

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Selección de ubicación de un depósito de desmonte para reducir
el costo de acarreo en una mina de cobre a tajo abierto**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de minas


Elaborado por

Yerson Fuber Lugo Lopez

 0009-0008-7782-0310

Asesor

Ing. Henry Mamfredo Zambrana Flores

 0000-0001-9019-191X

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Lugo Lopez [1]
Referencia/Reference	[1] Y. Lugo Lopez, “ <i>Selección de ubicación de un depósito de desmonte para reducir el costo de acarreo en una mina de cobre a tajo abierto</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Lugo, 2023)
Referencia/Reference	Lugo, Y. (2023). <i>Selección de ubicación de un depósito de desmonte para reducir el costo de acarreo en una mina de cobre a tajo abierto</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mis padres a quienes admiro por su integridad personal, a mi esposa y mis hijos por el apoyo incondicional que me supieron brindar y al igual que mis estudios previos los cuales han fortalecido mi formación humana y como futuro profesional.

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se planteó una selección de ubicación de desmonte en una mina de cobre a tajo abierto con el objetivo de reducir el costo de acarreo. En base a los datos recolectados, se procedió a elaborar las distintas alternativas de ubicación de depósitos de desmonte teniendo en cuenta los límites de propiedad definidos por los permisos por la autoridad competente

En las alternativas desarrolladas, se consideraron dos botaderos: uno al norte del tajo, de 1,628 millones de toneladas, y otro al oeste, de 2,511 millones de toneladas.

Estas alternativas fueron desarrolladas definiendo los tonelajes de material estéril disponible y las posibles ubicaciones para las descargas, además, se diseñaron en función de los límites de la propiedad, presentando tres alternativas de ubicación de depósitos de desmonte. Todas las alternativas cumplieron con el material estéril del plan de minado con una holgura de 5%, 62% y 67% respectivamente.

Posteriormente, se procedió a realizar un plan de minado utilizando el software minero MPSO (Mine Plan Schedule Optimizer). En base al plan de minado previo, el cual desarrolla lo siguiente; el total movido, requerimiento de planta, descargas en los depósitos de desmonte en base a las alternativas contempladas. A continuación, se calcularon las horas de transporte y la flota de camiones mineros para cada alternativa. Como resultado, la alternativa 3 representó un ahorro de 6% en horas totales respecto a la alternativa 2 y un ahorro de 14% en horas totales con la alternativa 1. Con respecto a los camiones es una disminución de 4 y 17 camiones respectivamente.

Luego, se realizó una evaluación económica, estudiando cualitativamente aspectos geotécnicos, operativos y de planificación, junto con la cuantificación de los costos operacionales y de inversión de acarreo mina.

En base a la evaluación económica, se descartó la alternativa 1, debido a que no presentó mucha holgura en capacidad de desmonte. Las dos alternativas con que se sigue

trabajando, la alternativa 3 presenta ahorros en OPEX de transporte mina de 114 millones de dólares y 18 millones de dólares en CAPEX respecto a la alternativa 2.

Realizando un análisis de los resultados, se recomienda la alternativa 3, la cual respeta los límites de propiedad y utiliza el espacio autorizado.

Palabras claves — Acarreo, planta, OPEX, CAPEX, MPSO,

Abstract

In this work, the selection of the location of waste rock dumps in an open pit copper mine with the objective of reducing hauling costs was proposed.

Based on the data collected, we proceeded to develop the different alternatives for the location of waste rock dumps, considering the property boundaries defined by the permit's competent authority.

In the alternatives developed, two dumps were considered: one to the north of the pit, of 1,628 million tons, and another to the west, of 2,511 million tons.

These alternatives were developed by defining the tonnages of waste material available and the possible locations for the dumps, in addition, they were designed based on the property boundaries, presenting three alternatives for the location of waste rock dumps. All alternatives met the mine plan waste material with a clearance of 5%, 62% and 67%, respectively.

Subsequently, a mine plan was made using the mining software MPSO (Mine Plan Schedule Optimizer). Based on the previous mining plan, which develops the following: the total moved, plant throughput, unloading in the waste dumps based on the alternatives contemplated. Then, the hours of transportation and the fleet of mining trucks were calculated for each alternative. As a result, alternative 3 represented a saving of 6% in total hours compared to alternative 2 and a saving of 14% in total hours compared to alternative 1. With respect to trucks, there is a decrease of 4 and 17 trucks, respectively.

Then, an economic evaluation was carried out, studying qualitatively geotechnical, operational and planning aspects, together with the quantification of operational and investment costs of mining haulage. Based on the economic evaluation, alternative 1 was discarded because it did not present much clearance capacity. The two alternatives with which work continues, alternative 3 presents savings in mine haulage OPEX of US\$114 million and US\$18 million in CAPEX.

Analyzing the results, we recommend alternative 3, which respects the property boundaries and uses the authorized space.

Keywords — Haulage, plant, OPEX, CAPEX, MPSO,

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivo del estudio.....	3
1.4 Hipótesis general	3
1.5 Operación de variables	3
1.6 Antecedentes investigativos	3
1.6.1 Internacionales	3
1.6.2 Nacionales.....	4
1.6.3 Locales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	8
2.1 Marco teórico	8
2.1.1 Diseño y ubicación de depósitos de desmonte	8
2.1.2 Costos en Minería.....	12
2.1.3 Costo Político	21
2.1.4 Costo Ambiental	22
2.2 Marco conceptual.....	24
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	25
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	25
3.1.1 Enfoque	25
3.1.2 Alcance.....	25
3.1.3 Diseño de la investigación	25
3.2 Unidad de análisis.....	25

3.2.1	Descripción.....	26
3.2.2	Geología Regional.....	27
3.2.3	Geología Estructural.....	27
3.2.4	Operaciones Unitarias.....	27
3.2.5	Perforación.....	28
3.2.6	Voladura.....	28
3.2.7	Carguío.....	29
3.2.8	Acarreo.....	29
3.3	Matriz de consistencia.....	29
3.4	Población y muestra.....	29
3.4.1	Población.....	29
3.4.2	Muestra.....	30
3.5	Recolección de datos.....	30
3.5.1	Sectores disponibles y parámetros de diseño para depósitos de desmonte.....	30
3.5.2	Velocidades del camión de acarreo.....	30
3.5.3	Costo horario del camión de acarreo.....	30
3.6	Procesamiento de la información.....	30
3.6.1	Cálculo de tonelajes por material.....	31
3.6.2	Ubicación de depósitos de desmonte.....	33
3.6.3	Parámetros de diseño para Depósitos de Desmonte.....	36
3.6.4	Plan de Minado.....	37
3.6.5	Digitalización de las rutas de acarreo.....	41
3.6.6	Horas de acarreo y flota de camiones mineros.....	43
3.6.7	Costos Incrementales del Acarreo.....	45
3.7	Análisis de la información.....	45
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....		50
Conclusiones.....		54
Recomendaciones.....		55

Referencias bibliográficas.....	56
Anexos	1

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Matriz de consistencia.....	29
Tabla 2: Parámetros de diseño de depósitos de desmote.....	37
Tabla 3: Velocidades del camión minero CAT 793D	43
Tabla 4: Tiempos fijos para camión minero CAT 793D	43
Tabla 5: Camiones de acarreo por periodo y alternativas	51
Tabla 6: Horas de Acarreo Totales vs Costo de Acarreo	53
Tabla 7: Reporte generado por el Python Script en Microsoft Excel.....	53

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Disposición de depósitos de desmote en laderas.....	9
Figura 2: Disposición de depósitos de desmote en quebradas	9
Figura 3: Disposición de depósitos de desmote en pilas.....	10
Figura 4: Tipos de descarga en depósitos de desmote	11
Figura 5: Distribución de depósitos de lixiviación y desmote.....	12
Figura 6: Costos estimados vs Inversión según la ingeniería del proyecto.....	13
Figura 7: Ley de PARETO	14
Figura 8: Costos de Capital por tonelada de material estéril de recubrimiento.....	18
Figura 9: Costos de operación para diferentes capacidades de material estéril.....	18
Figura 10: Resumen de los costos de capital en minas a tajo abierto	20
Figura 11: Costos de los equipos para minas de diferentes tamaños	21
Figura 12: Plano de ubicación de Cerro Verde.....	26
Figura 13: Topografía actual de la operación minera	31
Figura 14: Consulta (o Query) SQL de cálculo de tonelajes.....	32
Figura 15: Tonelaje Total por Fase	33
Figura 16: Tonelajes por Material y por Fase	33
Figura 17: Disposición del Depósito de Desmote Norte	35
Figura 18: Disposición del Depósito de Desmote Oeste	35
Figura 19: Disposición del Depósito de Desmote Norte y Oeste	36
Figura 20: Esquema de parámetros de diseño de depósitos de desmote	37
Figura 21: Diagrama de Flujo del Plan de Minado en MPSO	38
Figura 22: Reportes del Plan de Minado en MPSO.....	39
Figura 23: Total de Material Movido del plan	39
Figura 24: Secuencias de Fases de Minado del plan.....	40
Figura 25: Requerimiento de Mineral a Planta del plan.....	40
Figura 26: Total de Material Estéril del Plan.....	41

Figura 27: Razón Estéril/Mineral del plan.....	41
Figura 28: Esquema de digitalización de rutas de la mina	42
Figura 29: Pendientes/Velocidades/Tracción	42
Figura 30: Pendiente de la regresión lineal simple.....	46
Figura 31: Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 1	47
Figura 32: Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 2	47
Figura 33: Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 3	48
Figura 34: Total Material Estéril vs Ciclos Totales.....	48
Figura 35: Regresión Lineal del Costo de Acarreo por Alternativa	49
Figura 36: Horas de acarreo por alternativas	50
Figura 37: Camiones de acarreo por alternativas.....	51
Figura 38: Ciclo Total de acarreo de las alternativas	52
Figura 39: Total material esteril vs ciclos totales	52
Figura 40: Python Script para verificar horas y camiones de acarreo.....	53

Introducción

El presente trabajo plantea un análisis para reducir el costo de acarreo mediante la selección de ubicación de desmonte en una mina de cobre a tajo abierto.

El contenido del trabajo está estructurado en seis capítulos, descritos a continuación.

El capítulo I, contiene:

Generalidades, donde se describe el alcance de la investigación y el beneficio que genera.

Descripción del Problema de investigación, donde se detalla la problemática actual que tienen las compañías mineras relacionadas a los altos costos de acarreo.

Objetivos de estudio, donde se detalla la finalidad del trabajo de investigación.

Antecedentes investigativos, donde se exponen resumen de tesis, artículos y publicaciones que aportan conocimientos y casos de estudio para realizar el trabajo de investigación.

El capítulo II contiene;

Marco Teórico, donde se detalla 4 subcapítulos como son Diseño y ubicación de botaderos, Costos en Minería, Costo Político y Costos Ambientales.

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

El capítulo III, profundiza la metodología y pasos a realizar en la investigación en la selección de ubicación de los depósitos de desmonte y contiene:

Tipo y diseño de la investigación; donde se define que la investigación es cuantitativa, el alcance es correlacional porque la variable dependiente que es selección de ubicación de depósitos de desmonte varía en función a la variable independiente que es el costo de acarreo.

Unidad de Análisis; se describe a la unidad de análisis a la operación minera de Cerro Verde de la empresa Sociedad Minera Cerro Verde S.A.C.

Recolección de datos, es este punto se detalla cómo se recolectaron los datos necesarios como Sectores disponibles y Parámetros de diseño de Depósitos de Desmonte, Velocidades del camión de acarreo y Costo horario del camión de acarreo.

Procesamiento de la información, en donde se trabajan los datos utilizando las diversas herramientas mencionadas.

Análisis de la información, donde se realiza el análisis de correlación entre las variables y explicar el comportamiento de estas.

El capítulo IV, contiene y analiza;

Los resultados obtenidos de las alternativas en donde la selección de ubicación de los depósitos de desmonte se va a analizar y comparar los costos de acarreo relacionados a cada alternativa desarrollada.

En este capítulo se realiza la contrastación de la hipótesis, “La selección de ubicación de un depósito de desmonte influirá en la reducción del costo de acarreo”, es positiva.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Las unidades mineras están afectadas por la situación actual del mercado, por ende, la producción de minerales enfoca en reducir y controlar los costos mineros.

Para enfocar este problema las diferentes unidades mineras desarrollan alternativas de ubicación de depósitos de desmonte los cuales tienen en cuenta los parámetros de diseño expuestos, los cuales generan diversas alternativas de ubicación en las áreas disponibles y permitidas para el almacenamiento de material estéril.

En el presente trabajo de investigación permite reducir el costo de acarreo mediante la selección de ubicación de depósitos de desmonte, mediante las alternativas desarrolladas, y los resultados que se obtienen son en base en el beneficio de horas y dólares lo que permite reducir el costo de acarreo.

Para la selección de ubicación de los depósitos de desmonte este trabajo utiliza las herramientas del software MPSO, Microsoft SQL Server Management, Microsoft Excel y el lenguaje de programación Python.

Como trabajo de investigación, promoverá el interés de seguir estudiando la correlación de otros parámetros ya mencionados para reducir el costo de acarreo y generar aportes en temas de operación y beneficien los flujos económicos.

1.2 Descripción del problema de investigación

La industria minera es afectada en gran medida por la situación actual del mercado según Deloitte (2020), en el informe “Ocho tendencias clave para el sector minero en 2020”, [7]. Entonces, es complicado controlar los obstáculos de la economía mundial que provocan las tasas de cambios entre divisas y los precios de los productos minerales básicos; sin embargo, las compañías mineras tienen la capacidad de controlar la forma en que operan sus unidades mineras enfocándose en la reducción de los costos mineros.

El costo minero asociado al acarreo se estima entre 30% a 50% del costo operativo total así lo desarrolla e indica Nagai, T (2020), en la publicación “Surface Mining

Transportation Systems”, [12]. En consecuencia, las compañías mineras disponen de depósitos de mineral estéril con alto costo y baja productividad en el acarreo.

Influyen directamente en el costo de acarreo en la disposición de los depósitos de desmonte, los siguientes factores: ubicación, diseño, utilización, capacidad y factores geotécnicos. Muchas veces durante la etapa del ubicación y diseño de depósitos de desmonte, se subvalora la importancia de estos factores generando incrementos a las distancias de acarreo. Según Gonzales, T. (2010), en la tesis “Diseño de Minas a Tajo Abierto”, [9].

Estas grandes distancias de acarreo son generalmente como consecuencia de la ubicación y diseño de los depósitos de desmonte. Los incrementos de las distancias involucran un aumento progresivo del costo de acarreo, esto debido a un inadecuado control, y se puede observar mediante un análisis de costos.

Adicionalmente, la secuencia de minado en la profundización del tajo abierto impactaría además en la alta variabilidad de las distancias de acarreo, ocasionando que los depósitos de desmonte se hallen más distantes del límite de la operación. Así lo indica Baldeon, L. (2015), en la tesis “Gestión de las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en la Minera Pan American Silver, Distrito de Huayllay”, [2].

Cuando no se controla la secuencia de minado, se genera la posibilidad de incrementar el costo de acarreo. Así lo indica Caballero, M. (2017), en la tesis “Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya”, [5].

El diseño y ubicación de los depósitos de desmonte contempla también los problemas de: límite del tajo final, infraestructuras aledañas, diseño y ubicación aprobadas por la autoridad competente, tonelaje de material estéril, topografía y equipos para la disposición del material como desarrolla Ortiz, W. (2016), en la tesis “Diseño de botaderos de desmonte en open pit usando Minesight 7.0 E.E Piramide Cis Cuajone”, [15].

¿En qué medida la ubicación del depósito de desmonte influye en los costos de acarreo en empresas mineras a tajo abierto?

1.3 Objetivo del estudio

Seleccionar la ubicación del depósito de desmonte para reducir el costo de acarreo en minas de cobre a tajo abierto.

1.4 Hipótesis general

La selección de ubicación de un depósito de desmonte influirá en la reducción del costo de acarreo.

1.5 Operación de variables

Variable dependiente (V.D): Costo de acarreo.

Variable Independiente (V.I): Selección de ubicación de depósitos de desmonte.

1.6 Antecedentes investigativos

A continuación, se describen los antecedentes relacionados al tema de investigación, realizados en los ámbitos internacional, nacional y local.

1.6.1 Internacionales

Nagai, T. (2020), en la publicación "Surface mining transportation systems", [12]; desarrolla las operaciones y los métodos de minería a cielo abierto para calcular qué tipo de equipo de transporte se debe utilizar, y explica los requerimientos de equipos y sistemas de transporte de minería a cielo abierto.

Se define a la minería a tajo abierto es un método de explotación que se es muy utilizado en todo el mundo para extraer minerales que se ubican cercanos a la superficie, especialmente minerales metálicos como cobre, hierro, oro y bauxita y minerales no metálicos como carbón y fosfato.

Además, la cantidad de materiales que se transportan diariamente es a gran escala. Por ejemplo, una mina de cobre o carbón transporta aproximadamente un millón de toneladas por día. El volumen de material estéril que se transporta en el mundo es alto y el costo de transporte asociado asciende a una enorme suma de dinero, el cual se estima que comprende de 30% a 50% del costo operativo total aproximadamente.

Tal es así que el acarreo y el transporte son cada vez más importantes para la industria minera respecto a los aspectos técnico y económico; debido a que las condiciones

mineras son cada vez más difíciles ya que se requiere profundizar cada vez más, extrayendo mineral de menor ley y eliminando crecientes toneladas de materiales no deseados. Por esto, la minería se propone mantener y mejorar la productividad utilizando cada vez equipos más grandes.

Asimismo, la demanda de recuperación de áreas minadas será mucho mayor para la restauración ambiental de las mismas durante la etapa del Cierre de Mina. Por todas estas razones, el acarreo y el transporte están incrementando su importancia.

Caballero, M. (2017), en la tesis “Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya”, [5]; se considera la actualización del diseño de los botaderos en la mina, con el objetivo de mejorar las distancias de transporte mediante la minimización del ciclo de acarreo.

La metodología consiste en diseñar los botaderos en función a los límites de la mina, para luego calcular las horas de transporte y posteriormente el tamaño de la flota de equipos de acarreo.

Luego, se evalúa cualitativamente factores geotécnicos, operativos y de planeamiento de minado. Además, se cuantifican los costos operacionales y de inversión relacionado al transporte.

Adicionalmente, se desarrollaron alternativas factibles para el diseño de botaderos entonces se consideró la importancia de la flexibilización de los límites. Las alternativas desarrolladas representan ahorros en horas de acarreo, generando la mejor relación de reducción de horas y de Capex. El ahorro en horas fue el criterio determinante en la selección de las alternativas a evaluar.

1.6.2 Nacionales

Neyra, A. (2020), en la tesis “Estudio del cálculo de flota de camiones para operación minera a cielo abierto”, [13]; desarrolla el cálculo del número óptimo de unidades de la flota de camiones destinada al acarreo de mineral y desmonte de la operación minera a tajo abierto.

Además, de describir las características de esta operación, se desarrolla el planeamiento de minado y explotación de la mina a lo largo del proyecto. Con esta información, se realiza un análisis económico de la mina para corroborar que sea factible y alcance los parámetros que requiere una mina en ejecución.

Amau, G. (2019), en la tesis “Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar – Cusco”, [1]; explica la optimización de los equipos de carguío y acarreo para la reducción de costos en las actividades de carguío y acarreo de mineral, con un incremento importante del nivel de producción para el beneficio de la empresa minera y la reducción de los costos de carguío y acarreo. Asimismo, en el presente estudio se determina que la optimización de la flota de los equipos de carguío y acarreo influyen de manera directa y significativa en el incremento de producción.

El factor que influye significativamente el destino del material cargado, son las rutas de acarreo que tienen factores como la resistencia a la rodadura, la distancia de acarreo y las pendientes de las vías que son regularmente eficientes, permitiendo el incremento de la producción.

Ortiz, W. (2016), en la tesis “Diseño de botaderos de desmonte en open pit usando Minesight 7.0 E.E Piramide Cis Cuajone”, [5]; tiene por objetivo diseñar botaderos en minas a tajo abierto de manera óptima con la aplicación de un software minero especializados, para lograr obtener resultados de manera inmediata y así poder ajustar parámetros para obtener resultados óptimos a corto, medio y largo plazo.

Se determinó los parámetros geotécnicos en base a pruebas de campo para obtener parámetros de diseño, los resultados de las pruebas se ingresaron al software minero para diseñar los depósitos de desmonte. Finalmente, se desarrollan alternativas y estas se evalúan para determinar el ahorro de costos de la descarga de los materiales.

Baldeon, L. (2015), en la tesis “Gestión de las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en la Minera Pan American Silver S.A. Distrito de Huayllay”, [2]; menciona que como objetivo de investigación se obtuvo el cálculo del

número asertivo de camiones para el transporte de minerales, así como el desmonte en una operación minera a tajo abierto de cobre. Posteriormente, desarrolló el planeamiento de minado y el programa de producción proyectado a 1 años de duración del proyecto.

Baldeón, Z. (2011), en la tesis “Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en la Minera Condestable S.A”, [3]; tiene por objetivo la implementación de métodos de control, alternativas de solución para la mejora de la productividad, en base al análisis de las operaciones en función del tiempo. Se determina que el acarreo y transporte son variables que influyen en forma prioritaria en la reducción de costos.

Inicialmente, se analizarán los factores que impactan la productividad de la actividad de acarreo y transporte, los métodos de trabajo y los sistemas de control; a los resultados del análisis se propone una alternativa de solución para la actividad que genera un mayor tiempo improductivo en el proceso, finalmente se desarrollará una metodología para la optimización de flota en minas subterráneas.

1.6.3 Locales

Gonzales, T. (2010), en la tesis “Diseño de Minas a Tajo Abierto”, [9]; 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.

