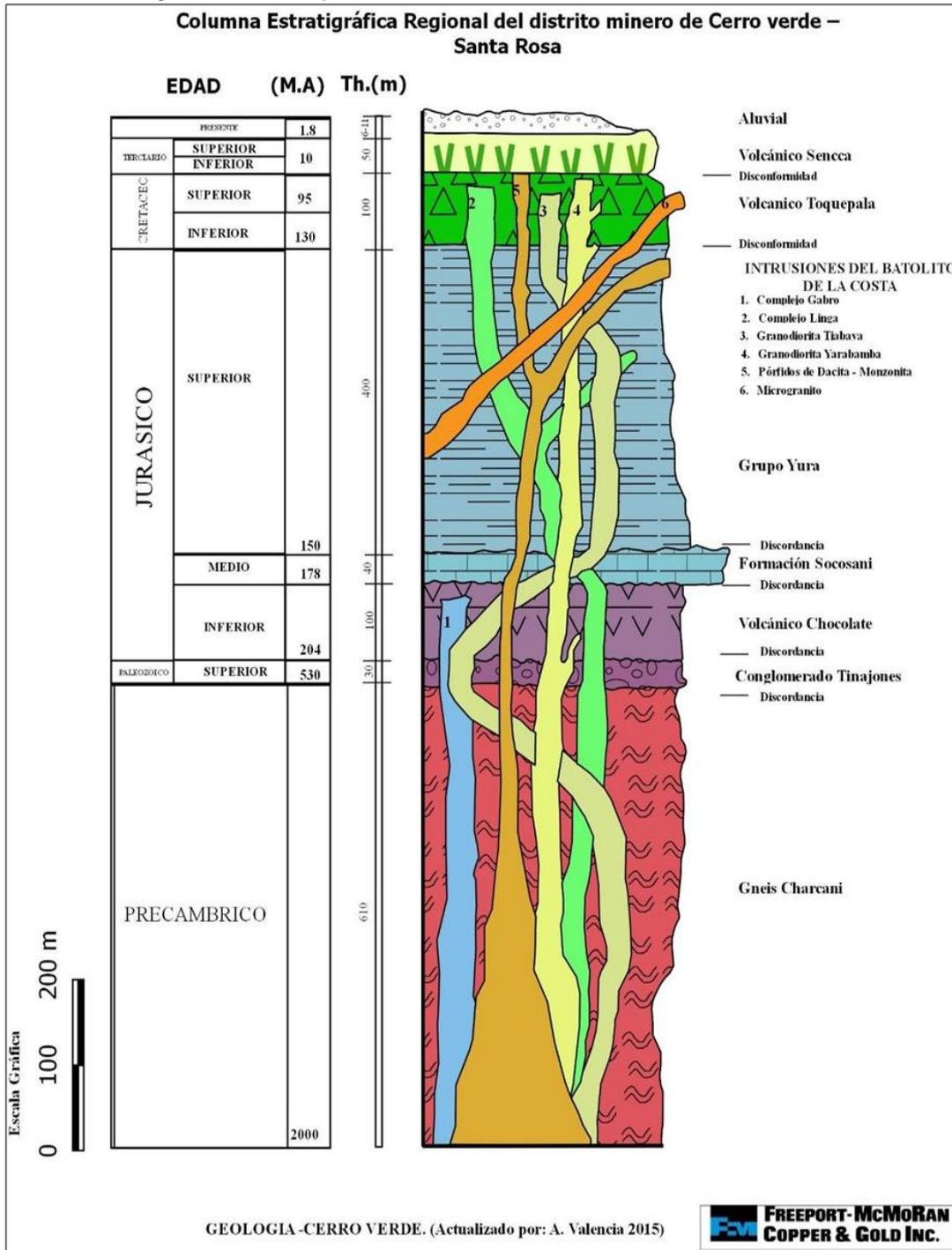
Depósitos cuaternarios en los alrededores de cerro verde y santa rosa con depósitos aluviales y coluviales (arena fina, gruesa, limos y cantos rodados). Capas delgadas de cenizas volcánicas de hasta 0.4 m de espesor que cubren algunas zonas del macizo rocoso y quebradas.

Rocas Intrusivas, que afloran en cerro verde, siendo los que conforman el complejo intrusivo de la caldera, constituido por una serie de plutones y están relacionados con la mineralización de cerro verde.

La columna estratigráfica se muestra en la Figura siguiente:

Figura 6

Columna Estratigráfica del Proyecto Minero Cerro Verde



Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde S.A. – Freeport Mcomoran

3.2.3 Geología estructural

El área de cerro verde y santa rosa se caracteriza por el intenso fallamiento y fracturamiento. en diferentes etapas de su historia geológica especialmente como

consecuencia del levantamiento de los Andes y del emplazamiento del Batolito de la Costa. En los tajos de Santa Rosa y Cerro Verde se reconoce varias fallas, especialmente en esta última.

Los depósitos de Cerro Verde y Santa Rosa están localizados en una zona estructural regional con una tendencia general oeste-noroeste y el sistema de fallas Tinajones presenta una tendencia Oeste-Noroeste, predominando las fallas de desplazamiento de rumbo. La influencia de este sistema de fallas está reflejada en la distribución de leyes de cobre en profundidad. El área de la brecha Bonanza, ubicada en el depósito Santa Rosa, mantiene una tendencia estructural de N 60° W. Una serie de fallas paralelas al sistema de fallas Tinajones y otras tensionales con una inclinación sub-vertical, fueron mapeadas en el 2005 en los tajos Cerro Verde y Santa Rosa, muchas de las cuales controlan la distribución de valores anómalos de Arsénico y Plomo.

Entre estas fallas de nivel regional es relevante mencionar la Falla Cenicienta, Falla Variante, Falla Jenks, Falla Tinajones y Falla Yura. Fallamiento y fracturamiento a nivel local revela un importante componente E-O, sistemas NO-SE y NE-SO, estos sistemas de fallas que atraviesan el depósito y la de dirección Noroeste, han jugado un papel importante en el emplazamiento de los intrusivos mineralizantes; así como en el control de la mineralización primaria en Cerro Verde.

Las principales fallas determinadas a nivel general son:

La falla Cenicienta

Que viene a constituir una estructura muy bien expuesta y de amplia extensión presentando un relieve muy peculiar y topografía relevante, es característica la presencia de panizo en forma sectorizada.

La falla Variante

Está orientada en forma paralela a la falla Cenicienta, su exposición más clara se observa en un corte realizado en la variante de Tinajones, con una potencia promedio de 30.0 metros y buzamientos fuertes entre 60° a 65° NE.

La falla Jenks

Cruza la antigua carretera a Cerro Verde, su potencia estimada es de 5.0 metros y buzamientos de 60°-65° hacia el NE, pone en contacto el gneis con el volcánico Chocolate.

La falla Tinajones

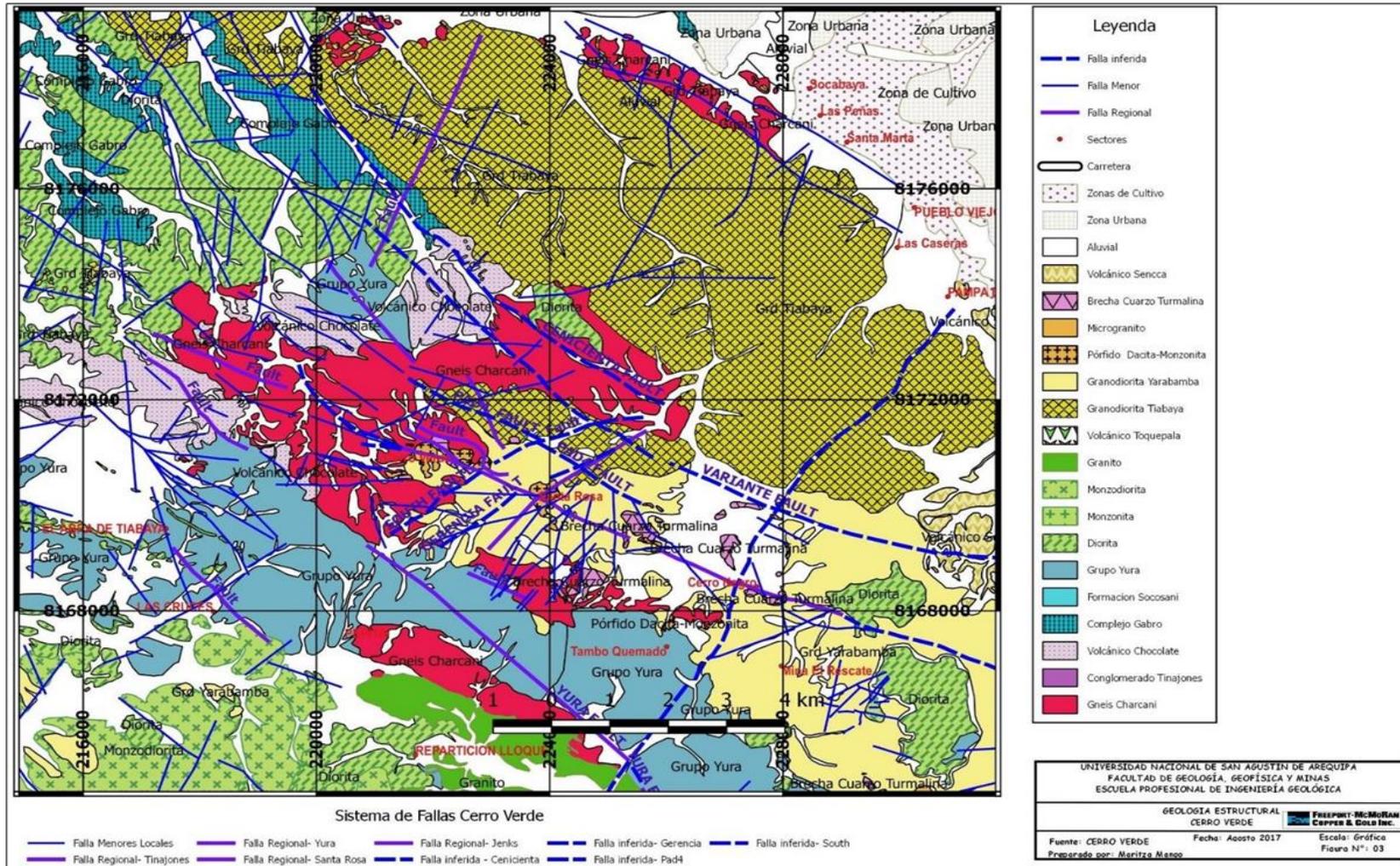
Se expone en la quebrada del mismo nombre presentando panizo principalmente en la Aguada de Estremadoyro, la exposición de sus afloramientos es muy esporádicos debido a la cubierta cuaternaria.

La falla Yura

Pone en contacto el gneis con el Grupo Yura, sus exposiciones más claras están delante del túnel de la antigua carretera, sus exposiciones son bien nítidas exponiendo un contacto fallado.

Figura 7

Columna Estratigráfica del Proyecto Minero Cerro Verde



Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde S.A. – Freeport Mcomoran

3.2.4 Operaciones unitarias

Los tajos cerro verde, santa rosa y cerro negro son operados con el método de explotación superficial a tajo abierto. El material que se extrae está conformado por Óxidos Sulfuros terciarios o transicionales, Sulfuros secundarios, Sulfuros primarios, Relleno.

La lograr esta extracción de materiales, se requiere actividades u operaciones unitarias, que son las siguientes:

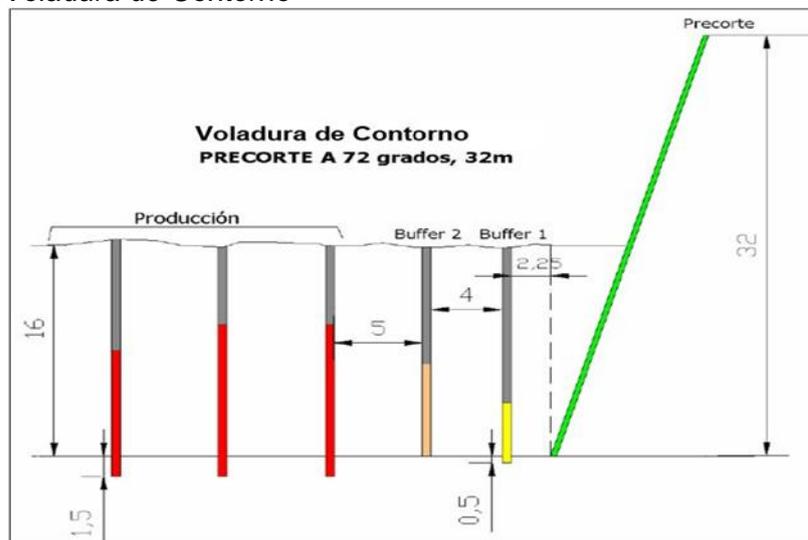
Perforación

La operación minera, inicia con los trabajos de perforación de taladros de voladura primaria y secundaria en los diferentes tajos.

Los trabajos de perforación primaria consisten en la apertura de taladros de 10 5/8' de diámetro con una profundidad aproximada de 16.5 metros y con una distribución y geometría adecuada (Burden y espaciamiento), según los diseños y parámetros establecidos.

Figura 8

Esquema de Voladura de Contorno



Fuente: Departamento de Perforación y voladura Sociedad minera cerro verde

Estos parámetros tienen una relación directa a las características del macizo rocoso

La perforación secundaria comprende la apertura de taladros de 5' de diámetro y con una profundidad de perforación que alcanza hasta los 32 metros de profundidad con una inclinación que obedece a los parámetros de perforación por un mecanismo de DTH

o martillo de fondo según Chambi, O. (2018), en la tesis “Aplicación de Flexigel en voladuras de control”.

Tabla 1

Propiedades del Sistema Flexigel

Propiedades	Sistema Flexigel™ Control			
	50	60	70	80
Densidad (g/cm ³) ⁽¹⁾	0.50	0.60	0.70	0.80
Diámetro Mínimo del Barreno (mm)	200	200	150	150
Largo Máximo del barreno (m)	80	80	80	80
Largo Máximo de Carga (m)	75	75	75	65
Tipo de Barreno	Solo Barrenos Secos			Secos y Desaguados
Sistema de Carguío	vaciado			Vaciado/ Bombeable
Booster Pentex™ Recomendado para diámetro mínimo del barreno	Pentex™ 450g			
VOD Típico (Km/s) ⁽²⁾	2.0-3.0	2.2-3.2	2.5-3.5	2.8-3.8
Energía Relativa Efectiva (REE)⁽³⁾				
Fuerza Relativa en peso	53	60	67	74
Fuerza Relativa en volumen	33	45	57	74
Salida de CO ₂ (kg/t) ⁽⁴⁾	179	169	168	163
Tiempo de Espera	7 días			

Fuente: TDS Orica Mining Services

Voladura

Posterior a las actividades de perforación de rocas, continua la voladura de la roca, esto es realizado para fragmentar las rocas y facilitar el carguío del material roto con equipos pesados como palas y cargadores frontales.

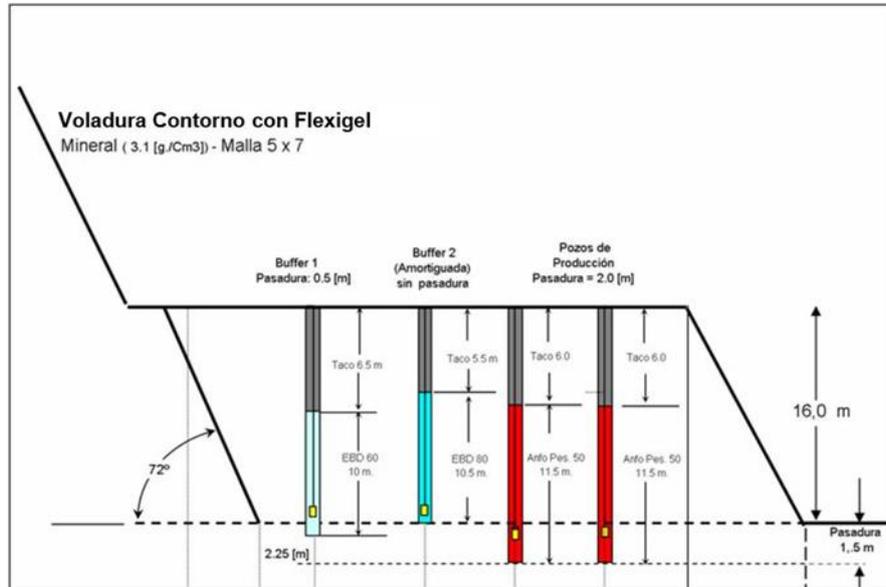
Los taladros perforados y que requieren voladura, son cargados con ANFO (Nitrato de Amonio y Petróleo), en cantidades ya definidas para objetivo buscado.

