



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE CAMIONES AUTONOMOS
EN MINA A CIELO ABIERTO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

CAMILA IGNACIA LEIVA PEÑA

PROFESOR GUÍA:
ANTONIO COUBLE CERVIÑO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FERNANDO SILVA CALONGE
BENJAMÍN GALDAMES CHÁVEZ

SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2020

RESUMEN

La necesidad de hacer más eficientes los procesos de la producción minera, marcada por la búsqueda de disminuir los costos e implementar soluciones que protejan la seguridad de las personas ha hecho que las empresas pongan el foco en sectores como la automatización de procesos. En este trabajo se aborda en específico el tema de camiones autónomos en minería a cielo abierto y consiste en la recopilación de antecedentes relevantes y el desarrollo de un estudio para una mina con operación de camiones autónomos.

La metodología desarrollada consiste en la comparación de una operación minera con camiones manuales con una operación con camiones autónomos. El estudio incluye las etapas de diseño, planificación minera y estimación de costos de operación e inversión.

Se cuenta con un caso base que corresponde a un estudio de factibilidad del proyecto para el cual se utiliza una flota de camiones de operación manual de 185 toneladas. Debido a que el camión autónomo de menores dimensiones disponible en el mercado es de 220 toneladas, se desarrolló un escenario intermedio para una operación manual de 220 toneladas.

Con respecto al diseño minero, la operación autónoma necesita espacios de operación más holgados que los utilizados con tecnología manual, principalmente para los giros, sumado a esto, el camión autónomo es de mayores dimensiones que el camión utilizado para el caso base, esto tiene como resultado un diseño minero con un 10% más de material.

Al comparar los escenarios planteados con camiones de 220 toneladas, se obtiene que la implementación de la autonomía presenta un 3% de aumento en los costos totales. En detalle, la autonomía presentó ventajas en: reducción del tamaño de la flota en un 13%, reducción de la dotación en un 14% y reducción de los costos de operación camiones, producto de un ahorro de combustible y menores costos de mantención. Sin embargo, estos ahorros no logran superar los costos propios de la operación autónoma, que corresponden a las tarifas de soporte, mantención y repuestos, además de las inversiones adicionales requeridas.

Al ser los camiones autónomos una tecnología muy poco utilizada en Chile y con pocas empresas que proveen el servicio, los costos asociados a su implementación son aún muy elevados. Se realizó un ejercicio pensando en una operación autónoma en el mediano plazo, con un mercado más competitivo y obteniendo un mayor potencial de la tecnología. Como resultado, se obtuvo una reducción de costos con respecto al escenario con camión manual, lo que indica que los avances en tecnología junto con su masificación la posicionarían como una alternativa rentable ante lo convencional.

Según los objetivos planteados y la metodología utilizada, no es posible afirmar que la implementación de camiones autónomos actualmente sea una alternativa rentable para el caso de estudio, sin embargo, todo indica que el futuro de la minería tendrá como base la adopción de la automatización en sus procesos y la evaluación del mismo caso pensando en el mediano plazo posicionan a la automatización de camiones como una buena alternativa en cuanto a reducción de costos de operación, mayor confiabilidad en la producción, buenos resultados de productividad y todo esto asegurando altos estándares de seguridad para las personas y para los equipos.

ABSTRACT

The need to make mining production more efficient, through the search for lower costs and the implementation of solutions that protect people's safety, has led companies to see sectors such as process automation. This paper deals with the issue of autonomous trucks in open pit mining and consisted in the compilation of relevant information to be able to develop the study of a copper mine that allows the operation with autonomous trucks

The methodology developed proposes the comparison of a transport system with manually operated trucks with an autonomous system. The study includes the stages of design, mining planning and estimation of operation and investment costs.

As a base case, there is a feasibility study carried out for the manual operation of trucks of 185 tons, which must be compared with the operation of autonomous trucks of 220 tons, for which an intermediate case of manual operation of 220 tons trucks was defined.

About the mining design, the autonomous operation needs wider operation spaces than those used with manual technology, mainly for turns, added to this the autonomous truck is larger than the truck used for the base case, this results in a mining design with 10% more material.

Comparing the scenarios proposed with 220 ton trucks, it is obtained that the implementation of autonomy presents a 3% increase in total costs. In detail, the autonomy presented advantages in: reduction of the size of the fleet by 13%, reduction of the labour project by 14% and reduction of the truck operating costs, as a result of fuel savings and lower maintenance costs. However, these savings do not exceed the autonomous operation's own costs, which correspond to the support, maintenance and spare parts fees, in addition to the additional investments required.

As autonomous trucks are a little used technology in Chile and with few companies provide the service, the costs associated with their implementation are still very high. An exercise was carried out thinking of an autonomous operation in the medium term, with a more competitive market and obtaining a greater benefit from the technology. For this case, a reduction was obtained with respect to the manual truck scenario, which indicates that the advances in technology, together with its greater implementation in the industry, would position it as a cost-effective alternative to the conventional.

According to the objectives and the methodology used, it is not possible to affirm that the implementation of autonomous trucks is a cost-effective alternative for the current case study, however, everything indicates that the future of mining will be based on the adoption of the automation in their processes, and the evaluation of the same case thinking in the medium term position the automation of trucks as a better alternative in terms of reduction of operating costs, greater reliability in production, good productivity results and all this ensuring high safety standards for people and equipment.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a los profesores que me ayudaron durante mi trabajo de título: Sr. Antonio Couble, por su infinita paciencia durante mi proceso de titulación, además de su valioso aporte en experiencia e indicaciones para terminar este trabajo. Al Sr. Fernando Silva y el Sr. Benjamín Galdames por la buena disposición y el tiempo dedicado en la corrección de mi trabajo.

Agradecer a mis amigas del colegio y de la vida por estar siempre presentes. Agradecer mis compañeros de la Universidad, por todos los buenos años que pasamos juntos y muy especialmente al Kiwi, por ser ese amigo fiel que cualquiera quisiera tener.

Agradezco a mi familia por toda la confianza que depositan en mí. A mi mamita, Vilma, por todo su amor, entereza y por incentivarme desde pequeña a estudiar y cumplir mis objetivos. A mi padre, Marco, a quien llevo en mi corazón, por cuidarme y ayudarme desde arriba cada vez que lo he necesitado, sé que estaría orgulloso de mí. A mis hermanas, Natalia y Paola, por todos los momentos bonitos que hemos vivido juntas y por mostrarme que el lazo de hermanas es inquebrantable. A mis sobrinos, mi Tita, abuelos, tíos, primos y a toda mi hermosa familia, soy muy afortunada de tenerlos a todos ustedes.

Toda la gratitud posible para Mario, por su incondicional apoyo durante estos 10 años. Has sido mi compañero desde la facultad y hemos estado juntos en todas, muchas gracias por ser parte de mi vida y estar presente en cada etapa, especialmente en esta nueva etapa de padres.

Finalmente, agradecer a mi hijo Martín, quien llegó hace pocos meses a revolucionar mi mundo y se transformó en la motivación que necesitaba para culminar este proceso después de tantos años. Gracias por venir a compartir tu vida conmigo y ser mi mayor inspiración, este trabajo te lo dedico a ti.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivación	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Alcances	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Desafíos Actuales	3
2.1.1. Desafíos económicos	3
2.1.2. Desafíos laborales y técnicos	5
2.1.3. Desafíos tecnológicos	6
2.2. Automatización	6
2.2.1. Descripción	6
2.2.2. Descripción del sistema autónomo de camiones mineros	7
2.2.3. Proveedores de camiones autónomos	9
2.2.4. Implementación de camiones autónomos en Minería	11
3. METODOLOGÍA	13
3.1. Recopilación de antecedentes camiones autónomos	14
3.2. Diseño de fases mineras para operación autónoma	15
3.3. Plan Minero para fases mineras de operación autónoma	15
3.1. Evaluación económica para cada escenario	15
4. INFORMACIÓN DE ENTRADA	16
4.1. Modelo de Recursos	16
4.2. Topografía	16
4.3. Envoltentes Whittle	17
5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA CAMIONES AUTÓNOMOS	27
5.1. Criterios de diseño	27
5.1.1. Ancho de ruta	27
5.2. Pendiente de rampa	28
5.3. Áreas de carga	28
5.4. Switchback y radio de giro	29
6. DISEÑO DE FASES OPERATIVAS CAMIÓN AUTÓNOMO	30
7. PLAN DE PRODUCCIÓN	44
7.1. Criterios para plan de producción	44
7.2. Plan minero	44
7.3. Análisis del Plan Minero	46
7.4. Comparación plan autónomo vs plan caso base	47
8. CALCULO DISTANCIAS DE TRANSPORTE	51
9. EVALUACIÓN ECONÓMICA	53

9.1.	Flota de equipos.....	53
9.1.1.	Requerimiento equipos de carguío	54
9.1.2.	Requerimiento equipos de transporte	55
9.1.3.	Requerimiento de equipos de perforación	57
9.1.4.	Requerimiento de equipos auxiliares y de soporte	58
9.2.	Dotación	60
9.3.	Costos de operación.....	65
9.4.	Costos de inversión.....	67
10.	ANÁLISIS DE COSTOS	69
10.1.	Escenario actual.....	69
10.2.	Escenario futuro.....	72
11.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	76
12.	BIBLIOGRAFÍA	79
	ANEXO A: RECURSOS Y PLANES MINEROS	80
	ANEXO B: ADQUISICIÓN EQUIPOS	89
	ANEXO C: COSTOS DE OPERACIÓN	95
	ANEXO D: COSTOS DE INVERSIÓN	98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS C1, BASE 2055=100 (FUENTE COCHILCO)	3
FIGURA 2-2: ESTRUCTURA DE COTOS C3 DEL PROMEDIO 2013 Y 2014 (FUENTE COCHILCO)	3
FIGURA 2-3: LEYES HISTÓRICAS DE LAS MINAS EN CHILE (FUENTE COCHILCO)	4
FIGURA 2-4: RECURSOS Y RESERVAS DE COBRE FINO (FUENTE COCHILCO)	4
FIGURA 2-5: RESERVAS V/S LEYES PROMEDIO DE COBRE	4
FIGURA 2-6: CONSUMO MUNDIAL DE COBRE REFINADO POR ZONA EN MILES DE TONELADAS	5
FIGURA 2-7: ESCASEZ DE TRABAJADORES CALIFICADOS (REPORTE CCM, 2017)	5
FIGURA 2-8: EVOLUCIÓN DE LA TASA DE FATALIDAD, AÑOS 1988-2017 (SERNAGEOMIN 2017)	6
FIGURA 2-9: CAMIÓN AUTÓNOMO (GABRIELA MISTRAL-CODELCO)	10
FIGURA 2-10: CAMIÓN AUTÓNOMO (CATERPILLAR)	10
FIGURA 2-11: CAMIÓN AUTÓNOMO (HITACHI)	11
FIGURA 3-1: DEFINICIÓN ESCENARIOS DE ESTUDIO	13
FIGURA 3-2: METODOLOGÍA DE TRABAJO	14
FIGURA 4-1: TOPOGRAFÍA	17
FIGURA 4-2: ZONIFICACIÓN DISEÑO - ÁNGULOS DE TALUD GLOBALES	18
FIGURA 4-3: TONELAJES Y LEYES VS PRECIO DE DISEÑO	19
FIGURA 4-4: FASE 1 Y FASE 2	20
FIGURA 4-5: FASE 3 Y FASE 4	21
FIGURA 4-6: FASE 5 Y FASE 6	22
FIGURA 4-7: FASE 7 Y FASE 8	23
FIGURA 4-8: FASE 9 Y FASE 10	24
FIGURA 5-1: DIAGRAMA ANCHO DE RAMPA TOTAL PARA CAMIONES AUTÓNOMOS	28
FIGURA 5-2: PENDIENTE DE RAMPA RECOMENDADO CAMIONES AUTÓNOMOS	28
FIGURA 5-3: DIAGRAMA DE SWITCHBACK	29
FIGURA 6-1: SECUENCIA PITS WHITTLE	30
FIGURA 6-2: DISTRIBUCIÓN DE FASES	31
FIGURA 6-3: FASE 1 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	32
FIGURA 6-4: FASE 2 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	33
FIGURA 6-5: FASE 3 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	34
FIGURA 6-6: FASE 4 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	35
FIGURA 6-7: FASE 5 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	36
FIGURA 6-8: FASE 6 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	37
FIGURA 6-9: FASE 7 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	38
FIGURA 6-10: FASE 8 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	39
FIGURA 6-11: FASE 9 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	40
FIGURA 6-12: FASE 10 - OPERACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS	41
FIGURA 6-13: COMPARACIÓN LÍMITE PIT FINAL	42
FIGURA 7-1: TONELAJE POR MATERIAL Y LEY MEDIA DE CU	46
FIGURA 7-2: COMPARACIÓN MOVIMIENTO TOTAL PLANES MINEROS	48
FIGURA 7-3: COMPARACIÓN ALIMENTACIÓN A CHANCADOR PLANES MINEROS	50
FIGURA 8-1: LAYOUT GENERAL	51
FIGURA 8-2: COMPARACIÓN DISTANCIA MEDIA POR PERIODO	52
FIGURA 8-3: COMPARACIÓN KILOTONELADA-KILÓMETRO POR PERIODO	52
FIGURA 9-1: ÍNDICES OPERACIONALES	53
FIGURA 9-2: REQUERIMIENTO EQUIPOS DE CARGUÍO	55
FIGURA 9-3: REQUERIMIENTO EQUIPOS DE TRANSPORTE	57
FIGURA 9-4: REQUERIMIENTO DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN	58
FIGURA 9-5: REQUERIMIENTO DE EQUIPOS AUXILIARES	59
FIGURA 9-6: REQUERIMIENTO DE EQUIPOS DE SOPORTE	60
FIGURA 9-7: REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA	64
FIGURA 9-8: GASTO TOTAL MANO DE OBRA	64