En el desarrollo se presentan tres métodos usados en la industria minera, que incluyen el valor del dinero en el tiempo para la determinación del límite final económico, el objetivo final como cualquier negocio es obtener la máxima rentabilidad.

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.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Diseño y ubicación de depósitos de desmonte*

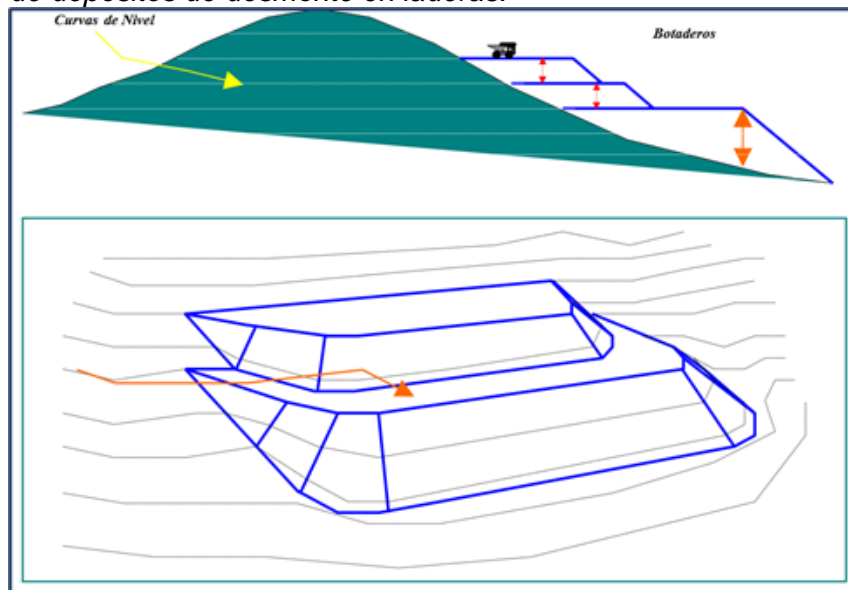
Vásquez, A. et al, (1998), en el libro “Diseño y operaciones de minas a cielo abierto”, [19]; define que el lugar para un depósito de desmonte lo constituirá el sector que cumpla efectivamente con las exigencias para su ubicación, tanto técnicas como económicas, de las cuales mencionamos las siguientes:

- Las distancias entre el punto de carga a los camiones de la mina y el lugar de descarga del material estéril (o depósito de desmonte) debe ser la mínima posible.
- El lugar donde se depositarán el material estéril debe ser geológica y geomecánicamente apto para ello.
- El sector elegido debe carecer de importancia económica en el presente y en un futuro y la utilización del sector elegido no debe significar un daño ambiental real o potencial lo cual se garantizará con un adecuado estudio al respecto.

La disposición de depósitos de desmonte se disponen los residuos minerales en las laderas de los cerros circundantes a la explotación, más que nada, responde a razones de simplicidad en la descarga, mantención y estabilidad, además que se encuentra disponible un mayor espacio para la actividad y está se puede realizar de una manera más uniforme. Esta forma se observa en la Figura 1.

Figura 1

Disposición de depósitos de desmonte en laderas.

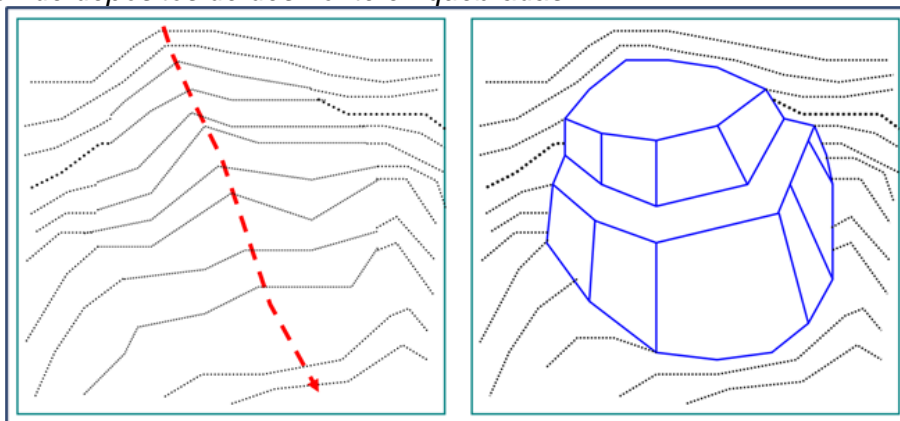


Fuente: Vásquez "et al" (1998). "Diseño y operaciones de minas a cielo abierto"

La disposición de depósitos de desmonte en quebradas solo podrá realizarse en casos que esta actividad no representa un riesgo real o potencial, lo cual se lograría con un adecuado estudio del sector, considerando precaución con los cauces de aguas que pueden ser perjudicados. Esto se observa en la Figura 2.

Figura 2

Disposición de depósitos de desmonte en quebradas.



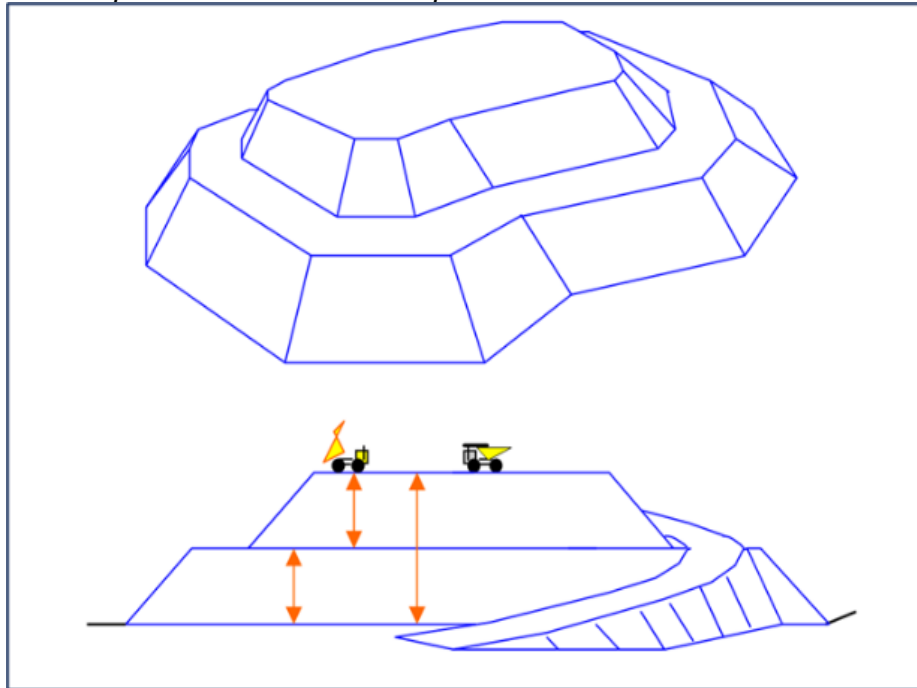
Fuente: Vásquez "et al" (1998). "Diseño y operaciones de minas a cielo abierto"

Existen casos en que no se cuenta con laderas cercanas en donde se puedan depositar los materiales estériles, por lo que se recurre a la construcción de pilas de acopio. En este caso, debe tomarse en cuenta la construcción o habilitación de accesos

permanentes sobre la pila misma, a diferencias de la disposición en laderas en que parte de los accesos se habilitan en los mismos cerros. Esta forma se observa en la Figura 3.

Figura 3

Disposición de depósitos de desmonte en pilas.

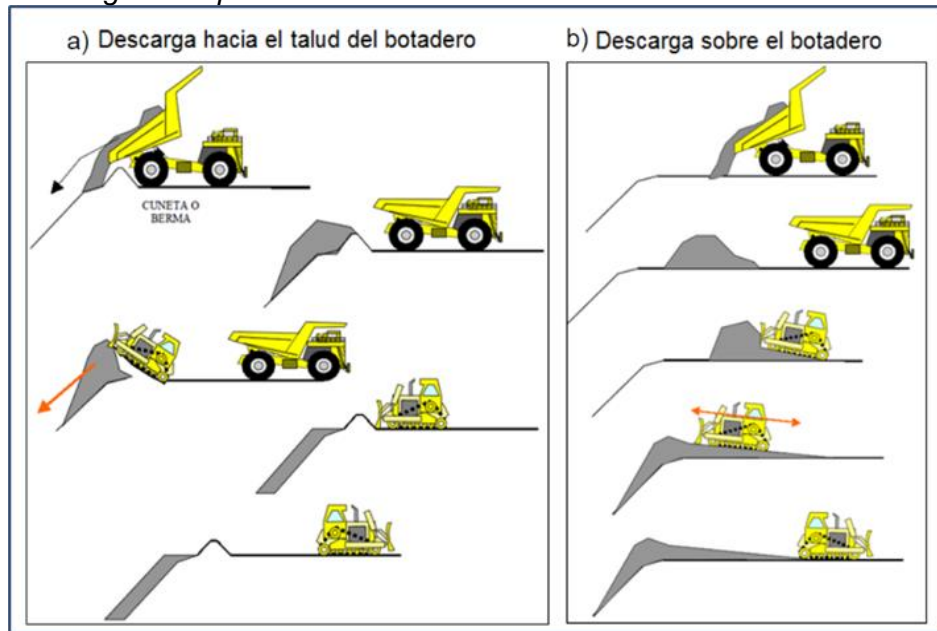


Fuente: Vásquez, A et al (1998). "Diseño y operaciones de minas a cielo abierto"

Básicamente la descarga se realiza en las cercanías del borde de los depósitos de desmonte, teniendo en cuenta que debe existir una distancia prudente para evitar accidentes durante y después de la operación. Para ello no basta con la operación solitaria y cuidadosa del operador del camión que descargará, sino que se requiere la operación conjunta de otros equipos de apoyo como los tractores de ruedas y/o tractores de orugas, los cuales procederán realizar su acomodamiento y a la construirán la cuneta de seguridad una vez descargado el material. Esta forma se observa en la Figura 4.

Figura 4

Tipos de descarga en depósitos de desmote.



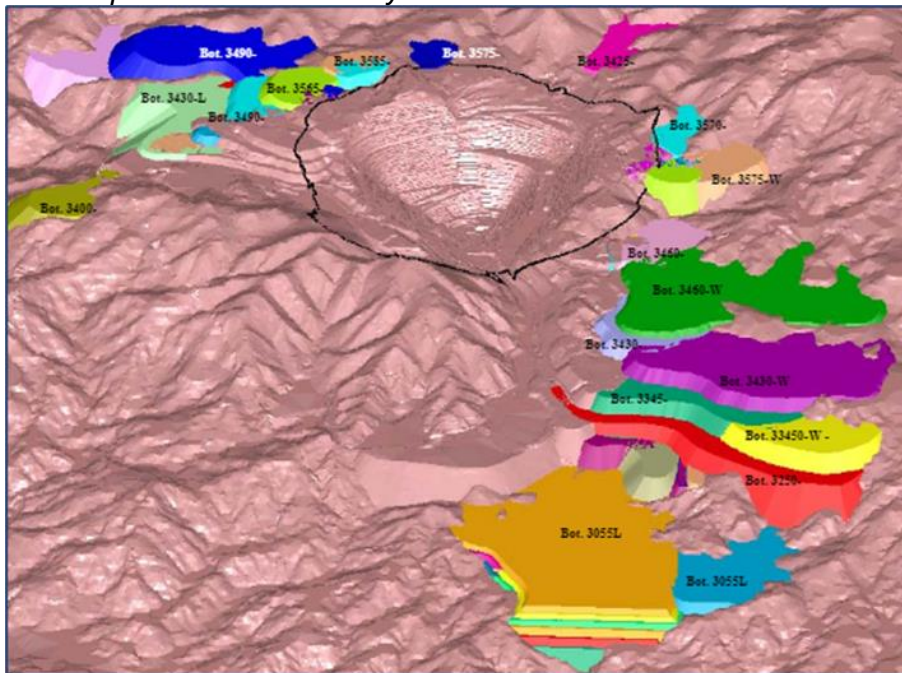
Fuente: Vásquez "et al" (1998). "Diseño y operaciones de minas a cielo abierto"

Gonzales, T. (2010), en la tesis "Diseño de Minas a Tajo Abierto", [9]; menciona respecto a la disponibilidad, capacidad y localización inciden directamente en el costo de acarreo. En la cc, los depósitos de desmote son típicamente construidos en forma ascendente rellenando las quebradas sin límites de altura. Las áreas de los depósitos de lixiviación están ubicadas en el sur y noreste. Esta forma se observa en la Figura 5.

Esto es debido a que las pozas de colección están ubicadas en estas quebradas, la altura de los depósitos lixiviación del material y con el consecuente incremento de la recuperación del material.

Figura 5

Distribución de depósitos de lixiviación y desmonte.



Fuente: Gonzales, T. (2010). "Diseño de Minas a Tajo Abierto"

2.1.2 Costos en Minería

Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1991), en el libro "Manual de evaluación Técnico – Económica de proyectos mineros de inversión", [10]; se desarrolla los tipos de estimación de los costos, clases de información de costos, fuentes de información, métodos de estimación de costos entre ellos se resalta la estimación de inversiones o costos de capital y la estimación de los costos de operación.

Después del descubrimiento de un depósito de mineral se debe realizar una evaluación económica para determinar si el yacimiento tiene posibilidades para llegar a soportar un proyecto viable. El análisis económico se puede llevar a cabo si se efectúan estimaciones de los diversos costos que conllevan el proyecto.

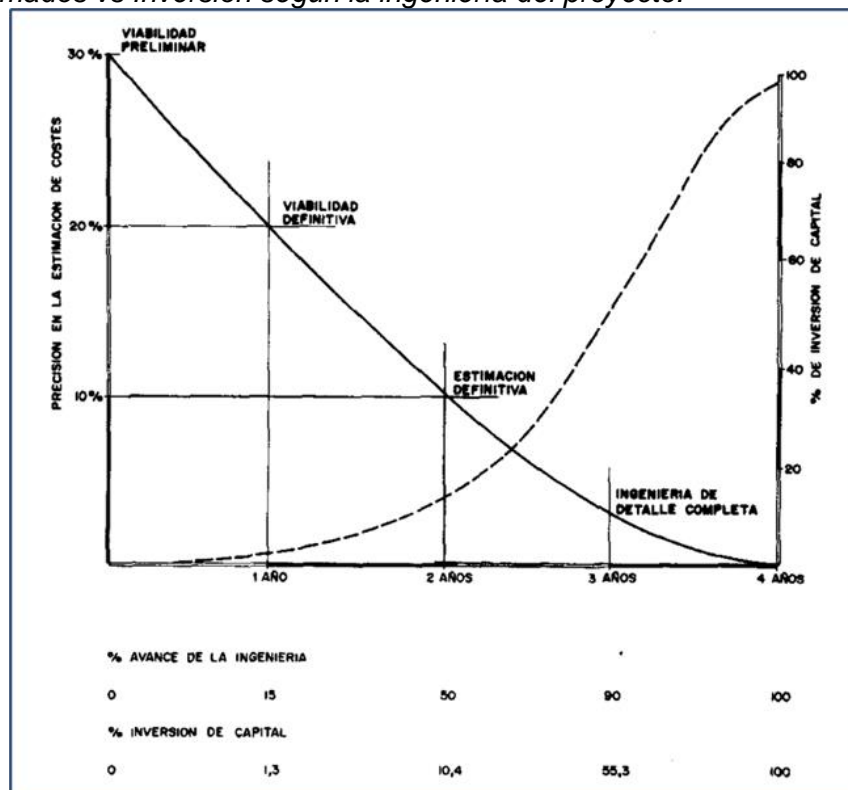
La estimación de costo requiere, pues el manejo de un gran número de factores y de variables que es absolutamente esencial tratar de una forma sistemática y organizada, a fin de no cometer errores al omitir componentes con un gran peso dentro de la economía del proyecto y reducir los tiempos invertidos en tales cálculos.

La estructuración de los costos en minería es muy variada y presenta serias dificultades, ya que los procesos productivos se complican por la diversidad de operaciones y es difícil su control dentro del ámbito de las explotaciones. No sucede lo mismo en otros sectores industriales.

El grado de precisión que se requiere conforme se lleva a cabo el desarrollo de un proyecto se ilustra en la Figura 6.

Figura 6

Costos estimados vs Inversión según la ingeniería del proyecto.



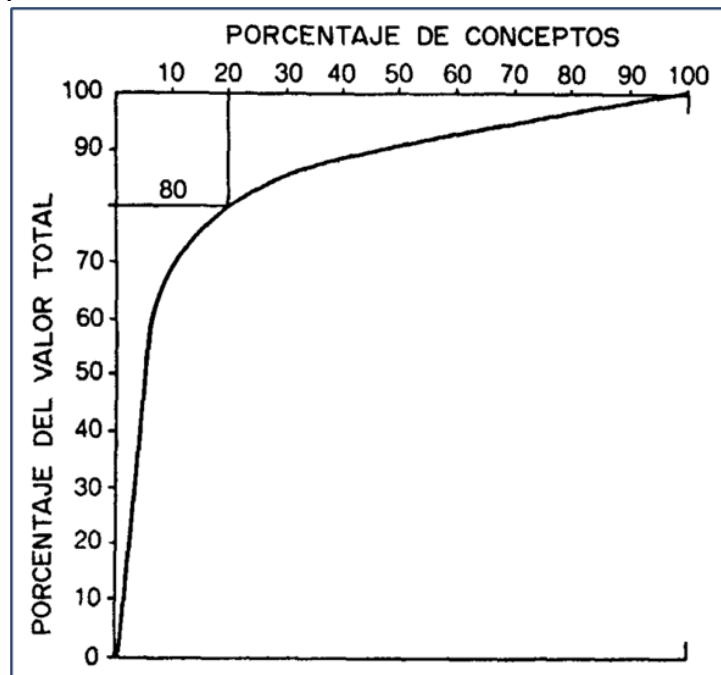
Fuente: Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1991). "Manual de evaluación Técnico – Económica de proyectos mineros de inversión"

Dentro de las estimaciones de costos en minería es de vital importancia identificar los principales componentes de estos. Esto resulta sencillo si es la propia empresa minera la que estudia el posible desarrollo de un proyecto y dispone de datos históricos en otras explotaciones similares bien analizados y estructurados. Si este no es el caso, la primera etapa consistirá en definir los componentes básicos de los costos para efectuar estimaciones. En ese sentido conviene recordar la denominada Ley de Pareto, que establece que en cualquier distribución global de conceptos que tiene un efecto variable

sobre los costos aproximadamente el 20 por 100 de los conceptos principales produce el 80 por 100 de los efectos totales sobre dichos costos. Esto implica que no siempre por tener inventariados muchos componentes de costos la precisión de la estimación aumenta, ya que solo unos pocos son los que tienen una gran influencia. Esta forma se observa en la Figura 7.

Figura 7

Ley de PARETO.



Fuente: Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1991). "Manual de evaluación Técnico – Económica de proyectos mineros de inversión"

Los tipos de estimación se han propuesto distintas formas de clasificación. El American National Standard Institute han agrupado y simplificado estimaciones en tres clases (ANSI Standard Z94.2). La Clase I es una estimación de orden de magnitud con una precisión que oscila entre +50 y el -30 por 100. La Clase II es una estimación preliminar con una precisión entre el +30 y el -15 por 100. La Clase III es una estimación definitiva con una precisión entre el +15 y el -5 por 100.

De acuerdo con Gentry, D.W. (1979), en su libro "Mine Valuation: Technical Overview", [8]; desarrolla los proyectos en 4 etapas básicas de estimación de costos que se integran en el siguiente esquema:

- Descubrimiento del depósito e identificación del potencial minero a través de la exploración.
- Estimación de ORDEN DE MAGNITUD de los costes para el estudio de viabilidad preliminar.
- Programa de investigación detallado, incluyendo estudios mineralógicos de muestras obtenidas y definición del proceso de tratamiento.
- Estimación PRELIMINAR de los costos para el estudio de viabilidad
- Desarrollo de todos los cálculos necesarios para el diseño ingenieril de la mina y planta incluyendo la selección preliminar de equipos.
- Estimación DEFINITIVA de los costos para el estudio de viabilidad.
- Diseño detallado de la mina y de la planta, incluyendo especificaciones, diagramas de flujos, etc.
- Estimación DETALLADA de los costos para el estudio de viabilidad.
- Construcción de la planta y desarrollo de la mina.
- Arranque y puesta en marcha.
- Producción.

Estimaciones de orden de magnitud están, generalmente, orientadas para ayudar a la toma de decisiones, cuando se trata de proyectos de viabilidad potencial, y para justificar el desembolso de fondos en las etapas posteriores de los mismos

Estimaciones preliminares consisten en afinar y mejorar las anteriores, cuando se disponga de información adicional. Estas estimaciones son generalmente, adecuadas para indicar o determinar la viabilidad de un proyecto y ayudar a la dirección a la elaboración de un modelo económico de flujos de este.

Estimación definitiva consiste en facilitar la obtención de fondos y establecer un precio de contrato, proporcionar la base para el control de costos del proyecto y/o fijar un formato de los informes finales de costos para ayudar a la contabilidad y proporcionar

información sobre los costos actuales, para su uso en futuras estimaciones y para perfeccionar los métodos de cálculos existentes.

Estimación detallada culmina el proceso de estimación y se basa en los diseños ingenieriles completos, especificaciones, y condiciones del lugar. Este tipo de estimaciones es la base para la autorización de la construcción del proyecto.

La información sobre los costos puede clasificarse en tres categorías: costos históricos, costos medidos y costos políticos.