La mezcla se realiza en camiones fábricas para la obtención de diferentes explosivos, estas mezclas son vertidas de dos maneras: Vaciadas cuando no existe la presencia de agua y bombeables en presencia de agua.

A posteriori, se realiza el control de calidad que consiste en la toma de muestra y envío a laboratorio para análisis a fin de verificar las proporciones de la mezcla.

Figura 9

Configuración voladura de contorno



Fuente: Departamento de Perforación y voladura Sociedad minera Cerro Verde

Carguío

Luego de fragmentado el material, este es cargado mediante equipos pesados principalmente, en palas eléctricas e hidráulicas, en algunos casos, se realiza con cargador frontal en zona donde la pala no puede realizar dichos trabajos por consecuencia de la reducida área de carguío o al apilamiento del material disparado.

Figura 10

Carguío de camión minero con pala Eléctrica



Fuente: www.reporte-minero.cl

Acarreo

El material movido de los tajos, stocks y demás es transportado por camiones gigantes modelos CAT 793 y KOM 930 con una Payload de 245 y 300 toneladas respectivamente.

Figura 11

Transporte de material con camiones mineros



Fuente: <https://Andina.pe/>

3.3 Matriz de consistencia

Título: “Análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto”. Tabla 2

Tabla 2

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	—	OBJETIVO	—	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES
					DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	
¿En qué medida la limitada capacidad de los camiones de acarreo impacta negativamente a la productividad de la operación?	—	Desarrollar un análisis cuantitativo de capacidades en camiones de acarreo para mejorar la productividad	—	Un adecuado análisis cuantitativo mejoraría la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto	Y: Productividad de empresas cupríferas a tajo abierto	X: Análisis Cuantitativo de las capacidades de camiones mineros	X: Capacidades de los camiones mineros (ton) Y1: Costo unitario de operación (\$/ton) Y2: Costo operativo total (M\$)

Fuente: Elaboración propia

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

En el Actual trabajo de investigación, la población está conformada por información de Sociedad Minera Cerro verde (Freeport-McMoran), siendo esta unidad la principal fuente de información para el análisis.

Es importante mencionar que la información desarrollada se apoyó de data de otras unidades mineras similares con el fin de validar con certeza a los resultados obtenidos como por ejemplo las minas a tajo abierto de Toquepala y Cuajone (Southern Perú Copper Corporation)

3.4.2 Muestra

En el presente trabajo de investigación la población se tomó como muestra los tajos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro, pertenecientes a la unidad de producción de Sociedad Minera Cerro Verde (Freeport-McMoran).

3.5 Recolección de datos

El presente trabajo de investigación recopila la siguiente información:

3.5.1 Costos de capital de los camiones mineros

Se recopila información relacionada a los costos de mantenimiento, compra de camiones gigantes modelos Komatsu 980, Komatsu 930, también los costos de mantenimientos mayores (Rebuilt) de los equipos actuales modelos CAT793; esto con el objetivo de analizar el escenario más rentable.

La fuente de estos costos son los asumidos por la cooperación para las evaluaciones económicas, donde está incluido los costos de transporte asociados a la compra.

Para los camiones nuevos Komatsu 930 se tiene un costo de \$ 5.05M y para los Komatsu 980 se tiene un costo de \$ 5.56 M (Anexo 1)

Para los costos de REBUILT de los camiones Komatsu 930 se tiene un valor de \$ 3.10M. (Anexo 2)

En los diversos escenarios los demás costos e ingresos asociados se mantendrían igual.

3.5.2 Costos unitarios de la operación minera

Para la presente investigación se recolecta información de los estados financieros de los últimos 6 años (2014 – 2019), con ello se estima un costo promedio aproximado para los costos operativos de mina, como por ejemplo el costo de minado de 0.75 \$/tm, los costos de re- manejo o llamado Rehandle esta alrededor de 0.44 \$/tm, estos costos operativos son producto de un análisis de 5 a 6 años este detalle se puede observar en el Anexo 3.

3.5.3 Velocidades de la operación unitaria de acarreo

Los datos operativos acerca de las velocidades de los equipos de acarreo tienen como fuente la operación de los camiones en la unidad minera Cerro verde, en los diversos tajos de la operación (Cerro verde, Santa Rosa, Cerro Negro).

Para estimar las velocidades de los camiones K980 se considerarán datos de otras unidades mineras y el HANDBOOK de KOTMASU y para los otros modelos de camiones se estiman con la data histórica de los años 2014 al 2019.

Tabla 3

Cuadro de velocidades en la operación minera

Operation	Fleet	Loaded (Kmph)			Empty (Kmph)		
		Flat	Lift Up	Lift Down	Flat	Lift Up	Lift Down
Cerro Verde	793	32.0	10.5	16.0	32.0	26.0	29.0
	930	32.0	10.5	16.0	32.0	26.0	29.0

Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde.

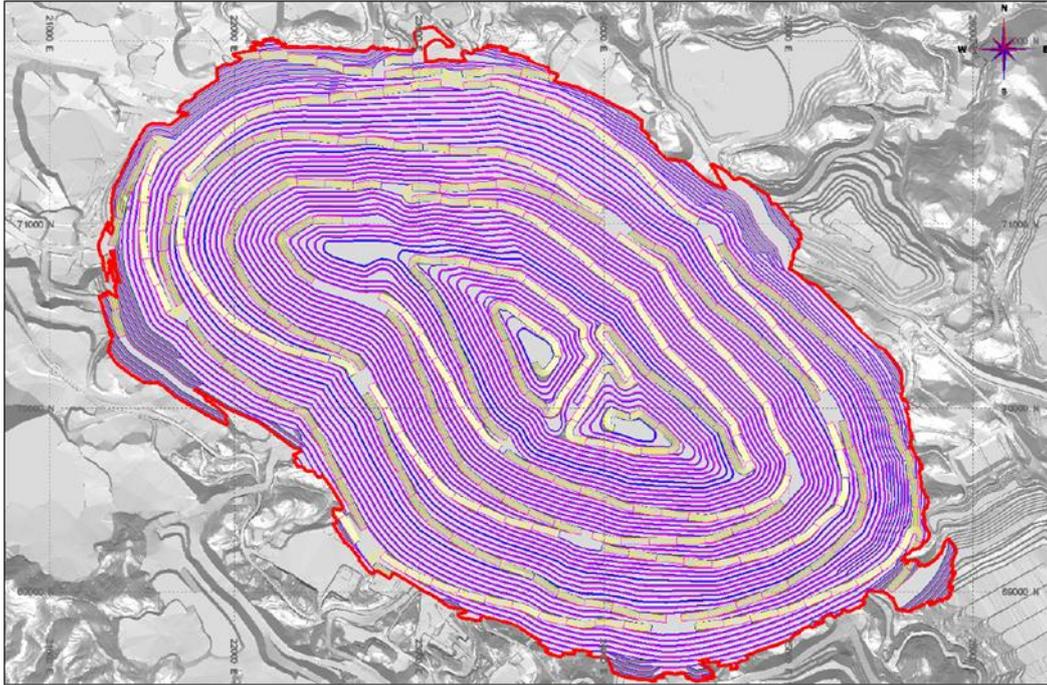
3.5.4 Plan de minado a largo plazo (LOM)

Se recolecta información del plan de minado a largo plazo (LOM 2018), Este plan será el caso base para los diferentes escenarios y evaluaciones económicas requeridas.

Principalmente la información usada serán los diferentes tonelajes por periodos (Mineral a concentradora, Mineral lixiviable, Desmonte y otros) que se muestran en el plan de minado Base.

Figura 12

Pit final LOM 2018,



Fuente Sociedad Minera Cerro Verde

3.6 Procesamiento de la información

3.6.1 Plan de minado Largo plazo (LOM)

Para el presente trabajo de investigación, se analizará los planes de minado a largo plazo o también llamado LOM (Life Of mine).

El plan de minado es elaborado tomando en cuenta el tipo yacimiento, factores económicos y sociales como principales factores a considerar.

Para este caso en análisis se usa el método de explotación superficial o también llamado a Tajo abierto.

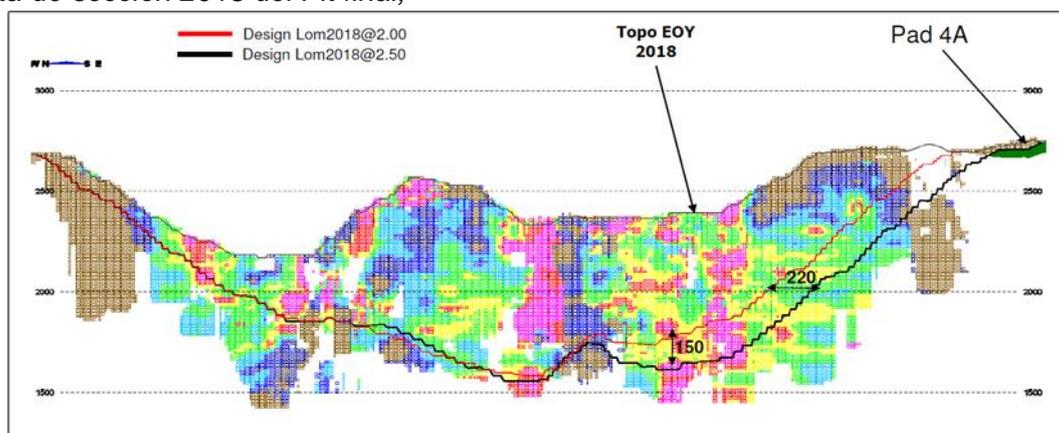
Para explicar un plan de minado a largo plazo, vamos a definir brevemente las etapas para su elaboración:

- Tener inputs del yacimiento o tajo actualizado como la mineralización, alteraciones, litologías, contaminantes, contenidos de cobre, contenidos de molibdeno, etc. Todo esto estará contenido en un modelo de bloques certificado por la corporación de Freeport Mcmoran.

- El modelo tendrá bloques con dimensiones definidas (20mx20mx15m) y cada bloque estará georreferenciado en el espacio.
- Costos operativos, costos de inversión (si lo hubiese), costo de procesos (para obtener concentrado de cobre o cátodos de cobre)
- El precio de cobre actual y un estimado del precio en el tiempo.
- Luego de tener los datos anteriores se procesa la información mediante software (principalmente NPV SHEDULER), esto nos da como resultado las fases de minado iniciales.
- Adicional a la información previamente mencionada, se debe considerar las ubicaciones de las facilidades, líneas eléctricas, líneas de bombeo de agua, zonas intangibles o zonas que no deben ser impactadas, permisos legales aprobados (MEIAS, ITS, etc.).
- Con esta información se realizan modificaciones a las fases de minado iniciales , logrando obtener fases de minado operativas donde se mejoran las rutas de acarreo o evitando impactar infraestructuras existentes.
- Luego de la primera etapa tomando en cuenta los inputs previamente mencionados se realizan modificaciones los diseños de fases iniciales, logrando obtener diseño de fases operativas que pueden mejorar las rutas de acarreo o evitar impactos a infraestructuras existentes.

Figura 13

Vista de sección 2018 del Pit final,



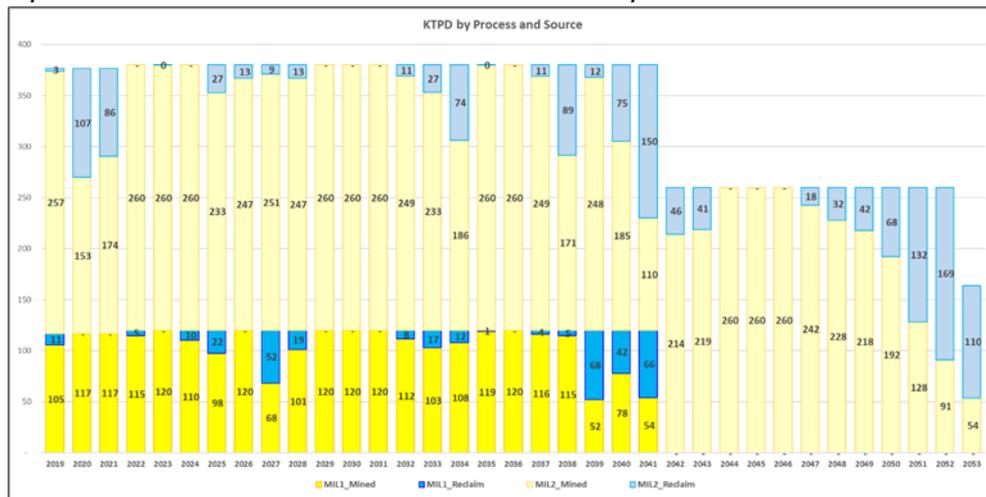
Fuente: LOM 2018 Sociedad Minera Cerro Verde

Plan de producción y supuestos:

El Plan del LOM 2018, ha sido elaborado para proyectar la producción de la Mina y los Procesos a partir del 1 de enero del 2019 hasta fines del año 2053, considerando la operación de los tajos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro y de un total de 08 fases de minado distribuidas en estos.

Figura 14

Plan de producción de mineral hacia las chancadoras primarias



Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde.

Parte del mineral requerido tiene como destino el proceso de lixiviación, que se muestra en el Anexo 4.

Principales supuestos para la elaboración del plan LOM:

- Topografía: Proyectada al fin de diciembre 2018, preparada por Planeamiento Corto Plazo.
- Modelo de recursos: Se utilizó el modelo de recursos Block Model m29b 2019
- Plan de camiones: Se considera el plan de llegada de acuerdo al plan entregado por Mantenimiento Mina (ver Anexo N° 08).
- Se consideraron las velocidades de equipos de acarreo similares al Plan 2018-4Q (ver Tabla 3).
- Se considera Delta C, por mejoras de AGILE , con una reducción de 2min durante los periodos 2Q-4Q del año 2020 (Temporada Seca)
- Requerimiento de planta total es:

- A concentradora C2 se enviará 285 ktpd (2019) y 290 ktpd (2020-2024).
- A concentradora C1 se enviará 123ktpd (2019), y 130 ktpd (2019-2024).

Plan de mina y envió a procesos

El plan de minado considera el requerimiento de mineral a las concentradoras a una tasa de 408 ktpd en promedio para el 2019, distribuido de la siguiente manera, 285 ktpd a las dos chancadoras de C2 y 123 ktpd a la chancadora de C1. Durante los periodos comprendidos del 2020 al 2024, la tasa de mineral promedio a las chancadoras de las concentradoras será de 420 ktpd distribuidas en 290 ktpd para C2 y 130 ktpd para C1. Además, el promedio de mineral abastecido a la chancadora de Lixiviación será de 32.2 ktpd durante el 2019 y para los periodos del 2020 al 2024 los promedios serán de 31.5 ktpd, 35.5 ktpd y 35,7 ktpd respectivamente. También, según la secuencia del plan de minado, las instalaciones de la Chancadora y Planta de Aglomeración de Lixiviación serán impactadas, demolidas y liberadas en el año 2024 para el proceso de minado correspondiente.

3.6.2 Escenarios propuestos

Caso 0: (LOM2018 Camiones equivalentes)

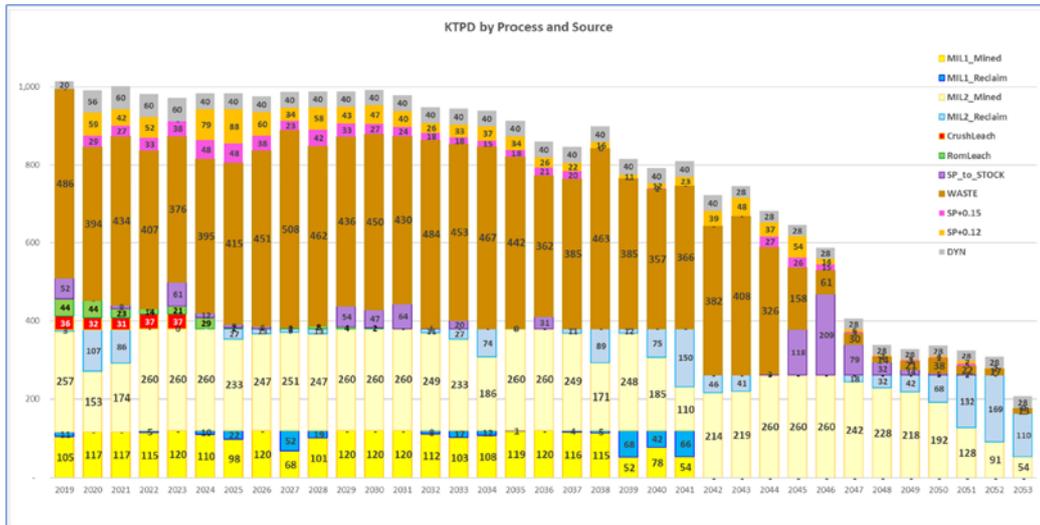
Este es el caso aprobado y formal del plan de minado LOM2018 donde se tiene los siguientes puntos como inputs.