FIGURA 10-1: COMPARACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y CAPITAL.....	71
FIGURA 10-2: ANÁLISIS DE COSTOS	72
FIGURA 10-3: COMPARACIÓN DE COSTOS – ESCENARIO INTEROPERABILIDAD	74

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4-1: CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE BLOQUES	16
TABLA 4-2: PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN WHITTLE	17
TABLA 4-3: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PERFILES GEOTÉCNICOS.....	18
TABLA 4-4: RESUMEN CUBICACIÓN DE FASES – CASO BASE	25
TABLA 4-5: PLAN MINERO – CASO BASE.....	26
TABLA 5-1: ÁREAS DE CARGA REQUERIDAS PARA CAMIONES AUTÓNOMOS.....	29
TABLA 6-1: RESUMEN CUBICACIÓN DE FASES – CASO AUTÓNOMO	43
TABLA 7-1: PLAN MINERO – DETALLE POR AÑO.....	45
TABLA 7-2: COMPARACIÓN MOVIMIENTO MINA TOTAL	47
TABLA 7-3: COMPARACIÓN ALIMENTACIÓN A CHANCADOR.....	49
TABLA 8-1: DISTANCIAS PROMEDIO	51
TABLA 9-1: EQUIPOS PRINCIPALES OPERACIÓN.....	54
TABLA 9-2: PARÁMETROS EQUIPOS DE CARGUÍO	54
TABLA 9-3: NÚMERO MÁXIMO DE EQUIPOS DE CARGUÍO	55
TABLA 9-4: ÍNDICES OPERACIONALES PARA CAMIÓN.....	56
TABLA 9-5: VELOCIDADES DE CAMIONES.....	56
TABLA 9-6: MÁXIMO REQUERIMIENTO EQUIPOS AUXILIARES.....	59
TABLA 9-7: MÁXIMO REQUERIMIENTO EQUIPOS DE SOPORTE	59
TABLA 9-8: DOTACIÓN PARA ADMINISTRACIÓN MINA.....	61
TABLA 9-9: CÁLCULO OPERADORES DE EQUIPOS.....	62
TABLA 9-10; SUELDO BASE OPERADORES Y MECANIOS	63
TABLA 9-11: REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA.....	63
TABLA 9-12: COSTOS DE OPERACIÓN UNITARIOS	65
TABLA 9-13: CONSUMO DE COMBUSTIBLE EQUIPOS.....	65
TABLA 9-14: COSTO DE MANTENCIÓN.....	66
TABLA 9-15: VIDA ÚTIL DE NEUMÁTICOS	66
TABLA 9-16: COSTO CONTROL DE TALUDES	66
TABLA 9-17: UTILIZACIÓN EQUIPOS AUXILIARES	67
TABLA 9-18: COSTO ADQUISICIÓN EQUIPOS	68
TABLA 10-1: GASTO TOTAL DE OPERACIÓN	69
TABLA 10-2: COSTO DE OPERACIÓN UNITARIO	70
TABLA 10-3: COSTO DE INVERSIÓN TOTAL.....	70
TABLA 10-4: COMPARACIÓN COSTOS DE OPERACIÓN Y CAPITAL.....	71
TABLA 10-5: COMPARACIÓN DE COSTOS – ESCENARIO INTEROPERABILIDAD	75

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

El contexto actual de la minería enfrenta varios desafíos, entre los que destacan: mejorar las productividades en el proceso minero, disminuir los costos de operación e implementar soluciones que protejan la salud y seguridad de los trabajadores. Esto ha hecho que las empresas estén interesadas en la tecnología y las soluciones que esta ofrece.

Lo que hace unos años parecía muy lejano, hoy es una realidad en diversas faenas nacionales y del mundo. La automatización está cada día más presente en la actividad minera y su rápido desarrollo indica que en el mediano plazo la mayoría de los procesos serán altamente automatizados, con operaciones gestionadas desde fuera de la mina.

Se habla de camiones autónomos desde hace más de dos décadas, pero son pocas empresas nacionales que han tomado el riesgo de innovar en sus operaciones, sin embargo, en los últimos años el tema está cobrando una mayor relevancia en distintas empresas que ya están solicitando estudios y presupuestos para evaluar la alternativa del transporte mediante camiones mineros autónomos.

1.2. Motivación

Considerando los desafíos que enfrenta la industria minera hoy en día y en particular en la operación de camiones de minería a cielo abierto, se ha visto en la automatización de camiones una de las posibles soluciones para mejorar el sistema de transporte en los ámbitos de seguridad, producción y operatividad. Algunos de los espacios de mejora que se pueden esperar son los mencionados a continuación:

- **Aumento en la seguridad:** Existe una disminución de personal en la operación de terreno expuesto a condiciones potencialmente peligrosas.
- **Mejoras en continuidad operacional:** Al ser un sistema integrado en una central, es factible mejorar el funcionamiento del sistema en su conjunto.
- **Reducción de costos operacionales:** El sistema trabaja con velocidades menos variables, lo que minimiza las aceleraciones, permitiendo ahorrar combustible y disminuir el desgaste de neumáticos.
- **Mejoras en la utilización de los equipos** y como consecuencia, mejoras en la utilización del capital, ya que se obtiene una operación sin recesos a lo largo del turno.

Por estas razones es que resulta importante estudiar el comportamiento de un sistema autónomo en camiones, ya sea empíricamente o matemáticamente y determinar si las ventajas y desventajas comparativas en la utilización de camiones autónomos resultan favorables en un resultado global.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el impacto que genera el uso de camiones autónomos en el diseño, planificación, productividad y costos para el caso de un proyecto real que se encuentra evaluando la alternativa de implementar la tecnología.

1.3.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del presente estudio son los presentados a continuación:

- Investigar fortalezas y debilidades de ambas tecnologías (manual y autónoma)
- Realizar diseños y planes mineros considerando los parámetros requeridos para la aplicación de autonomía.
- Evaluar desde el punto de vista económico los escenarios propuestos.

1.4. Alcances

El presente estudio se enfoca en la automatización en minería de cielo abierto, específicamente en el sistema de transporte el cual puede realizarse mediante camiones manuales o autónomos. Por lo tanto, no se considera la automatización del resto de equipos necesarios para la operación de la mina, pero si se considerara la interacción de estos con los camiones, tanto operacionalmente como en el diseño. Los alcances específicos se mencionan a continuación:

- El caso de estudio corresponde a un yacimiento ubicado al norte de Chile con explotación a rajo abierto que produce concentrado de cobre con contenido de oro. La factibilidad del proyecto fue realizada utilizando una flota de camiones de operación manual de 185 toneladas, pero actualmente se está evaluando la alternativa de operar con camiones autónomos.
- La mina tiene un movimiento mina de 142 kt/día y produce 20 kt/día de mineral.
- Para el desarrollo del trabajo se utilizarán el caso del estudio de factibilidad como caso base. Del cual se tiene un diseño de 10 fases operativas del proyecto, planes mineros y cálculo de costos de operación y costos de capital.
- Se realizarán rediseños de fases considerando nuevos parámetros, luego los planes mineros se desarrollan en MinePlan y el cálculo de perfiles de distancias de transporte en MineHaul.
- Las empresas proveedoras de los datos necesarios para el desarrollo del estudio es de carácter confidencial.
- Se utilizarán datos encontrados en fuentes públicas para la construcción del modelo de costos.

2. ANTECEDENTES

En este capítulo se abordan los antecedentes disponibles para el desarrollo del estudio.

2.1. Desafíos Actuales

Cualquier actividad que perdura en el tiempo se ve en la necesidad de evolucionar e innovar en los conceptos que la caracterizan. Es así como surgen desafíos a resolver y la minería a cielo abierto no es la excepción. Hoy en día el escenario minero es desafiante en problemas de distinta índole, que abarcan temas económicos, laborales, técnicos y tecnológicos. A continuación, se presentan algunos de dichos desafíos.

2.1.1. Desafíos económicos

- Aumento en costos de producción

Los costos de producción de un metal corresponden a los costos directos e indirectos incurridos en la extracción mineral, reducción de tamaño, concentración, fundición y refinación. El alza en los precios de los combustibles, energía, agua y otros insumos necesarios para la operación minera, sumado a las mayores exigencias técnicas y de accesibilidad a los yacimientos aún no explotados, han provocado un drástico aumento en los costos de producción de los proyectos mineros. La siguiente figura refleja esta alza por medio de los costos unitarios de la producción de cátodos de Cobre en Chile para la última década.

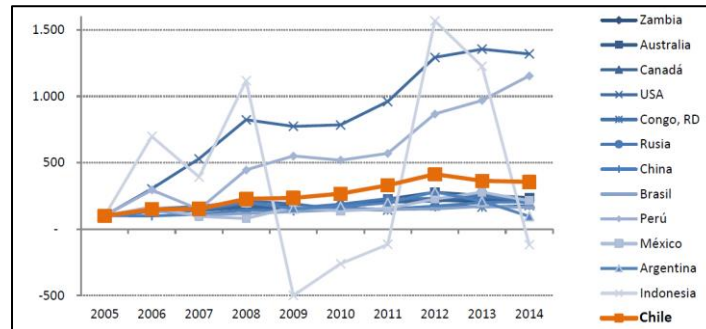


Figura 2-1: Evolución de los costos CI, base 2005=100 (Fuente COCHILCO)

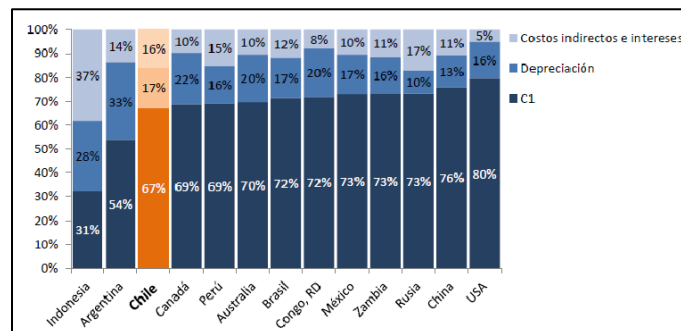


Figura 2-2: Estructura de costos C3 del promedio 2013 y 2014 (Fuente COCHILCO)

- Baja de leyes de mineral

La ley promedio de cobre por país es un indicador relevante ya que define la calidad de las reservas mineras. En las minas activas de Chile esta viene a la baja desde hace más de 10 años, como se puede ver en el siguiente gráfico (Ref: COCHILCO, Competitividad de la minería chilena del cobre)

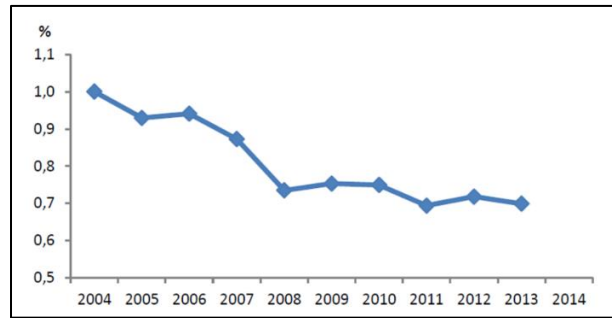


Figura 2-3: Leyes históricas de las minas en Chile (Fuente COCHILCO)

Luego, al observar los gráficos de recursos y reservas por países, además de sus leyes promedio, es posible desprender que incluso en promedio mundial las leyes son relativamente bajas en los últimos años. Esto es en base a operaciones y proyectos mineros mundiales de Wood Mackenzie, considerando operaciones actuales y futuras.