Las estimaciones de costos para su uso en estudios de viabilidad se pueden basar en informaciones obtenidas de diversas fuentes. Con frecuencia, la mejor fuente de información suele ser la constituida por consultas recientes a los fabricantes y vendedores de equipos. Cuando esta consulta no puede efectuarse de una forma rápida, los informes de la propia empresa e informes de anteriores trabajos debidamente actualizados son otra vía de información. Una tercera fuente es la constituida por la literatura técnica en la que se encuentran los datos de los equipos específicos que pueden correlacionarse, construyendo tablas o gráficos de fácil utilización. También se obtienen datos de costos en congresos y reuniones patrocinadas por sociedades profesionales y publicaciones técnicas de estas. Por último, otra fuente de información son los libros de texto en los cuales se presentan datos de forma concisa, pero con el inconveniente de que suelen ser cifras no actualizadas.

Los costos que se calculan en los proyectos mineros son de dos tipos: costos de capital o inversión y costos de operación, la mayoría de los métodos de estimación se refieren más a los primeros, ya que los cálculos de costos de operación más exactos se llevan a cabo después de definirse las especificaciones del proyecto, a través de diagramas de flujos, esquemas de producción, lista de equipos, etc.

La estimación de los costos de operación, en la mayoría de los casos, presenta más problemas, debido a la gran variabilidad de los siguientes factores: geología del yacimiento, tipo y número de equipos utilizados, personal involucrado, condiciones ambientales, localización geográfica, organización empresarial, etc.

Los costos de operación se definen como aquellos generadores de forma continuada durante el funcionamiento de una operación, pudiéndose subdividir en tres categorías: costos directos, costos indirectos y costos generales.

Debido a la gran variedad de componentes de los costos totales de operación y las características tan particulares de cada una de las operaciones mineras. Se pueden utilizar los siguientes métodos: método del proyecto similar, método de la relación costo – capacidad, método de los componentes del costo y método del costo detallado.

Modelos completos de estimación de costos desde mediados de los años 70 diferentes organismos, empresas e instituciones han venido desarrollando modelos y sistemas de estimación de inversiones y costos de operación en minería y mineralurgia. La mayoría de estos modelos cubren las clases de estimación de orden de magnitud y preliminares, en sectores concretos. A continuación, ya que son los más conocidos, existen otros que pueden resultar de su interés:

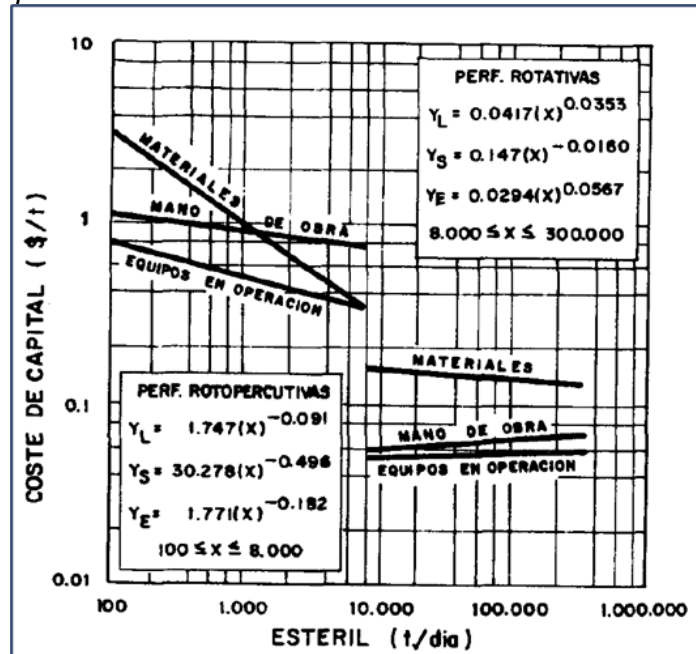
- Modelo de U.S. Bureau of Mines (CES – Cost Estimating System).
- Modelo de O’Hara.
- Modelo de Flúor Utah.
- Modelo de Burzlaff – Lorenz – Monash.
- Modelo EPRI

Bureau of Mines (1987), en su libro "Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook. Surface and Underground Mining & Mineral Processing", [4]; comprende la metodología para calcular las inversiones y los costos a través de ábacos o fórmulas, según la preferencia del estimador. Las curvas de costos se presentan con escalas logarítmicas, teniendo como abscisas la capacidad de producción y como ordenadas el costo, por lo que las fórmulas son normalmente del tipo $Y=a(X)^b$, donde “X” e “Y” representan variables independientes y dependientes de capacidades y costos respectivamente. Esta forma se observa en la Figura 8 y Figura 9.

Todos los costos están referidos a dólares de enero de 1984 y son representativos de la tecnología minera en dicho momento en Estados Unidos.

Figura 8

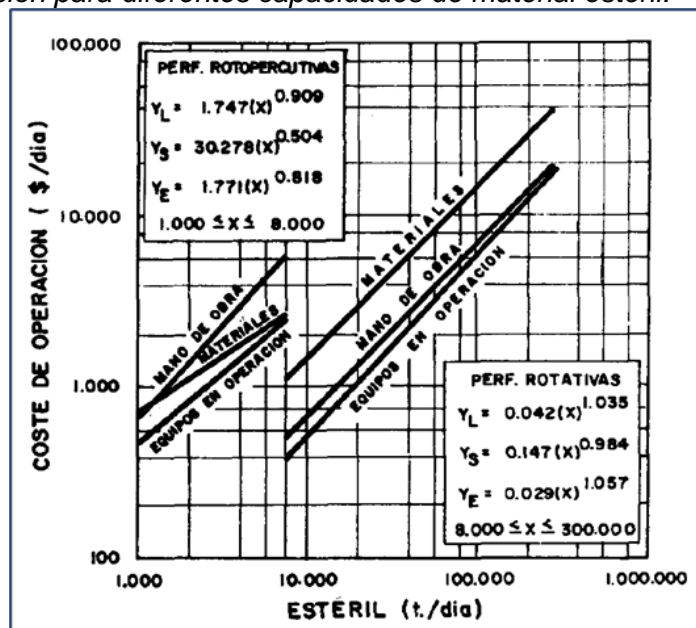
Costos de Capital por tonelada de material estéril de recubrimiento.



Fuente: Bureau of Mines (1987) "Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook. Surface and Underground Mining & Mineral Processing"

Figura 9

Costos de operación para diferentes capacidades de material estéril.



Fuente: Bureau of Mines (1987) "Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook. Surface and Underground Mining & Mineral Processing"

O'Hara, T.A. (1980), en su libro "Quick Guidelines to the Evaluation of Orebodies", [14]; desarrolla uno de los métodos más completos para minería y mineralurgia. Se basa en fórmulas de ajuste exponencial de la capacidad.

Una primera guía de estimación de costos de capital de los proyectos mineros, incluidas las instalaciones de tratamiento, es la que resulta de aplicar las siguientes expresiones:

$$I = 566.400 * T_m^{0.6} \text{ (Proyectos a cielo abierto y planta)}$$

$$I = 1,132.800 * T_m^{0.6} \text{ (Proyectos a cielo abierto y planta)}$$

Donde:

I = Inversión Total (dólares canadienses de 1980).

T_m = Capacidad de tratamiento (Toneladas cortas/día).

Las expresiones anteriores solo sirven de referencia, pues las inversiones son muchos proyectos pueden diferir de los valores medidos obtenidos con esas ecuaciones.

En los proyectos a tajo abierto se distingue 8 puntos de inversión. Esta forma se observa en la Figura 10. Antes de aplicar esas expresiones es preciso calcular el volumen de material estéril inicial y la relación de material estéril a mineral, así como el número de camiones y palas que se estiman necesarios.

Para determinar el tamaño de las palas y la flota de transporte se aplican las siguientes ecuaciones:

$$S = 0.13 * T^{0.4}$$

$$N_s = (0.007 * T^{0.8}) / S$$

$$t = 8 * S^{1.1}$$

$$N_t = (0.2 * T^{0.8}) / t$$

Donde:

S = Capacidad de las palas (yd³).

Ns = Número necesario de palas.

t = Capacidad de los camiones (toneladas).

Nt = Número necesario de camiones.

T = Producción diaria de estéril y mineral (toneladas/día)

Figura 10

Resumen de los costos de capital en minas a tajo abierto.

Concepto	Parámetro de coste	Intervalo gráfico	Ecuación de coste (\$C 1980)	Observaciones
1. Acondicionamiento del área, planta y accesos	T = tons/día de estéril y mineral	10 ³ a 10 ⁵	C ₁₁ = 2.832 . T ^{0.5} C ₁₂ = 7.080 . T ^{0.5}	Topografía suave, poco arbolado. Topografía accidentada, mucho arbolado
2. Desmonte previo	To = Toneladas de recubrimiento	10 ⁴ a 10 ⁷	C ₂₁ = 1.133 . To ^{0.5} C ₂₂ = 12.035 . To ^{0.5}	Recubrimiento de suelos Recubrimiento de roca
3. Equipos mineros	S = Capacidad de las excavadoras (yd ³)	4 a 15	C ₃₁ = 325.664 . Ns . S ^{0.73}	Ns = Núm. de excavadoras
	t = Capacidad de los volquetes (tons)	35 a 150	C ₃₂ = 12.743 . Ns . t ^{0.5} C ₃₃ = 2,27 . C ₃₁ . T ^{0.2}	Nt = Número de volquetes Equipos de perforación
4. Instalaciones de mantenimiento	T = tons/día de estéril y mineral	10 ³ a 10 ⁵	C ₄ = 212.389 . T ^{0.3}	Incluidos equipos de mantenimiento
5. Suministro de energía y agua	Estimados como parte de la Planta de Tratamiento			
6. Estudios de viabilidad, ingeniería y planificación	4 a 6% de (C ₁₁ + C ₁₂ + C ₂₁ + C ₂₂) más ó 8% de (C ₃₁ + C ₃₂ + C ₃₃ + C ₄)			
7. Construcción, supervisión y dirección	8 a 10% de (C ₁₁ + C ₁₂ + C ₂₁ + C ₂₂ + C ₃₁ + C ₃₂ + C ₃₃ + C ₄)			
8. Trámites legales y administrativos, permisos, etc.	4 a 7% de (C ₁₁ + C ₁₂ + C ₂₁ + C ₂₂ + C ₃₁ + C ₃₂ + C ₃₃ + C ₄)			

Fuente: O'Hara, T.A. (1980) "Quick Guidelines to the Evaluation of Orebodies"

La relación entre los requerimientos de los proyectos mineros y los costos relativos para la capacidad de la planta, costos de operación de suministro y labor relacionado al tonelaje minado o molido diario. Se determina de la siguiente manera:

$$Q = K \cdot T^x$$

Donde:

Q = Costos.

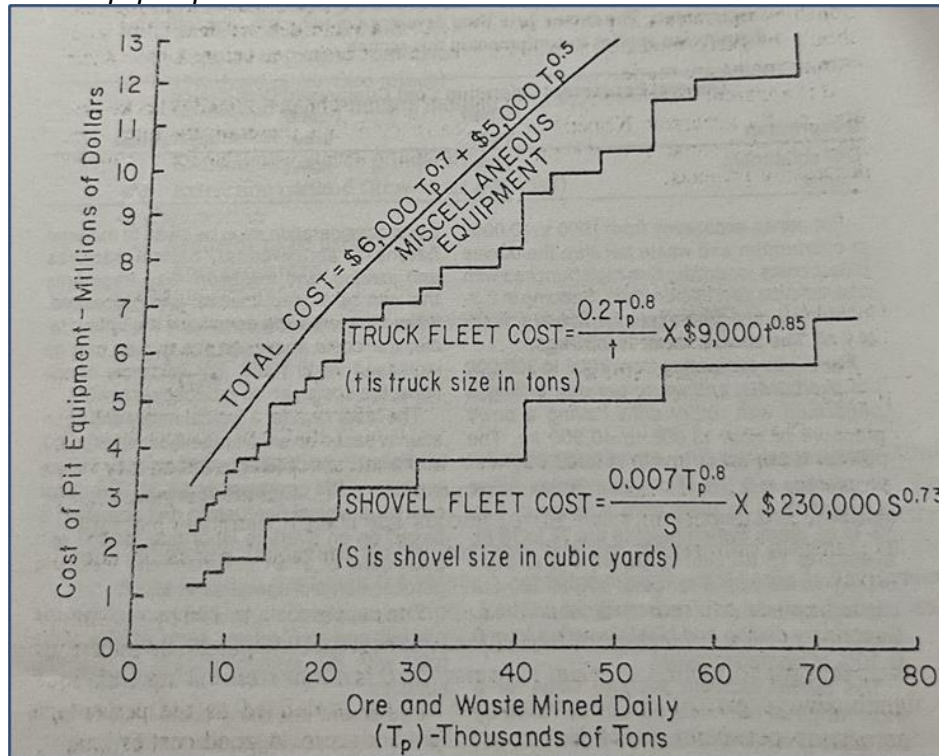
K = constante.

T = Ratios de tonelaje, ley de cabeza u otro factor físico.

X = Valores se determinaron para producir el rango más bajo de variación en K y de valores en el rango de T más amplio de valores para los datos confiables disponibles. Esta forma se observa en la Figura 11.

Figura 11

Costos de los equipos para minas de diferentes tamaños.



Fuente: O'Hara, T.A. (1980) "Quick Guidelines to the Evaluation of Orebodies"

2.1.3 Costo Político

Leonie, Z. (2021), en su publicación "Costo Político", [20]; plantea los siguientes puntos: ¿Qué es el costo político? ¿A qué o quiénes responde? ¿A quién beneficia realmente?

Ahora bien, ya en los cargos públicos, se toman decisiones se evalúa algo que se llama "Costo Político" que viene siendo algo similar a un análisis de costo – beneficio. Sin embargo, es con base a lo que le conviene para seguir en una posición de poder y de decisión, usualmente respondiendo a los intereses de unos poco y a veces a sus intereses particulares, y el bien común y el interés de servir al país, no tiene mayor peso en esta fórmula.

Cuánto cuesta, a cada uno de nosotros, el que nuestros gobernantes no asuman un tema que le conviene al desarrollo económico y social del país por ese “costo político”.

El gobierno no crea industrias competitivas, ni es responsable de crear ventajas competitivas para ciertas industrias, el papel del gobierno es diseñar políticas para crear un entorno favorable donde el sector productivo pueda generar esas ventajas competitivas. El estado no debe ser una traba, ni tampoco debe asumir el rol de las empresas en la economía.

Es que el llamado costo político ha impedido en el país las grandes reformas, y la comprensión del desarrollo.

Victor, B. (2021), en su publicación “El costo político es el factor que más retraso ha provocado”, [21]; nuestros gobiernos se han decantado todos por el populismo, ofrecen todas las transformaciones posibles desde la oposición.

El costo político es mucho más condicionante en la medida en que crece la sed de poder y el continuismo se instala en la cabeza de quienes dirigen.

El pésimo costo político siempre nos lleva a hacer reformas tributarias que no avanzan, son débiles, y a no promover la minería, por ejemplo, como un instrumento de desarrollo.

El costo político nos doblega y, en definitiva, nos ancla en un puerto alrededor del cual damos vuelta, pero nunca partimos.

2.1.4 Costo Ambiental

Alianza Unicorte (2014), en su estudio “Minería: los costos ambientales de su operación”, [22]; define que, respecto a los costos ambientales, usualmente los estudios que evalúan los costos económicos de la degradación ambiental por causa de actividades extractoras reportan que estos se reflejan principalmente los costos médicos generados por la polución del aire y la contaminación de fuentes hídricas, así como el costo por la degradación de los recursos naturales.

En ese sentido, según el World Bank Group (2013), en el informe “Diagnostic assessment of select environmental challenges in India”, [23]; donde encontró que la

degradación ambiental causada por actividades de minería, agricultura, transporte, industrial, generación de electricidad, restringe el crecimiento económico de ese país.

Debilidades para evaluar, a la hora de evaluar los costos económicos de la degradación ambiental, por lo general los estudios dejan por fuera el costo de oportunidad de las actividades que pudieran realizarse en caso de no adelantar, por ejemplo, la minería, así como los costos de los cambios sociales generados en las poblaciones vecinas, que pueden ser tan positivos como negativos dependiendo de la forma en que las mismas se adapten a los nuevos actores económicos. Así que los costos medidos subestiman en gran medida los efectos.

David, G. investigador de Unicorte, dice que uno de los aspectos más discutidos en materia de evaluación ambiental tiene que ver con el hecho que la normatividad le permite hacer estudios de impacto a quien se le otorga la licencia.

Hay que entender la perspectiva histórica de los conflictos ambientales y territoriales. En esos territorios se viven invasiones y violencia institucional y hay que tomarlos en cuenta para comprender las posturas de quienes viven en esos territorios y por qué se niegan a los avances de los emprendimientos mineros. En términos de minería, la discusión de el “sí” o el “no”, sino el “cómo” y “para quién”, no debería ser lo que realmente se discuta en la minería. Hay dos debates, discutir la cuestión técnica de como producir sustentablemente y, otro, es la necesidad a largo plazo de una transformación cultural para que las personas vivan en mejores condiciones.

Hay una dimensión económica que no se puede negar como los salarios, las exportaciones, si bien deja pocas divisas al pensar las retenciones, también genera proveedores locales que dinamizan la industria. Se está acuerdo, pero en la dimensión cultural hay discrepancias porque tenemos que ver si creemos que realmente ese modelo puede seguir siendo sostenido. Hay el debate, de cómo van a ser las nuevas empresas energéticas y hablar de electromovilidad y saber explotar los recursos y darles un proceso sostenible. No hay ninguna actividad económica que se 100% inocua. Se debe de minimizar este impacto.

La deuda ambiental es fundamental. Se debe pensar no solo en términos generacionales sino también en el presente. El consumo de las clases populares es de bajo impacto, pero quienes se apropian de la ganancia, de tener un modelo productivo que destruye el ambiente, hacen que los costos recaigan en los sectores populares.

Las tecnologías no se pueden entender en abstracto, sino dentro de un modelo social y económico determinado de capitalismo exacerbado que solo busca maximizar ganancias. Si a las futuras generaciones le vamos a dejar este sistema económico el cambio climático será cada vez más hostil haciendo difícil que se consiga agua y alimentos

2.2 Marco conceptual

- Depósitos de desmonte: Son zonas donde se depositan el material estéril.
- Transporte: Se refiere a traslado de materiales estériles desde las fases de minado hacia los destinos correspondientes.
- Depósitos: Son yacimientos mineros.
- Marginal: Mineral económico por debajo de la ley de corte.
- Estéril: Son materiales sin importancia económica
- Lixiviación: Es el proceso hidrometalúrgico más utilizado para la recuperación de cobre desde minerales oxidados. Se utiliza a ácido sulfúrico H_2SO_4 , en el caso particular de Mina Cerro Verde.
- Modelo: Es una estructura particular del diseño de geología, mineralización, etc. Del yacimiento minero.
- Planta: Estructura que involucra varios procesos como chancado, molienda y flotación.
- CAPEX: Inversión de bienes que hace la compañía que aportan rentabilidad.
- OPEX: Gasto que hace la compañía en sus operaciones corrientes.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Tipo y diseño de la investigación

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

3.1.1 Enfoque

Desde el punto de vista del enfoque, esta investigación es cuantitativa porque cinco de las características epistemológicas son de naturaleza de una investigación cuantitativa:

- Percepción de la realidad: Objetiva (en base a análisis).
- Razonamiento: Deductivo (se contrasta la hipótesis).
- Finalidad: Comprobación.
- Orientada: Resultado.
- Principio de verdad: Particulariza.

3.1.2 Alcance

Desde el punto de vista del alcance, la presente investigación es correlacional porque la variable dependiente que es el costo de acarreo varía en función a la variable independiente que es el análisis de diseño y ubicación de botaderos.

3.1.3 Diseño de la investigación

En cuanto al diseño de la investigación es experimental porque se desarrollan alternativas de diseño y ubicación de botaderos.

3.2 Unidad de análisis

El presente trabajo de investigación utiliza como unidad de análisis a la operación minera de Cerro Verde de la empresa Sociedad Minera Cerro Verde S.A.C, ubicada en la provincia y departamento de Arequipa, a 30 km aproximadamente al sur de la ciudad de Arequipa, a una altitud promedio de 2,700 m.s.n.m. Esta forma se observa en la Figura 12.

Figura 12

Plano de ubicación de Cerro Verde.



Fuente: Valdivia, J. (2005) "El yacimiento de sulfuros de cobre Cerro Verde"

3.2.1 Descripción

La unidad de producción de Cerro Verde es una mina de cobre de baja ley, que comprende, entre otras, a la concesión minera Cerro Verde 1, 2 y 3; y la concesión de beneficio, en la que se desarrollan de manera principal las actividades mineras de explotación y beneficio o tratamiento de mineral.

La operación explota sus reservas a través del minado a tajo abierto, y procesa o beneficia las mismas mediante tecnología de lixiviación (Alta ley y baja ley – ROM) y de concentración (flotación) de minerales, en las concentradoras C1 y C2.

En enero del 2012 y diciembre del 2015, el MINEM aprobó los estudios de factibilidad y cronogramas de inversión para la expansión de la unidad de producción, según las autorizaciones de funcionamiento otorgadas, cuenta con una autorización para tratar un total de 548,500 TM/día de capacidad instalada, mediante ambos procesos.

3.2.2 Geología Regional

El cuerpo intrusivo principal es un pórfido Dacítico – Monzonítico el cual se abrió paso a través del Gneiss Charcani y la Granodiorita Yarabamba generando un halo de alteración y mineralización.