Resumen ejecutivo:

- Additional Capital: Mine: 320M \$; Mill (C1&C2): 228M \$ and New TSF 790M \$.
- Envío a los procesos concentradora 1 y concentradora 2, considerando que puede ser enviado directo de mina o remanejo desde los depósitos de almacenamiento (Stocks)
- Envío a los procesos de lixiviación, directamente de mina a los Pads o de mina pasando primero por chancado y luego a los Pads. (detalle de envió en Figura 15).

Figura 15

Minado a los diferentes destinos KTPD



Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde.

Caso 1: (LOM2018 Camiones reales)

En el caso 1 , a diferencia del caso 0 , se usa la flota real de camiones (CAT793 y K930), los asumidos operativos son los mismos al igual que la producción , leyes, costos, requerimientos de planta, etc.

Caso 2: (LOM2018 Camiones reales – reemplazo de camiones K793 por K930)

El caso 2 de manera similar del caso 1, se toma como base el LOM2018, considerando los mismo asumidos de producción, leyes, requerimientos de planta, costos asociados a la producción, procesamiento, etc.

Para este caso se considera reemplazar camiones CAT793 por camiones K930; la estrategia seria efectuar el reemplazo del camión minero CAT793 y ya no realizar el REBUILT planificado en ese año; esto permitirá tener un camión KOMATSU 930 Nuevo y ya no un camión CAT793 repotenciado.

Caso 3: (LOM2018 Camiones reales – reemplazo de camiones K793 por K930 y K980)

El caso 2 de manera similar del caso 1, se toma como base el LOM2018, considerando los mismo asumidos de producción, leyes, requerimientos de planta, costos asociados a la producción, procesamiento, etc.

Para este caso se considera reemplazar camiones CAT793 por camiones K980; la estrategia sería efectuar el reemplazo del camión minero CAT793 y ya no realizar el REBUILT planificado en ese año; esto permitirá tener un camión KOMATSU 980 Nuevo en lugar de un camión CAT793 repotenciado.

3.6.3 Parámetros asumidos (Velocidades, tiempos de acarreo)

Para el cálculo de todos los casos vamos asumir tiempos y velocidades de los camiones gigantes.

Los valores asumidos tendrán un sustento estadístico, de los últimos años en los tajos cerro verde, santa rosa y cerro negro. Tabla 4.

Tabla 4

Valores de tiempos y velocidades asumidas en el ciclo de acarreo,

Speeds (Km/Hr)	Period Forecast	Load Flat (0)	32.0
		Load Lift (+)	10.5
		Load Drop (-)	16.0
		Empty Flat (0)	32.0
		Empty Lift (+)	26.0
		Empty Drop (-)	29.0
Speeds (Km/Hr)	Period Lom	Load Flat (0)	41.8
		Load Lift (+)	11.3
		Load Drop (-)	16.1
		Empty Flat (0)	48.3
		Empty Lift (+)	24.1
		Empty Drop (-)	37.0
Times (Min)	Period Forecast	T. Fixed Time Dump	4.7
		T. Fixed Time Crusher	8.4
		Load Time - C793	2.01
		Load Time - K930	2.5
		Load Time - K980	3.1
		Times (Min)	Period Lom
Times (Min)	T. Fixed Time Crusher	8.7	
Times (Min)	Load Time - C793	1.6	
Times (Min)	Load Time - K930	2.1	
Times (Min)	Load Time - K980	2.8	

Fuente: sistema despacho de sociedad minera cerro verde.

3.6.4 Tiempos de espera estimado del ciclo de acarreo (Queue time)

Parte del análisis es revisar las variables dentro del ciclo de acarreo; como objetivo se busca reemplazar camiones por unos de mayor capacidad.

Al aumentar el Payload de los camiones y manteniendo la producción planificada, las unidades de camiones gigantes se reducirán en el tiempo.

Se estima que al tener menos unidades en tránsito los tiempos de espera se reducirían y esto mejorarían los tiempos dentro del ciclo de acarreo; siendo el tiempo a analizar el QUEUE TIME.

Para el análisis, se tomará data del sistema dispatch (base de datos de la unidad minera) que nos ayude a analizar la relación entre las variables en mención.

Tabla 5

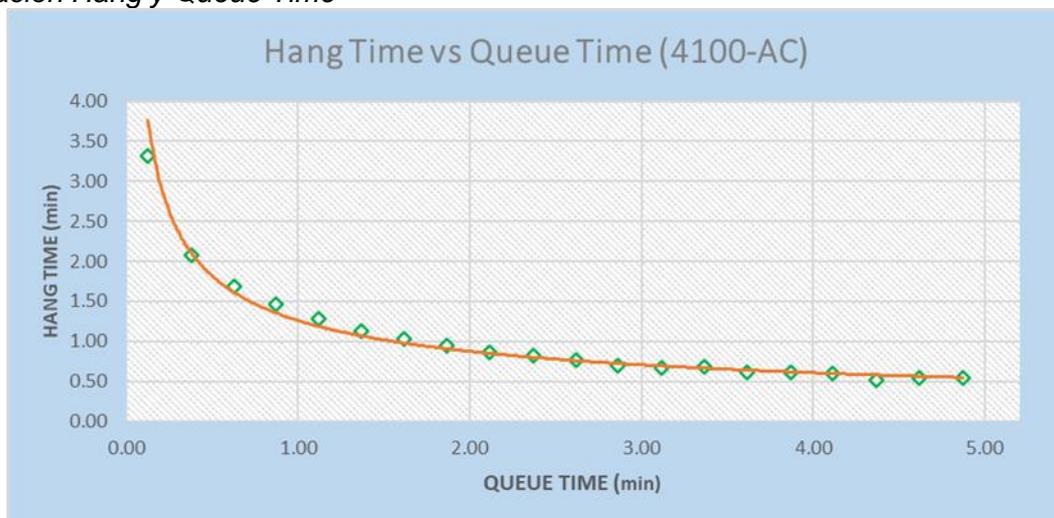
Data dispatch hang time y Queue Time

Queue_final	Hang_final
0.13	3.32
0.38	2.08
0.62	1.69
0.87	1.46
1.12	1.28
1.37	1.13
1.62	1.04
1.87	0.95
2.12	0.86
2.37	0.83
2.62	0.76
2.86	0.70
3.12	0.66
3.36	0.68
3.62	0.61
3.87	0.61
4.11	0.60
4.37	0.52
4.62	0.54
4.87	0.54

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Relación Hang y Queue Time



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16, se observa una relación exponencial entre las dos variables; este análisis nos permite asumir un Queue Time para los casos propuestos en el punto 4.3.2.

Tabla 6

Relación dentro del ciclo de acarreo para cada tipo de camión minero

	PAYLOAD	HANG TIME	SPOT TIME	LOADING TIME	PRODUCTIV.	TARGET PROD.	QUEUE TIME
	TM		min	min	TM/hr	TM/hr	min
CAT 793	245	0.693	1.10	1.00	5,000	5,000	2.91
KOM 930	300	1.020	1.10	1.30	5,000	5,000	1.66 -1.25
KOM 980	363	1.305	1.10	1.73	5,000	5,000	1.04 -1.87

Fuente: Elaboración propia.

En el Tabla 6 se observa que para la flota CAT793, para un Hang time de 0.693 se tiene un Queue time de 2.91 min, en el caso de los Komatsu 930 un Hang time de 1.020 min se tiene 1.66 min de Queue time y para los Komatsu 980 un Hang time de 1.305 min se tiene 1.04 min de Queue time.

Todos estos escenarios están bajo un supuesto de producción de 500 TM por hora para todos los casos.

En conclusión, se tiene una reducción para los casos de KOM930, KOM980 de 1.25 min, 1.87 min respectivamente; adicionalmente para para ser conservador en el análisis, asumiremos un 80% de esa reducción, con lo que se tendría los siguiente asumidos.

Tabla 7

Relación dentro del ciclo de acarreo para cada tipo de camión minero

FLOTA	DC Reduction	80% DC Reduction (min)
CAT793	0	0
KOM930	-1.25	-1.00
KOM980	-1.87	-1.50

Fuente: Elaboración propia.

El DC reduction se asumirán como un Delta C dentro del ciclo de acarreo, con el fin de analizar la sensibilidad de valor presente neto en los diversos casos y en cada caso se incluirán diferentes valores de Delta C. (0.5, 1.0, 1.5, 2.0). Anexo 4.

3.6.5 Consumos de combustible de camiones Gigantes

Para el consumo de combustible se estimará usaran datos históricos de la flota CAT793 y Komatsu 930. Para las unidades Komatsu 980 se tomará como referencia al Handbook de Komatsu.

Combustible (Gln) =

$$K1+N^{\circ}\text{Viajes}*[Dhz*K2+Dup*K3+Ddw*K4+K5]+K6*Hr\text{-Efe}*(1/0.87-1)$$

Donde:

Dhz: Distancia horizontal.

Dup: Distancia en subida.

Ddw: Distancia en bajada.

Hr-Efe: Horas efectivas de acarreo.

N° viajes: Numero de viajes requeridos.

K1,K2,K3,K4,K5,K6, Constantes para el cálculo de combustible por tipo de flota.

Tabla 8

Constantes para el cálculo de consumo de combustible

	C789	C793	K930	K980
K1	150.0	200.0	258.3	302.5
K2	0.0015	0.0025	0.0032	0.0038
K3	0.0080	0.0096	0.0118	0.0138
K4	0.0069	0.0030	0.0039	0.0045
K5	0.210	0.980	1.266	1.482
K6	8.0	11.0	14.2	16.6

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Análisis de la información

Al analizar la muestra se consideró no probabilística, debido que considera factores como la geografía del terreno, la geotecnia, dimensionamiento de equipos, el medio ambiente y por último los factores políticos.

Como se tiene de conocimiento, las empresas mineras de clase mundial buscan reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que reducir la cantidad de unidades (camiones mineros) ayudaría a lograr dicho objetivo, esto como efecto colateral.

Para el análisis de la información, se considerará que tanto la producción de mina, el requerimiento de mineral de planta, las inversiones y todos costos que están involucrados en la operación; Para todos los casos serán los mismos.

Costo de componentes

Tabla 9

Costos horarios de componentes

Fleet	Concepto	Unid	
K930	Costo Horario K930	\$/Hrs	102.53
K980	Costo Horario K980	\$/Hrs	124.07
C793	Costo Horario C793	\$/Hrs	91.79

Fuente: Elaboración propia.

Aceites y filtros

Tabla 10

Costos horarios de aceites y filtros

Fleet	Concepto		6000
K930	Costo Horario K930	\$/Hrs	9.15
K980	Costo Horario K980	\$/Hrs	8.50
C793	Costo Horario C793	\$/Hrs	7.05
DIESEL	PRICE	\$/gln	2.97

Fuente: Elaboración propia.

Llantas y tolvas (Vida Útil)

Tabla 11

Vida útil de llantas y tolvas

TIRES			BEDS		
FLEET	PRICE (\$/UNI.)	LIFE (HR)	FLEET	PRICE (\$/UNI.)	LIFE (HR)
C793	26,134	6,291	C793	210,466	58,902
K930	37,974	6,498	K930	211,542	58,902
K980	40,725	5,718	K980	255,966	58,902

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo será trabajar los escenarios más favorables, asumiendo variables específicas, que son de criterio de la unidad de análisis para ello solo analizaremos los costos operativos que involucran a los camiones mineros y los diferentes escenarios que se analizan en el presente trabajo de investigación.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

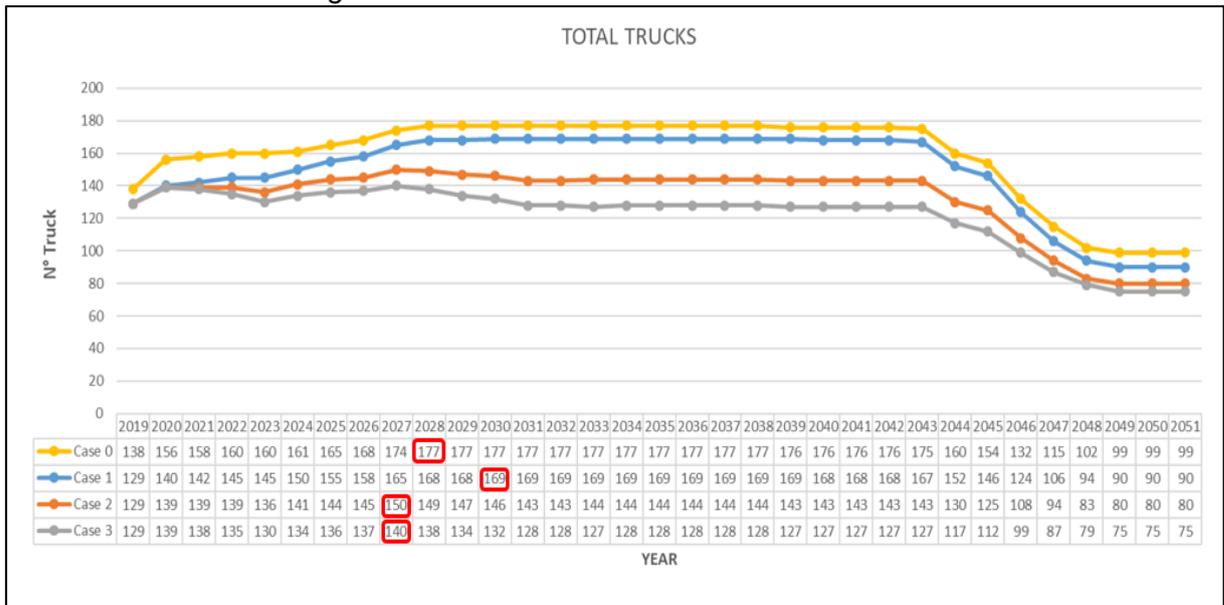
4.1 Análisis de productividad

Detalles de los Camiones Mineros:

Se presenta los diversos escenarios, de manera conservadora asumimos el caso con la reducción del delta C en “cero”.

Figura 17

Camiones totales a lo largo de la vida de la mina



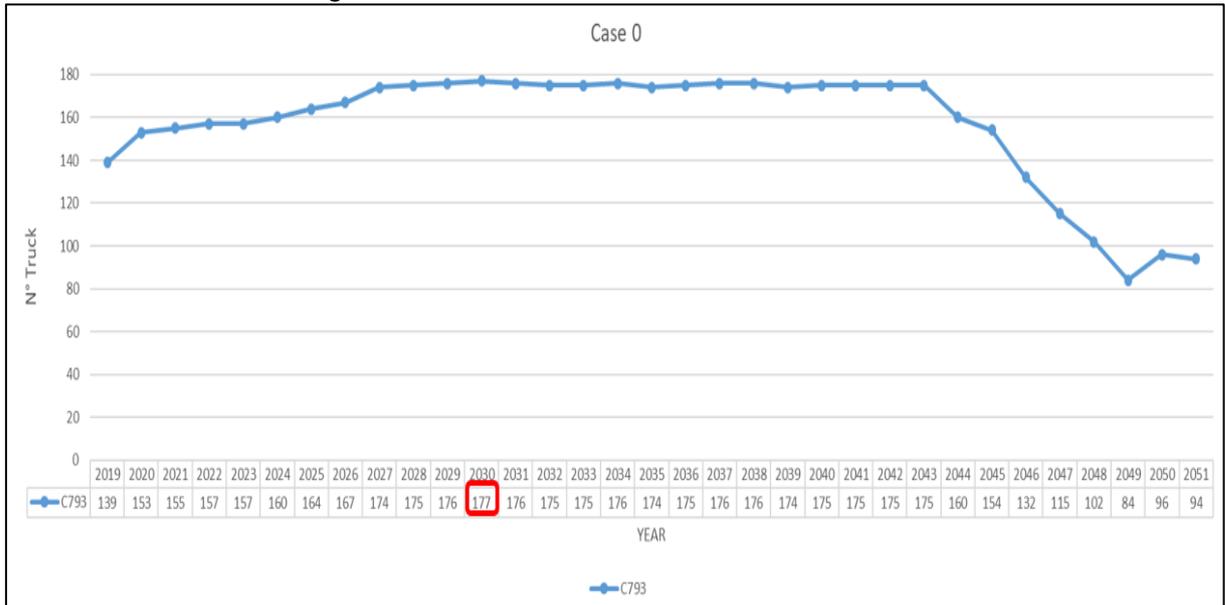
Fuente: Elaboración propia.