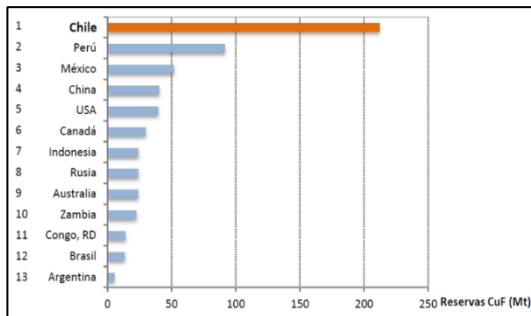


Figura 2-4: Recursos y reservas de cobre fino (Fuente COCHILCO)

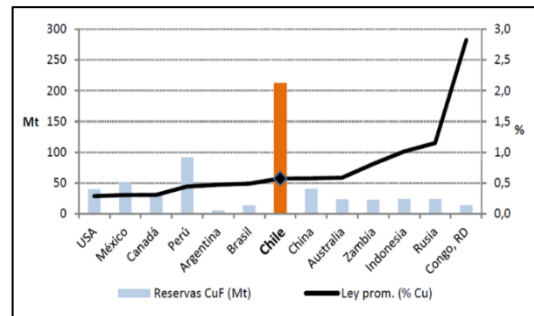


Figura 2-5: Reservas v/s leyes promedio de cobre

- Aumento en la demanda de metales

La industrialización y urbanización experimentada en la última década en China y otros países asiáticos emergentes han tenido un papel importante en el significativo aumento de la demanda global de metales. En el caso del consumo de cobre refinado este aumento ha sido del orden del 30% en los últimos diez años (Cochilco, 2017).

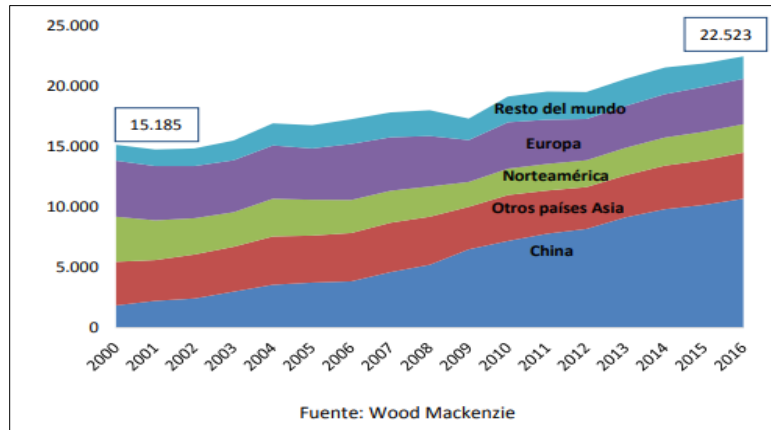


Figura 2-6: Consumo mundial de cobre refinado por zona en miles de toneladas

2.1.2. Desafíos laborales y técnicos

- Reemplazo

El auge de la minería ha generado en los últimos años un déficit de trabajadores calificados en el rubro minero alrededor del mundo. Junto a esto se debe considerar que la fuerza laboral ha ido envejeciendo y una insatisfacción de las condiciones laborales, lejanía y comodidades características de los trabajos en faena. Esto último hace más común la alta rotación y baja estabilidad del personal. Con estos antecedentes se puede suponer que los trabajadores calificados que se necesitan pueden ser más difíciles de encontrar, aún más de retener y costosos de emplear.

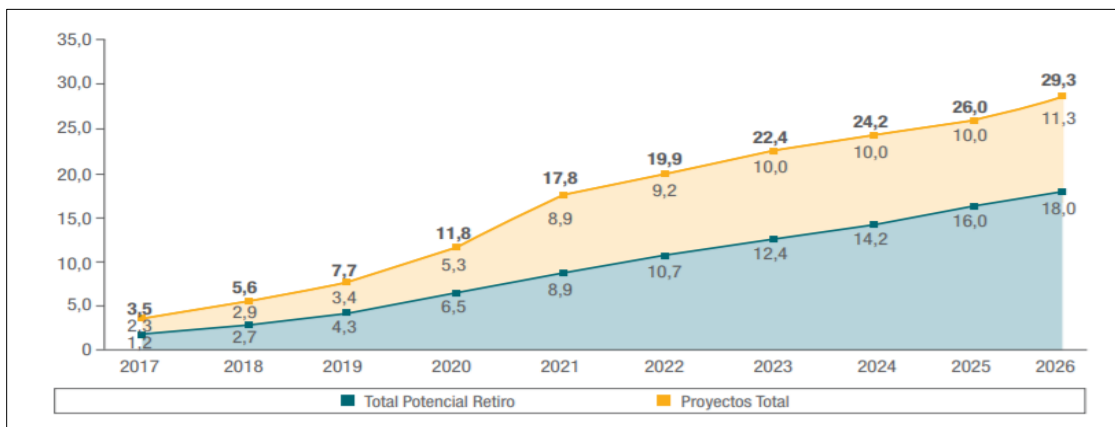


Figura 2-7: Escasez de trabajadores calificados (Reporte CCM, 2017)

- Seguridad

Con la ayuda de la modernización del rubro minero, además de la incorporación de procedimientos estandarizados para la realización de los distintos trabajos, se ha logrado una sostenida baja de la tasa de fatalidad como se puede apreciar en el gráfico siguiente.



Figura 2-8: Evolución de la tasa de fatalidad, años 1988-2017 (SERNAGEOMIN 2017)

Sin embargo, las condiciones laborales en general en las labores mineras siguen siendo deficientes por continuas exposiciones a polvo, ruido, suciedad, espacios confinados y zonas aisladas. En particular los riesgos principales en una operación a cielo abierto son el desprendimiento de rocas, la falla de taludes y la interacción entre trabajadores y grandes equipos móviles.

2.1.3. Desafíos tecnológicos

- Automatización

El desafío que se presenta en cuanto a la automatización en minería de cielo abierto es la implementación, validación y perfeccionamiento de los camiones autónomos. Además de poder extender el sistema autónomo al resto de los equipos que participan de la producción.

2.2. Automatización

2.2.1. Descripción

La automatización se define como la administración inteligente de un sistema que, usando tecnología apropiada, es capaz de operar sin la necesidad de que un humano intervenga directamente. Lo anterior es generalmente logrado por medio de un sistema computarizado.

La automatización no es un concepto absoluto y es mejor entenderlo como una serie de niveles continuos, que van desde un control completamente manual hasta el extremo opuesto, un control completamente autónomo sin interacción humana. En el ámbito minero la automatización se clasifica en tres niveles (Horberry et al, 2010):

- **Nivel bajo de automatización:** Sistemas que son controlados completamente y en todo momento por el operador, la tecnología sólo proporciona asistencia o advertencias. Aproximadamente la mitad de los sistemas caen en esta categoría, lo que se explica porque estos son más sencillos de desarrollar e instalar. La mayoría de las tecnologías de este nivel son sistemas de alerta de

colisiones e indicadores de mantenimiento. Este tipo de automatización corresponde a un nivel predictivo.

- **Nivel medio de automatización:** Se incluyen sistemas controlados remotamente y semi-autónomos. En esta categoría el operador controla el sistema sólo en algunas etapas del proceso o bien lo hace desde un lugar cercano. Cerca de un cuarto de los sistemas pertenecen a esta categoría. Un ejemplo son los sistemas de detección de colisiones que detienen el equipo automáticamente cuando una colisión es considerada inminente. Este tipo de automatización corresponde a un nivel reactivo.
- **Automatización completa:** En esta categoría el operador se encuentra físicamente lejos del equipo, aun cuando el operador interactúa con el equipo por medio de la pantalla del computador, joysticks, sensores y otros controles e indicadores, éste funciona de manera autónoma. Alrededor de un cuarto de los sistemas corresponden a esta categoría y un ejemplo son los camiones autónomos. Este tipo de automatización corresponde a una automatización con retroalimentación

2.2.2. Descripción del sistema autónomo de camiones mineros

Es un sistema diseñado para el transporte de materiales con camiones mineros de alto tonelaje. Este sistema, a través del uso de tecnología avanzada y con apoyo del sistema de posicionamiento global permite dentro de otras cosas que la flota de transporte pueda:

- Transitar a través de rutas e intersecciones mediante cursos predefinidos.
- Desplazarse dentro de áreas de carga y acular para ser cargado, mediante un curso definido por el operador de carguío.
- Moverse dentro de botaderos, acularse y descargar.
- Realizar procesos de vaciado en el chancador.
- Optimizar la asignación de la flota mediante un sistema de despacho.

El sistema autónomo presenta diversas ventajas competitivas, que permite a sus usuarios contar con una gran cantidad de beneficios, los que son descritos a continuación:

Seguridad: La seguridad es uno de los valores fundamentales en una operación sustentable y es por eso que la operación autónoma genera un mayor interés, ya que entrega mayor seguridad en diferentes ámbitos:

- Seguridad para los trabajadores
 - Permite una menor exposición a riesgos asociados a la operación de maquinaria pesada y a riesgos asociados a la exposición de agentes de higiene industrial.
 - Menor exposición de operadores a condiciones ambientales extremas: frío cordillerano, calor en el desierto, polvo en suspensión.
 - Reducción ausentismo por licencias médicas.

- Se evita la fatiga propia de conducir en turnos nocturnos y la desconcentración y cansancio de las personas mientras conducen camiones.
- Se evitan los accidentes por falta de visión (puntos ciegos del operador de camión), baja visibilidad por neblina o encandilamiento al amanecer.
- Mejora en el clima laboral por reducción de estrés en la operación
- Seguridad de los activos
- Mayor control de los camiones, evitando accidentes por descoordinación entre equipos.
- Se eliminan las maniobras arriesgadas y fuera de procedimiento como descargas en botaderos golpeando pretiles, excesos de velocidad, giros y curvas a velocidad mayor que la recomendada, etc.

- Seguridad en los procesos
- Mejor desempeño en los indicadores de seguridad.
- Reducción a la exposición legal/social por consecuencia de accidentes de alta gravedad.
- Impacto en la imagen corporativa.

Productividad: La filosofía de operación autónoma permite generar un aumento sostenido de la productividad del activo y junto a ello una consistencia en la producción horaria, logrando un proceso estable de producción de acuerdo a la planificación. Esto es posible gracias a lo siguiente:

- Equipos en mejores condiciones para operar:
 - Mayor cuidado y mejor operación del camión.
 - Menor cantidad de fallas producto malas prácticas operacionales.
 - Mayor duración de componentes.
 - Mayor duración de neumáticos.
- Mayor utilización del equipo
 - Se eliminan quiebres operacionales como cambio de turno, colación, relevos, demoras asociadas a personas.
 - Camión se mantiene en circuitos productivos la mayor parte del tiempo disponible.
 - Camión autónomo puede operar en condiciones de baja visibilidad.
- Menor variabilidad en la operación:
 - Se mantienen ritmos de producción estables, logrando cumplir compromisos de planificación en forma sostenida.
 - La operación de camiones autónomos genera un alto estándar de caminos y sectores mina, logrando mayor eficiencia y desempeño.
 - Mayor confiabilidad del cumplimiento del plan minero establecido.