Cerro Verde está dentro de la sub – provincia cuprífera del Pacífico alineado con otros importantes yacimientos del sur del Perú en una franja de rumbo NW-SE paralela a la fosa Perú – Chile y a la cordillera de los Andes, genéticamente relacionado al magmatismo calco – alcalino producto de la fusión parcial de corteza oceánica en la zona de subducción de las placas de Nazca y Sudamérica según Valdivia, J. (2005), en la publicación “El yacimiento de sulfuros de cobre Cerro Verde”, [17].

3.2.3 Geología Estructural

Las estructuras presentes en el área son determinadas por mapeos e interpretación de fotografías aéreas, tienen una tendencia NW-SE concordante con la tendencia del sistema Incapuquio del sur del Perú.

Estas fallas transcurrentes tienen una orientación que varían entre 280° y 320° de azimut, con buzamientos entre 60° y 85° al NE y potencias variables según Valdivia, J. (2005), en la publicación “El yacimiento de sulfuros de cobre Cerro Verde”, [17].

3.2.4 Operaciones Unitarias

La operación, según el plan de minado vigente, está explotando un tajo abierto que combina los tajos Cerro Verde y Santa Rosa, el material extraído está conformado por:

- Óxidos

- Sulfuros terciarios o transicionales
- Sulfuros Secundarios
- Sulfuros Primarios
- Relleno

3.2.5 Perforación

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

La perforación primaria consiste en la apertura de taladros de 10 5/8' de diámetro con una profundidad de 16.5 metros y con una distribución y geometría adecuada según los diseños y parámetros establecidos según Mendoza, D. (2017), en la tesis "Evaluación del sistema de gestión de seguridad basado en OHSAS para el control de pérdidas", [11].

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", [6].

3.2.6 Voladura

La actividad de voladura prosigue a la perforación y se realiza con la finalidad de fragmentar las rocas y facilitar su remoción mediante equipo pesado especializado. Los taladros para voladura son cargados con ANFO, la cual es una mezcla de nitrato de amonio en cantidades estequiométricas definidas.

Dicha mezcla es realizada y controlada en camiones fábricas para la obtención de diferentes explosivos son vertidos de dos maneras: Vaciables cuando no existe la presencia de agua y bombeables en presencia de agua. Posteriormente, 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.

3.2.7 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.

3.2.8 Acarreo

El material extraído de los tajos es transportado por camiones CAT 793 y KOM 930 con una carga útil de 245 y 300 toneladas respectivamente.

3.3 Matriz de consistencia

Título: “Selección de ubicación de un depósito de desmonte para reducir el costo de acarreo en una mina de cobre a tajo abierto”

Tabla 1

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables		Indicadores
			Dependiente	Independiente	
¿En qué medida la ubicación del depósito de desmonte influye en los costos de acarreo en empresas mineras	Seleccionar la ubicación del depósito de desmonte para reducir el costo de acarreo en minas de cobre a Tajo abierto	La selección de ubicación de un depósito de desmonte influirá en la reducción del costo de acarreo	Costo de acarreo	Selección de ubicación de depósitos de desmonte	Dólares por hora de acarreo

Fuente: Elaboración propia

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

En el presente trabajo de investigación la población está conformada por las minas a tajo abierto de Toquepala y Cuajone (Southern Peru Copper Corporation), Antucoya (Antofagasta PLC), Antapaccay (Glencore), San Gerardo (Nexa Resources), Huaron (Pan American Silver) y Cerro Verde (Freeport-McMoRan).

3.4.2 Muestra

En el presente trabajo de investigación la población se tomó como muestra al tajo Cerro Verde y Santa Rosa, perteneciente a la unidad de producción de Cerro Verde (Freeport-McMoRan).

3.5 Recolección de datos

En el presente trabajo de investigación se recopilaron los siguientes datos:

3.5.1 Sectores disponibles y parámetros de diseño para depósitos de desmonte

Se recolectó los datos mediante el instrumento de gestión ambiental del 2022, los datos de este proceso fueron tomados de la resolución directoral aprobadas para el almacenamiento de material estéril que provienen de los tajos de la operación minera, así como está indicado en los Anexo 1, 2, 3 y 4; los cuales fueron contrastados con un análisis geotécnico de muestra geoquímicas en el informe de “Evaluación del “Séptimo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde”.

3.5.2 Velocidades del camión de acarreo

Se recolectó los datos mediante las mediciones del manual del fabricante, también fueron recolectados de los datos de equipos de acarreo que son presentados por el área de mantenimiento mina de los últimos 5 años (2018 – 2022), y se estimó las velocidades de los camiones de acarreo, así como está indicado en el Anexo 5.

3.5.3 Costo horario del camión de acarreo

Se recolectó los datos mediante las pruebas de los estados financieros de los últimos 5 años (2018 – 2022) y se estimó el costo aproximado en el que incurren el acarreo de material estéril en el “Análisis Financiero Sociedad Minera Cerro Verde”, así como está indicado en el Anexo 6; los cuales serán contrastados con un análisis estadístico.

3.6 Procesamiento de la información

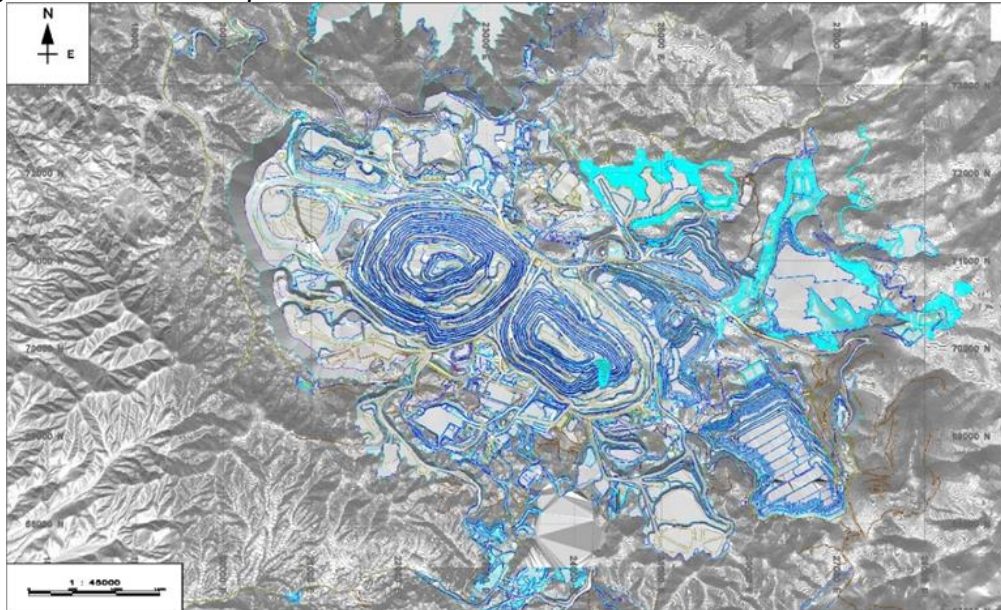
En el presente trabajo de investigación, con los datos proporcionados y presentados en los anexos 1, 2, 3, 4, 5 y 6; se procesa la información de la siguiente manera.

3.6.1 Cálculo de toneladas por material

Se procesó los datos en la presente topografía de la operación minera, tal como se observa en la Figura 13. Se desarrolló las fases de minado las cuales aportan mineral y material estéril a los diferentes destinos.

Figura 13

Topografía actual de la operación minera.



Fuente: Elaboración propia

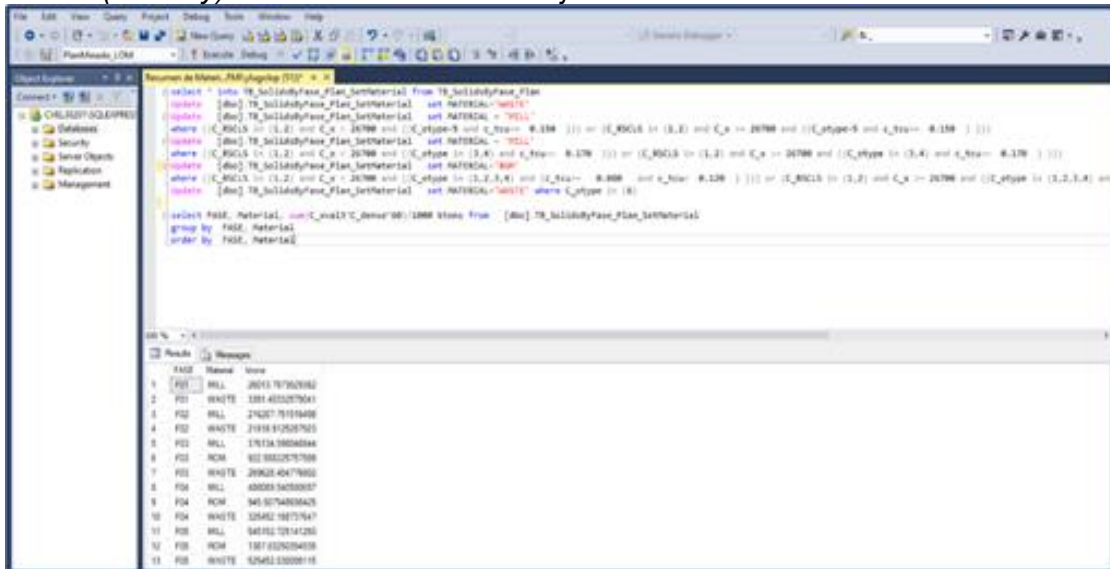
Se realizó las mediciones de los tonelajes procesados por la consulta (o Query) SQL necesarios para llevar a cabo el análisis. Se programó en la base de datos donde se utilizó la información geológica de recursos, mineralogía y densidad del modelo de bloques. Los campos necesarios para el cálculo del tonelaje fueron las dimensiones de los bloques (este proporciona el volumen de cada bloque), el porcentaje del bloque que está contenido en los sólidos de las fases minado o el Pit final y finalmente la densidad de cada bloque.

En la base de datos se estableció las leyes de corte económicas por cada material y así se cuantificó los tonelajes de cada material. Además, se complementó la base de datos con campos auxiliares para comprender y ordenar de manera adecuada la información.

Entonces se procesó de la consulta (o Query) SQL los siguientes datos tabulados, expuestos en la Figura 14. Esta información se procesó posteriormente utilizando el software Microsoft Excel mediante tablas dinámicas para su mejor análisis y visualización.

Figura 14

Consulta (o Query) SQL de cálculo de toneladas.

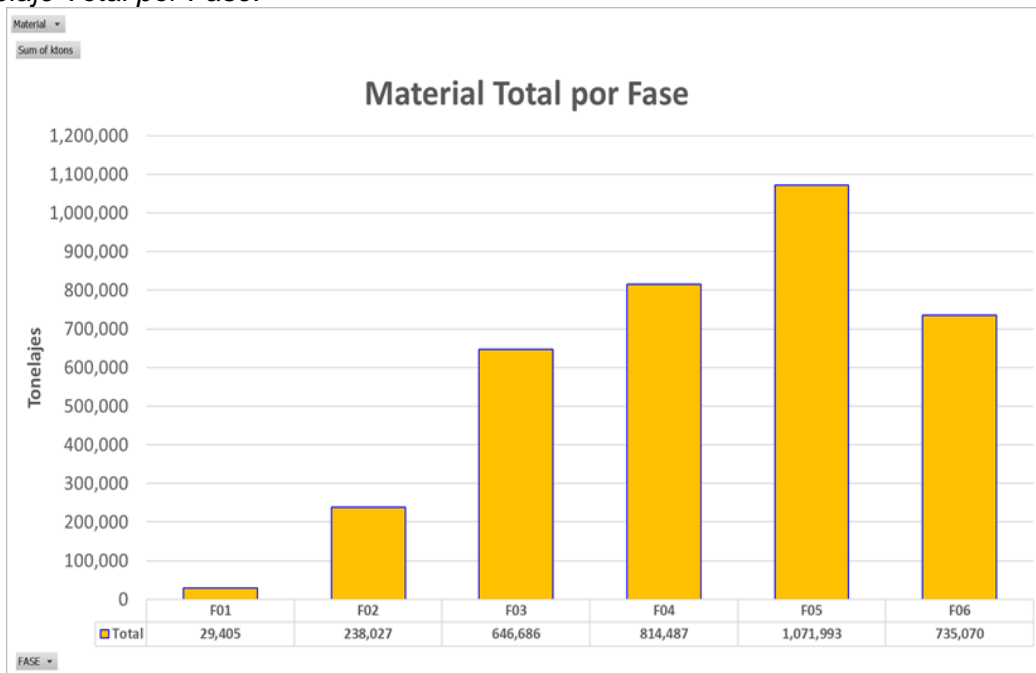


Fuente: Elaboración propia

Se calculó los toneladas por cada fase y la asignación de materiales por cada fase. Estos materiales están divididos en tres: Mineral, que va directamente a la planta o a los stocks, donde este último se utiliza para abastecer a la planta durante todos los años de operación; Stock, que corresponde a mineral de stock que se alimenta a planta; ROM, que corresponde al mineral que va directamente a PADs de lixiviación; Estéril, es el material que se descarga en los depósitos de desmonte, donde se enfocó el análisis, lo que se expone en las figura N° 15 y N° 16.

Figura 15

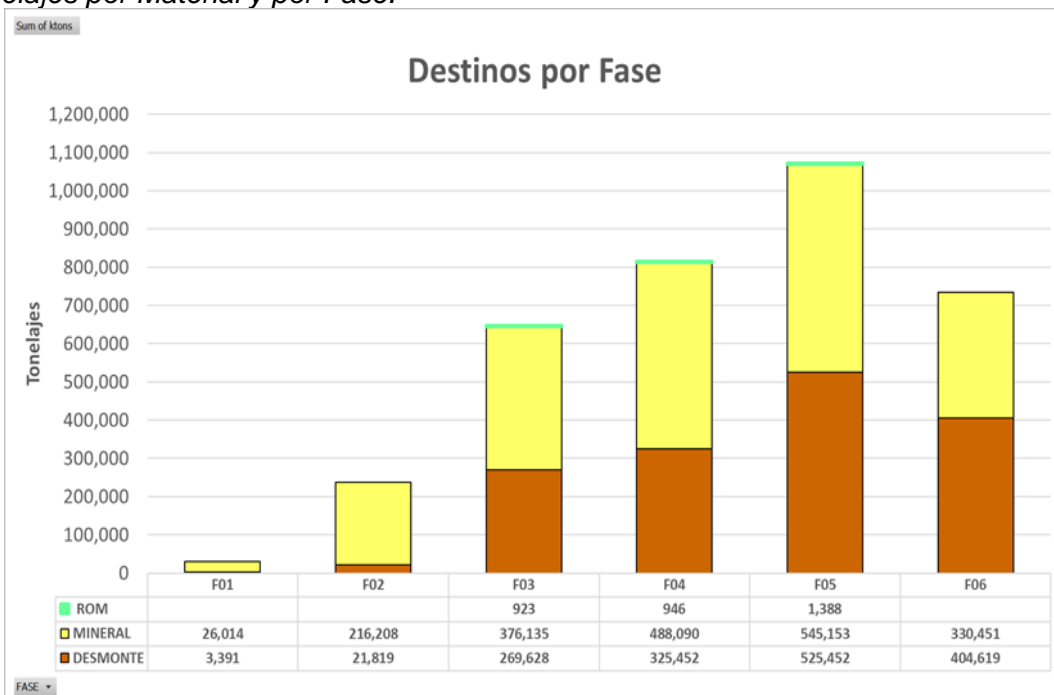
Tonelaje Total por Fase.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Tonelajes por Material y por Fase.



Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Ubicación de depósitos de desmonte

Para la ubicación de los depósitos de desmonte se consideró dos sectores; el primero al norte y el segundo al oeste del tajo respectivamente. Estos diseños se

encuentran dentro de los límites de la propiedad, los cuales tienen la autorización para la construcción de los depósitos de desmonte.

Se definió de esta manera diseñar los depósitos de desmonte, se procesó en el software minero MinePlan, mediante la siguiente configuración de límite; Respetar los límites de la propiedad.

Se consideró la infraestructura en los alrededores, la disposición actual de las rutas de acarreo y la topografía, y así se identificó las zonas o sectores que son utilizados como depósitos de desmonte. Entonces se calculó las distancias desde las fases de minado a los depósitos de desmonte y se definió las capacidades de cada depósito de desmonte en base a los tonelajes de material estéril calculados previamente.

Se desarrolló las alternativas de cada ubicación de depósito de desmonte y los parámetros de diseño de estos.

Los depósitos de desmonte se diseñaron con área máxima y óptima que se podía utilizar. Sin embargo, en las secuencias de llenado no se descarga la capacidad completa, en particular el depósito de desmonte oeste que está sobredimensionado según se detalla en las alternativas.

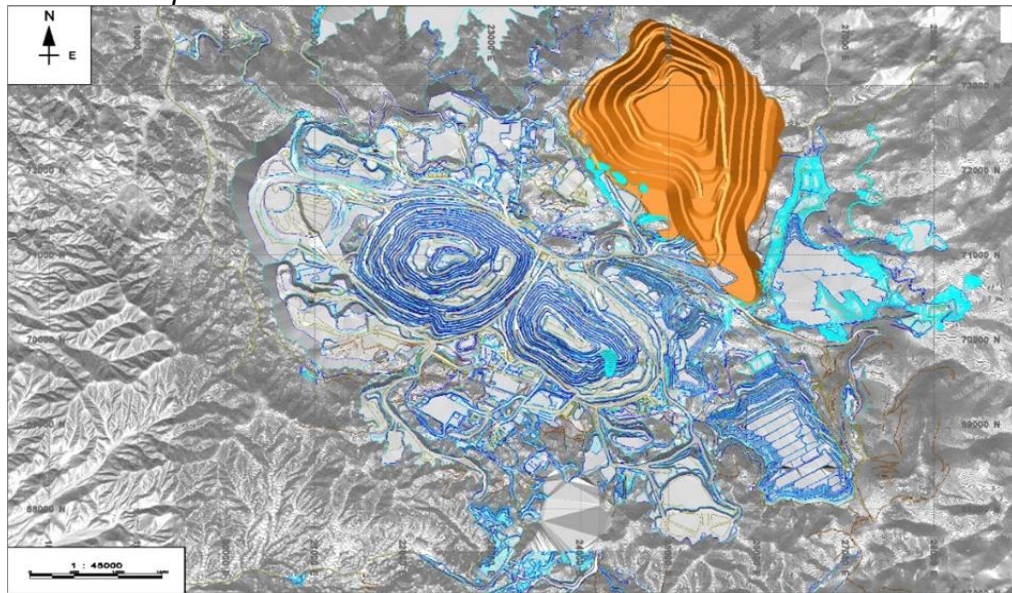
- Alternativa 1

Para esta alternativa se consideró la configuración de descarga para el depósito de desmonte norte con dos rampas de acceso, tal como se observa en la Figura 15. Este depósito tiene una capacidad de 1,628 Millones de toneladas. En esta alternativa, en base a los cálculos de material estéril hay un remanente de capacidad para ser completado.

Por lo tanto, se tiene un 5% de capacidad adicional para su llenado completo.

Figura 17

Disposición del Depósito de Desmonte Norte.



Fuente: Elaboración propia

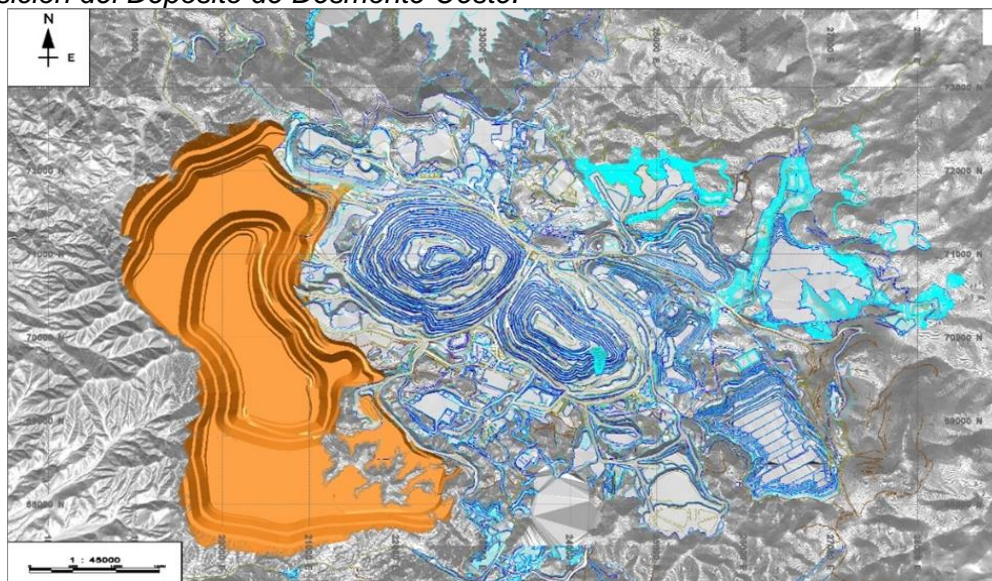
- Alternativa 2

Para esta alternativa se consideró la configuración de descarga para el depósito de desmonte oeste con tres rampas de acceso, tal como se observa en la Figura 16. Este depósito tiene una capacidad de 2,511 Millones de toneladas. En esta alternativa, en base a los cálculos de material estéril hay un remanente de capacidad para ser completado.

Por lo tanto, se tiene un 62% de capacidad adicional para su llenado completo.

Figura 18

Disposición del Depósito de Desmonte Oeste.