Detalles Caso 0:

Caso 0 grafica la evolución de los camiones 793 en el tiempo, este caso base muestra una flota equivalente en camiones CAT 793 que se requerirá para toda la operación.

Figura 18

Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 0



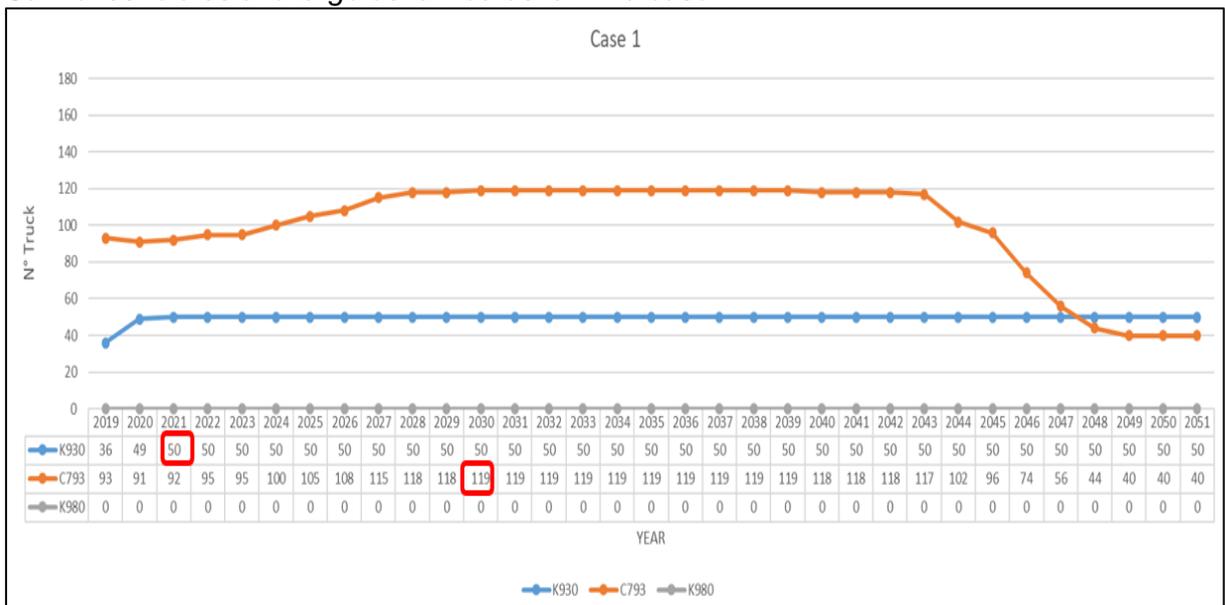
Fuente: Elaboración propia.

Detalles Caso 1:

Caso 1 grafica la evolución de los camiones 793 en el tiempo, en este caso no hay cambios respecto al caso base (solo muestra unidades reales de equipos y no camiones equivalentes).

Figura 19

Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 1



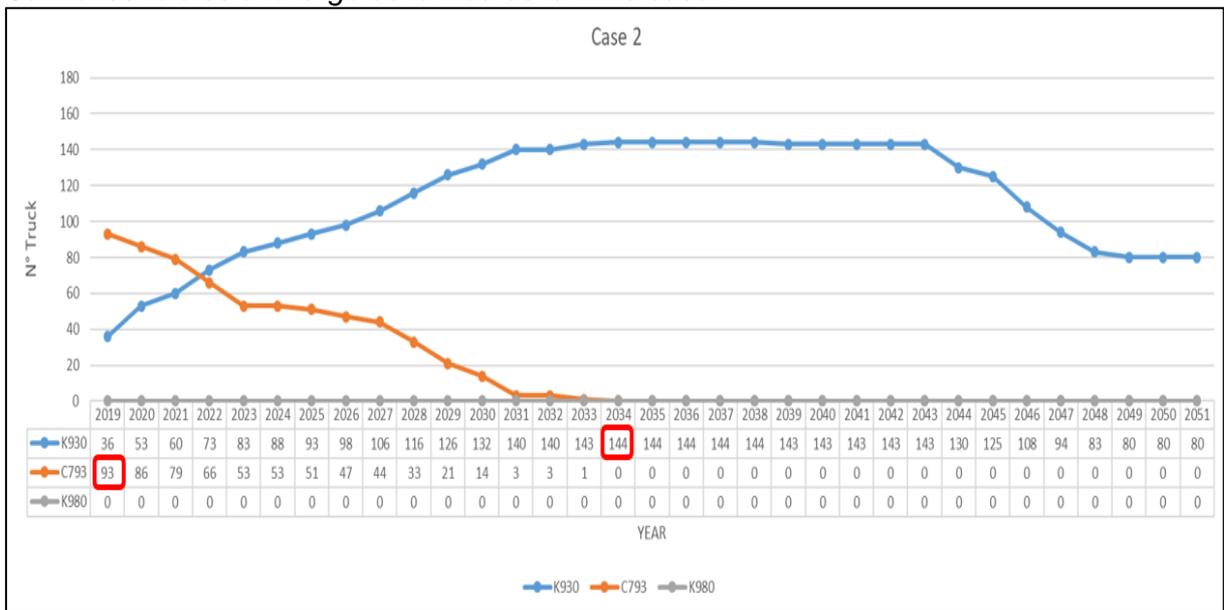
Fuente: Elaboración propia.

Detalles Caso 2:

Caso 2 grafica la evolución de los camiones 793 en el tiempo, siendo reemplazados por los camiones Komatsu 930, donde se consideran los costos asociados a este cambio y los asumidos de tiempos de reemplazo de componentes, consumos de combustible y tiempos operativos asumidos en el ciclo de acarreo.

Figura 20

Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 2



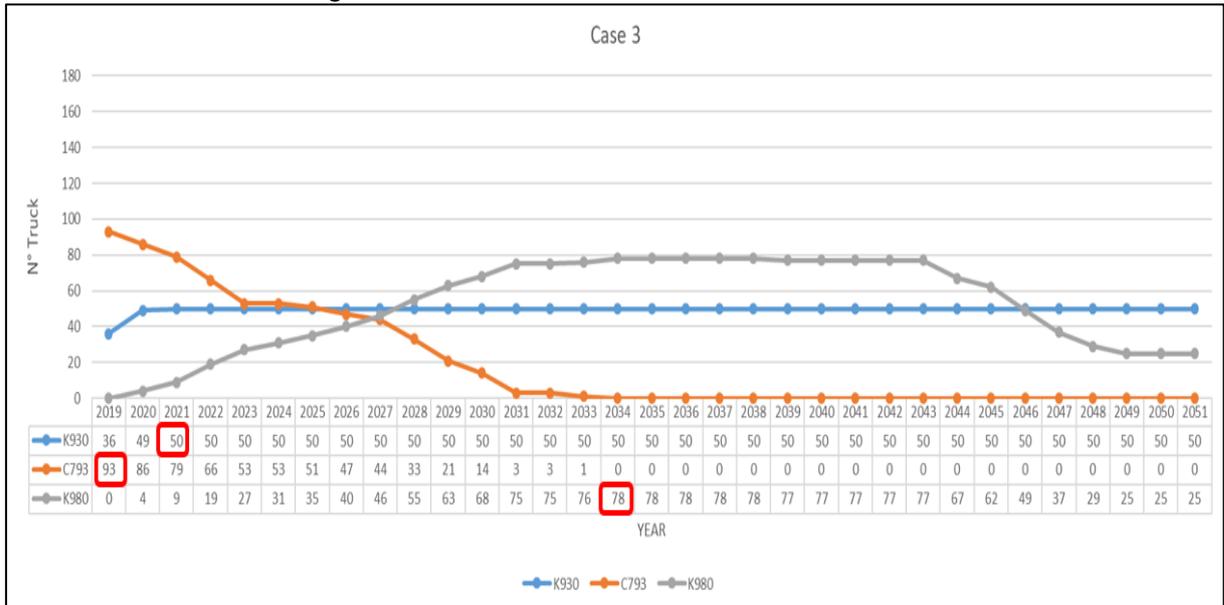
Fuente: Elaboración propia.

Detalles Caso 3:

Caso 3 grafica la evolución de los camiones 793 en el tiempo, siendo reemplazados por los camiones Komatsu 980, donde se consideran los costos asociados a este cambio y los asumidos de tiempos de reemplazo de componentes, consumos de combustible y tiempos operativos asumidos en el ciclo de acarreo.

Figura 21

Camiones totales a lo largo de la vida de la mina caso 3



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Supuestos generales para el análisis de costos

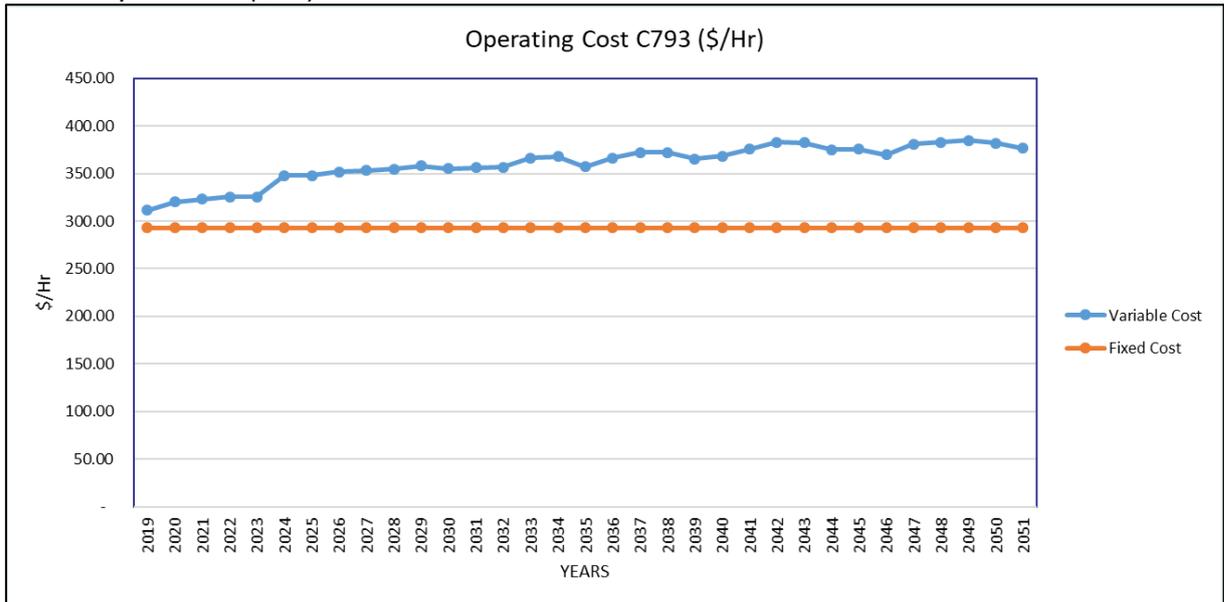
		Caso 0	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Carga útil (TM)	Periodo Forecast - LOM	C793	240	240	240
		K930		300	300
		K980			363
Precio (M\$)	Periodo Forecast - LOM	C793	3.45	3.45	
		K930		5.05	5.05
		K980			5.56
Velocidad (Km/hr)	Periodo Forecast	Load Flat (0)		32.0	
		Load Lift (+)		10.5	
		Load Drop (-)		16.0	
		Empty Flat (0)		32.0	
		Empty Lift (+)		26.0	
		Empty Drop (-)		29.0	
	Periodo LOM	Load Flat (0)		41.8	
		Load Lift (+)		11.3	
		Load Drop (-)		16.1	
		Empty Flat (0)		48.3	
		Empty Lift (+)		24.1	
		Empty Drop (-)		37.0	
Tiempos (min)	Periodo Forecast	T. Fixed Time Dump		4.7	
		T. Fixed Time Crusher		8.4	
		Load Time-C793		2.01	
	Periodo LOM	Load Time-K930		2.5	
		Load Time-K980		3.1	
		T. Fixed Time Dump		8.7	
		T. Fixed Time Crusher		8.7	
		Load Time-C793		1.6	
		Load Time-K930		2.1	
Reducción Delta C (min)	Periodo Forecast - LOM	C793		-	
		K930		(1.00)	
		K980		(1.50)	

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el análisis de rentabilidad de los Casos tomaremos como referencia los tiempos operativos mostrados en la Tabla 6; que muestra un estimado de la reducción de Delta C, los supuestos generales mostrados en la Tabla 12, y los costos fijos y variables aproximados en la Tabla 13.

Figura 22

Costos operativos (\$/hr) del Caso 0



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Supuestos generales para el análisis de costos

		Caso 0	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Costos Fijos	C793 (\$/hr)	293.1	283.6	283.6	283.6
	K930 (\$/hr)		323.0	323.0	323.0
	K980 (\$/hr)			368.2	368.2
	Aceites y filtros C793 (\$/hr)			7.05	
	Aceites y filtros K930 (\$/hr)			8.50	
	Aceites y filtros K980 (\$/hr)			9.15	
	Partes y componentes C793 (\$/hr)			91.79	
	Partes y componentes K930 (\$/hr)			102.53	
	Partes y componentes K980 (\$/hr)			124.07	
	Costos Variables				
		Precio (\$/und)		Vida (hr)	
	Tolvas C793	210,466		58,902	
	Tolvas K930	211,542		58,902	
	Tolvas K980	255,966		58,902	
	Llantas C793	26,134		6,291	
	Llantas K930	37,974		6,498	
	Llantas K980	40,725		5,718	
	Diese (\$/gln)			2.97	

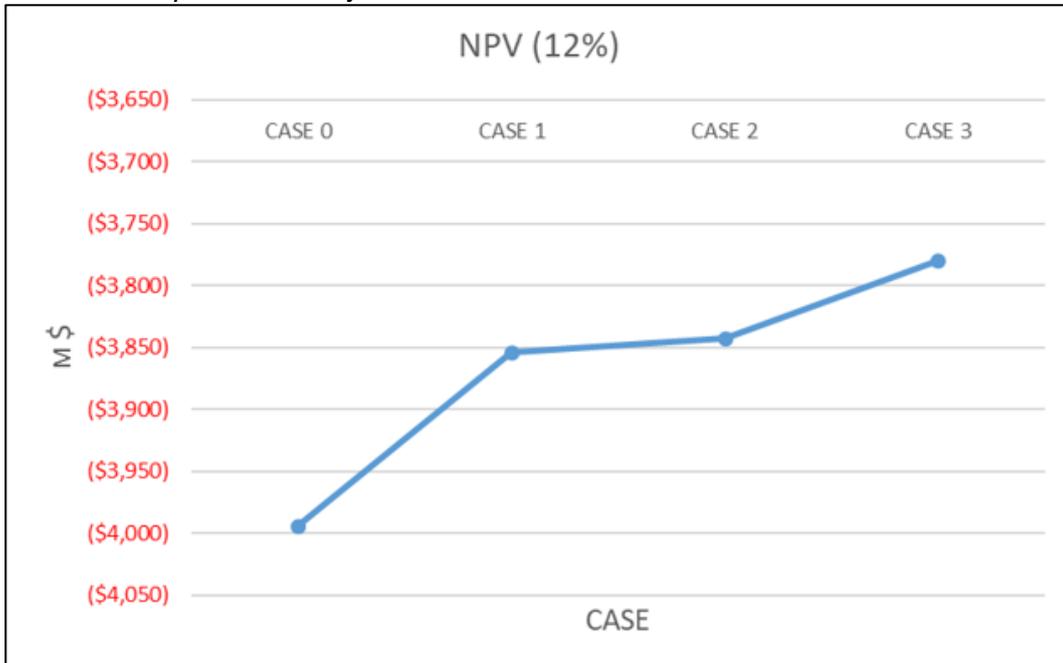
Fuente: Elaboración propia.

VPN acumulado por periodos.