Costos: Los costos de transporte de materiales pueden verse beneficiados con la incorporación de tecnología autónoma, esto gracias a lo siguiente:

- Una mayor utilización efectiva permite una reducción de flota para cumplir con el plan minero, disminuyendo la inversión y costos operativos de la flota de camiones.
- Se genera un ahorro sobre el costo asociado al operador de camión.
- El incremento de la vida útil de neumáticos, disminuye el gasto en la compra de este insumo y su gasto en mantenimiento.
- Disminución en costo de consumo de combustible ya que el camión autónomo opera bajo envoltorio de diseño, con velocidades menos variables y con buenas prácticas operacionales.
- Mayor duración de componentes mayores, llegando a un promedio de 10% adicional en su vida útil, lo cual se traduce en una menor tarifa en costos de mantención.

2.2.3. Proveedores de camiones autónomos

Dentro de los proveedores de camiones autónomos se destacan Komatsu, Caterpillar e Hitachi, los cuales han sido los principales fabricantes de estos equipos. Un camión autónomo es un camión equipado con los siguientes componentes:

- Sistema de comunicación inalámbrico
- Sensores de navegación y detección de obstáculos
- Sistema GPS para detectar la ubicación en tiempo real del camión
- Sistema de software para control local y de supervisión

Los proveedores de camiones autónomos proporcionan el hardware requerido con sus sistemas de gestión de flotas, cada uno cuenta con su propio sistema.

- Komatsu: Modular Mining Systems
- Caterpillar: Minestar
- Hitachi: Wenco International Mining Systems

El estado del arte de los principales proveedores de camiones autónomos se describe a continuación:

Komatsu: La empresa pionera en la automatización de camiones es Komatsu con su modelo “Front Runner”. En el año 2008 se hizo entrega de 11 camiones autónomos a la mina Gabriela Mistral de CODELCO, esta fue la primera comercialización a nivel mundial del sistema. Actualmente cuenta con 18 camiones autónomos modelo 930E-AT.

El sistema equipa a cada camión con:

- GPS de alta precisión, que permite conocer la posición del camión y controlarlo a través de una sala de control en todo momento.
- Red inalámbrica que permite el flujo de información continuo
- Sistema de detección de obstáculos y personas, el cual reduce la velocidad o detención del equipo.

Codelco y Rio Tinto son los mayores exponentes de los camiones autónomos de Komatsu. Rio Tinto se comprometió a poner 150 camiones autónomos en operación en una mina futura de hierro en Pilbara, Australia occidental.



Figura 2-9: Camión autónomo (Gabriela Mistral-CODELCO)

Caterpillar: Otra empresa que ha logrado desarrollar e implementar el sistema autónomo es Caterpillar. En 2011, 3 camiones (dos 793f de 227 t y uno 793D de 218 t) fueron enviados a la mina de carbón Navajo, Nuevo México, de BHP Billiton. En 2013 la prueba concluyó con buenos resultados, se lograron mejoras en los tiempos de ciclo, utilización de los equipos y la posibilidad de instalar flotas más grandes.

El sistema equipa a cada camión con:

- GPS que provee información de ubicación y posibles rutas.
- Sensores de detección de obstáculos que provocan la detención del equipo.
- Sistema de “conciencia de proximidad” que envían información de ubicación, velocidad y disponibilidad de cargadores, con el fin de evitar colas y/o retrasos.



Figura 2-10: Camión autónomo (Caterpillar)

Hitachi: Es el más reciente participante en este mercado. Comenzó a trabajar en Abril de 2017 en la mina de carbón de Meandu en Queensland, llevando a cabo una prueba de tres años con tres camiones EH5000-AC3. Los camiones además de GPS, tienen un sistema de control que permite un control preciso de la velocidad que les permite transitar por taludes de alta pendiente en la mina de forma segura. Hitachi se encuentra aún en una etapa muy temprana en esta tecnología.



Figura 2-11: Camión autónomo (Hitachi)

2.2.4. Implementación de camiones autónomos en Minería

A continuación, se muestra una lista con operaciones mineras en las cuales se ha implementado el sistema autónomo de camiones. La mina Gabriela Mistral es la única mina de cobre y la única operación en Chile dentro del listado.

Tabla 2-1: Operaciones mineras con camiones autónomos

Año de inicio	Compañía	Mina	Mineral	Ubicación	Fabricante	Tipo de camión	Capacidad	Flota
2008	Codelco	Gabriela Mistral	Cobre	Chile	Komatsu	930E-AT	320 t	18
2009	Río Tinto	West Angelas	Hierro	Australia	Komatsu	930E-AT	320 t	5
2011	BHP	Navajo Mine	Carbón	New Mexico	Caterpillar	Cat 793F	250 t	3
2012	Río Tinto	Yandicoogina	Hierro	Australia	Komatsu	930E-AT	320 t	22
2012	Río Tinto	Hope Downs	Hierro	Australia	Komatsu	930E-AT	320 t	19
2012	Fortescue	Solomon	Hierro	Australia	Caterpillar	Cat 793F	250 t	54
2013	Río Tinto	Nammuldi	Hiero	Australia	Komatsu	930E-AT	320 t	30
2014	BHP	Jimblebar	Hierro	Australia	Caterpillar	Cat 793F	250 t	18
2017	Stanwell	Meandu	Carbón	Australia	Hitachi	EH5000AC-3	326 t	3

Actualmente Komatsu Chile es el único distribuidor en el mundo que está prestando servicios de soporte y operación de sistema autónomo en Minería de Cobre, participando activamente en la coordinación de operaciones y planificación de la mina en el mediano y corto plazo.

Komatsu lleva 14 años trabajando en operación autónoma en Chile, primero validando la tecnología con una prueba industrial en Radomiro Tomic Codelco entre 2005 y 2007 y desde fines de 2007 hasta ahora en División Gabriela Mistral. La empresa ha trabajado permanentemente en la operación de la tecnología en Chile desde 2007 a la fecha, en los ámbitos de mantención de camiones y de sistema, confiabilidad, coordinación de operaciones, planificación y supervisión de operación autónoma, ayudando a las empresas a alcanzar las metas productivas y de desempeño.

Durante largo tiempo se ha tenido que superar un período de aprendizaje inicial que tomó años, pero que en la última década ha llegado a un nivel de maduración que permite asegurar buenos resultados en productividad, máxima seguridad y confiabilidad en el sistema.

El Sistema Autónomo no es el mismo el que opera en Chile, que en Australia o Canadá. Pese a que sus especificaciones son prácticamente las mismas, el sistema se ha adaptado a las necesidades, exigencias y condiciones geográficas propias de la minería chilena, por lo que no necesariamente los desarrollos para cada versión de software son transversales.

El Sistema Autónomo que opera en Chile ha ido evolucionando en funcionalidades y configuración para adaptarse. Este desarrollo ha nacido luego de años de experiencia en la operación, donde los requerimientos se han ido traspasado a fábrica para mejorar en cada versión el sistema autónomo. Esto permite actualmente asegurar la satisfacción por el desempeño, debido a que la curva de aprendizaje del sistema ya se cumplió en los primeros 5 años de operación en Chile.

Algunos de los resultados que presenta la mina Gabriela Mistral que entregan señales de logros atribuibles a utilización de esta tecnología, son los mencionados a continuación:

- Altos estándares de seguridad reflejados en la reducción de riesgos de colisión.
- Baja variabilidad de toneladas movidas por hora.
- Casi 16 horas efectivas por día por camión
- Cumplimiento de planes de producción.
- Rendimiento de neumáticos ha aumentado de 7.864 h en 2009 a 9.299 h
- Carga del camión ha aumentado de 278 t/ciclo en 2013 a 298 t/ciclo, con cumplimiento en las políticas de sobrecarga.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo sigue las etapas regulares de planificación a largo plazo para el método de explotación a cielo abierto, sin embargo, algunas de estas se simplifican para permitir la realización del estudio en el tiempo contemplado.

El estudio consiste en la comparación de 3 diferentes escenarios para la operación de una mina a cielo abierto, las cuales se resumen en la Figura 3-1

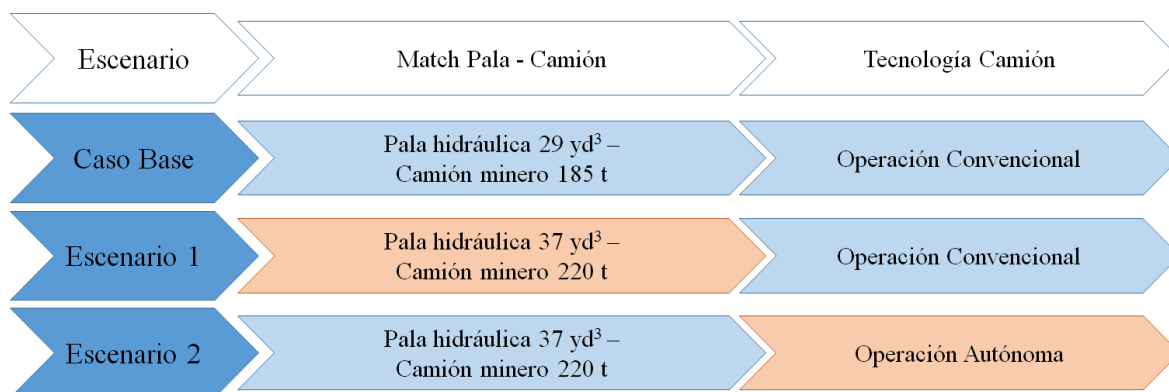


Figura 3-1: Definición escenarios de estudio

Para realizar el trabajo se tiene como información de entrada un caso base, el consiste en un estudio de factibilidad que se realizó para una operación minera a cielo abierto con equipos de operación manual, específicamente, el caso base fue realizado para la operación del match: Pala de 29 yd³ - Camión de 185 toneladas. Para este caso se cuenta con un diseño de fases operativas, un plan minero y una evaluación económica con resultado de CAPEX y OPEX.

A partir del caso base se realizan 2 escenarios considerando la operación del match: Pala de 37 yd³ - Camión de 220 toneladas, debido a que este es el camión que permite operación autónoma con dimensiones más cercanas a las del caso base.

Los pasos a seguir se presentan en el siguiente esquema y se detallan a continuación.