Fuente: Elaboración propia

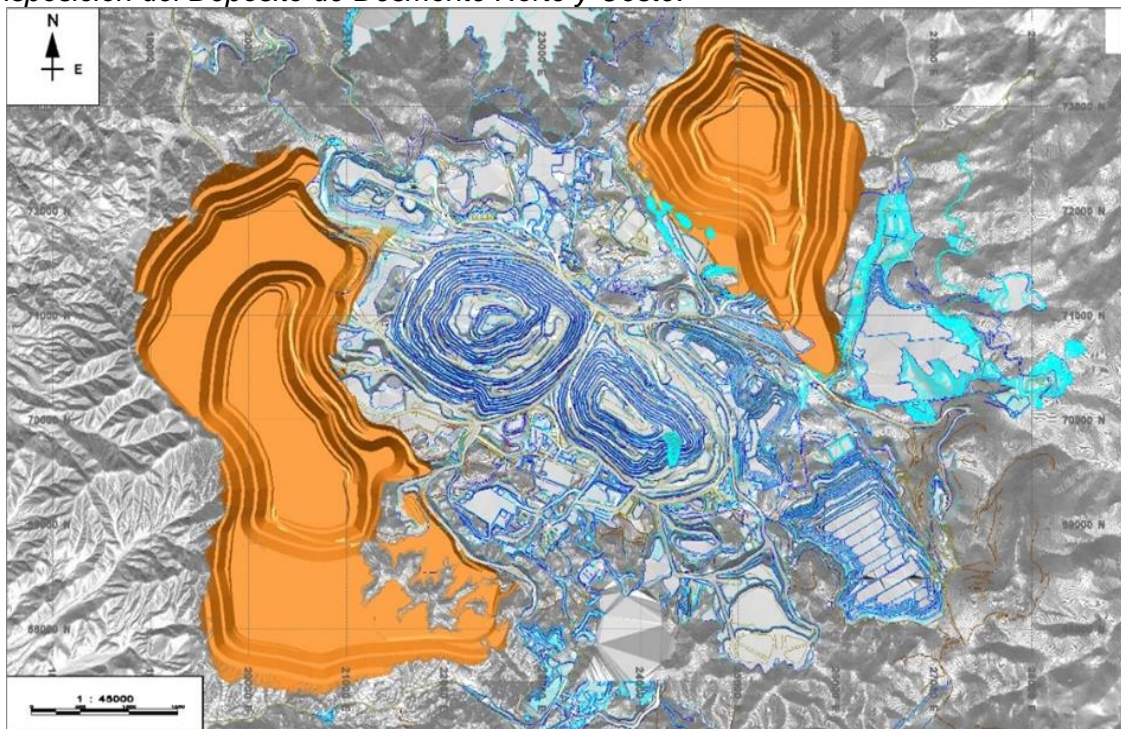
- Alternativa 3

Para esta alternativa se consideró la configuración de descarga para el depósito de desmonte norte y oeste con dos rampas y tres rampas de acceso respectivamente, tal como se observa en la Figura 17. Este depósito tiene una capacidad de 4,139 Millones de toneladas. En esta alternativa, en base a los cálculos de material estéril hay un remanente de capacidad para ser completado.

Por lo tanto, se tiene un 67% de capacidad adicional entre ambos depósitos de desmonte para su llenado completo.

Figura 19

Disposición del Depósito de Desmonte Norte y Oeste.



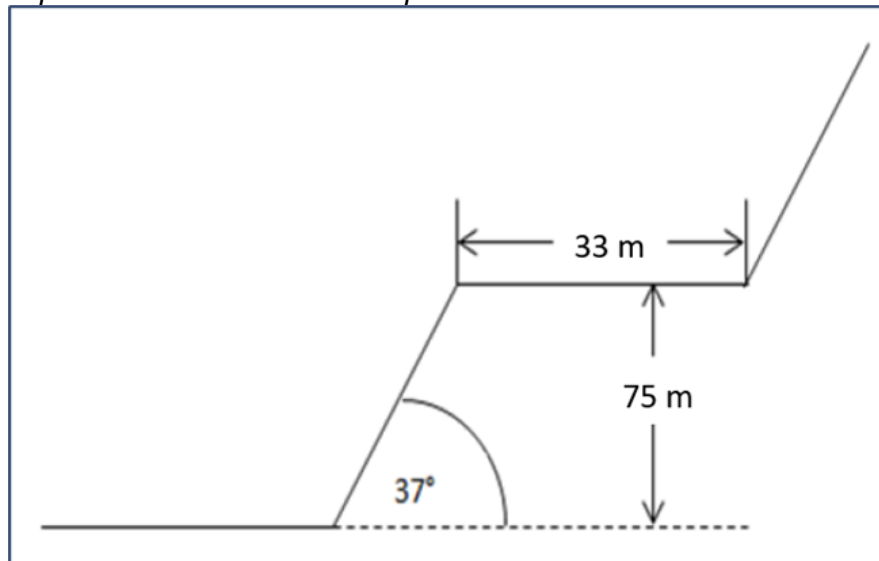
Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Parámetros de diseño para Depósitos de Desmonte

El área de geotecnia modificó y unificó los parámetros de diseño de los depósitos de desmonte, los que fueron aprobados por la autoridad competente, los cuales se utilizaron para el desarrollo de las alternativas. Estos datos se esquematizan en la Figura 18 y su detalle se muestra en la Tabla 2.

Figura 20

Esquema de parámetros de diseño de depósitos de desmote.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Parámetros de diseño de depósitos de desmote.

Parámetro	Valor
Berma	33 (m)
Altura de banco	75 (m)
Altura máxima	450 (m)
Ángulo de reposo	37°

Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Plan de Minado

Las fases de minado del tajo se diseñan dentro del Pit final, para la secuencia del plan de minado. La ganancia por tonelada de las primeras fases de minado de la secuencia es de la de mayor ganancia, con el objetivo de incrementar el Valor Actual Neto (VAN), y las siguientes fases de minado se obtendrán una ganancia inferior al de las primeras fases. Es fundamental la importancia del Plan de minado y es por ello por lo que se hace el planeamiento en diferentes escenarios para el uso del material mediante los procesos unitarios.

La vida útil de la mina en años que estará en funcionamiento generalmente se decide según requerimiento de mineral en la mina, tal como se observa en la Gráfico 5. El

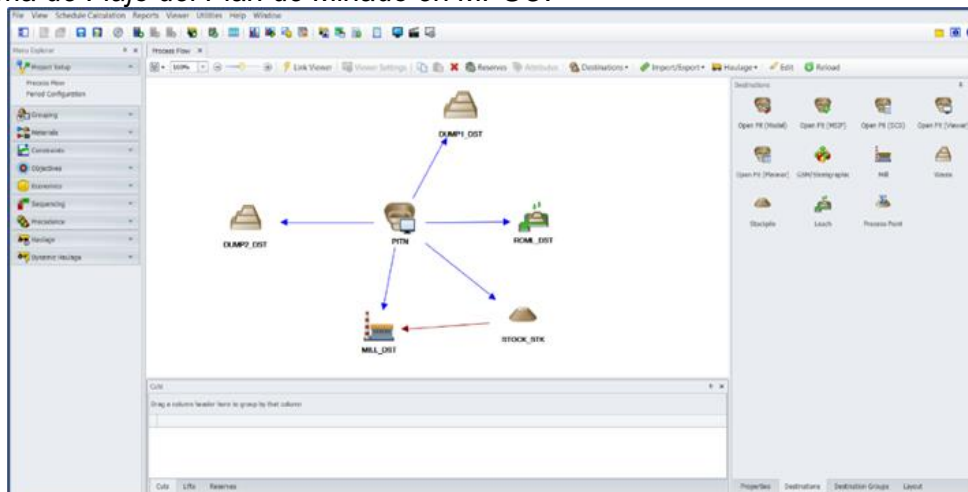
requerimiento de mineral dividida por el mineral extraído por año da la vida útil de la mina, al momento del cálculo se define la vida de la mina en 19 periodos anuales.

Luego, en base a los tonelajes de materiales obtenidos por medio de la Consulta (o Query) SQL. Se asignó la distribución de los tonelajes de material estéril hacia los puntos de descarga de los depósitos de desmonte de la zona norte y oeste del tajo, entonces él envió de los tonelajes de material estéril son 18 periodos anuales siendo el último periodo solo para envío de mineral.

Se realizó en el plan de minado, procesado en el software minero MPSO (Mine Plan Schedule Optimizer), la distribución de tonelajes a cada destino y por periodos, como se observa en la Figura 19. Los movimientos fueron desde: Mina a planta, Mina a PADs y Mina a depósitos de desmonte. El movimiento total de la mina, descargas a la zona del PAD y el requerimiento de mineral de la planta se estableció como valores constantes con mínima variación.

Figura 21

Diagrama de Flujo del Plan de Minado en MPSO.



Fuente: Elaboración propia

Las descargas del material estéril se asignaron para las distintas ubicaciones propuestas según los reportes obtenidos procesados en el software minero MPSO, tal como se observa en la Figura 22.

Figura 22

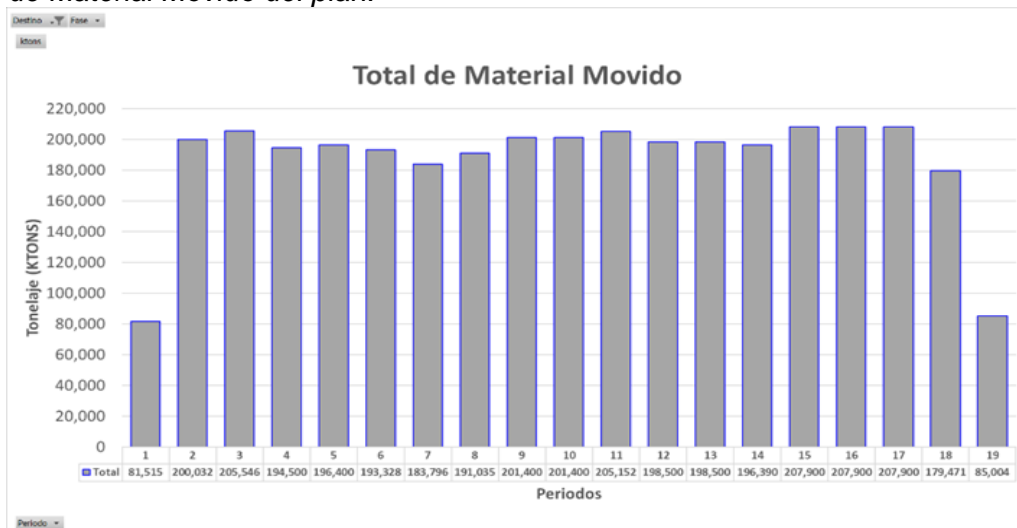
Reportes del Plan de Minado en MPSO.

Fuente: Elaboración propia

La información del plan de minado por el software minero MPSO, adicionalmente procesado utilizando el software Microsoft Excel. En la Figura 23 se observa el Total de Material Movido del plan de minado.

Figura 23

Total de Material Movido del plan.

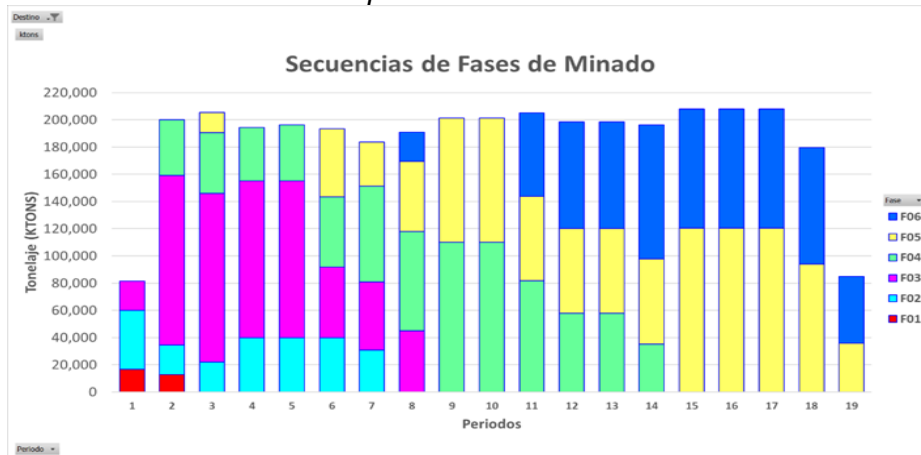


Fuente: Elaboración propia

La información del plan de minado por el software minero MPSO, adicionalmente procesado utilizando el software Microsoft Excel. Entonces la secuencia de fases es para comprender que fases empezó y terminó periodo a periodo, observándose en la Figura 24

Figura 24

Secuencias de Fases de Minado del plan.

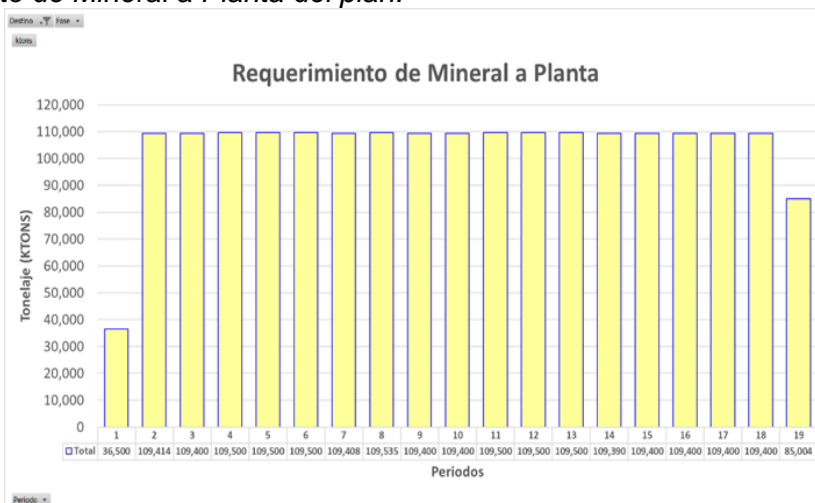


Fuente: Elaboración propia

La información del plan de minado por el software minero MPSO, adicionalmente procesado utilizando el software Microsoft Excel. Entonces el requerimiento de mineral a lo largo de todos los periodos es constante excepto el primer y último periodo, tal como se observa en la Gráfico 5. El primer periodo al iniciar la mina no tiene mineral suficiente para cumplir el requerimiento y el último periodo se envía el mineral remanente para ese periodo.

Figura 25

Requerimiento de Mineral a Planta del plan.

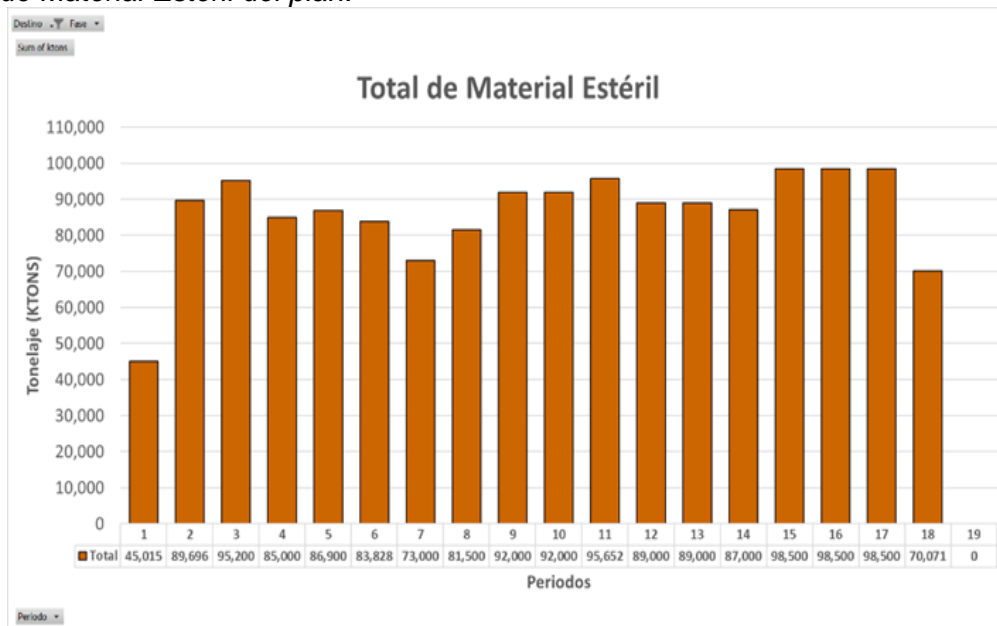


Fuente: Elaboración propia

El total de material estéril, tal como se observa en la Figura 26 y de la Figura anterior se tiene el requerimiento de mineral, entonces se obtuvo la razón estéril/mineral. En la Figura 27 se observan estos valores por periodo.

Figura 26

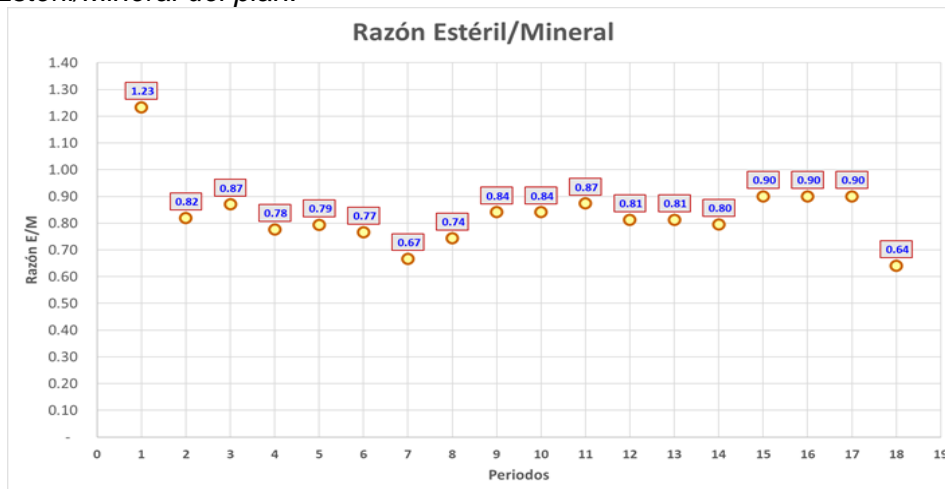
Total de Material Estéril del plan.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Razón Estéril/Mineral del plan.



Fuente: Elaboración propia

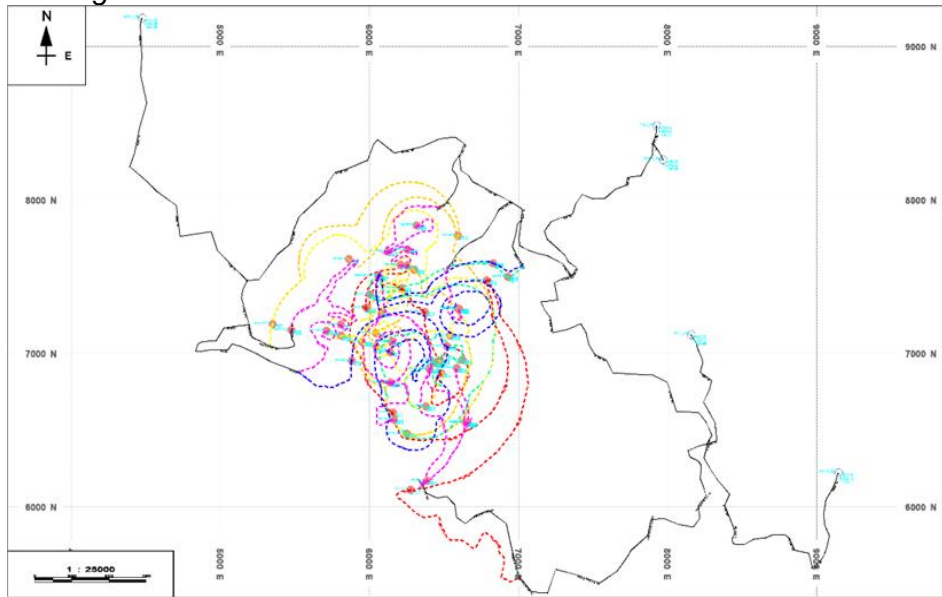
3.6.5 Digitalización de las rutas de acarreo

Se digitalizó las rutas de acarreo de la mina, en el software minero MinePlan, y se ubicó los puntos de los depósitos de desmonte de las alternativas, con las capacidades establecidas, tal como se observa en la Figura 28.

Para beneficio del análisis se utilizó las rutas de acarreo actuales y tratando de postergar la construcción de nuevas rutas lo máximo posible.

Figura 28

Esquema de digitalización de rutas de la mina.

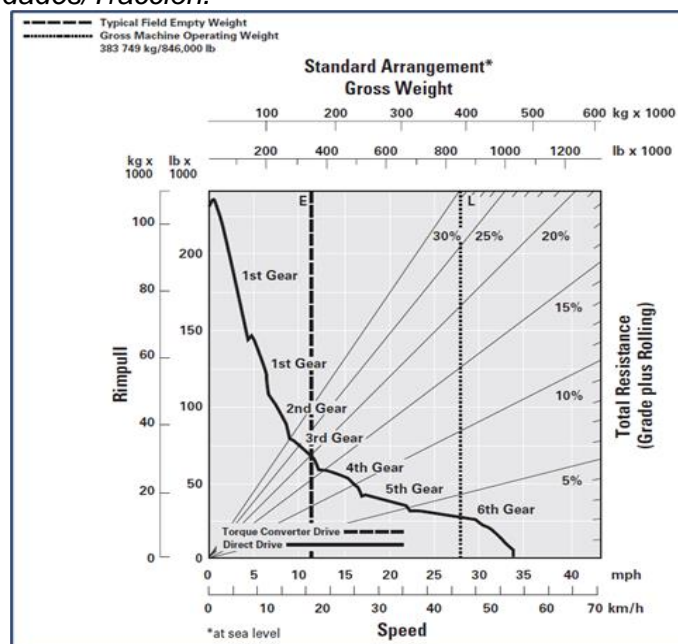


Fuente: Elaboración propia

Se consideró para el cálculo de tiempo de ciclo las distancias de las rutas de acarreo (que están divididas en distancias subiendo, horizontal y bajando) de las fases de minado hacia los destinos, las velocidades estimadas del camión de acarreo CAT 793D son las mostradas en la Figura 29 y Tabla 3. Además, los tiempos fijos asumidos por el área de planeamiento mina especificados en la Tabla 4.