A. Costos fijos de operación de camiones

Figura 23

VPN acumulado para costos fijos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

VPN acumulado para costos fijos

	Caso 0	Caso 1	Caso 2	Caso 3
VPN a 5 años	(\$1,793)	(\$1,717)	(\$1,756)	(\$1,738)
VPN a 10 años	(\$2,828)	(\$2,722)	(\$2,764)	(\$2,729)
VPN a 15 años	(\$3,384)	(\$3,265)	(\$3,277)	(\$3,229)
VPN a 20 años	(\$3,714)	(\$3,580)	(\$3,582)	(\$3,525)
VPN LOM	(\$3,994)	(\$3,854)	(\$3,843)	(\$3,780)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Comparación de incremental entre casos para costos fijos

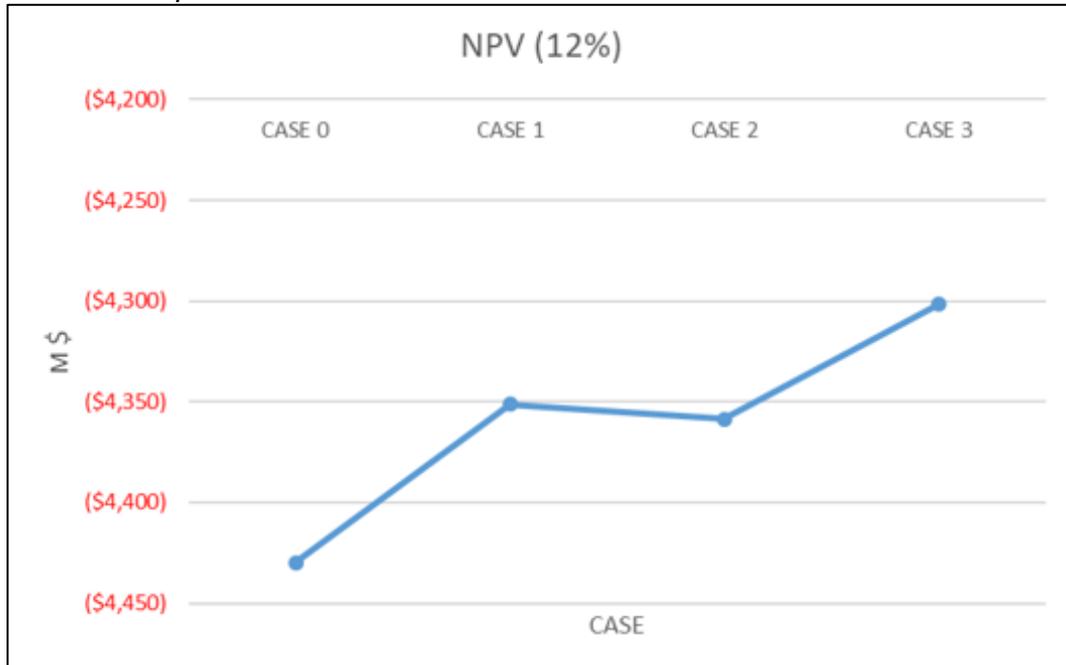
Caso 1 vs Caso 0	Caso 2 vs Caso 0	Caso 3 vs Caso 0	Caso 2 vs Caso 1	Caso 3 vs Caso 1
\$76	\$37	\$55	(\$39)	(\$21)
\$105	\$64	\$98	(\$41)	(\$7)
\$119	\$107	\$155	(\$12)	\$36
\$134	\$132	\$190	(\$2)	\$56
\$140	\$151	\$214	\$11	\$74

Fuente: Elaboración propia.

B. Costos variables de operación de camiones

Figura 24

VPN acumulado para costos variables



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

VPN acumulado para costos variables

	Caso 0	Caso 1	Caso 2	Caso 3
VPN a 5 años	(\$1,897)	(\$1,833)	(\$1,873)	(\$1,856)
VPN a 10 años	(\$3,064)	(\$2,993)	(\$3,041)	(\$3,009)
VPN a 15 años	(\$3,708)	(\$3,637)	(\$3,662)	(\$3,618)
VPN a 20 años	(\$4,094)	(\$4,016)	(\$4,034)	(\$3,981)
VPN LOM	(\$4,430)	(\$4,351)	(\$4,359)	(\$4,302)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17

Comparación de incremental entre casos para costos variables

Caso 1 vs Caso 0	Caso 2 vs Caso 0	Caso 3 vs Caso 0	Caso 2 vs Caso 1	Caso 3 vs Caso 1
\$64	\$24	\$41	(\$40)	(\$23)
\$70	\$23	\$54	(\$47)	(\$16)
\$71	\$47	\$90	(\$24)	(\$19)
\$78	\$60	\$113	(\$18)	(\$35)
\$78	\$71	\$128	(\$7)	(\$50)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Flujo de caja detallado para costos fijos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Flujo de caja detallado para costos variables



Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa del trabajo de investigación, presentamos los escenarios propuestos. Evidenciando que al pasar por cada caso (0,1, 2 o 3), los costos unitarios fijos se reducen en cada año de la operación.

Figura 27

Costo unitario fijo para operación de camiones (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.

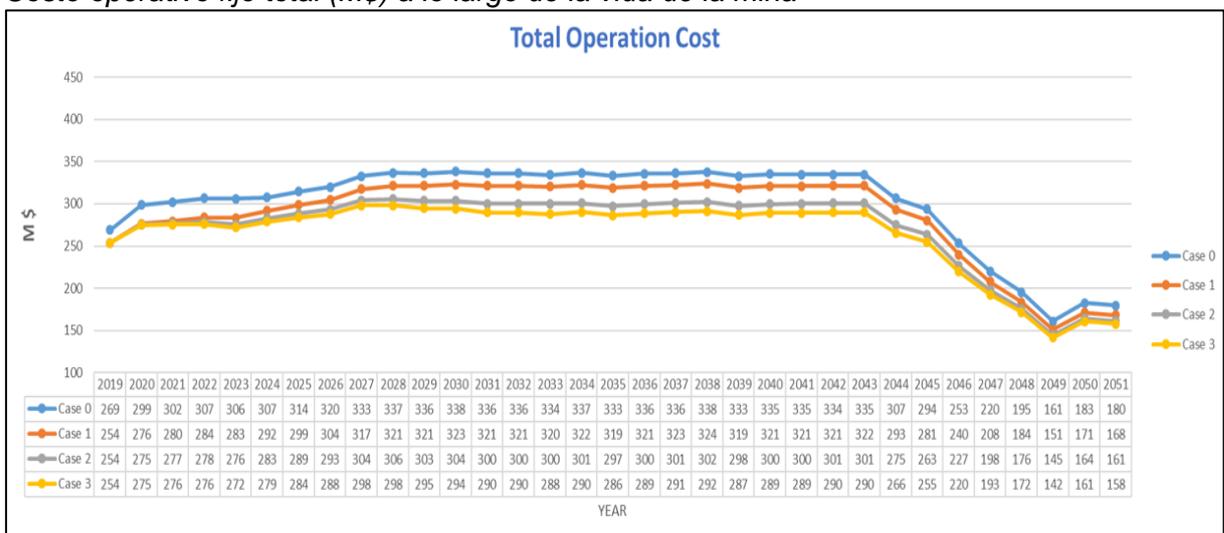


Fuente: Elaboración propia.

Continuando el análisis, se evidencia que los costos totales fijos que involucran a los camiones mineros también se ven reducidos en cada caso. Guardando una relación inversamente proporcional entre el reemplazo de unidades y los costos totales de la operación. (Figura 28)

Figura 28

Costo operativo fijo total (M\$) a lo largo de la vida de la mina

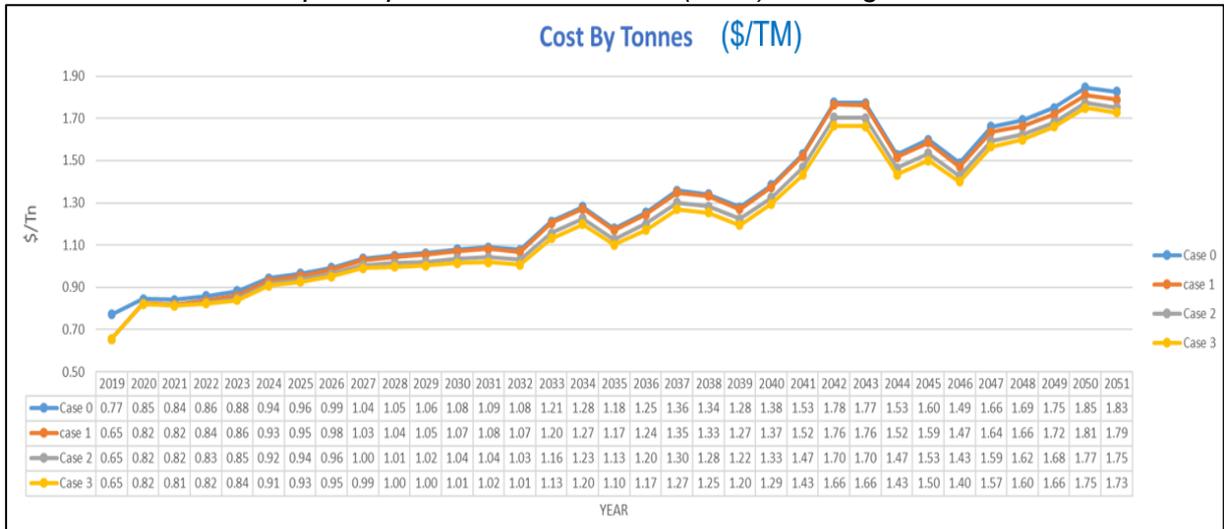


Fuente: Elaboración propia.

De igual manera al comparar la variación de costos unitarios variables y los costos totales variables tambien se ven reducidos en comparación con el Caso 0.

Figura 29

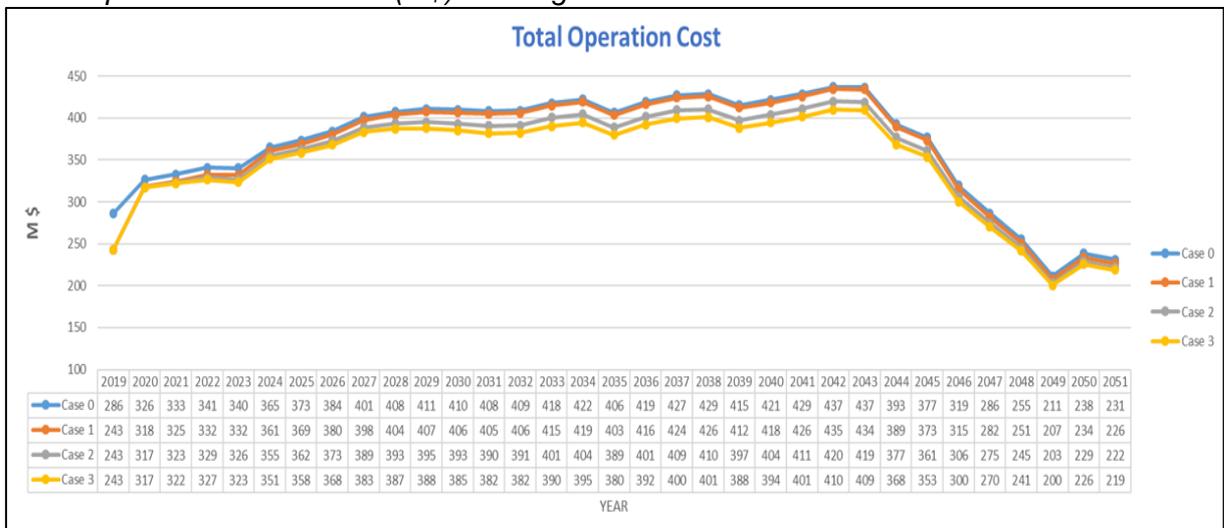
Costo unitario variable para operación de camiones (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Costo operativo variable total (M\$) a lo largo de la vida de la mina

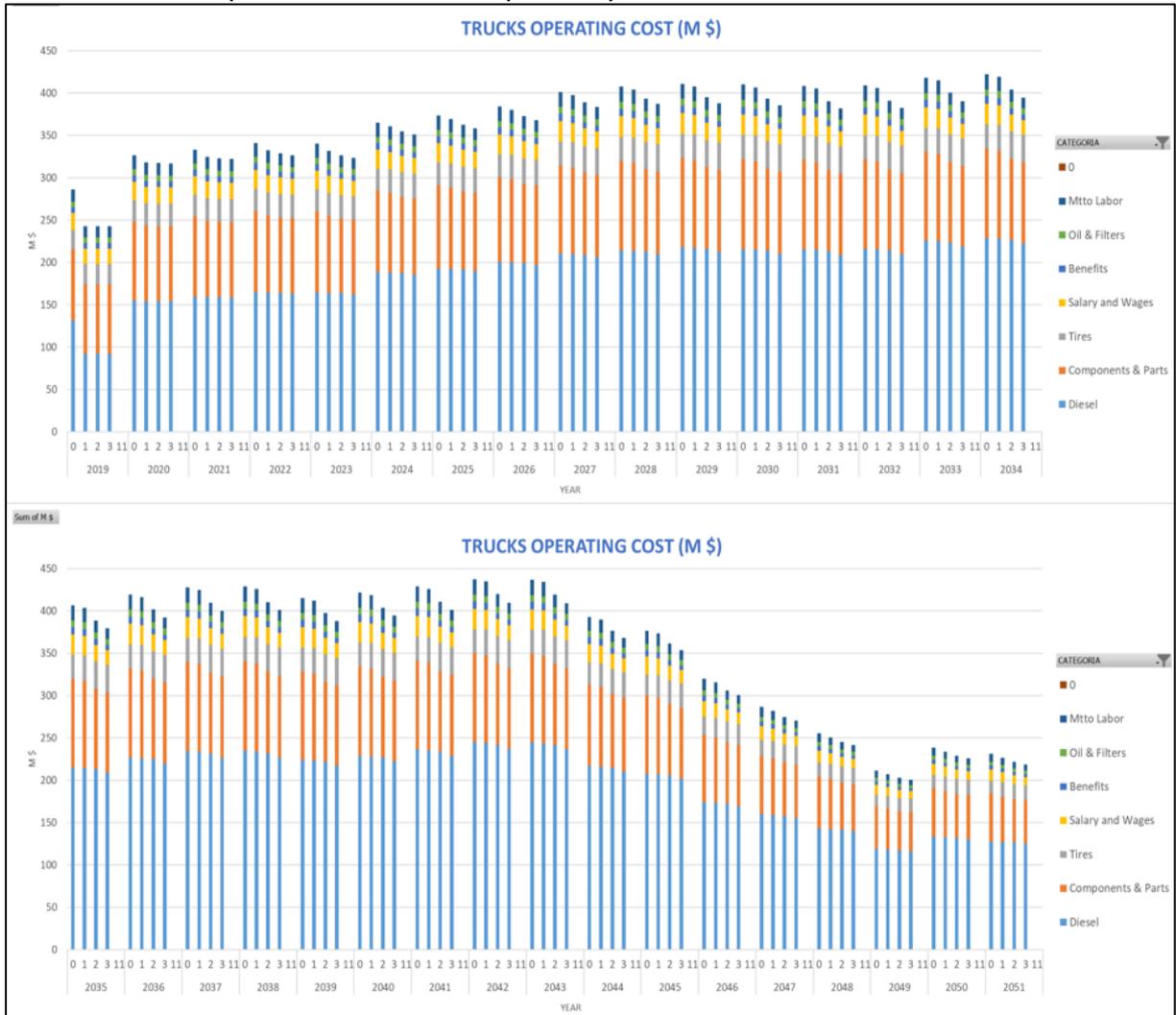


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se mostrará el detalle de los costos variables para operación de camiones resaltando los componentes.

Figura 31

Detalle de costo operativo variable total por componentes



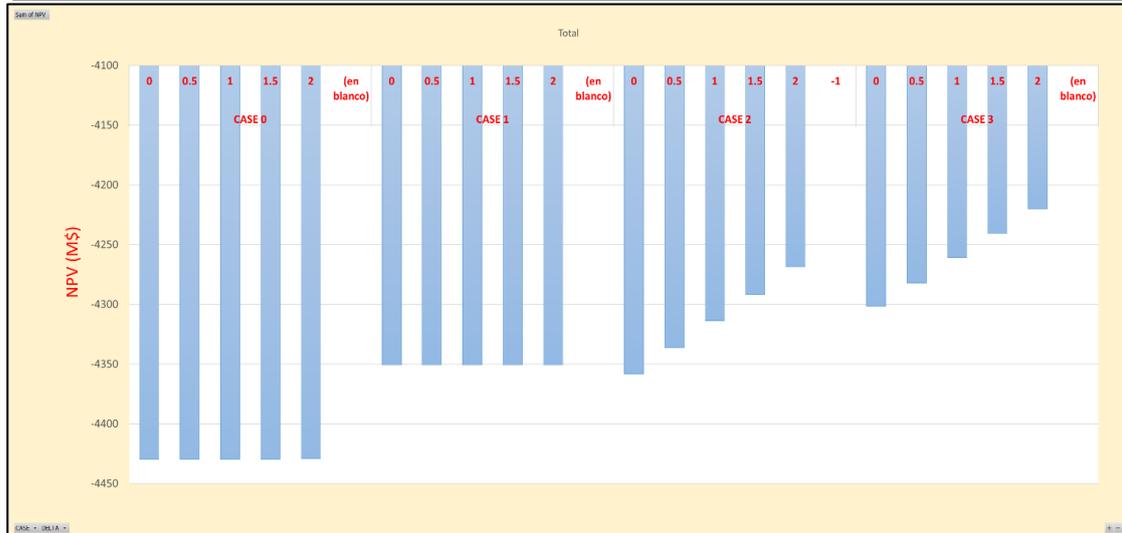
Fuente: Elaboración propia.