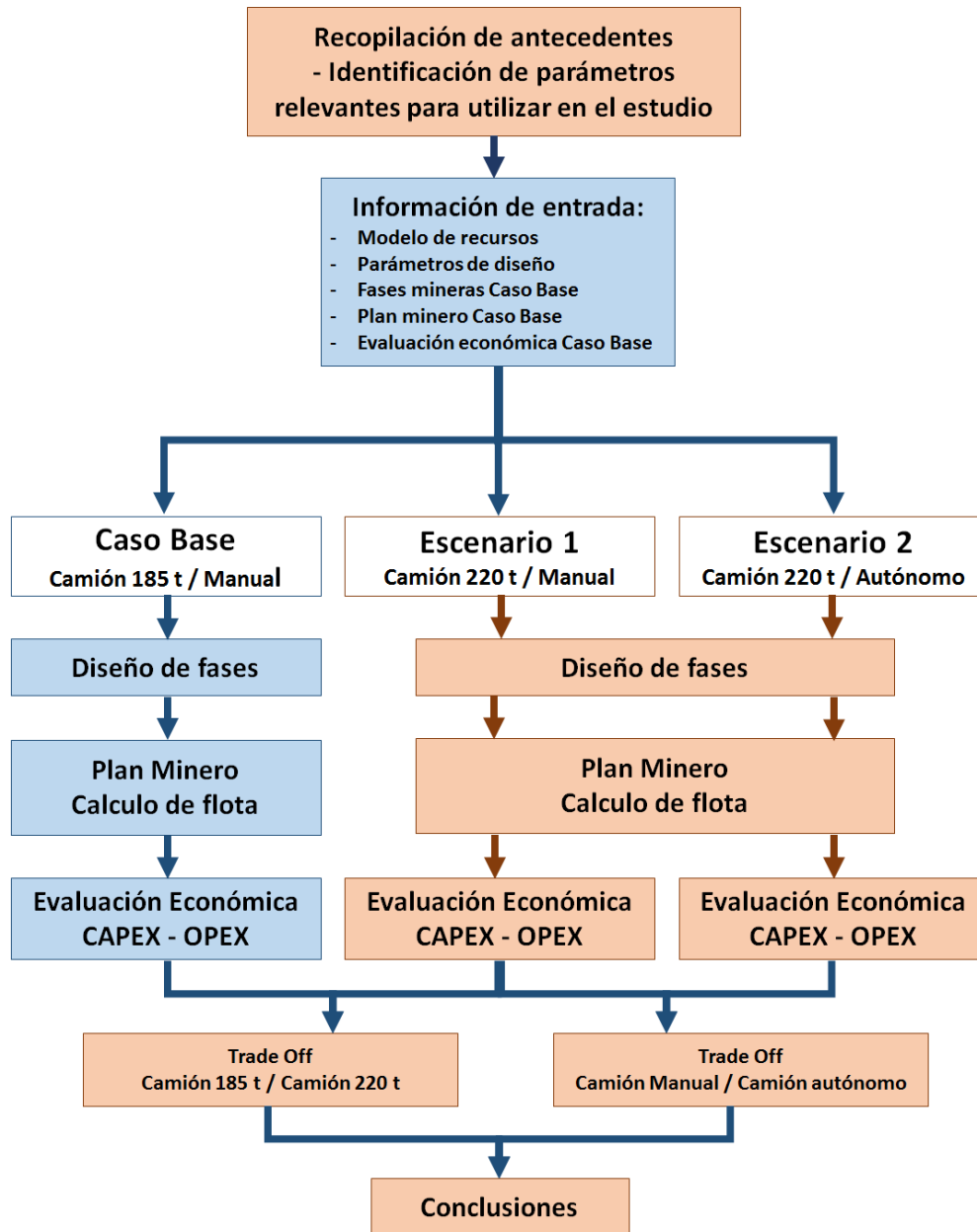


Figura 3-2: Metodología de trabajo

3.1. Recopilación de antecedentes camiones autónomos

En una primera etapa se llevó a cabo una recopilación de antecedentes relacionados con uso de tecnología autónoma en camiones para una operación minera a cielo abierto. La recopilación estuvo enfocada a información relativa a cambios experimentados o esperados por este tipo de tecnología tanto en el diseño, planificación y costos. A partir de esto se definen los principales parámetros a considerar en este trabajo.

3.2. Diseño de fases mineras para operación autónoma

Se realizan diseños de fases considerando los parámetros y criterios de diseño que permiten la operación de camiones autónomos de 220 toneladas. Los diseños de fases son realizados conservando la cantidad de mineral incluida en el pit final del caso base, lo que genera una incorporación adicional de material en el nuevo pit final.

El diseño de fases incluye rampas, ángulos de talud y anchos de berma que dependen de las características de cada zona del yacimiento, las cuales son descritas en el capítulo siguiente. Las fases de explotación se diseñaron tomando en consideración la secuencia económica de la serie Whittle del Caso Base.

Por simplificación del estudio, este diseño de fases será utilizado para la evaluación del escenario 1 y Escenario 2, ambos con operación de camión de 220 toneladas, pero con tecnología manual y autónoma respectivamente.

3.3. Plan Minero para fases mineras de operación autónoma

A partir de las cubicaciones de tonelaje y leyes para los diseños mineros obtenidos se realiza el plan minero correspondiente al caso autónomo.

El plan minero es realizado con los mismos criterios operacionales, de leyes de corte y alimentación a planta utilizados para el caso base.

Con esta información es posible obtener los perfiles de distancias de transporte para cada tipo de material asociados al plan minero, información relevante para el cálculo de la flota de transporte requerida.

3.1. Evaluación económica para cada escenario

Posteriormente, utilizando los parámetros de rendimientos, consumos y costos unitarios recopilados se realiza una evaluación económica para cada escenario.

En primer lugar, se evalúa el plan minero considerando un camión de operación manual de 220 toneladas, a partir de esto se obtiene como resultado el costo adicional que significa la implementación de una flota de camiones de mayor tamaño en la operación minera.

Luego, se evalúa el camión de 220 toneladas para una operación autónoma, considerando las ventajas y desventajas en términos de costos de operación e inversiones que se generan con la implementación de la tecnología. Como resultado se obtienen las diferencias económicas que significa la implementación de la autonomía para el mismo tamaño de camión.

4. INFORMACIÓN DE ENTRADA

4.1. Modelo de Recursos

El modelo de bloques corresponde a un yacimiento de cobre como elemento principal y oro como subproducto. El modelo fue definido del tipo “porcentual”, en donde cada bloque mantiene el valor del % de su volumen que corresponde al mineral. La Tabla 4-1 presenta los parámetros geométricos del modelo.

Tabla 4-1: Características del Modelo de Bloques

	Extensión (m)	Tamaño de Bloque (m)	Número de bloques
Coord. Este	2.600	10	260
Coord. Norte	3.200	10	320
Elevación	1.000	5	200

Considerando una ley de corte igual a 0,2% de Cobre, el tonelaje y leyes de los recursos estimados es el siguiente:

- Óxidos
 - Recursos Medidos : 10,9 Mt de 0,57 % Cu y 0,13 g/t Au
 - Recursos Indicados : 20,4 Mt de 0,53 % Cu y 0,15 g/t Au
 - Recursos Inferidos : 2,0 Mt de 0,43 % Cu y 0,15 g/t Au
- Sulfuros
 - Recursos Medidos : 47,0 Mt de 0,65 % Cu y 0,12 g/t Au
 - Recursos Indicados : 66,6 Mt de 0,67 % Cu y 0,19 g/t Au
 - Recursos Inferidos : 7,0 Mt de 0,51 % Cu y 0,13 g/t Au

4.2. Topografía

La topografía de superficie fue proporcionada en formato CAD con curvas de nivel cada 2,5 metros. A partir de dicha información se generó la triangulación y posterior contorno de la superficie de acuerdo al nivel de exactitud requerida para el estudio.

La Figura 4-1 muestra la topografía de superficie utilizada en el estudio, la cual cubre toda la extensión del modelo de bloques y los sectores de botaderos y acopios.

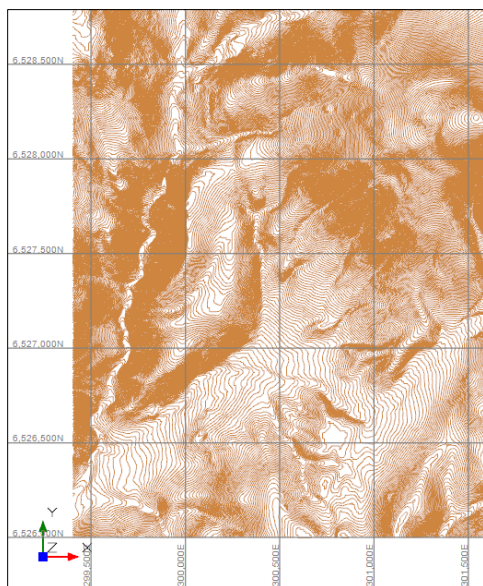


Figura 4-1: Topografía

4.3. Envoltentes Whittle

Para el cálculo de envoltentes óptimas se empleó el software Whittle 4X. Sólo el mineral sulfurado y con categoría medido o indicado tiene valor económico en este estudio, el material oxidado es considerado como estéril. Los bloques se valorizaron de acuerdo a los parámetros descritos a continuación:

Tabla 4-2: Parámetros de optimización Whittle

MINA		
Costo Mina referencia	1,13	US\$/t
Dilución mina	5	%
PROCESAMIENTO		
Costo Proceso Sulfuros	7,86	US\$/t
Recuperación Cu	88,7	%
Recuperación Au	61,9	%
VENTA		
Precio Cu	3,0	US\$/lb
Precio Au	1.200	US/oz
Costo Venta Cu	0,4	US\$/lb
Costo Venta Au	5,0	US\$/oz
OTROS PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN		
Taludes (Según sector)	22° – 54°	

Los ángulos de talud utilizados se encuentran zonificados de acuerdo a los resultados de estudios de estabilidad realizados previamente. La roseta presentada en la Figura 4-2 muestra las zonas con un resumen de los ángulos de talud utilizados.

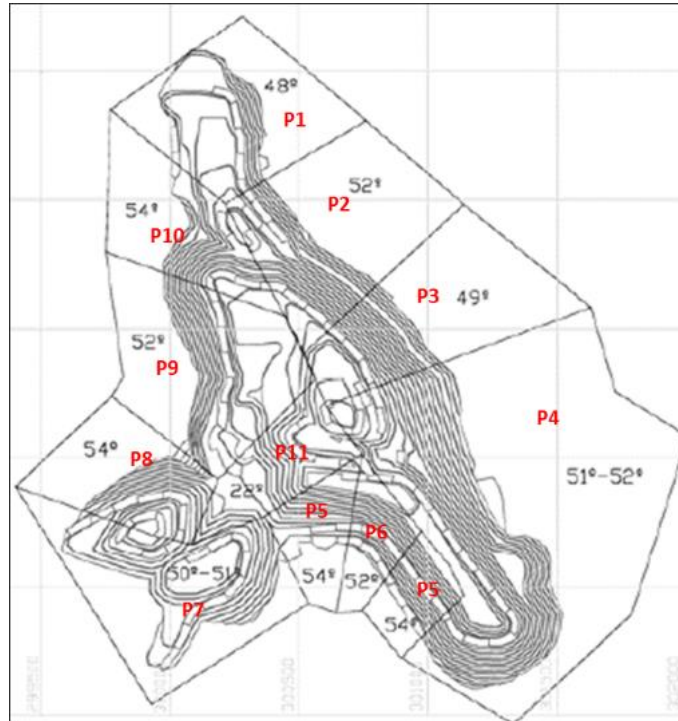


Figura 4-2: Zonificación diseño - Ángulos de talud globales

La geometría de los bancos se diseñó de acuerdo a los parámetros recomendados por para los diferentes sectores detallados en la tabla siguiente:

Tabla 4-3: Parámetros de diseño para perfiles geotécnicos

Perfil	Altura banco (m)	Tipo banco	Ang. Cara de banco (°)	Ancho berma (m)	Ángulo Interrampa (°)	Ang. Global (°)
1	20	doble	75	9,7	53	48
2	20	doble	75	8,6	55	52
3	20	doble	75	8,6	55	49
4	20	doble	75	8,6	55	51 - 52
5	20	doble	75	8,6	55	54
6	20	doble	75	8,6	55	52
7	20	doble	75	13,3	47	50 - 51
8	20	doble	75	8,6	55	54
9	20	doble	75	8,6	55	52
10	20	doble	75	8,6	55	54
11	20	doble	75	33,9	27	22

Como resultado de la corrida Whittle se obtiene la serie de pits anidados cuyas características principales se muestran en la Figura 4-3.

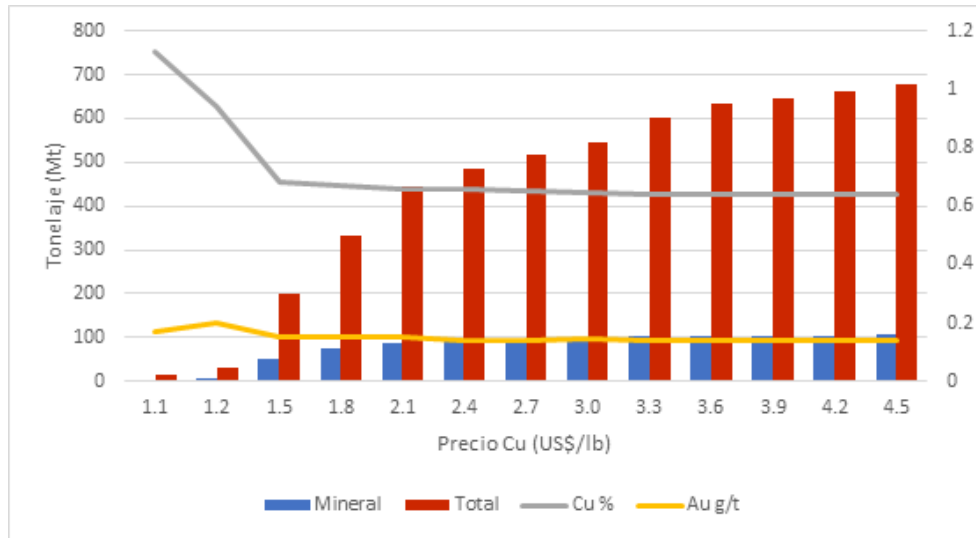


Figura 4-3: Tonelajes y leyes vs Precio de Diseño

De acuerdo al análisis y optimización presentada, la envolvente utilizada como referencia para diseñar el pit final operativo del estudio corresponde al pit de precio de diseño de 3 US\$/lb de Cobre. Las principales características de este pit son:

- Roca Total : 546,3 Mt
- Mineral (sobre 0.2% Cu) : 98 Mt
- Ley Media Cu : 0,647 %
- Ley Media Au : 0,143 g/t
- Razón Lastre/Mineral : 4,6

Utilizando los parámetros y criterios indicados anteriormente fueron diseñadas las 10 fases operativas que se muestran en las Figura 4-4 y Figura 4-8.