Figura 29

Pendientes/Velocidades/Tracción.



Fuente: CATERPILLAR (2010) "793D Mining Truck specifications"

Tabla 3*Velocidades del camión minero CAT 793D*

Velocidad	Subiendo (Km/hr)	Horizontal (km/hr)	Bajando (km/hr)
Cargado	12	40	16
Vacío	24	48	37

Fuente: CATERPILLAR (2010) "793D Mining Truck specifications"

Tabla 4*Tiempos fijos para camión minero CAT 793D.*

Acción	Tiempo (min)	
Espera carguío	1,0	
Acuatamiento	1,5	
Carguío	Pala de cables	1,5
	Pala hidráulica	2,0
	Cargador frontal	5,0
Espera descarga	1,4	
Descarga	1,3	

Fuente: Elaboración propia

3.6.6 Horas de acarreo y flota de camiones mineros

Se procesó utilizando en el software Microsoft Excel, se calculó el tiempo de acarreo para ello se consideró los destinos que asignó el plan de minado. Se calculó el tiempo que demora el camión de acarreo en recorrer la ruta asignada, tal como se presenta en la Ecuación 5.1.

Ecuación 5.1

Tiempo de viaje

$$\text{Tiempo por tramo [min]} = \frac{\text{Distancia [m]} \times 60 [\text{min}]}{\text{Vel. Cargado} \left[\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right] \times 1.000 [\text{m}] \times 1 [\text{hr}]} + \frac{\text{Distancia [m]} \times 60 [\text{min}]}{\text{Vel. Vacío} \left[\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right] \times 1.000 [\text{m}] \times 1 [\text{hr}]}$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

Para cada periodo, son tres las distancias, tal como se describe: subiendo, horizontal y bajando. Para saber el tiempo de acarreo se suman los tiempos de todas las distancias, lo que se expone en la Ecuación 5.2.

Ecuación 5.2

Tiempo de acarreo

$$\text{Tiempo acarreo [min]} = (\text{Tiempo subiendo} + \text{Tiempo horizontal} + \text{Tiempo bajando}) [\text{min}]$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

Para el tiempo del ciclo total se suman, al tiempo de acarreo, los tiempos fijos detallados en el capítulo 5.4, tal como lo muestra la Ecuación 5.3.

Ecuación 5.3

Tiempo de Ciclo Total

$$\text{Tiempo de ciclo [min]} = (\text{Tiempo de acarreo} + \text{Tiempo fijos})[\text{min}]$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

Con el total de material movido y el tiempo calculado, el rendimiento del camión de acarreo está en relación de ellos. La Ecuación 5.4 explica de cómo se procesó el rendimiento de los camiones en función de la producción y tiempo de carguío.

Ecuación 5.4

Rendimiento del camión de acarreo

$$\text{Rendimiento} \left[\frac{\text{ton}}{\text{hr}} \right] = \frac{\text{Capacidad camión [ton]} \times 60 \left[\frac{\text{min}}{\text{hr}} \right]}{\left(\frac{\sum (\text{Producción equipo [Kton]} \times \text{Tiempo de ciclo equipo [min]})}{\text{Producción total [Kton]}} \right)}$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

Se calculó el rendimiento, se obtiene las horas por periodo con la Ecuación 5.5. Estas se calculó periodo a periodo, y se hace la suma de todas para obtener las horas de acarreo total.

Ecuación 5.5

Rendimiento del camión de acarreo

$$\text{Horas de transporte} = \frac{\text{Producción [Kton]} \times 1000 \left[\frac{\text{ton}}{\text{Kton}} \right]}{\text{Rendimiento} \left[\frac{\text{ton}}{\text{hr}} \right]}$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

En función de las horas de acarreo por periodo, se calculó la flota de camiones de acarreo requeridos para operar por año. Se calculó las horas de acarreo total por cada destino, entonces se procesó cuántos camiones son los necesarios.

Para ello, se calculó las horas efectivas del camión de acarreo de un periodo, que están en función de las horas totales del periodo, depende de la disponibilidad y uso de la disponibilidad de los camiones de acarreo. Estas horas se obtienen con la Ecuación 5.6.

Ecuación 5.6

Horas efectivas del camión de acarreo

$$\text{Horas efectivas camiones} = \text{Horas periodo} * \text{Disponibilidad [\%]} * \text{Uso de la disponibilidad [\%]}$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

Se calculó las horas efectivas por camión. Para saber el número de camiones de acarreo requeridos por periodos se aplica la Ecuación 5.7.

Ecuación 5.7

Número de camiones de acarreo por periodo

$$\text{Nro. camiones período} = \text{entero superior}\left(\frac{\text{Horas totales de transporte período}}{\text{Horas efectivas por camión}}\right)$$

Fuente: Caballero, M. (2017) "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya"

3.6.7 Costos Incrementales del Acarreo

Se procesó utilizando el software Microsoft Excel, se detalló en la recolección de datos los estados financieros, se utiliza como punto de partida esos datos, así como está indicado en el Anexo 5.

Se consideró solo los costos asociados al acarreo. Se proceso los datos para calcular los costos de las alternativas propuestas y así poder compararlas.

Para la evaluación de costos de alternativas se realiza una tabla comparativa que evalúa las horas de acarreo, los camiones totales y los ciclos de acarreo total. A cada aspecto se le otorga un porcentaje según su relevancia en la decisión y a las distintas características dentro de este aspecto un porcentaje individual.

La información procesada se utilizó para evaluar todas las alternativas propuestas de las ubicaciones de los depósitos y así los resultados sean comparables.

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 y estabilidad de los Depósitos de Desmonte, el medio ambiente y por último los factores políticos.

En base a la información procesada y los resultados expuestos en las tres alternativas se muestra la correlación entre las variables de horas de acarreo y costo de acarreo.

Se expresa en función a una regresión lineal utilizando la ecuación 5.8, donde la siguiente función que se ha tomado cuenta para realizar el análisis de las horas de acarreo óptima en base al Plan de Minado base.

Ecuación 5.8

Modelo de Regresión Lineal Simple

$$\hat{Y} = a + b\hat{X}$$

Fuente: Universidad de Santiago de Compostela (2012) "Regresión Lineal Simple"

El objetivo de un modelo de regresión es explicar la relación que existe entre una variable dependiente "Y" un conjunto de variables independientes "X1, X2 ..., Xn".

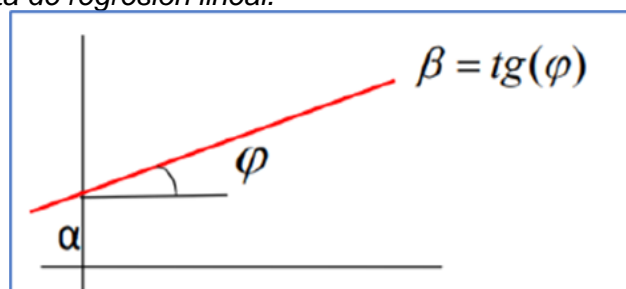
En un modelo de regresión lineal simple es encontrar la relación que existe entre la variable respuesta "Y", y una única variable explicativa "X".

Mediante las técnicas de regresión de una variable "Y" sobre una variable "X", buscamos una función que sea una buena aproximación de la nube de puntos.

En donde es la ordenada en el origen (el valor que toma α "Y" cuando X vale 0), β es la pendiente de la recta (e indica cómo cambia Y al incrementar "X" en una unidad) y ϵ una variable que incluye un conjunto grande de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta sólo en pequeña magnitud, a la que llamaremos error. "X" e "Y" son variables aleatorias, por lo que no se puede establecer una relación lineal exacta entre ellas.

Figura 30

Pendiente de la recta de regresión lineal.



Fuente: Universidad de Santiago de Compostela (2012) "Regresión Lineal Simple"

Para calcular su propia ecuación de cada una de las alternativas va a depender de los costos de acarreo utilizando la definición de la ecuación de regresión lineal.

En las siguientes figuras se aprecia las funciones de regresión lineal de las alternativas, y se las diferencia entre estas.

Figura 31

Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Regresión Lineal del Costo de Acarreo – Alternativa 3.



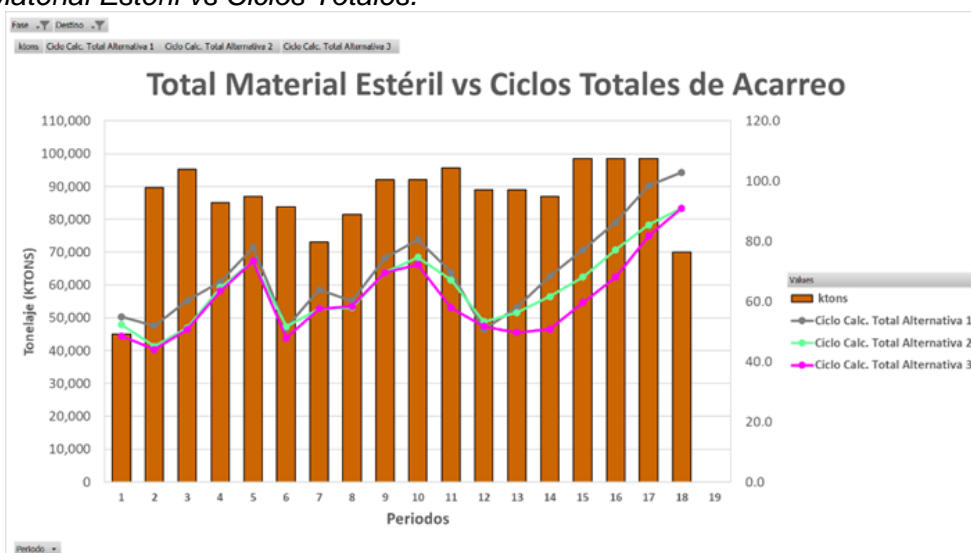
Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis de la información entre las alternativas propuestas, se utilizarán los siguientes conceptos que permiten analizar y comparar de manera global.

Las alternativas propuestas y con los resultados obtenidos, se evalúan las ventajas y debilidades de cada una de ellas. Si los resultados así lo evidencian, la alternativa económica que mejor costo de acarreo presenta.

Figura 34

Total Material Estéril vs Ciclos Totales.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Regresión Lineal del Costo de Acarreo por Alternativa.



Fuente: Elaboración propia

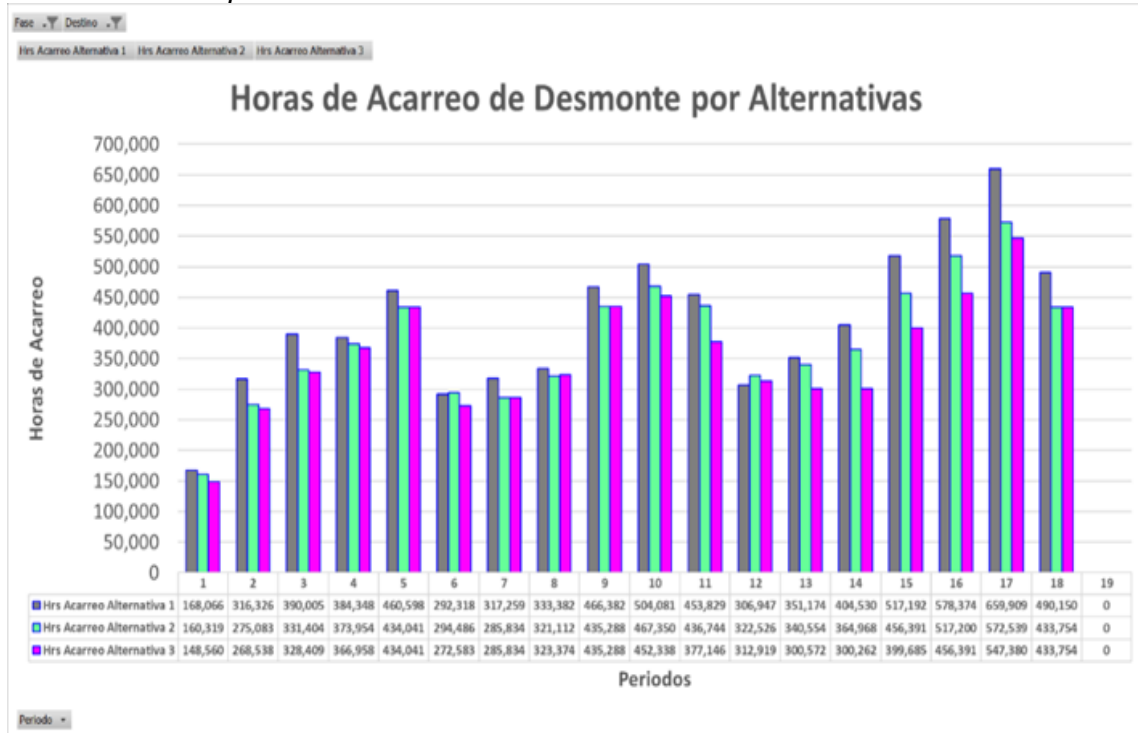
En resumen, se analizó la recolección de datos y se constató con la hipótesis establecida, con los resultados obtenidos en cada alternativa propuesta para obtener evidencia de fuentes de información convergentes en el mismo resultado. La validez de la investigación se verificó, a través de la técnica analítica de relaciones causales.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

Se presentan los resultados de las horas de acarreo asignados a los depósitos de desmonte periodo a periodo, tal como se presenta en la Figura 36.

Figura 36

Horas de acarreo por alternativas.

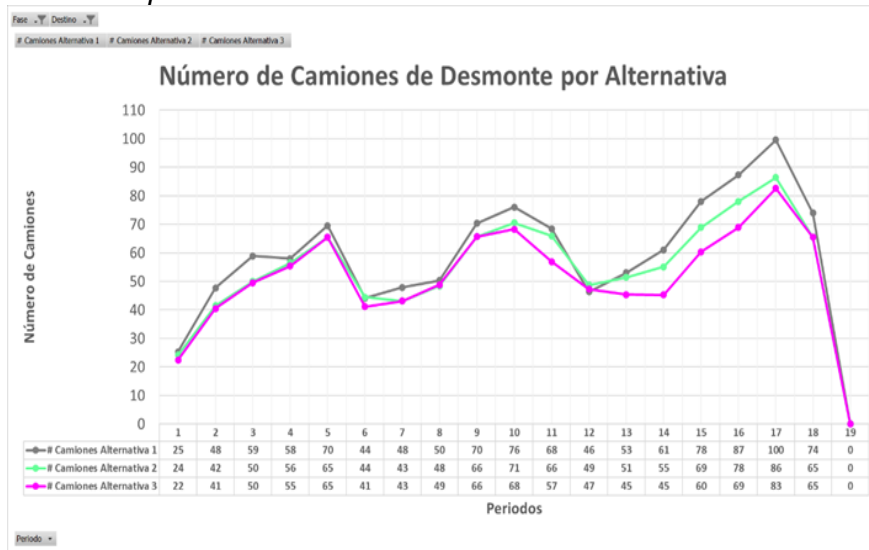


Fuente: Elaboración propia

El resultado de la flota de camiones de acarreo para las distintas alternativas se muestra en la Figura 37 y Tabla 5. Adicionalmente se complementó con el ciclo total de acarreo para comprender los resultados de la flota de camiones, tal como se presenta en la Figura 38.

Figura 37

Camiones de acarreo por alternativas.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

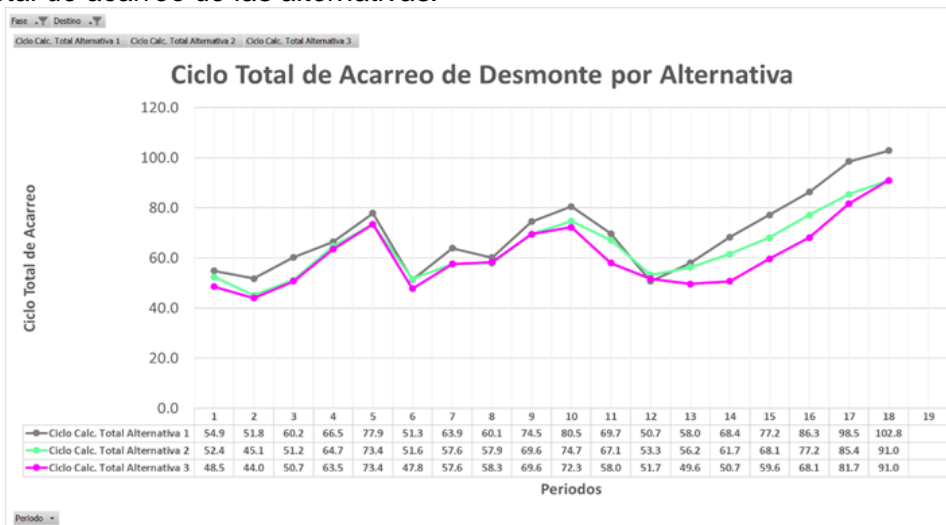
Camiones de acarreo por periodo y alternativas.

Periodo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	25	24	22
2	48	42	41
3	59	50	50
4	58	56	55
5	70	65	65
6	44	44	41
7	48	43	43
8	50	48	49
9	70	66	66
10	76	71	68
11	68	66	57
12	46	49	47
13	53	51	45
14	61	55	45
15	78	69	60
16	87	78	69
17	100	86	83
18	74	65	65
19	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Ciclo Total de acarreo de las alternativas.



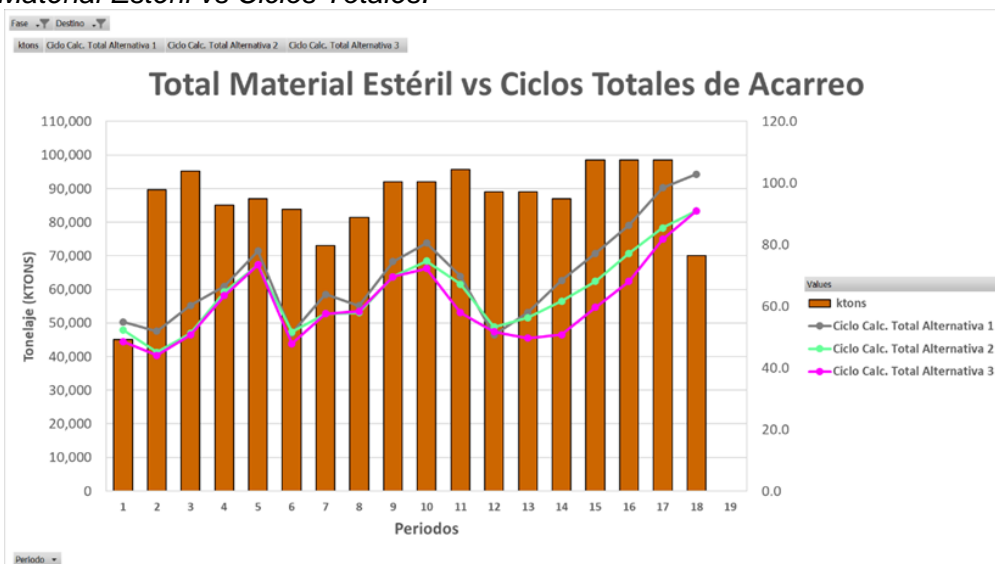
Fuente: Elaboración propia

Las horas de transporte dependen de las rutas que realicen los camiones desde las distintas fases a su depósito más cercano.

Los depósitos se construyeron con el área máxima y óptima que se podía utilizar, pero como se vio en las especificaciones no se ocupe la capacidad total, en especial para los últimos periodos de la vida de la mina, tal como se presenta en la Figura 39.

Figura 39

Total Material Estéril vs Ciclos Totales.



Fuente: Elaboración propia

Las evaluaciones económicas realizadas de las diversas alternativas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6*Horas de Acarreo Totales vs Costo de Acarreo.*

	Hrs Acarreo	M\$ Costo Acarreo	\$/TM Acarreo
Alternativa 1	7,394,870	2,218	1.43
Alternativa 2	6,823,546	2,047	1.32
Alternativa 3	6,444,033	1,933	1.25

Fuente: Elaboración propia

En el presente trabajo de investigación se tiene como hipótesis, “La selección de ubicación de un depósito de desmonte influirá en la reducción del costo de acarreo”, Para saber si la contrastación de la hipótesis cumple debido a que la alternativa 3 evidencia un mejor costo de acarreo y por ende incurre en menores OPEX y CAPEX, además de cumplir con las restricciones contempladas en el inicio, a su vez esta alternativa brinda una mejor distribución en los depósitos de desmonte.

Se programó en lenguaje Python un script que nos permitió verificar los resultados de forma rápida como se muestra en la Figura 40 y el reporte que lo genera en el software Microsoft Excel como se muestra en la Tabla 7.

Figura 40*Python Script para verificar horas y camiones de acarreo.*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7*Reporte generado por el Python Script en Microsoft Excel*

Período	Ruta Acarreo	Ciclo Total (min)	Horas Acarreo (hrs)	Camiones requeridos (#)
1	F01_to_DDM NE	74.7	8,618	1.3
1	F01_to_DDM W	85.5	9,865	1.5

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Según los resultados expuestos se concluye que la alternativa 3, que considera la configuración de descarga para el depósito de desmonte norte y oeste con dos rampas y tres rampas de acceso respectivamente, permite una mejor distribución de material estéril hacia los depósitos de desmonte. La distribución a los depósitos de desmonte norte y oeste fueron de 421 Millones de toneladas y 1,129 Millones de toneladas respectivamente.