Para esta etapa solo mostraremos el NPV que tienen variabilidad en el tiempo (costos operativos), esto influenciado por el cambio en la flota de camiones gigantes y una variabilidad del Delta C, siendo estos 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0

Figura 32

Comparaciones del NPV de los diferentes casos

DELTA	CASE	NPV-5	NPV-10	NPV-15	NPV-20	NPV-25	NPV-30	NPV
0	CASE 0	(1,897)	(3,064)	(3,708)	(4,094)	(4,335)	(4,412)	(4,430)
0	CASE 1	(1,833)	(2,993)	(3,637)	(4,016)	(4,256)	(4,333)	(4,351)
0	CASE 2	(1,873)	(3,041)	(3,662)	(4,034)	(4,267)	(4,341)	(4,358)
0	CASE 3	(1,856)	(3,009)	(3,618)	(3,981)	(4,211)	(4,284)	(4,302)
	CASE 0							
0.5	CASE 0	(1,897)	(3,064)	(3,708)	(4,094)	(4,335)	(4,412)	(4,430)
0.5	CASE 1	(1,833)	(2,993)	(3,637)	(4,016)	(4,256)	(4,333)	(4,351)
0.5	CASE 2	(1,859)	(3,022)	(3,645)	(4,012)	(4,245)	(4,319)	(4,337)
0.5	CASE 3	(1,844)	(2,996)	(3,605)	(3,964)	(4,192)	(4,266)	(4,282)
	CASE 1							
1.0	CASE 0	(1,897)	(3,064)	(3,708)	(4,094)	(4,335)	(4,412)	(4,430)
1.0	CASE 1	(1,833)	(2,993)	(3,637)	(4,016)	(4,256)	(4,333)	(4,351)
1.0	CASE 2	(1,845)	(3,004)	(3,625)	(3,991)	(4,223)	(4,297)	(4,314)
1.0	CASE 3	(1,831)	(2,976)	(3,585)	(3,941)	(4,169)	(4,244)	(4,261)
	-1 CASE 2							
1.5	CASE 0	(1,897)	(3,064)	(3,708)	(4,094)	(4,335)	(4,412)	(4,430)
1.5	CASE 1	(1,833)	(2,993)	(3,637)	(4,016)	(4,256)	(4,333)	(4,351)
1.5	CASE 2	(1,831)	(2,986)	(3,606)	(3,970)	(4,201)	(4,275)	(4,292)
1.5	CASE 3	(1,820)	(2,961)	(3,567)	(3,922)	(4,150)	(4,224)	(4,241)
	CASE 3							
2.0	CASE 0	(1,897)	(3,064)	(3,708)	(4,094)	(4,335)	(4,412)	(4,429)
2.0	CASE 1	(1,833)	(2,993)	(3,637)	(4,016)	(4,256)	(4,333)	(4,351)
2.0	CASE 2	(1,819)	(2,969)	(3,587)	(3,947)	(4,179)	(4,252)	(4,269)
2.0	CASE 3	(1,809)	(2,944)	(3,550)	(3,904)	(4,130)	(4,204)	(4,220)



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Validación de hipótesis

Para validar la hipótesis se comparan los datos de costo unitario fijo (\$/ton) del caso 0 y lo compararemos con los costos unitarios fijos (\$/ton) del caso 1, 2 y 3, dichos datos se visualizan en la tabla 18.

Tabla 18*Costo unitario fijo (\$/ton) a lo largo de la vida de la mina.*

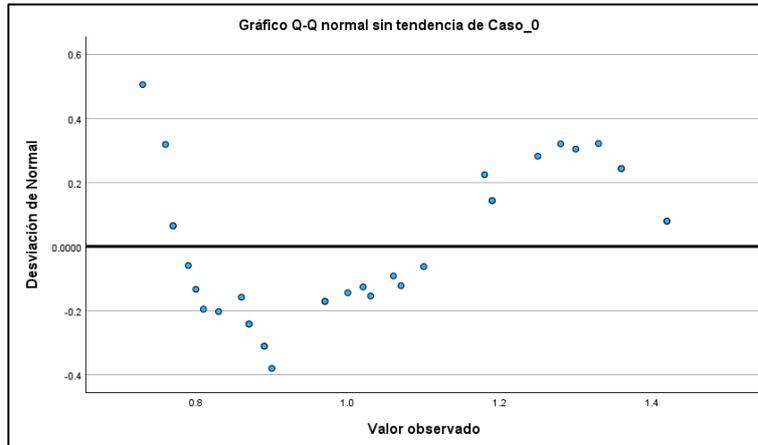
Año	Caso 0	Caso 1	Caso 2	Caso 3
2019	0.73	0.68	0.68	0.68
2020	0.77	0.72	0.71	0.71
2021	0.76	0.71	0.70	0.70
2022	0.77	0.72	0.70	0.69
2023	0.79	0.74	0.72	0.71
2024	0.80	0.75	0.73	0.72
2025	0.81	0.77	0.75	0.73
2026	0.83	0.79	0.76	0.74
2027	0.86	0.82	0.79	0.77
2028	0.87	0.83	0.79	0.77
2029	0.87	0.83	0.78	0.76
2030	0.89	0.85	0.80	0.78
2031	0.90	0.86	0.80	0.77
2032	0.89	0.85	0.79	0.76
2033	0.97	0.93	0.87	0.84
2034	1.02	0.98	0.91	0.88
2035	0.97	0.93	0.86	0.83
2036	1.00	0.96	0.90	0.86
2037	1.07	1.03	0.96	0.92
2038	1.06	1.01	0.95	0.91
2039	1.03	0.98	0.92	0.88
2040	1.10	1.05	0.98	0.95
2041	1.19	1.15	1.07	1.03
2042	1.36	1.31	1.22	1.18
2043	1.36	1.31	1.22	1.18
2044	1.19	1.14	1.07	1.03
2045	1.25	1.19	1.12	1.08
2046	1.18	1.12	1.06	1.02
2047	1.28	1.21	1.15	1.12
2048	1.30	1.22	1.16	1.14
2049	1.33	1.25	1.20	1.17
2050	1.42	1.33	1.27	1.25
2051	1.42	1.33	1.28	1.25

Fuente: Elaboración propia

Primero realizaremos la prueba de normalidad para determinar si los datos presentan una distribución normal y poder elegir el método para analizar los datos, por lo que usaremos el Software SPSS Statistics. Obteniéndose:

Figura 33

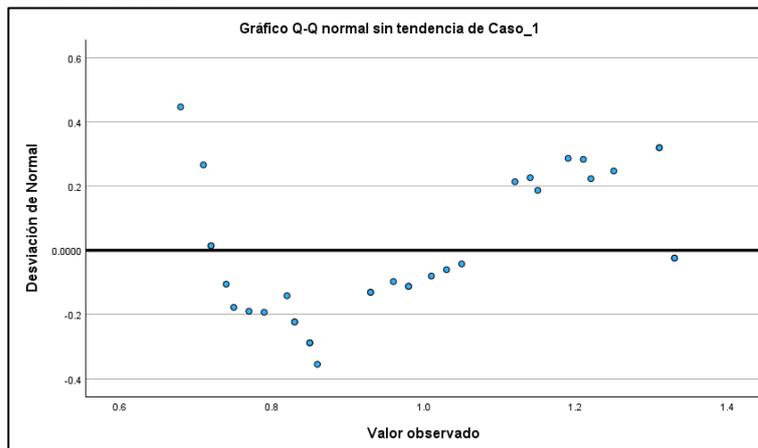
Gráfico Q-Q normal de Caso 0



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34

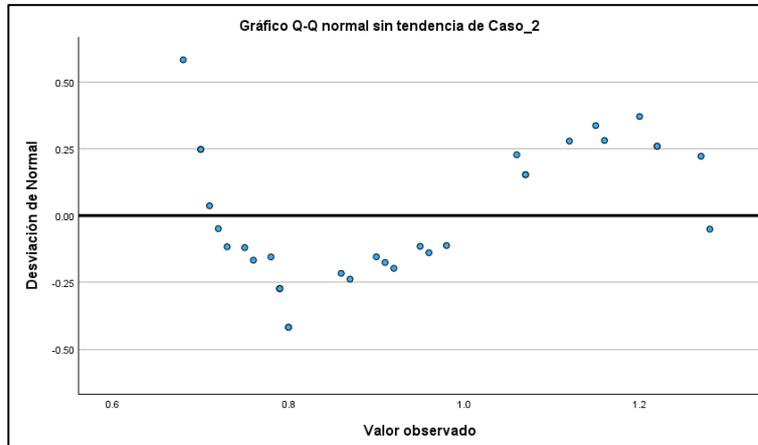
Gráfico Q-Q normal de Caso 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

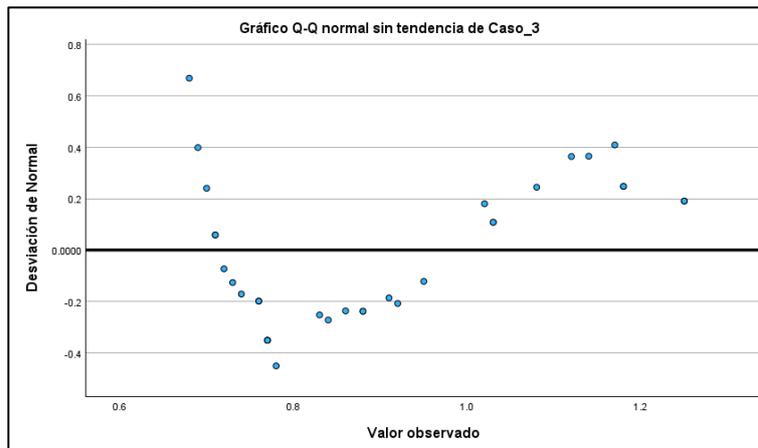
Gráfico Q-Q normal de Caso 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Gráfico Q-Q normal de Caso 3



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	sig.	Estadístico	gl	sig.
Caso_0	0.151	33	0.053	0.923	33	0.023
Caso_1	0.143	33	0.086	0.929	33	0.032
Caso_2	0.176	33	0.011	0.913	33	0.012
Caso_3	0.174	33	0.012	0.897	33	0.005

Fuente: Elaboración propia

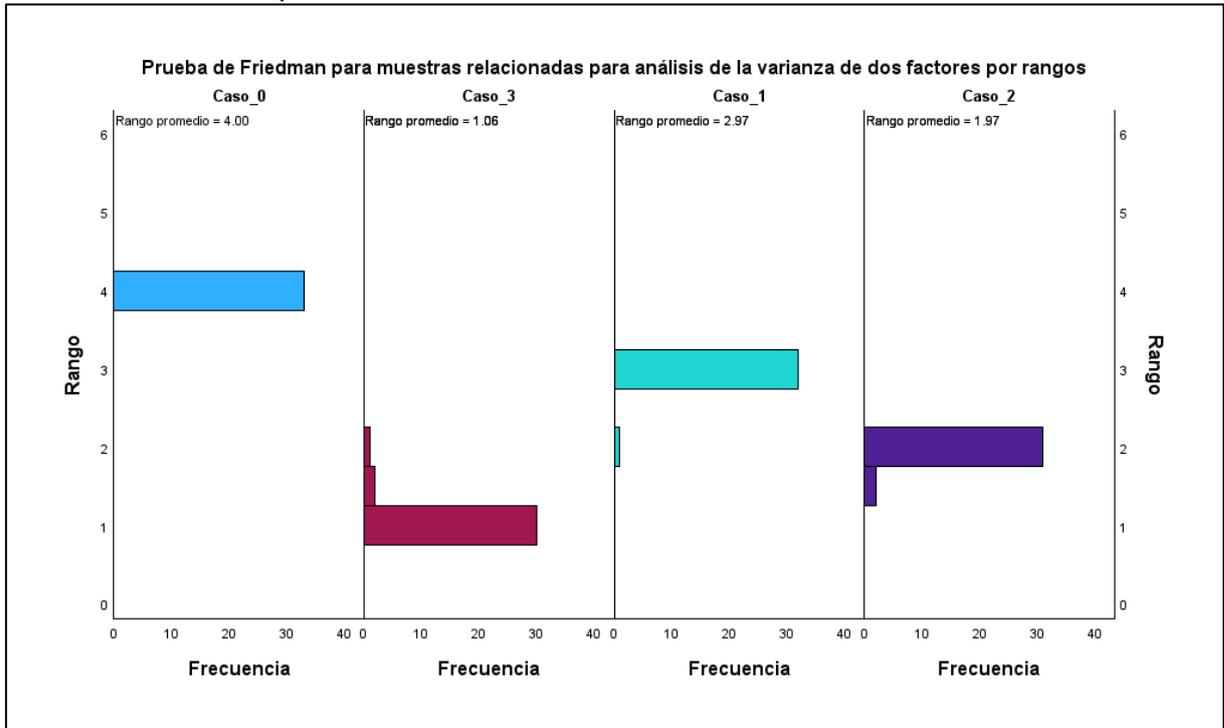
Podemos concluir que los datos no presentan distribución normal debido a que la significancia en los cuatro casos es menor a 0.05. Dado que los datos se encuentran relacionados entre sí, usaremos la prueba de Friedman para muestras no paramétricas relacionadas con un nivel de significancia de 5% y se planteara lo siguiente.

- Hipótesis Nula (H_0) Un adecuado análisis cuantitativo no mejoraría la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto.
- Hipótesis Alternativa (H_A): Un adecuado análisis cuantitativo mejoraría la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto.

Realizando la prueba de Friedman en el software SPSS Statistics se obtendrá el valor de “a” calculado y lo compararemos con 0.05, que es el nivel de significancia de la validación de hipótesis.

Figura 37

Prueba de Friedman para muestras relacionadas usando Software SPSS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Comparación por parejas

Sample 1- Sample 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.
Caso_3-Caso_0	2.939	.318	9.249	<.001	.000
Caso_2-Caso_0	2.030	.318	6.388	<.001	.000
Caso_1-Caso_0	1.030	.318	3.242	.001	.007

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Resumen de estadísticos de prueba

N total	33
Estadístico de prueba	97.278
Grado de libertad	3
Sig. asintótica (prueba bilateral)	<.001

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el “a” calculado es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto, un adecuado análisis cuantitativo mejoraría la productividad de empresas cupríferas a tajo abierto.

Conclusiones

Se concluye del Caso 1 en la Figura 19 que, la flota de camiones Cat 793 se incrementa hasta un máximo de 119 unidades, empezando a descartar unidades en el año 2043, hasta un total de 40 unidades. La flota de Komatsu 930 se mantiene en 50 unidades. Del Caso 2 en la Figura 20. que, en el tiempo los camiones Cat 793 serían reemplazados en su totalidad en el año 2033 aproximadamente. Manteniendo una flota de solo unidades Komatsu 930. Y del Caso 3 en la Figura 21 que, se efectuaría el reemplazo total de los Cat793 para el año 2033 aproximadamente, reemplazando la flota paulatinamente hasta un máximo de 78 unidades Komatsu 980. Las unidades Komatsu 930 quedarían en 50 unidades durante el resto de la operación.

Al cambiar la flota de camiones mineros de un CAT793 a Komatsu 930 o Komatsu 980, se logra mejorar la productividad por camión ya que actualmente en el caso 0 se tiene 240 TM/camión y en los casos 2 y 3, tendríamos 300 TM/Camión y 363 TM/Camión

De los resultados mostrados en la Figura 27 y 28 se concluye; que comparando los escenarios del Caso 1,2 y 3 con el Caso 0; se aprecia una reducción del costo unitario fijo promedio por año en 0.05 \$/ton, 0.10 \$/ton y 0.13 \$/ton y una reducción del costo operativo fijo total promedio por año de 15 M\$, 29 M\$ y 36 M\$; respectivamente, a lo largo de la vida de la mina.