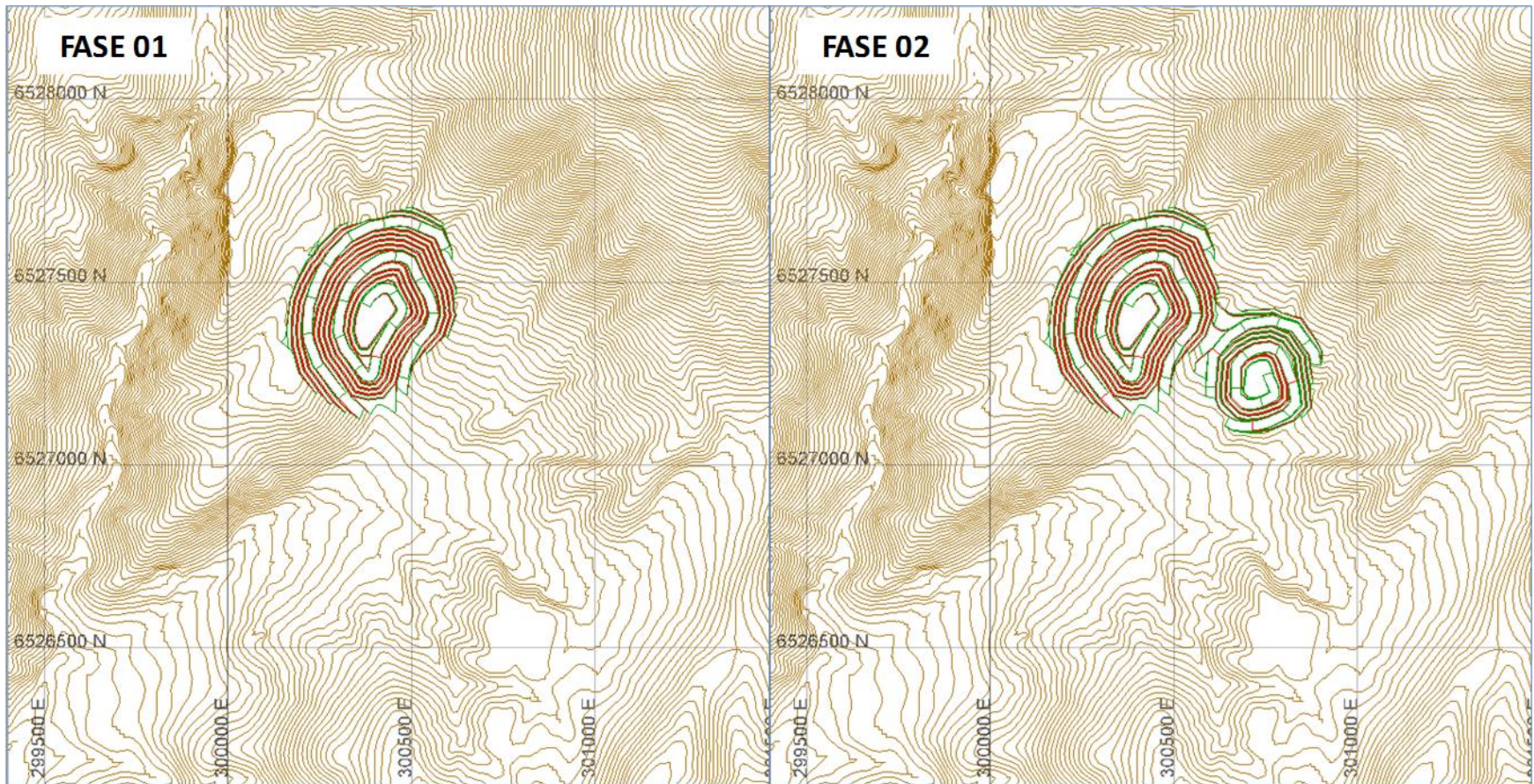


Figura 4-4: Fase 1 y Fase 2

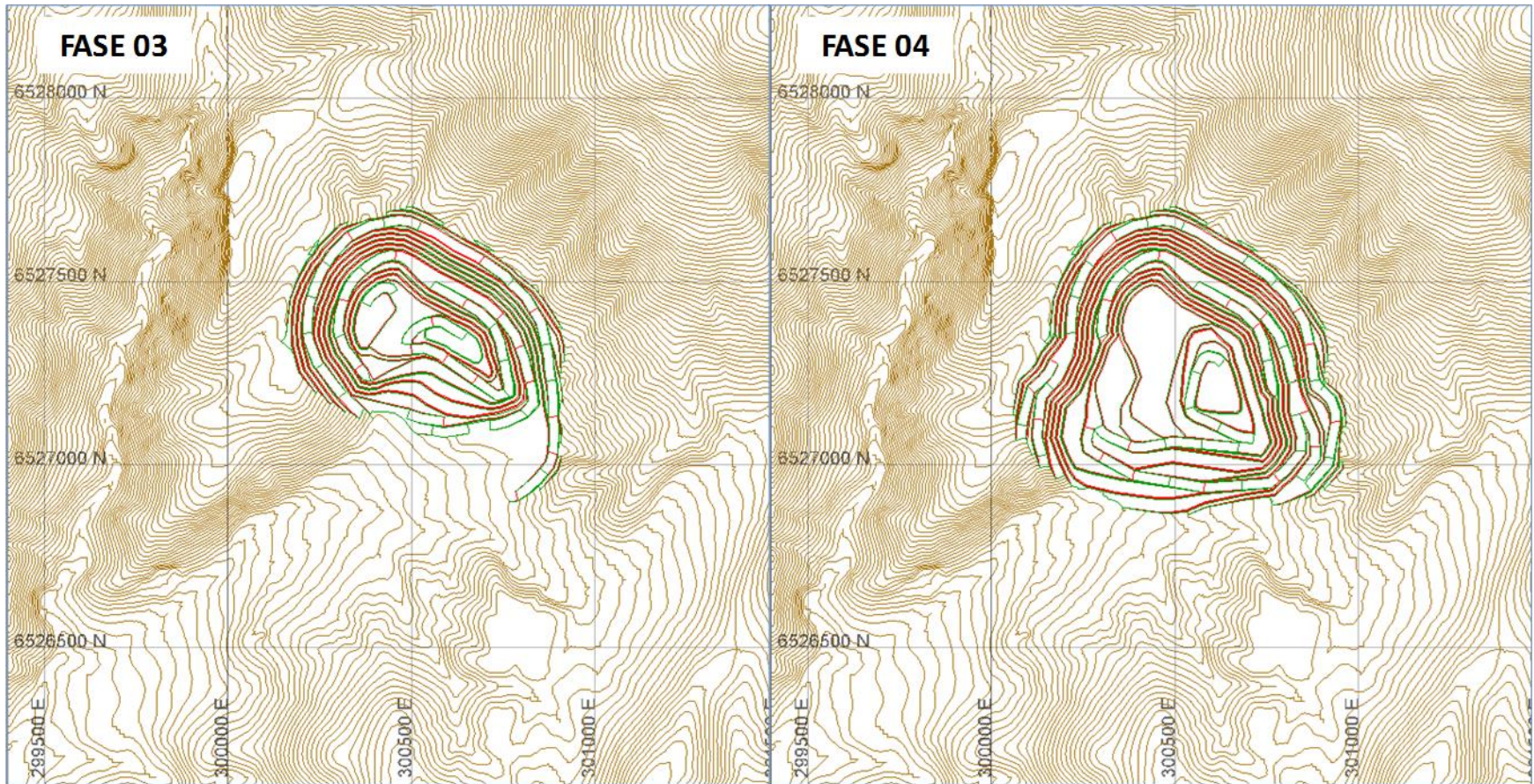


Figura 4-5: Fase 3 y Fase 4

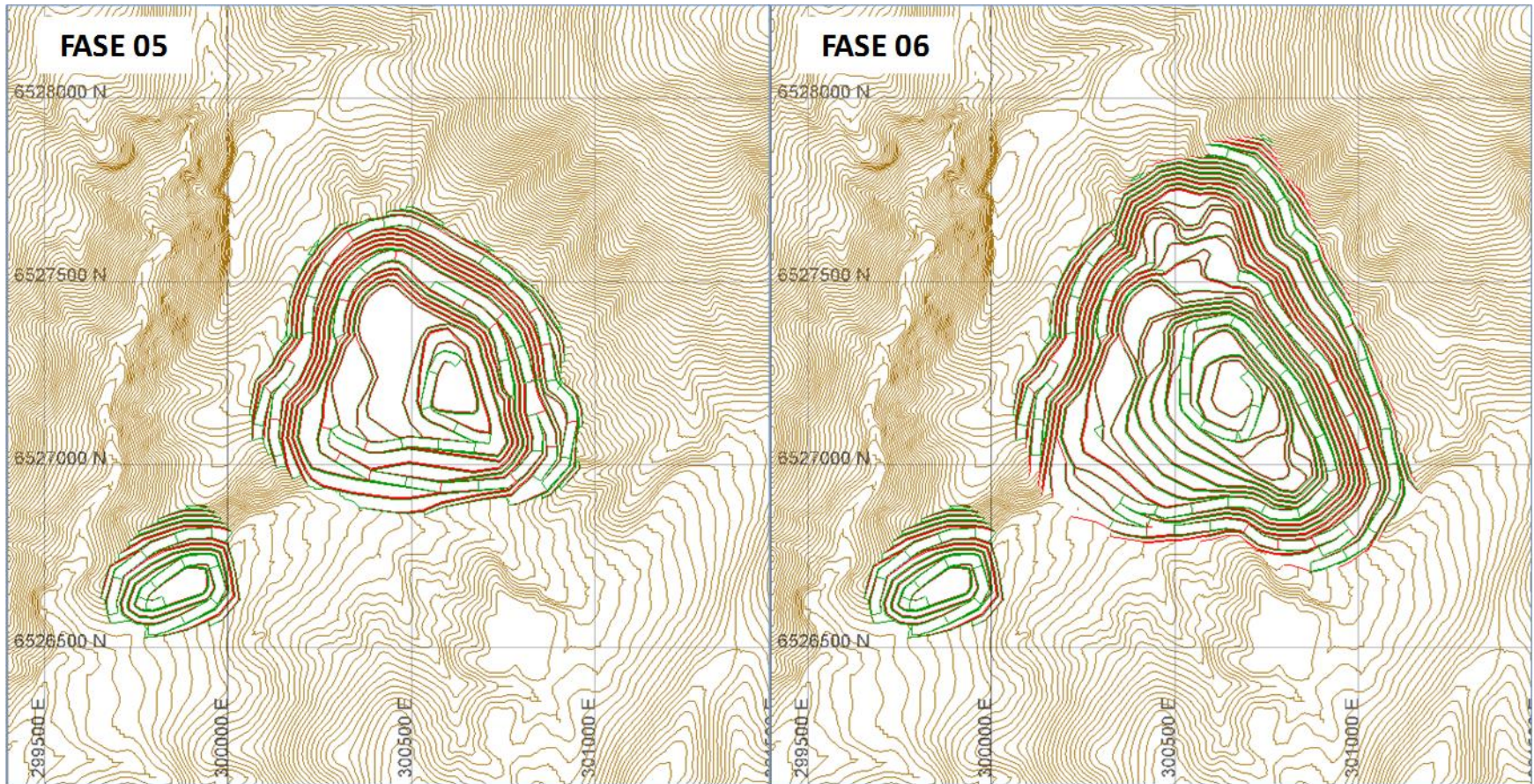


Figura 4-6: Fase 5 y Fase 6

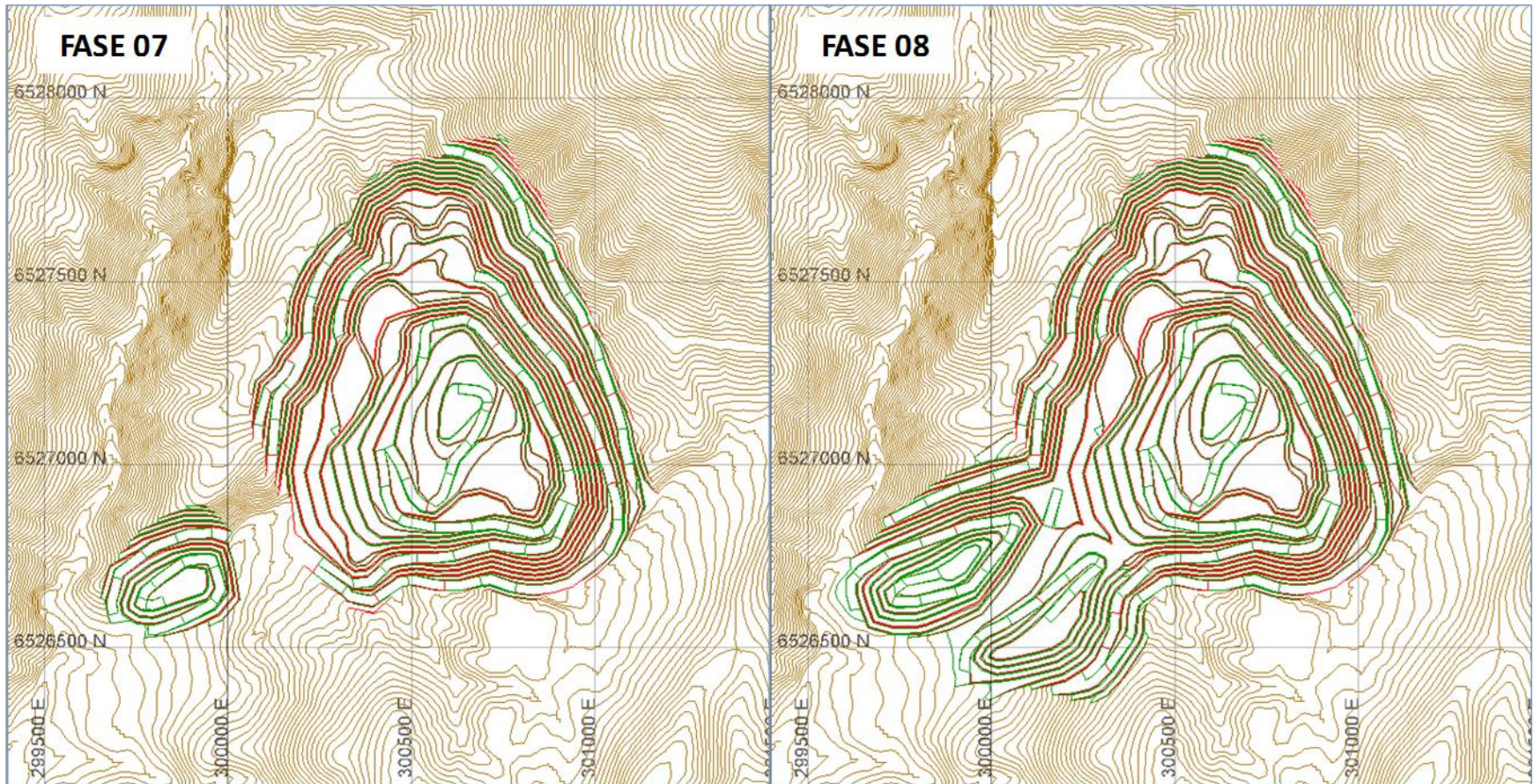


Figura 4-7: Fase 7 y Fase 8

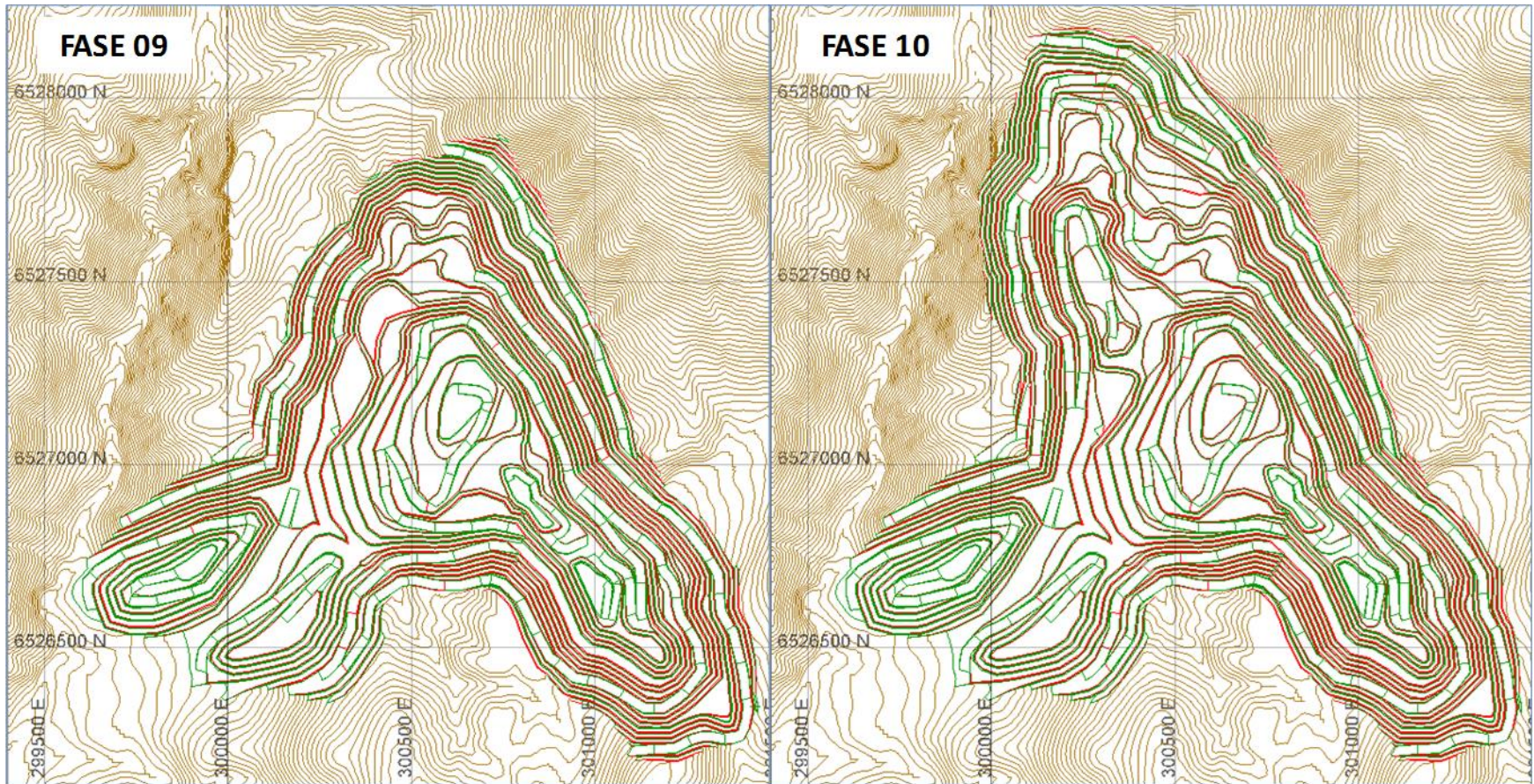


Figura 4-8: Fase 9 y Fase 10

En la siguiente tabla se incluye un resumen de la cubicación de mineral, lastre y total por cada fase, acompañado de sus leyes de cobre y oro.

Tabla 4-4: Resumen cubicación de fases – Caso Base

Fase	Sulfuro > 0.2 % Cu			Óxido > 0.2 % Cu			Tonelaje Lastre kt	Tonelaje Total (kt)	Razón L/M
	Tonelaje (kt)	Ley Cu %	Ley Au g/t	Tonelaje (kt)	Ley Cu %	Ley Au g/t			
1	6.914	0,89	0,18	2.611	0,50	0,13	30.378	37.292	4,4
2	1.032	0,96	0,28	2	0,68	0,17	9.210	10.243	8,9
3	6.909	0,63	0,13	195	0,43	0,12	19.817	26.726	2,9
4	14.281	0,64	0,15	2.112	0,60	0,17	45.449	59.730	3,2
5	1.711	0,68	0,26	1.626	0,63	0,30	9.227	10.939	5,4
6	24.518	0,68	0,13	236	0,58	0,19	101.513	126.030	4,1
7	4.818	0,64	0,18	22	0,55	0,25	45.377	50.196	9,4
8	7.536	0,52	0,21	1.690	0,42	0,25	40.834	48.370	5,4
9	11.321	0,71	0,09	1.291	0,59	0,11	96.363	107.684	8,5
10	10.558	0,71	0,16	5.210	0,62	0,12	110.920	121.479	10,5
Total	89.599	0,68	0,15	14.993	0,57	0,16	509.088	598.687	5,7

A continuación, se presenta el plan de producción para el caso base, el cual fue construido en base a los siguientes criterios:

- **Capacidad de Producción:** 20 kt/d (7,3 Mt por año.)
- **Leyes de Corte:** variable entre 0,2 y 0,45 % Cu. El material entre 0,2 y la ley de corte se acopia en un stock de baja ley para ser re-manejado en los últimos periodos del plan.
- **Dilución Mineral:** Se aplica un valor variable por banco, entre 2,5% y 7,5%, aplicable directamente a las leyes de Cu y Au. El promedio total alcanza a 4,6%.
- **Re-manejo de Mineral:** 10% del mineral que va al chancador