La alternativa 3 presenta una mejor distribución mediante el software minero luego de realizar varias iteraciones, teniendo como variable la reducción de horas de acarreo, por lo tanto, se concluye que en base a las 6,444,033 horas de acarreo se tiene un costo 1,933 Millones de dólares de acarreo y se obtiene los siguientes ahorros de 114 y 285 Millones de dólares comparados con las alternativas 1 y 2 respectivamente.

Se desarrollaron tres alternativas factibles para diseños de depósitos de desmonte, se obtuvo de la alternativa las mejoras con respecto a las otras alternativas. Al evaluar las alternativas, se obtuvieron las horas y la flota de transporte para todas las alternativas. La alternativa 3 es la que presenta mayores ahorros en cuanto horas de transporte, prácticamente un 6% y 14% en comparación de la alternativa 1. En relación con la flota de camiones, la alternativa 3 requiere menos camiones de acarreo, lo que se ve reflejado un ahorro en los CAPEX de acarreo.

Al analizar adecuadamente los parámetros desarrollados, se logró tener los resultados esperados de reducir los costos de acarreo. Eso se evidencia en ellos cálculos del OPEX y CAPEX para el acarreo mina. En relación con el OPEX, se ven los ahorros es importante en relación a las alternativas. Respecto al OPEX, con la alternativa 3 se refleja los ahorros en horas de acarreo. Lo que tiene mayor incidencia en los resultados.

Recomendaciones

Se generaron tres alternativas para el presente trabajo de investigación. Todas las alternativas cumplen con los tonelajes requeridos para las descargas para material estéril requeridos. Entonces se recomienda estudiar de forma más profunda la alternativa 3, ya que podría generarse una interferencia futura en el caso el precio de los metales siga en la tendencia de aumentar.

Para trabajos futuros se recomienda incorporar los equipos de carguío como variable a modificar y analizar, debido a que en este trabajo de investigación se mantuvieron fijos. Esto implica calcular e incorporar a las variables horas y costos los equipos de carguío, con el objetivo de cuantificar si una menor o mayor flota de carguío aporta en mejores resultados que los que se tiene en este trabajo de investigación.

Para realizar el plan de minado se recomienda utilizar el software minero MPSO (Mine Plan Schedule Optimizer) por su rapidez de procesamiento en cada iteración y variedad de reportes del plan de producción, equipos y horas.

Referencias bibliográficas

- Amáu, G. "Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar – Cusco" (2019). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Baldeon, L. "Gestión de las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en la CIA. Minera Pan American Silver S.A. Distrito de Huayllay" (2015). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Baldeón, Z. "Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en CIA. Minera Condestable S.A" (2011). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bureau of Mines. "Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook. Surface and Underground Mining & Mineral Processing" (1987). United States Department of the Interior.
- Caballero, M. "Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en Minera Antucoya" (2017). Universidad de Chile.
- Chambi, O. "Aplicación de Flexigel en voladuras de control" (2018). Orica Mining Services S.A – Mina Cerro Verde
- Deloitte. "Ocho tendencias clave para el sector minero en 2020" (2020). NS Media Group Limited.
- Gentry, D.W. "Mine Valuation: Technical Overview" (1979). AIME
- Gonzáles, T. "Diseño de Minas a Tajo Abierto" (2010). Universidad Nacional de Ingeniería. Instituto tecnológico GeoMinero de España. "Manual de evaluación Técnico – Económica de proyectos mineros de inversión" (1991). ITGE
- Mendoza, D. "Evaluación del sistema de gestión de seguridad basado en OHSAS para el control de pérdidas" (2017). Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.
- Nagai, T. "Surface Mining Transportation Systems" (2020). Civil Engineering – Vol. II.

Neyra, A. "Estudio del cálculo de flota de camiones para operación minera a cielo abierto" (2020). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

O'Hara, T.A. "Quick Guidelines to the Evaluation of Orebodies" (1980). CIM Bulletin

Ortiz, W. "Diseño de botaderos de desmonte en open pit usando Minesight 7.0 E.E Pirámide Cis Cuajone" (2016). Universidad Nacional de San Agustín.

Trillo, J. "Planificación minera a largo plazo en Xtrata – Tintaya Lima: Xtrata Copper" (2011). SIPLAMIN 2016.

Valdivia, J. "El yacimiento de sulfuros de cobre Cerro Verde" (2005). PRO-EXPLO 2005.

Valencia, R. "Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la unidad minera ARASI.SA.C proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa en el departamento de Puno" (2019). Universidad Nacional del Altiplano.

Vásquez, A., Galdame, B., Le-Feaux, R. "Diseño y operaciones de minas a cielo abierto" (1998). Universidad Nacional de Chile.

Leonie, Z. "Costo Político" (2021). ACENTO

Victor, B. "El costo político es el factor que más retraso ha provocado" (2021). NOTICIAS SIN

Alianza Unicorte. "Minería: los costos ambientales de su operación" (2014).

World Bank Group. "Diagnostic assessment of select environmental challenges in India" (2013). WBG

Universidad Santiago de Compostela. "Regresión Lineal Simple" (2012).

Anexos

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1: Supuestos de la norma aplicables a las modificaciones del ITS.....	2
Anexo 2: Coordenadas de perforaciones geotécnicas	5
Anexo 3: Principales instrumentos de gestión ambiental aprobados.....	8
Anexo 4: Criterios de diseño de depósito de desmonte DDMNE	9
Anexo 5: Pendientes/velocidades/tracción.....	12
Anexo 6: Análisis financiero Sociedad Minera Cerro Verde	13

Anexo 1

Supuestos de la norma aplicables a las modificaciones del ITS.

N°	Cambio o modificación propuesta a través de ITS	Componente y/o Proceso aprobado	Resolución Directoral que lo aprobó	Supuesto normativo*
1	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C1: Implementación de Reactores de Flotación Directa en C1	Planta Concentradora	EIA Proyecto de Sulfuros Primarios aprobado por Resolución Directoral N° 438-2004-MEM/DGAAM.	C.1.6
	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C1: Reemplazo del Sistema de Preparación y Dosificación de Silicato de Sodio.			C.5.41
	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C1: Reubicación y Reemplazo de Transformadores de los HPGR de la Concentradora C1.			C.1.6
2	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C2: Implementación de Reactores de Flotación Directa en C2.	Planta Concentradora	EIA de la Expansión de la UP Cerro Verde, aprobado por Resolución Directoral N° 403-2012-MEM/AAM (en adelante, <i>EIA de la Expansión de la UP Cerro Verde (2012)</i>)	C.1.6 y C.5.41
	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C2: Incremento de la Potencia en el Sistema de Fajas Transportadoras.			C.1.6 y C.5.41
	Mejoras Tecnológicas en Concentradora C2: Implementación de Sistema para Recirculación de Agua para Enfriamiento en C2.			C.1.6
3	Modificación de la Extensión de la Plataforma de Operaciones de la Planta de Molibdeno	Planta de Molibdeno	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde, aprobado por R.D. N° 072-2016-SENACE-DCA (en adelante, <i>MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)</i>)	C.1.12
4	Incremento del flujo de riego en PAD 4A.	PAD 4A.	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
5	Recrecimiento del PAD 4B.	Plataforma de Lixiviación 4B – PAD 4B	EIA del Proyecto Plataforma de Lixiviación 4B – PAD 4B, aprobado por Resolución Directoral N° 274-2010-MEM/AAM.	C.1.5
	Reubicación de interferencias: Reubicaciones de línea eléctrica, línea de impulsión de PLS, tuberías de riego y acometidas, línea de Fibra Óptica.			C.1.12
	Acceso perimetral y 02 rampas de acceso.			C.1.21
	Reubicación de pozas de procesos y sistema de bombeo.			C.1.12
	Cambio de uso de pozas de agua de lluvia a agua de proceso, que incluye: nuevas subestaciones eléctricas, sistemas de bombeo y			C.1.12

Nº	Cambio o modificación propuesta a través de ITS	Componente y/o Proceso aprobado	Resolución Directoral que lo aprobó	Supuesto normativo*
	derivaciones eléctricas para pozas suroeste y sureste.			
6	Reconfiguración del Corredor de Relaves Este.	Depósito de relaves Linga	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
7	Nueva Ubicación para las Instalaciones de Clasificación de Relaves en Linga.	Depósito de relaves Linga	EIA de la Expansión de la UP Cerro Verde (2012)	C.1.12
8	Ampliación del Tajo Integrado Cerro Verde - Santa Rosa.	Tajo Integrado Cerro Verde - Santa Rosa	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.1
9	Ampliación del Tajo Cerro Negro.	Tajo Cerro Negro	EIA del Desarrollo del Tajo Cerro Negro (2007)	C.1.1
10	Reconfiguración del DDM Cerro Negro.	DDM Cerro Negro	EIA del Desarrollo del Tajo Cerro Negro, aprobado por Resolución Directoral N° 081-2007-MEM/AAM.	C.1.4
	01 acceso			C.1.21
11	Reconfiguración del DDM Sureste.	DDM Sureste	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.4
12	Reconfiguración del DDM Noreste.	DDM Noreste	EIA de la Expansión de la UP Cerro Verde (EIA Integrador) (2012)	C.1.4
13	Perforaciones para Aterramiento Eléctrico en la Subestación San José.	Subestación San José	EIA del Proyecto de la Línea de Transmisión 2 x 220 KV S.E. San Camilo - CV2 (ahora S.E. San José - S.E. San Luis), aprobado por Resolución Sub Regional N° 059-2013-GRA/ARMA-SG.	C.1.12
14	Implementación de Sistema de Suministro de Combustible para Camiones Mineros.	Nuevo	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
15	Incremento de Silos en Polvorines Sites Voladura.	Plataformas de polvorines sites	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
16	Precisión de la Operación de la Chancadora Móvil para Producción de Agregado.	Chancadora Móvil	Segundo ITS de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde, aprobado por Resolución Directoral No. 019-2018-SENACEJEF/DEAR.	C.1.12

N°	Cambio o modificación propuesta a través de ITS	Componente y/o Proceso aprobado	Resolución Directoral que lo aprobó	Supuesto normativo*
17	Ampliación de Plataforma de Servicios para Almacén de Llantas.	Plataformas	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
18	Implementación de Plataformas de Almacenamiento y Procesamiento de Materiales Linga.	Depósito de relaves Linga	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
19	Implementación de la Plataforma del Cerro Millcrush.	Plataforma del Cerro Millcrush	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.12
20	Mejoras en el Patio de Residuos de San José.	Patio de Residuos de San José	Primer ITS de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde, aprobado por Resolución Directoral No. 049-2017-SENACE-DCA.	C.1.12
21	Implementación del Nuevo Acceso Estribo Izquierdo – Enlozada (Implementación de Nuevo Acceso 2660).	Accesos	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	C.1.21
22	Actualización de Medidas del Plan de Manejo Ambiental: Optimización del Sistema de Colección de Polvo en Chancado Primario de C1.	Medidas de Manejo	MEIA Expansión de la UP Cerro Verde (2016)	Artículo 131, literal c del Decreto Supremo N° 040-2014-EM
	Actualización de Medidas del Plan de Manejo Ambiental: Reaprovechamiento de Lodos de Lavado de Equipo Pesado y Liviano en PADs de Lixiviación.			Artículo 131, literal c del Decreto Supremo N° 040-2014-EM
	Actualización de Medidas del Plan de Manejo Ambiental: Reubicación de la Estación de Monitoreo de Ruido y Vibraciones Pueblo Joven Cerro Verde			C.3.38
	Actualización de Medidas del Plan de Manejo Ambiental: Reubicación de la Estación de Monitoreo de Calidad de Aire Sur 2.			C.3.38
	Actualización de Medidas del Plan de Manejo Ambiental: Precisión sobre el Lavado de Llantas en Manejo y Transporte de Concentrados de C1 y C2.			Artículo 131, literal c del Decreto Supremo N° 040-2014-EM

Fuente: Quinto ITS Cerro Verde

(*) Resolución Ministerial N° 120-2014-MEM/DM.

Fuente: SENACE (2022). “Evaluación del “Séptimo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde”

Anexo 2

Coordenadas de Perforaciones Geotécnicas

N°	Descripción	Coordenadas UTM - WGS 84		Altura (m)	Diam. (")	Prof. (m)	Az/Dip	Función
		Norte	Este					
1	SD1-11	8165872	222070	2714	2"	75	360/70	Geotécnico
2	SD2-08	8164897	221230	2670	2"	120	110/70	Geotécnico
3	SD2-09	8164991	221290	2714	2"	75	25/70	Geotécnico
4	SD2-10	8164841	221239	2692	2"	90	240/70	Geotécnico
5	SD2-11	8164940	221277	2740	2"	85	10/70	Geotécnico
6	SD2-13	8164805	221181	2797	2"	75	240/70	Geotécnico
7	SD2-15	8165039	221106	2788	2"	110	---/90	Geotécnico
8	SD2-16	8164921	221204	2773	2"	115	---/90	Geotécnico
9	SD5-12	8165892	222263	2687	2"	110	---/70	Geotécnico
10	SD5-13	8165963	222341	2714	2"	80	310/70	Geotécnico
11	SD5-14	8166010	222441	2679	2"	110	230/70	Geotécnico
12	SD5-15	8165885	222447	2711	2"	80	300/70	Geotécnico
13	SD5-16	8165840	222683	2698	2"	90	65/70	Geotécnico
14	SD5-17	8165942	222948	2717	2"	75	240/70	Geotécnico
15	SD5-18	8166037	223108	2729	2"	75	230/70	Geotécnico
16	SD5-19	8166126	223241	2715	2"	75	215/80	Geotécnico
17	SD5-20	8166219	223308	2706	2"	80	40/70	Geotécnico
18	SD5-21	8166329	223391	2711	2"	80	230/70	Geotécnico
19	SD5-22	8166408	223454	2730	2"	80	040/70	Geotécnico
20	SD5-23	8166650	223527	2763	2"	80	050/70	Geotécnico
21	SD5-24	8166471	223369	2731	2"	80	230/70	Geotécnico
22	SD5-25	8166322	223179	2704	2"	120	050/70	Geotécnico
23	SD5-26	8166102	222569	2675	2"	110	---70	Geotécnico
24	SD4-301	8166695	226124	2748	2"	75	370/70	Geotécnico
25	SD4-302	8166602	226191	2722	2"	75	325/70	Geotécnico
26	SD4-303	8166540	226233	2723	2"	75	320/70	Geotécnico
27	SD4-304	8166487	226407	2690	2"	85	095/70	Geotécnico
28	SD4-305	8166463	226534	2762	2"	75	90/70	Geotécnico
29	SD4-306	8166303	226339	2664	2"	115	---/90	Geotécnico
30	SD4-307	8166591	226332	2716	2"	75	---/90	Geotécnico
31	HG-500	8166691	226512	2622	2"	200	---/90	Geotécnico
32	PW-EL1	8166643	226461	2718	2"	200	---/90	Geotécnico
33	PW-NL1	8166289	223172	2709	2"	180	---/90	Geotécnico

Vértice	Coordenadas UTM (WGS84 zona 19)		Vértice	Coordenadas UTM (WGS84 zona 19)	
	Este	Norte		Este	Norte
1	217 823,92	8 178 200,39	31	225 039,86	8 158 381,18
2	218 325,02	8 178 200,39	32	224 893,02	8 158 336,20
3	220 071,66	8 175 795,37	33	224 645,63	8 158 348,10
4	220 412,60	8 176 280,03	34	224 506,72	8 158 260,40
5	221 403,25	8 176 190,06	35	224 349,56	8 158 204,83
Vértice	Coordenadas UTM (WGS84 zona 19)		Vértice	Coordenadas UTM (WGS84 zona 19)	
	Este	Norte		Este	Norte
6	225 916,60	8 172 899,17	36	222 515,40	8 158 835,70
7	228 399,94	8 170 451,55	37	221 394,99	8 157 382,81
8	228 577,46	8 169 840,45	38	216 836,09	8 153 813,31
9	227 291,60	8 166 975,85	39	216 063,30	8 153 892,08
10	228 249,66	8 165 269,28	40	217 205,30	8 155 625,65
11	227 175,47	8 164 729,53	41	220 319,64	8 158 057,91
12	226 806,58	8 163 633,36	42	219 555,06	8 161 705,17
13	226 806,59	8 162 261,30	43	219 135,30	8 162 008,99
14	227 630,14	8 161 183,25	44	219 058,04	8 162 125,41
15	227 258,37	8 161 105,65	45	219 136,36	8 162 624,81
16	227 118,43	8 160 805,65	46	219 080,14	8 162 760,41
17	226 500,36	8 160 865,97	47	219 117,18	8 162 865,59
18	226 423,11	8 160 855,39	48	219 250,48	8 163 013,14
19	226 243,19	8 160 781,31	49	219 106,05	8 163 633,34
20	226 121,48	8 160 649,01	50	221 130,37	8 166 743,77
21	226 093,96	8 160 463,81	51	219 482,76	8 166 791,16
22	225 849,49	8 160 215,10	52	218 752,51	8 167 191,22
23	225 789,16	8 160 041,53	53	218 384,21	8 168 365,97
24	225 773,29	8 159 837,27	54	219 094,32	8 169 537,92
25	225 721,83	8 159 627,37	55	218 475,48	8 170 186,23
26	225 725,13	8 159 476,55	56	218 457,46	8 171 245,39
27	225 651,05	8 159 153,10	57	218 951,33	8 172 607,45
28	225 489,65	8 159 065,79	58	218 705,67	8 173 051,67
29	225 392,42	8 158 899,76	59	218 615,29	8 176 016,21
30	225 266,08	8 158 494,95	60	217 823,92	8 177 571,06

Vértice	Coordenadas UTM (WGS84, zona 19)		Vértice	Coordenadas UTM (WGS84, zona 19)	
	Este	Norte		Este	Norte
1	221 806,62	8 180 633,08	73	218 325,02	8 178 200,39
2	221 806,62	8 179 633,09	74	217 823,92	8 178 200,39
3	221 111,18	8 179 633,09	75	217 823,92	8 177 571,06
4	221 111,33	8 179 628,64	76	218 615,29	8 176 016,21
5	221 105,14	8 179 610,19	77	218 705,67	8 173 051,67
6	221 065,03	8 179 633,09	78	218 951,33	8 172 607,45
7	220 981,88	8 179 633,09	79	218 457,46	8 171 245,39
8	220 911,47	8 179 493,17	80	218 475,48	8 170 186,23
9	220 900,04	8 179 504,73	81	219 094,32	8 169 537,92
10	220 941,64	8 179 586,16	82	218 384,21	8 168 365,97
11	220 890,98	8 179 610,72	83	218 752,51	8 167 191,22
12	220 870,37	8 179 621,23	84	219 482,76	8 166 791,16
13	220 867,14	8 179 616,06	85	221 130,37	8 166 743,77
14	220 862,71	8 179 607,20	86	219 106,05	8 163 633,34
15	220 848,83	8 179 614,26	87	217 806,73	8 163 633,33
16	220 844,78	8 179 605,55	88	217 806,72	8 165 578,72
17	220 830,85	8 179 612,83	89	217 764,78	8 165 633,30
18	220 824,53	8 179 615,85	90	217 701,69	8 165 633,30
19	220 815,62	8 179 597,62	91	215 929,35	8 165 633,30
20	220 791,99	8 179 610,60	92	215 806,75	8 165 615,40
21	220 783,60	8 179 614,51	93	215 806,75	8 165 750,87
22	220 772,71	8 179 579,68	94	215 925,44	8 165 735,10
23	220 756,72	8 179 584,58	95	216 121,08	8 165 911,71
24	220 743,35	8 179 542,05	96	216 368,76	8 166 036,47
25	220 748,57	8 179 540,36	97	216 516,96	8 166 100,37
26	220 743,20	8 179 523,68	98	216 772,10	8 166 137,97
27	220 683,46	8 179 339,34	99	217 014,71	8 166 249,54
28	220 618,50	8 179 223,52	100	217 085,76	8 166 257,66
29	220 546,71	8 179 096,42	101	217 085,50	8 166 263,69
30	220 501,31	8 179 015,67	102	216 799,51	8 166 276,17
31	220 553,64	8 178 938,10	103	216 541,68	8 166 191,72
32	219 886,65	8 178 473,11	104	216 484,84	8 166 193,75
33	219 930,40	8 177 633,12	105	216 403,63	8 166 163,32
34	223 806,59	8 177 633,13	106	216 212,51	8 166 145,03
35	224 799,59	8 175 107,17	107	216 138,41	8 166 122,72
36	226 106,57	8 174 144,19	108	215 980,80	8 166 105,43
37	228 336,53	8 174 144,20	109	215 806,75	8 166 048,67
38	228 336,54	8 173 283,21	110	215 806,75	8 167 288,57
39	229 806,51	8 173 283,21	111	215 115,51	8 167 288,57
40	229 806,51	8 172 633,22	112	214 968,57	8 167 093,99
41	231 806,48	8 172 633,23	113	214 242,11	8 167 394,10
42	231 806,48	8 172 283,23	114	213 767,08	8 167 786,37
43	232 346,48	8 172 283,24	115	213 332,25	8 168 374,85
44	232 346,48	8 171 633,25	116	213 428,59	8 168 608,02
45	232 806,47	8 171 633,25	117	214 806,76	8 168 039,36
46	232 806,47	8 171 903,24	118	214 806,76	8 167 633,26
47	233 636,46	8 171 903,24	119	217 806,71	8 167 633,27

Fuente: SENACE (2022). Evaluación del “Séptimo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde”