En los casos 2 y 3 al realizar el cambio de flota se observa que las unidades de camión se reducen y según el análisis de tiempos en el ciclo de acarreo desarrollado en el punto “ 3.6.4 Tiempos de espera estimado del ciclo de acarreo (Queue time)” , obtenemos una reducción del Delta C (Min/Ciclo) que se muestra en la tabla N°7, Para la flota CAT793 se tiene una reducción de 0 min/ciclo, para la flota K930 se tiene una reducción 1 min/ciclo y para la flota K980 se tiene una reducción de 1.5 min/ciclo.

Se concluye que el Caso 3 es aquel que genera una mayor reducción de costos unitarios y costos totales. De igual manera se aprecia la misma relación en la variación de costo unitario variable en la Figura 29 y costo operativo variable total en la Figura 30.

Según los resultados expuestos en la Figura 32, se concluye que la alternativa del caso 3 sería la alternativa más adecuada y dentro de ese caso se estaría considerando algunas condiciones en la evaluación:

- El Valor presente neto del caso 0 es de 4,301 Millones de dólares a favor, en todos los casos el VPN es favorable respecto al caso base.
- Se considera el criterio de Valor presente neto favorable dentro de los 5 primeros años; siendo cumplido esta condición por todos los escenarios analizados.
- Para ser conservador en las evaluaciones, para el escenario elegido, no consideraríamos la reducción del tiempo Delta C. esto nos daría un margen a favor

Recomendaciones

Se recomienda analizar con más detalle los cuatro escenarios propuestos, donde se asumieron algunos puntos de manera conservadora, se podría asumir una reducción en el Delta C, lo cual incrementaría el Valor presente neto,

Se recomienda hacer uso del MPSO; que es un módulo del MinePlan; el cual incorpora el Haulage que es una herramienta que nos permite analizar el ciclo de acarreo y poder modificar algunas variables. para poder comparar y analizar el plan de minado.

Se recomienda recopilar mayor información real de los camiones Komatsu 980, en operaciones como tiempos de carguío y consumo de combustible para mejorar las estimaciones que se requieren para las evaluaciones económicas. Para la presente investigación se asumieron algunos parámetros mediante una regresión lineal de otros camiones de menor Payload y datos mostrados en el Handbook de Komatsu.

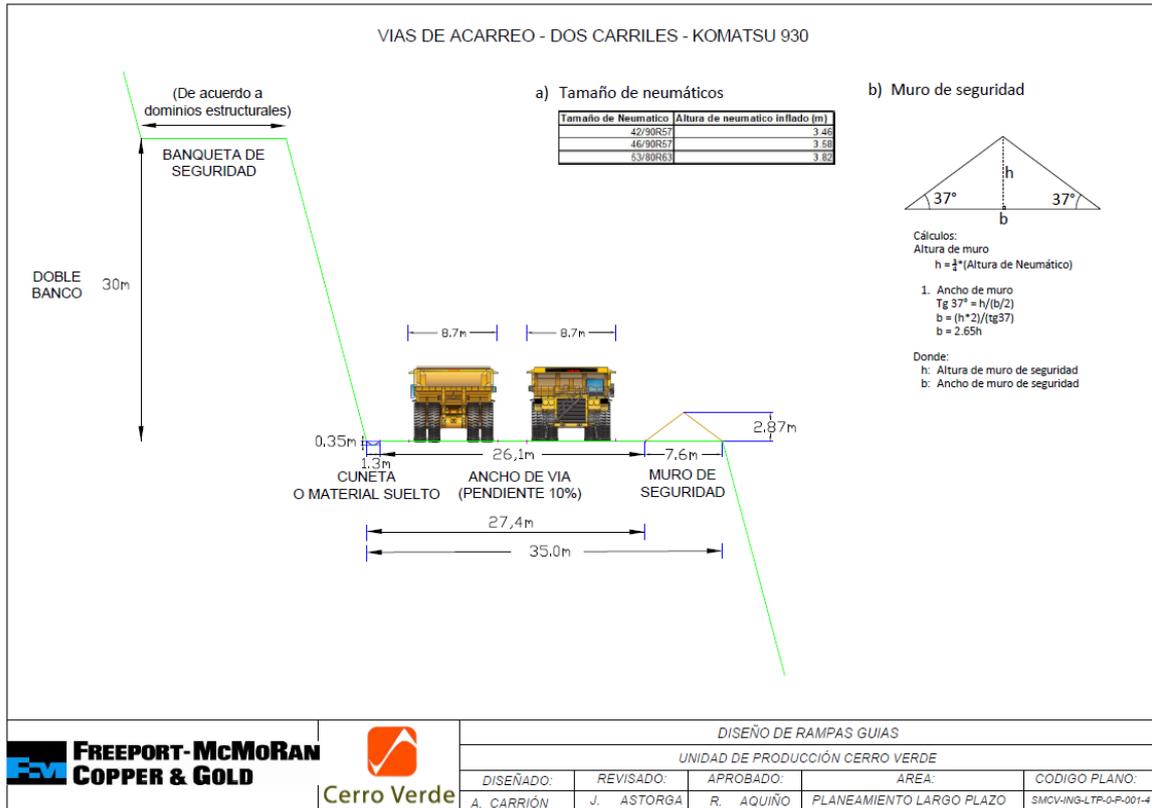
Referencias bibliográficas

- Atapoma, J. (2019), "*Optimización de las operaciones unitarias de carguío y acarreo en la mina de Tajo Norte de Sociedad Minera el Brocal, implementando el sistema de despacho Mine Sense*"
- Chan S, Park, (2013), "*Fundamentos de Ingeniería Económica*", segunda edición.
- Caterpillar, (2013), *Performace HandBook* 43
- Cornejo, S. (2022), "*Optimización - Simulación de Carguío y Acarreo en Tajo Abierto utilizando NSGAI y Programación Lineal Entera*".
- Decreto supremo N°024-2016, *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*.
- Gonzales, T. (2010), "*Diseño de Minas a Tajo Abierto*".
- Hexagon Mining, (2018), *Tutoriales de Hexagon Mine Plan 3D*.
- Komatsu, (2009), *Specifications & Application Handbook*, Edition 31
- Montalvo. E. (2007), "*Análisis cuantitativo del control de carguío y acarreo con camiones en mina superficial*".
- Nassir Sapag Chain (2022), *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*
- Neyra, A. (2020), "*Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*".
- Segama, R. (2019), "*Incremento de productividad mediante optimización del sistema de transporte con camiones en el Tajo Norte – Sociedad Minera El Brocal*".
- Silva, R. (2024), "*Optimización de KPI's de carguío y acarreo para incrementar la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba, Mina Las Bambas, Cotabambas – 2023*".

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Perfil de vías de acarreo - Dos carriles KOM 930.....	1
Anexo 2: Consulta SQL producción CV.	2
Anexo 3: Overall Width (the difference between both models is 1m. Approximately width)....	3
Anexo 4: Producción de mineral lixiviable	4
Anexo 5: Consumo de combustible (Handbook Komatsu edition 26)	5
Anexo 6: Costos estimados de camiones gigantes.	6
Anexo 7: Costos operativos asumidos, fuente Sociedad Minera Cerro Verde.....	6
Anexo 8: Plan de Arribo de Equipos de Mina, Plan 4Q Upd. 2018.....	7
Anexo 9: Velocidades de equipos de acarreo	7
Anexo 10: Perfil de vías de acarreo a dos carriles, fuente; Sociedad Minera cerro verde.	8
Anexo 11: Layout de Pit final LOM 2018, Fuente; Sociedad minera Cerro Verde	9
Anexo 12: Costos asumidos de componentes de mantenimiento para su reemplazo de los camiones Komatsu 980 y Komatsu 930.....	10
Anexo13: Costos asumidos de vida útil de las llantas de camino gigantes.	11

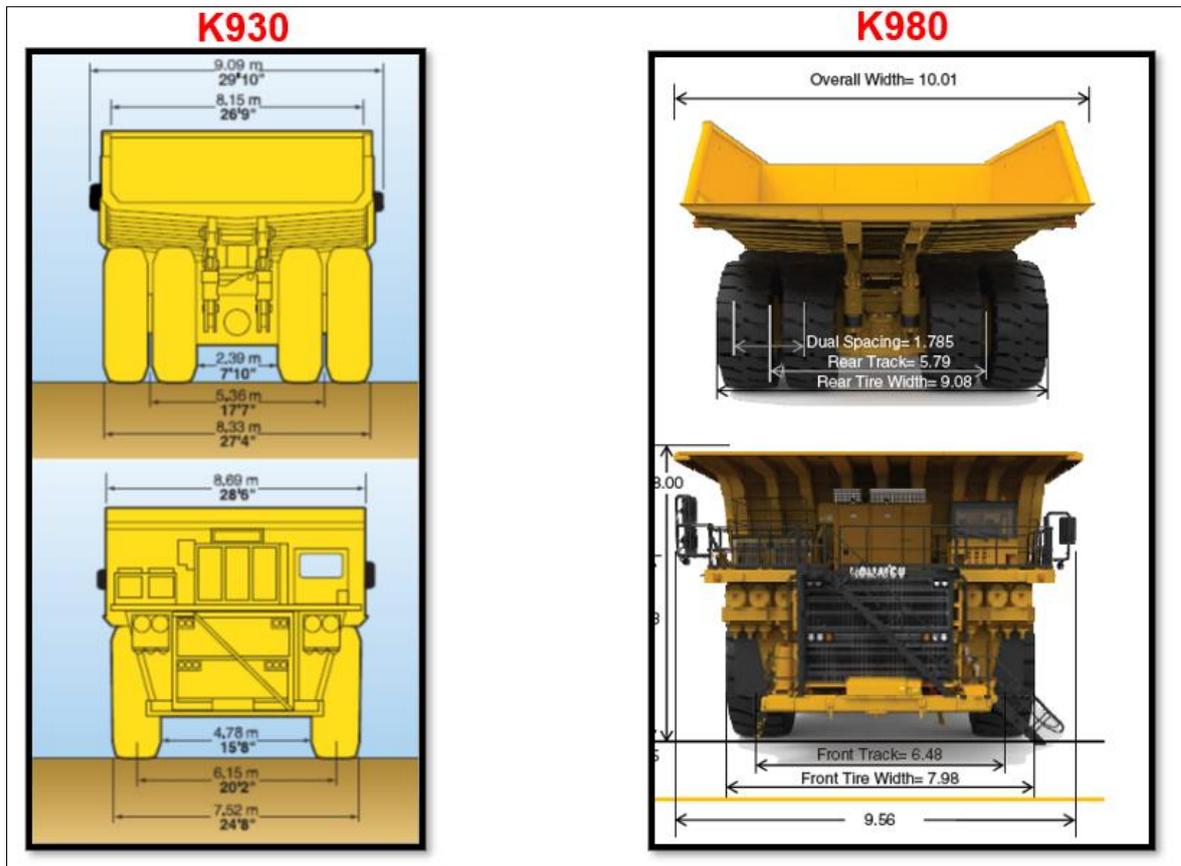
Anexo 1: Perfil de vías de acarreo - Dos carriles KOM 930



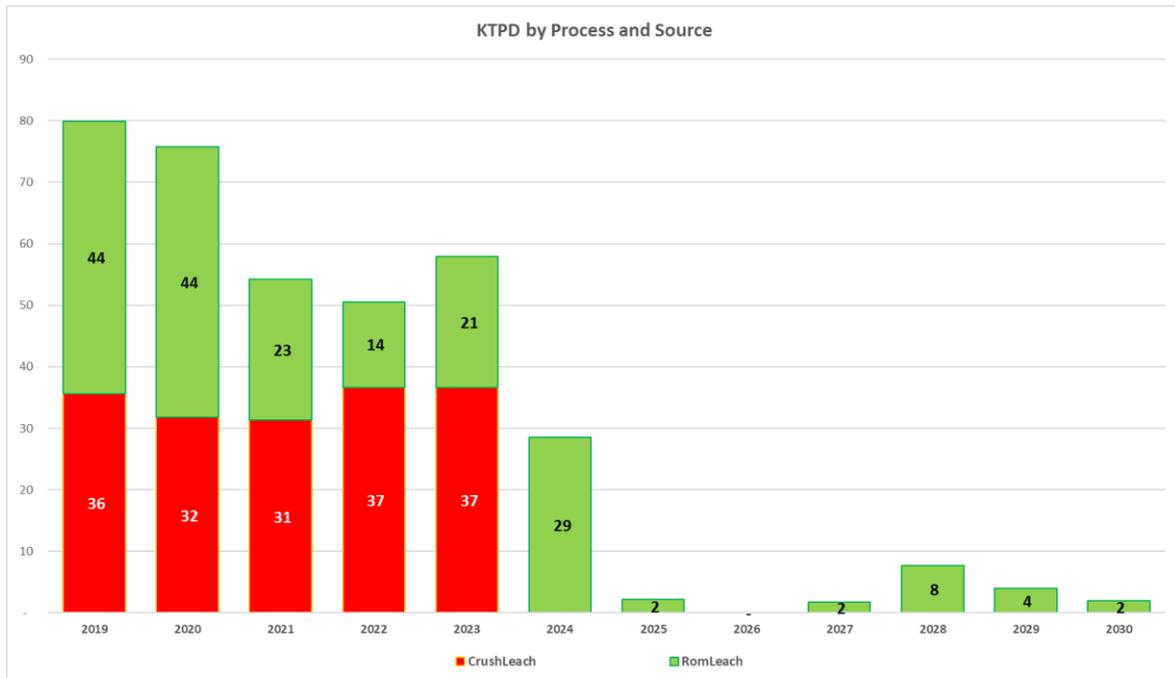
Anexo 2: Consulta SQL producción CV.

```
Select
  extract(year from shiftdate) year#,
  extract(month from shiftdate) month#,
  case
    When excav In ('P15','P16','P17','P18','P20','P21') Then 'P4100AC'
    When excav In ('P10','P12','P19') Then 'P4100DC'
    When excav In ('P06','P07','P11') Then 'P2800'
    When excav In ('P09','P14') Then 'RH200'
    When excav In ('CF24','CF25','CF26') Then 'CF994'
  End as "Type",
  excav,
  avg(KTM) KTP
From (
  select
    shiftdate,
    excav,
    sum(loadtons)/1000 KTM
  from hist_loads
  where site_code='cer' and shiftdate between '2019-01-01' and '2020-04-30'
    and (excav like 'P%' or excav in ('CF24','CF25','CF26'))
  group by
    shiftdate,
    excav
) q1
Group By
  extract(year from shiftdate),
  extract(month from shiftdate),
  case
    When excav In ('P15','P16','P17','P18','P20','P21') Then 'P4100AC'
    When excav In ('P10','P12','P19') Then 'P4100DC'
    When excav In ('P06','P07','P11') Then 'P2800'
    When excav In ('P09','P14') Then 'RH200'
    When excav In ('CF24','CF25','CF26') Then 'CF994'
  End,
  excav
Order By
  extract(year from shiftdate),
  extract(month from shiftdate),
  excav
```

Anexo 3: Overall Width (the difference between both models is 1m. Approximately width)



Anexo 4: Producción de mineral lixiviable



Anexo 5: Consumo de combustible (Handbook Komatsu edition 26)