- **Profundización del Pit:** Máximo 8 bancos por año. Excepcionalmente se acepta hasta 10

En la siguiente tabla se detallan los movimientos de lastre mineral y stock, por año. El movimiento total no incluye el re-manejo de mineral.

Tabla 4-5: Plan minero – Caso Base

Periodo	Mineral a Chancador									Mineral a Stock						Lastre (kt)	Mov. Total (kt)
	Desde Mina			Desde Stock			Total			0.4 % Cu < Mineral			0.2 % Cu < Mineral < COG				
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Ton (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)		
Año -1																4.400	4.400
Año 0										168	0,86	0,15	37	0,34	0,09	25.669	25.874
Año 1	6.137	0,91	0,18	168	0,86	0,15	6.305	0,91	0,18				683	0,33	0,10	20.947	27.767
Año 2	7.300	0,58	0,14				7.300	0,58	0,14				383	0,26	0,14	38.275	45.958
Año 3	7.300	0,68	0,16				7.300	0,68	0,16				1.332	0,33	0,11	38.974	47.606
Año 4	7.300	0,73	0,15				7.300	0,73	0,15				1.785	0,35	0,08	35.539	44.623
Año 5	7.300	0,63	0,12				7.300	0,63	0,12				920	0,28	0,09	39.606	47.826
Año 6	7.300	0,56	0,10				7.300	0,56	0,10				321	0,26	0,09	45.164	52.785
Año 7	7.300	0,70	0,14				7.300	0,70	0,14							40.395	47.695
Año 8	7.300	0,70	0,19				7.300	0,70	0,19							41.347	48.647
Año 9	7.300	0,54	0,16				7.300	0,54	0,16							43.435	50.735
Año 10	5.405	0,74	0,11	1.895	0,32	0,10	7.300	0,63	0,11							39.542	44.946
Año 11	3.796	0,71	0,09	3.504	0,32	0,10	7.300	0,52	0,10							46.154	49.950
Año 12	6.031	0,62	0,11	62	0,32	0,10	6.093	0,62	0,10							39.566	45.597
Año 13	4.201	0,76	0,22				4.201	0,76	0,22							10.078	14.279
Total	83.970	0,67	0,15	5.629	0,34	0,10	89.599	0,65	0,14	168	0,86	0,15	5.461	0,32	0,10	509.088	598.687

Los resultados de cálculo de flota de equipos, costos de operación y costos de inversión se presentan en el Capítulo 9, junto con la evaluación económica de los Escenario 1 y 2.