Anexo 3

Principales instrumentos de gestión ambiental aprobados

Instrumentos de gestión ambiental	Sector que aprobó	Resolución Directoral	Fecha
Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de la U.P. Cerro Verde	DGM	Resolución Directoral N°099-97-EM/DGM	10.03.97
EIA Proyecto de Sulfuros Primarios	DGAAM	Resolución Directoral N°438-2004-MEM/DGAAM	22.01.03
EIA de la Línea de Transmisión de 220 Kv Socabaya – Cerro Verde y Subestación para la Ampliación de las Operaciones Actuales de Cerro Verde	DGAAM	Resolución Directoral N°452-2005-MEM/AAM	21.10.05
Primera MEIA del Proyecto Sulfuros Primarios "Plan de Manejo Ambiental para la Disposición de Sólidos del Sistema de Agua Fresca"	DGAAM	Resolución Directoral N°340-2006-MEM/AAM	17.08.06
Segunda MEIA del Proyecto Sulfuros Primarios "Plan de Manejo Ambiental para el Transporte de Concentrados Cerro Verde-Matarani"	DGAAM	Resolución Directoral N°449-2006-MEM/AAM	18..10.06
EIA del Desarrollo del Tajo Cerro Negro	DGAAM	Resolución Directoral N°081-2007-MEM/AAM	03.05.07
Primera MEIA del Desarrollo del Tajo Cerro Negro	DGAAM	Resolución Directoral N°034-2008-MEM/AAM	15.04.04
Tercera MEIA del Proyecto Sulfuros Primarios "Complementación del Sistema de Tratamiento para el Abastecimiento de Agua Fresca"	DGAAM	Resolución Directoral N°009-2009-MEM/AAM	22.01.09
Segunda MEIA del Desarrollo del Tajo Cerro Negro	DGAAM	Resolución Directoral N°192-2010-MEM/AAM	26.10.10
EIA del Proyecto Plataforma de Lixiviación 4B - PAD 4B	DGAAM	Resolución Directoral N°274-2010-MEM/AAM	31.08.10
Cuarta MEIA de la Ampliación Sulfuros Primarios "Desarrollo de la Carretera de Transporte de Concentrados"	DGAAM	Resolución Directoral N°400-2010-MEM/AAM	01.12.10
EIAS de la Expansión de la UP Cerro Verde (EIA Integrador)	DGAAM	Resolución Directoral N°403-2012-MEM/AAM	09.12.12
EIA del Proyecto de la Línea de Transmisión 2 x 220 kV S.E. San Camilo – CV2	ARMA - Arequipa	Resolución Sub Regional No. 059-2013-GRA/ARMA-SG	09.07.13
Informe Técnico del Proyecto: "Instalación de Componentes Auxiliares al EIA LT 2 x 220 kV San Camilo"	ARMA - Arequipa	Proveído 001-2014-GRA/ARMA-SG-EA	11.02.14
ITS de Cambios Menores a la Expansión de la UP Cerro Verde	DGAAM	Resolución Directoral N°058-2014-EMDGAAM	05.02.14
ITS de Cambios en Componentes Auxiliares en la UP Cerro Verde	DGAAM	Resolución Directoral N°359-2014-EMDGAAM	14.07.14
ITS de Cambios Menores en componentes de la UP Cerro Verde	DGAAM	Resolución Directoral N°262-2015-MEMDGAAM	03.07.15
MEIAS de la Expansión de la UP Cerro Verde	SENACE	Resolución Directoral N°072-2016-SENACE-DCA	26.08.16
Primer ITS de la MEIA de la Expansión de la UP Cerro Verde	SENACE	Resolución Directoral N°049-2017-SENACE-DCA	24.02.17
Segundo ITS de la MEIAS de la Expansión de la UP Cerro Verde	SENACE	Resolución Directoral N°019-2018-SENACE-JEF/DEAR	06.02.18
Instrumentos de gestión ambiental	Sector que aprobó	Resolución Directoral	Fecha
Tercer ITS de la MEIAS de la Expansión de la UP Cerro Verde	SENACE	Resolución Directoral N°0017-2019-SENACE-PE/DEAR	28.01.19
Cuarto ITS de la MEIAS de la Expansión de la UP Cerro Verde	SENACE	Resolución Directoral N°00126-2019-SENACE-PE/DEAR	05.08.19

Fuente: Quinto ITS Cerro Verde

Fuente: SENACE (2020). "Evaluación del Séptimo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde"

Anexo 4

Criterios de diseño de depósito de desmonte DDMNE

Característica/Item	Criterio
Factores de seguridad	
Factor de seguridad mínimo permisible en condición estática	1,3
Factor de seguridad mínimo permisible en condición pseudo-estática	1,0
Depósito de Desmonte de Mina Oeste	
Etapas del depósito según plan de disposición de desmonte	19
Cota máxima del depósito a la etapa 19 (año 2045) según plan de disposición de desmonte (m.s.n.m.)	2 978
Altura máxima del depósito a la etapa 19 (año 2045) según plan de disposición de desmonte (m)	360
Capacidad máxima del depósito a la etapa 19 (año 2045) según plan de disposición de desmonte (Mt)	2 916
Topografía proporcionada por U.P. Cerro Verde (Julio, 2014)	2,5 m entre cada curva
Área impactada del depósito a la etapa 19 según plan de disposición de desmonte (Ha)	1 295
Talud de banco (nominal)	1,33H:1V
Altura de banco (m)	30
Ancho de banquetas	12,5 m entre cada capa
Pendiente Global del DDMO	1,75H:1V

Elaborado por Knight Piésold, 2015.

Fuente: Estudio de Ingeniería de Detalle del Depósito de Desmonte de Mina Oeste. Informe Versión 4.1, Golder Associates, 2015.

Fuente: SENACE (2022). "Evaluación del "Séptimo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde"

Criterios de diseño de depósito de desmonte DDMO.

Descripción	Valor Aprobado	Valor Propuesto
Material de Desmonte de mina		
Tipo de mineral	Brecha Bonanza, Silicea y Turmalina, Granodiorita Yarabamba, Gneis Charcani	Brecha Bonanza, Silicea y Turmalina, Granodiorita Yarabamba, Gneis Charcani.
Comportamiento geoquímico	PAG	PAG
Densidad promedio (t/m ³)	1.8	1.8
Sismicidad		
Magnitud sísmica de diseño	M = 7.0 - 8.0	M = 7.0 - 8.0
Aceleración Pico del terreno Tr= 100 años	0.23 g	0.23 g
Aceleración Pico de terreno Tr= 475 años	0.43 g	0.43 g
Coeficiente Sísmico de diseño para Tr= 475 años	0.215 g ²	0.215 g ²
Factor de Seguridad		
Mínimo permisible en condición estática	1.3	1.3
Mínimo permisible en condición pseudoestática	1.0	1.0
Depósito de Desmonte en Mina Cerro Noreste		
Etapas del Depósito según plan de descarga	---	Descarga continua
Cota máxima del depósito en la etapa final según plan de descarga (msnm.)	2,943	2,958
Altura máxima del Depósito en la etapa final según plan de descarga (m)	---	393
Capacidad del depósito aproximada (M-m ³)	174	212.53

Fuente: Golder Associates (2015). "Estudio de ingeniería de Detalle del Depósito de Desmonte de Mina Oeste"

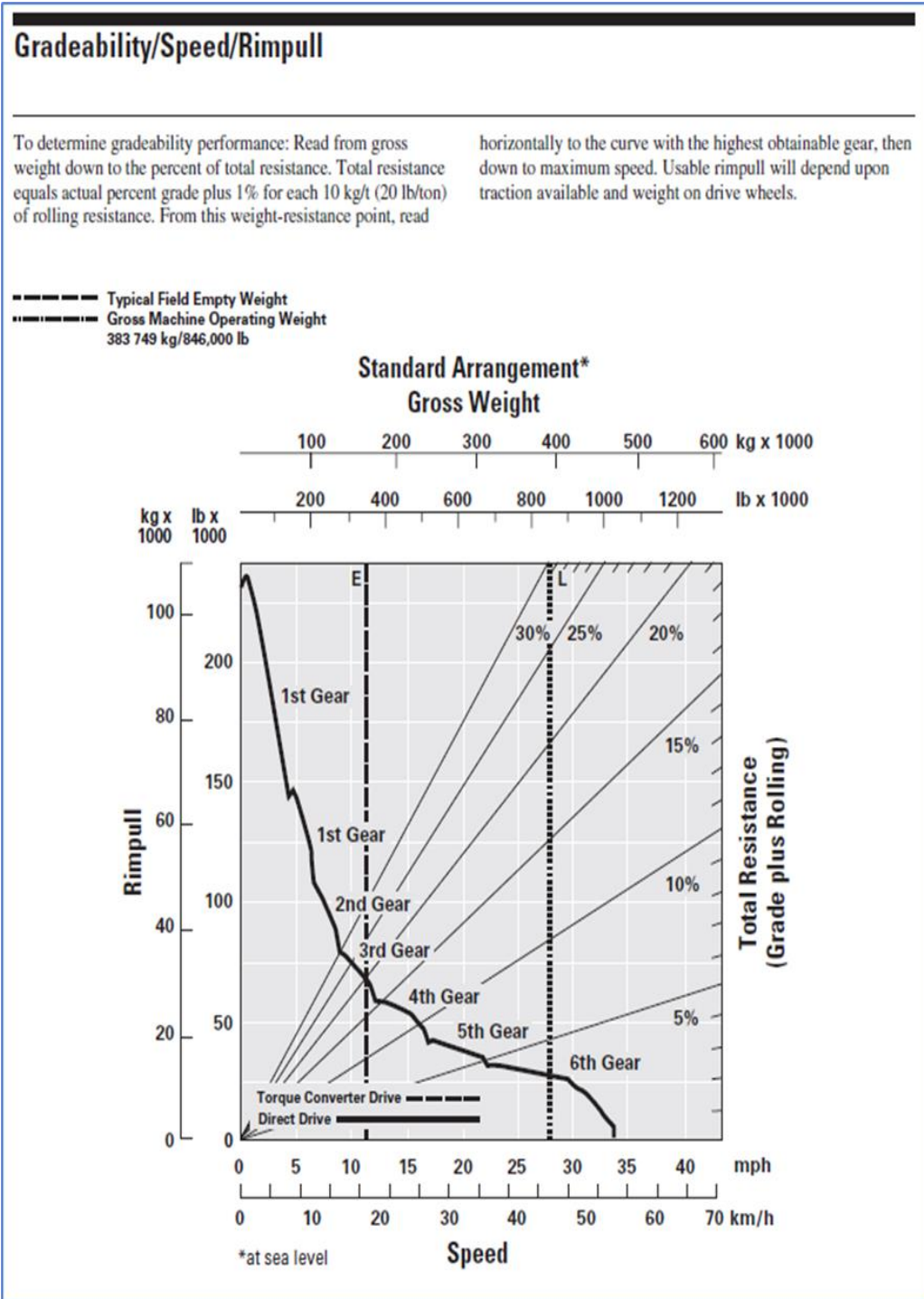
Parámetros de diseño de operación de depósito de desmonte DDMO.

PARAMETROS	UNIDADES
Cota plataforma superior (msnm)	2,978
Etapas del depósito según el plan de descarga (etapas)	19
Talud de banco (nominal) (H:V)	1.33:1
Altura de banco (m)	75
Ancho de banco (m)	33
Pendiente Global del DDM Oeste (H:V)	1.75:1
Altura máxima del depósito (m)	390.5
Volumen final de almacenamiento (Mm ³)	1,396.60
Área Impactada (Ha)	1,045.4
Longitud máxima aproximada (Km)	5.3
Ancho máximo aproximado (Km)	3.3

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2017). "Aprobación de Informe de Inspección y autorización de funcionamiento del Recrecimiento del Depósito de Desmonte de Mina Oeste"

Anexo 5

Pendientes/Velocidades/Tracción

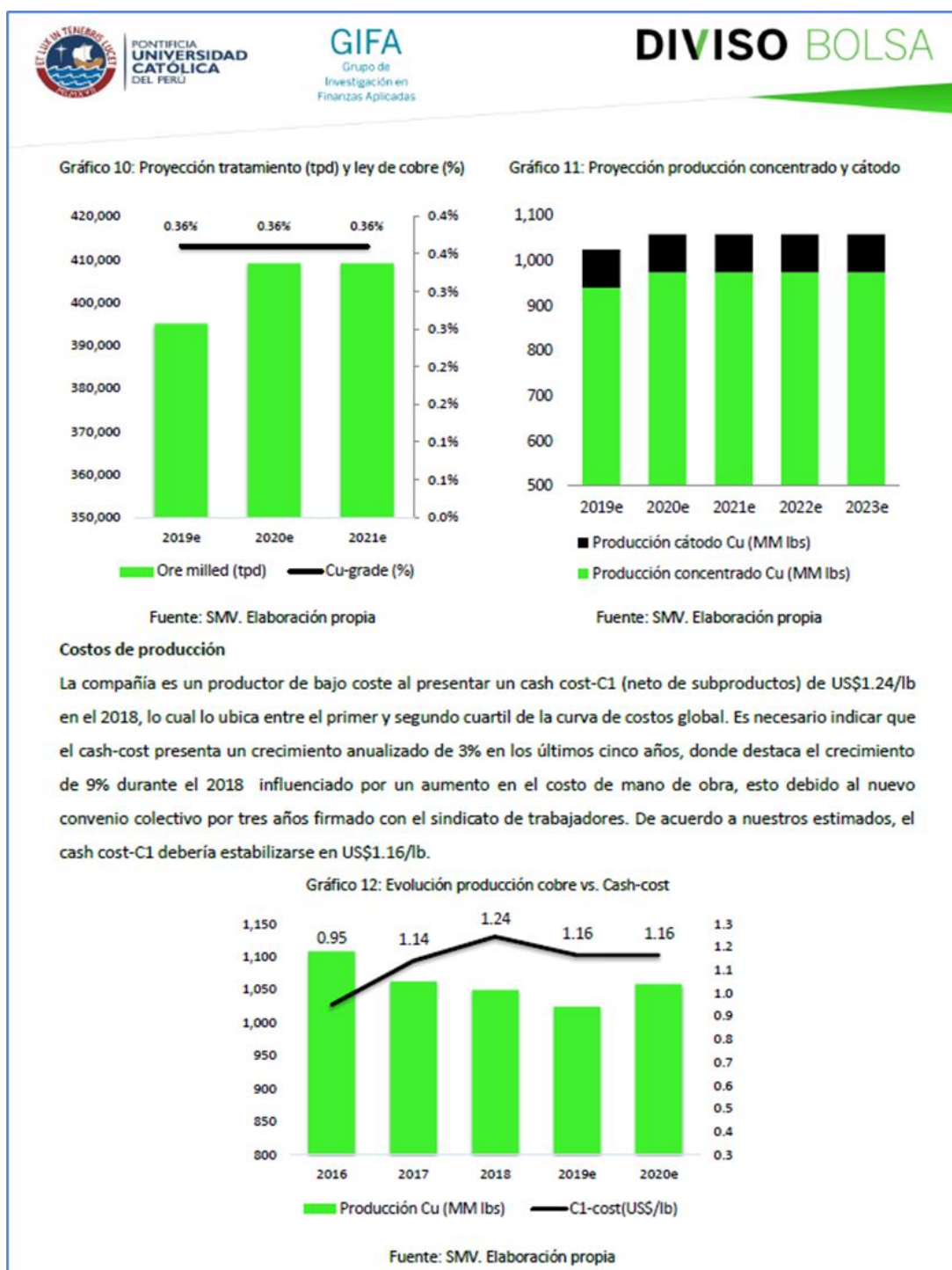


Fuente: CATERPILLAR (2010). "793D Mining Truck specifications"

Análisis Financiero Sociedad Minera Cerro Verde.



Fuente: GIFA PUCP (2010). "Grupo de Investigación de Finanzas Aplicadas"



Fuente: GIFA PUCP (2010). "Grupo de Investigación de Finanzas Aplicadas"

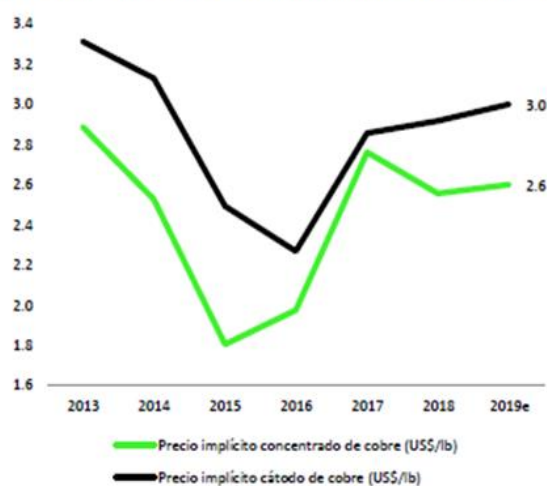


ANÁLISIS FINANCIERO

Evolución de precios

Los precios de venta implícito de concentrado y cátodos de cobre presentan, en un plazo de cinco años, una caída anualizada en el orden de 2% y 3%, respectivamente. No obstante, ante lo indicado respecto a nuestras expectativas sobre el cobre en el mediano plazo, estimamos que el precio de venta de concentrado y cátodo se estabilice en US\$2.6/lb y US\$3/lb, respectivamente. Por el lado del molibdeno y la plata, estimamos precios a largo plazo de US\$12/lb y US\$15/oz, respectivamente.

Gráfico 13: Evolución de precios de venta en concentrado y cátodo de cobre (US\$/lb)

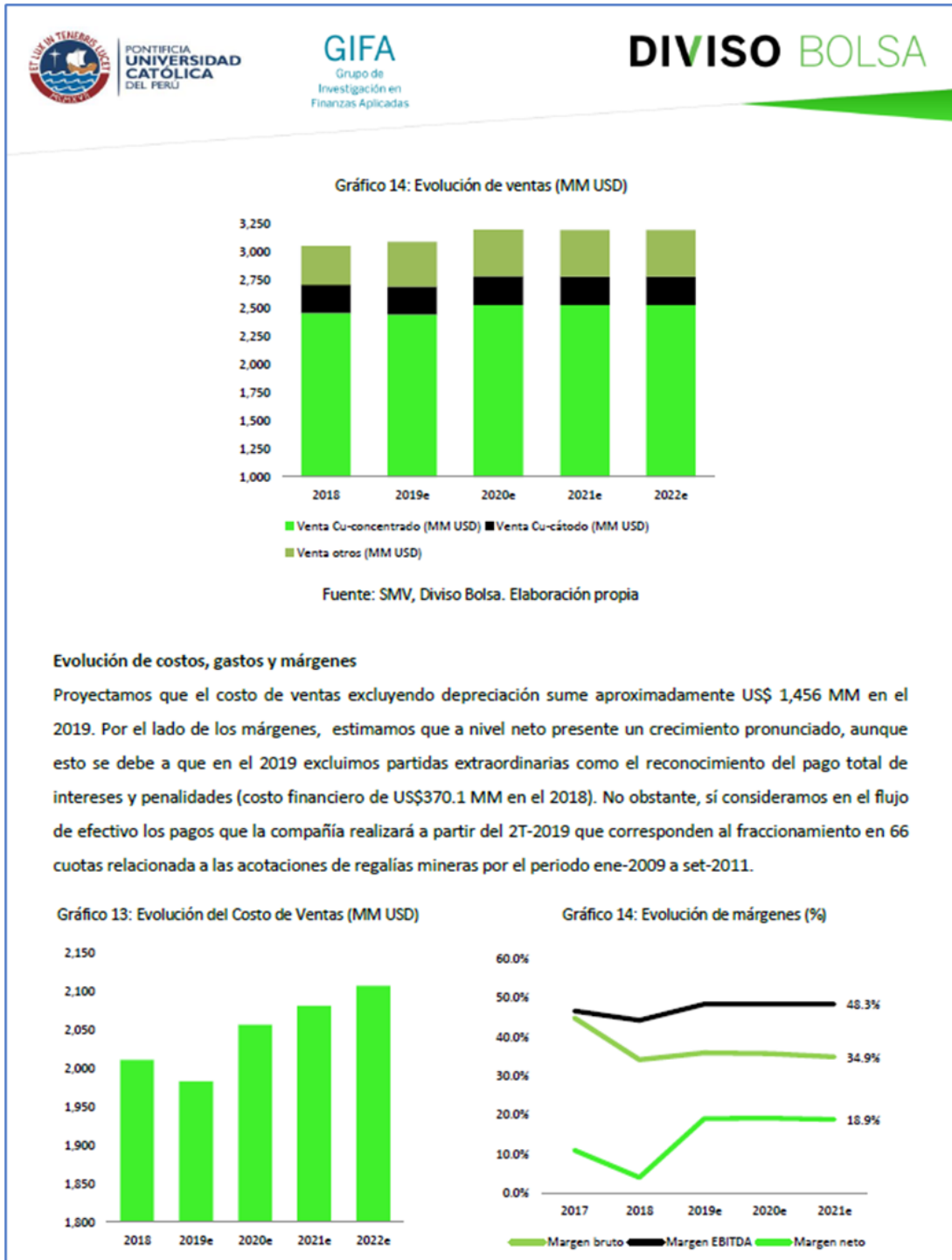


Fuente: SMV. Diviso Bolsa

Evolución de ventas

Estimamos que las ventas de cobre crezcan 1% en el 2019 (alcanzando US\$3,091 MM) impulsadas, principalmente, por el mayor precio de venta (tanto a nivel de concentrado como cátodo). A partir del 2020, estimamos que las ventas de cobre se expandan en medida que la producción aumente conforme se establezca el tratamiento en la planta de concentrado hasta una máxima capacidad de 409,000 tpd. Por el lado de otros ingresos, estimamos que sean estables debido a que los niveles de producción deberían normalizarse en 21 MM de libras de molibdeno y 4 MM de onzas de plata.

Fuente: GIFA PUCP (2010). "Grupo de Investigación de Finanzas Aplicadas"



Fuente: GIFA PUCP (2010). "Grupo de Investigación de Finanzas Aplicadas"