Fuel Consumption					OWNING & OPERATING COSTS	
Mining						
(3) Off-highway dump trucks						
Range	Low		Medium		High	
Machine Amount	U.S. Gal/hr	ltr./hr	U.S. Gal/hr	ltr./hr	U.S. Gal/hr	ltr./hr
HD785-7	9.9 ~ 17.3	37.3 ~ 65.5	17.3 ~ 22.1	65.5 ~ 83.6	22.1 ~ 26.8	83.6 ~ 101.6
HD1500-7 (SDA12V160 Tier 1)	14.8 ~ 18.6	56.2 ~ 70.3	18.6 ~ 26.0	70.3 ~ 98.4	26.0 ~ 35.7	98.4 ~ 135.0
HD1500-7* (SDA16V159E Tier 2)	15.6 ~ 19.5	59.0 ~ 73.7	19.5 ~ 27.3	73.7 ~ 103.2	27.3 ~ 37.4	103.2 ~ 141.5
730E	19.1 ~ 23.8	72.2 ~ 90.2	23.8 ~ 33.4	90.2 ~ 126.3	33.4 ~ 45.8	126.3 ~ 173.2
830E-AC (SDA16V160 Tier 1)	24.8 ~ 31.0	93.9 ~ 117.4	31.0 ~ 43.4	117.4 ~ 164.4	43.4 ~ 59.6	164.4 ~ 225.4
830E-AC (SDA16V160 Tier 2)	25.8 ~ 32.2	97.6 ~ 122.0	32.2 ~ 45.2	122.0 ~ 170.9	45.2 ~ 61.9	170.9 ~ 234.3
860E-1K (SSDA16V160 Tier 1)	26.8 ~ 33.5	101.4 ~ 126.8	33.5 ~ 46.9	126.8 ~ 177.5	46.9 ~ 64.3	177.5 ~ 243.5
860E-1K (SSDA16V160 Tier 2)	27.2 ~ 33.9	102.8 ~ 128.5	33.9 ~ 47.5	128.5 ~ 179.9	47.5 ~ 65.2	179.9 ~ 246.7
930E-4 (SSDA16V160 Tier 1)	26.8 ~ 33.5	101.4 ~ 126.8	33.5 ~ 46.9	126.8 ~ 177.5	46.9 ~ 64.3	177.5 ~ 243.5
930E-4 (SSDA16V160 Tier 2)	27.2 ~ 33.9	102.8 ~ 128.5	33.9 ~ 47.5	128.5 ~ 179.9	47.5 ~ 65.2	179.9 ~ 246.7
930E-4SE	35.2 ~ 44.3	134.1 ~ 167.6	44.3 ~ 62.0	167.6 ~ 234.7	62.0 ~ 85.0	234.7 ~ 321.8
960E-2 (SSDA18V170 Tier 1)	33.8 ~ 42.3	128.0 ~ 160.0	42.3 ~ 59.2	160.0 ~ 224.1	59.2 ~ 81.2	224.1 ~ 307.3
960E-2 (SSDA18V170 Tier 2)	35.2 ~ 44.3	134.1 ~ 167.6	44.3 ~ 62.0	167.6 ~ 234.7	62.0 ~ 85.0	234.7 ~ 321.8
960E-2K (SSDA18V170 Tier 1)	33.8 ~ 42.3	128.0 ~ 160.0	42.3 ~ 59.2	160.0 ~ 224.1	59.2 ~ 81.2	224.1 ~ 307.3
960E-2K (SSDA18V170 Tier 2)	35.2 ~ 44.3	134.1 ~ 167.6	44.3 ~ 62.0	167.6 ~ 234.7	62.0 ~ 85.0	234.7 ~ 321.8

CONDITIONS:

Low : Variable travel times with the majority of the travel time attributed to segments with total resistance less than 4%
Abnormal operating efficiency with significant periods of wait time or delays

Medium : Average travel times with a balance between travel time along routes in excess of 10% total resistance and routes less than 4% in total resistance
Normal operating efficiency with occasional periods of wait time or delays

Anexo 6: Costos estimados de camiones gigantes.

Model Trucks	CV (TRUCK NEW) - \$	CV (TRUCK REBUILT) - \$
Cat 740 Articulated Truck	850,264	
Cat 773	1,114,314	
Cat 777	1,940,749	
Cat 785	3,265,508	
Cat 789	3,654,298	
793 MINING TRUCK	5,382,049	3,448,647
794 MINING TRUCK (New AC Drive - 326-Ton Ultra-Class)	6,741,256	
797 MINING TRUCK	8,238,052	
Komatsu 930-E4 MINING TRUCK	5,047,000	3,106,250
Komatsu 980-E MINING TRUCK	5,562,000	
777 Water Truck	2,230,322	
785 Water Truck	3,556,506	
Cat 789 Watertruck	3,782,685	
Haul Truck Beds (793 HP2 or MSD)	310,877	

Anexo 7: Costos operativos asumidos, fuente Sociedad Minera Cerro Verde.

2018 L6 - Reserve \$2.50	
	Paste as Value from column K
Price Assumption	
ITEM	2018 L6 - Reserve \$2.50
\$/lb-Cu	2.50
\$/lb-Mo	10.00
COSTS	
ITEM	2018 \$2.50 Reserve
Mined(\$/tm) (NO Haul)	0.748
Rehandle(\$/tm) (No Haul)	0.436
Hauling(\$/ Truck Hour)	293
Proc Mill (\$/tm)	5.121
Proc Leach (\$/tm)	3.156
Proc Rom (\$/tm)	0.444
SX-EW(\$/lb-Cu)	0.312
Downstream Mill(\$/lb-Cu)	0.454
Downstream Mill(\$/lb-Mo)	3.239

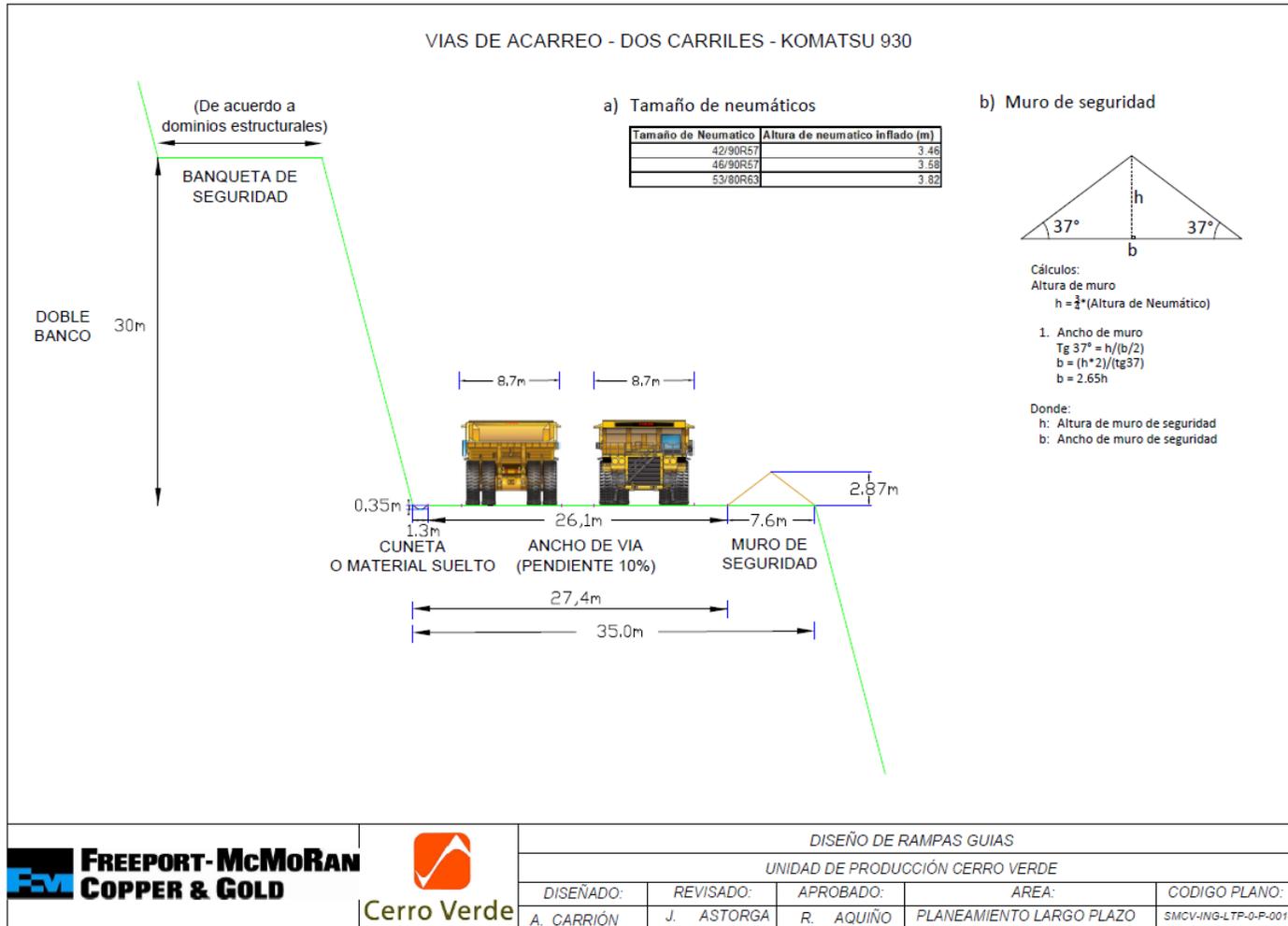
Anexo 8: Plan de Arribo de Equipos de Mina, Plan 4Q Upd. 2018

EQUIPOS	Unid.	Ene-19	Feb-19	Mar-19	2019	2020	2021	2022	2023
		31	29	31					
PERFORADORAS*									
PIT VIPER 271	Unid.	14	14	14	14	14	16	16	16
Rock Drill	Unid.	5	5	5	5	5	5	5	5
PALAS									
P&H 4100-AC Shovel	Unid.	6	6	6	7	7	7	7	7
P&H 4100-DC Shovel	Unid.	3	3	3	3	3	3	3	3
P&H 2800 Shovel	Unid.	3	3	3	3	3	3	3	3
O&K Hydraulic Shovel	Unid.	2	2	2	2	0	0	0	0
CAT 994 Loader	Unid.	3	3	3	3	3	3	3	3
CAMIONES									
Equiv. Cat73	Unid.	148	149	151	153	154	153	154	157
KOM 930 Trucks	Unid.	45	46	47	51	54	54	54	54
CAT 793D Trucks	Unid.	93	93	93	91	88	87	88	91
CAT 789 Trucks	Unid.	0	0	0	0	0	0	0	0
EQUIPO AUXILIAR									
CAT 992D Loader	Unid.	3	3	3	3	3	3	3	3
CAT 16M Grader	Unid.	7	7	7	7	7	7	7	7
CAT 24M Grader	Unid.	4	4	4	4	5	5	5	5
CAT 824 Wheel Dozer	Unid.	15	15	15	15	15	16	16	16
CAT D11T Track Dozer	Unid.	8	8	8	8	10	10	10	11
CAT D10T Track Dozer	Unid.	19	19	19	19	18	17	17	16
CAT 789 Water Trucks	Unid.	9	9	9	9	15	15	15	15
CAT 777 Water Trucks	Unid.	5	5	5	5	1	0	0	0

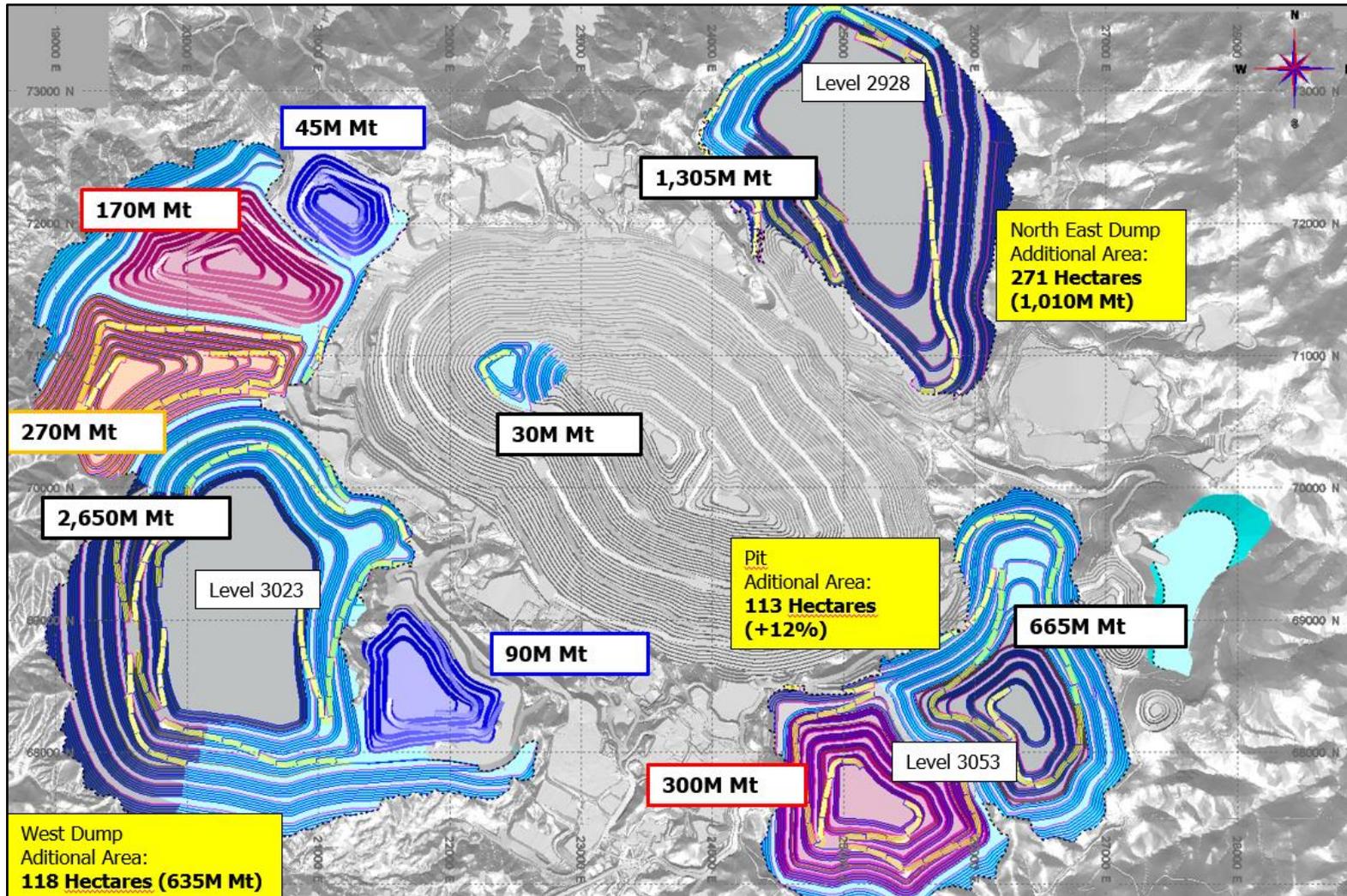
Anexo 9: Velocidades de equipos de acarreo

Cuadro de Velocidades		
Velocidad	Cargado(Km/h)	Vacio (Km/hr)
Subida	10.5	26
Bajada	16	29
Horiz	32	32

Anexo 10: Perfil de vías de acarreo a dos carriles, fuente; Sociedad Minera cerro verde.



Anexo 11: Layout de Pit final LOM 2018, Fuente; Sociedad minera Cerro Verde



Anexo 12: Costos asumidos de componentes de mantenimiento para su reemplazo de los camiones Komatsu 980 y Komatsu 930

Camion Komatsu	980E
-----------------------	-------------

Fleet	Componentes	PCR (Hrs)	Costo (\$)
K980E	Power Module	16000	796,500
K980E	Barra Direccion	16000	6,250
K980E	Bba Direccion / Freno	20000	14,001
K980E	Bba Levante	35000	18,111
K980E	Bba Grasa	30000	4,000
K980E	Inyectores	8000	90,000
K980E	Sellos e Inyectores	4000	4,200
K980E	Cilindro Direccion RH - LH	16000	15,000
K980E	Cilindro Levante RH - LH	30000	50,000
K980E	Cilindro Susp Delant RH - LH	20000	80,000
K980E	Cilindro Susp Poste RH - LH	28000	50,000
K980E	Wheel Motor RH - LH	20000	1,200,500
K980E	Contactores RP / GF	10000	33,750
K980E	Grid Blower RH - LH	10000	70,000
K980E	Miscelaneos Electricos	-	12,500
K980E	Nose Cone	15000	10,000
K980E	Panel Rectificador	6000	17,500
			Total

Camion Komatsu	930E
-----------------------	-------------

Fleet	Componentes	PCR (Hrs)	Costo (\$)
K930E	Power Module	16000	577,000
K930E	Barra Direccion	16000	5,000
K930E	Bba Direccion / Freno	20000	11,500
K930E	Bba Levante	35000	15,500
K930E	Bba Grasa	30000	4,000
K930E	Inyectores	8000	60,000
K930E	Sellos e Inyectores	4000	2,800
K930E	Cilindro Direccion RH - LH	16000	12,000
K930E	Cilindro Levante RH - LH	30000	40,000
K930E	Cilindro Susp Delant RH - LH	20000	64,000
K930E	Cilindro Susp Poste RH - LH	28000	42,000
K930E	Wheel Motor RH - LH	20000	900,000
K930E	Contactores RP / GF	10000	27,000
K930E	Grid Blower RH - LH	10000	56,000
K930E	Miscelaneos Electricos	-	10,000
K930E	Nose Cone	15000	8,800
K930E	Panel Rectificador	6000	14,000
			Total

Anexo13: Costos asumidos de vida útil de las llantas de camino gigantes.

CALCULO VIDA UTIL DE LLANTAS - HISTORICO (2016-2019)

Avg.Tire Life (Km)	108,243.82
Avg. Vel. (km/hr)	17.21
Avg Tire Life (Hr)	6,291