5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA CAMIONES AUTÓNOMOS

En este capítulo se describen las principales características necesarias para la operación de camiones autónomos, las cuales son contrastadas con el caso de operación manual.

5.1. Criterios de diseño

Uno de los aspectos fundamentales a considerar para la implementación de camiones autónomos es el diseño de la mina, ya que la tecnología exige condiciones de operación específicas para poder lograr los rendimientos esperados, en concreto, se necesitan espacios de operación más holgados que los utilizados con tecnología manual lo que puede significar incluir una mayor cantidad de material al diseño final.

A continuación, se presentan los principales criterios que serán aplicados directamente en los diseños mineros utilizables en el escenario 1 y 2,

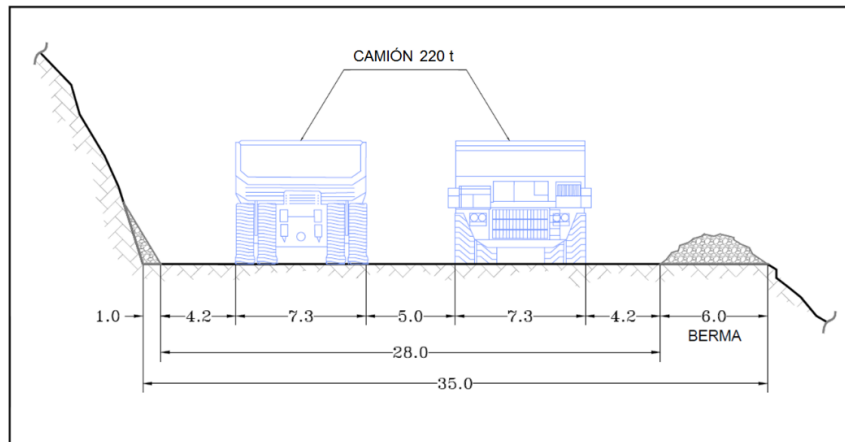
5.1.1. Ancho de ruta

Para el camión autónomo en estudio el ancho libre mínimo para garantizar el tránsito en ambos sentidos a las velocidades máximas es de 28 metros.

El ancho de rampa total queda determinado por ancho del equipo de mayor envergadura que transite por el camino, en este caso el camión, más los anchos de bermas de seguridad necesarios. Para camión autónomo no está permitido el uso de berma central, ya que interfiere con el funcionamiento del radar.

La Figura 5-1 muestra el ancho de rampa utilizado para diseño, el cual alcanza 35 metros totales con 28 metros libres para tránsito.

Figura 5-1: Diagrama ancho de rampa total para camiones autónomos



Es importante destacar que el camión minero de 185 toneladas utilizado en el caso base requiere un ancho de rampa total de 26 metros, lo que significa un aumento de 9 metros de ancho para la rampa de los nuevos diseños mineros.

5.2. Pendiente de rampa

Para operación de camiones autónomos se recomienda el uso de rampas de 10% de pendiente medida en el centro de la rampa con el fin de garantizar el desempeño esperado. La pendiente de rampa se mantiene con respecto al caso con operación manual.

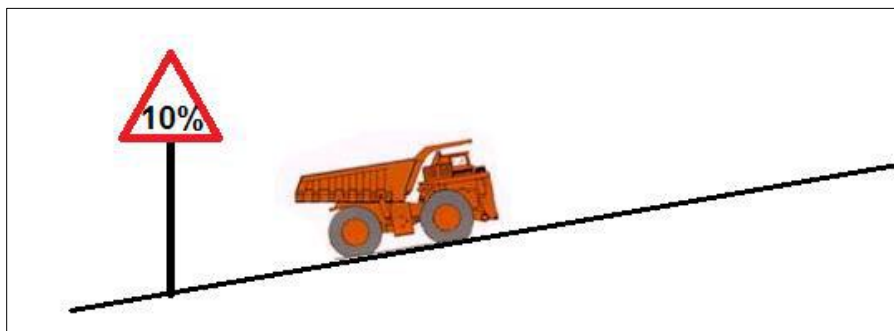


Figura 5-2: Pendiente de rampa recomendado camiones autónomos

5.3. Áreas de carga

Las dimensiones de las zonas de carga están relacionadas con el equipo de carguío propiamente tal y se resumen en la Tabla 5-1 considerando un mínimo y un óptimo:

Tabla 5-1: Áreas de carga requeridas para camiones autónomos

Pala de cables (73 – 54 yd ³)		
Tipo Spot	Mínima	Óptima
Single spot	50 x 50	70 x 70
Doble spot	70 x 70	95 x 95
Pala hidráulica		
Tipo Spot	Mínima	Óptima
Con aculatamiento	50 x 50	70 x 70
Sin aculatamiento	40 x 40	60 x 60
Cargador Frontal		
Tipo Spot	Mínima	Óptima
Con aculatamiento	45 x 45	60 x 60
Sin aculatamiento	40 x 40	50 x 50

Los diseños para el caso base consideran anchos mínimos operativos de 40 metros para los fondos de pit en los cuales la operación es con cargador frontal y anchos de expansión mínimos de 60 metros para pala hidráulica.

5.4. Switchback y radio de giro

Si bien el camión de 220 toneladas tiene como radio de giro mínimo definido 14,2 metros, con el fin de garantizar la generación de cursos en intersecciones, la recomendación para la operación autónoma es de 20 metros.

Se recomienda la configuración mostrada en la Figura 5-3 para permitir el tránsito de camiones en ambos sentidos sin restricción.

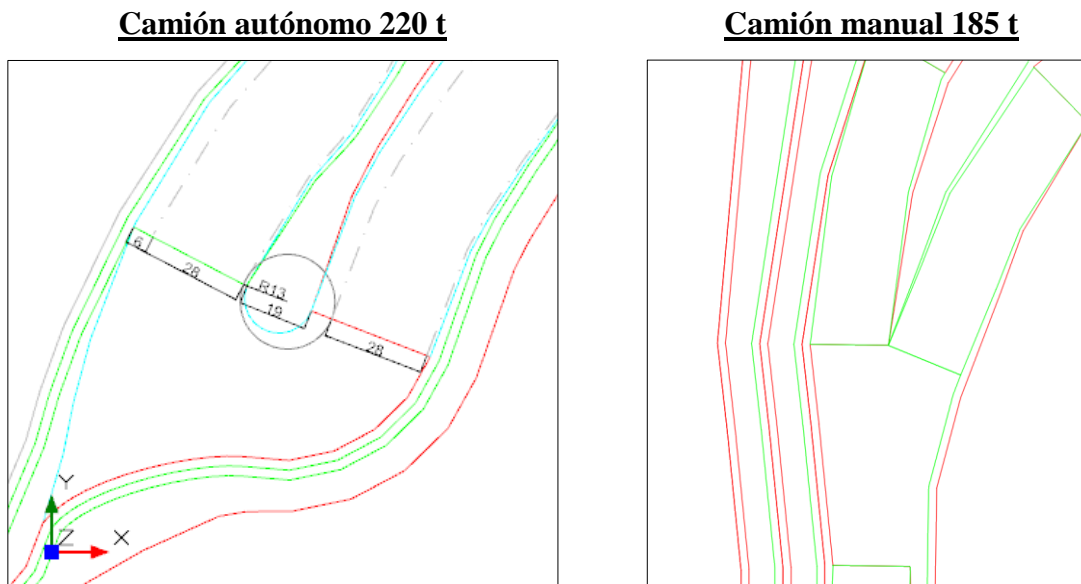


Figura 5-3: Diagrama de switchback

6. DISEÑO DE FASES OPERATIVAS CAMIÓN AUTÓNOMO

Las fases de explotación se diseñaron tomando en consideración la secuencia económica de la serie Whittle del Caso Base, que se incluye en la Figura 6-1, en la cual se muestran algunos pits de la serie con su respectivo precio de diseño.

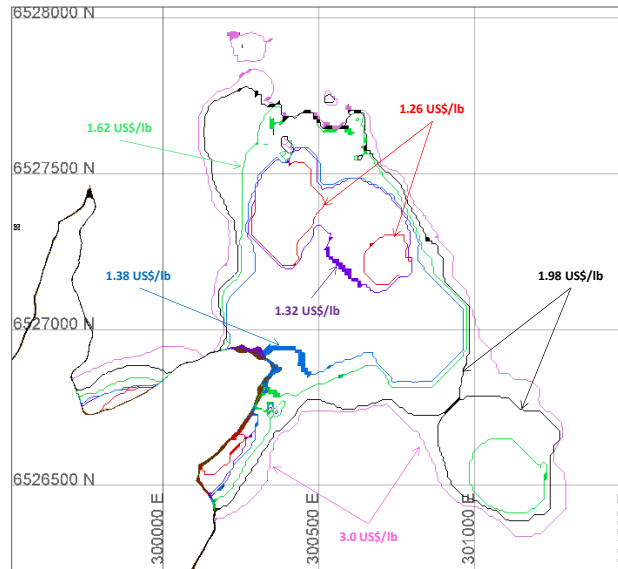


Figura 6-1: Secuencia Pits Whittle

De acuerdo a los parámetros y criterios indicados anteriormente fueron diseñadas las 10 fases operativas para camiones autónomos que se muestran en las Figura 6-3 a Figura 6-11. Estas fases serán comparadas con el set de fases operativas diseñadas para la operación de camiones manuales del caso base.

En algunas de las fases donde el ancho de operación del fondo del mineral es muy angosto, se diseñó con un ancho mínimo de 40 metros, pensando en la operación con un cargador frontal y camión autónomo. Esto se hizo con el objetivo de no perder el mineral de ese banco. Además, en 2 fases se diseñaron los 2 últimos bancos con rampas de 20.5 metros, que es el mínimo necesario para que circulen camiones en 1 vía.

La figura siguiente corresponde a una planta con la distribución de las fases a la cota 1.030.

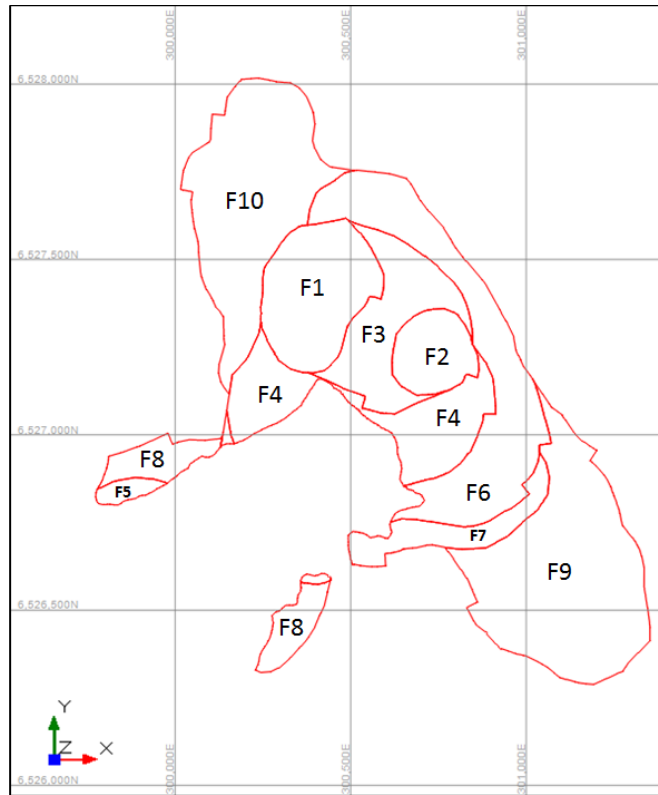
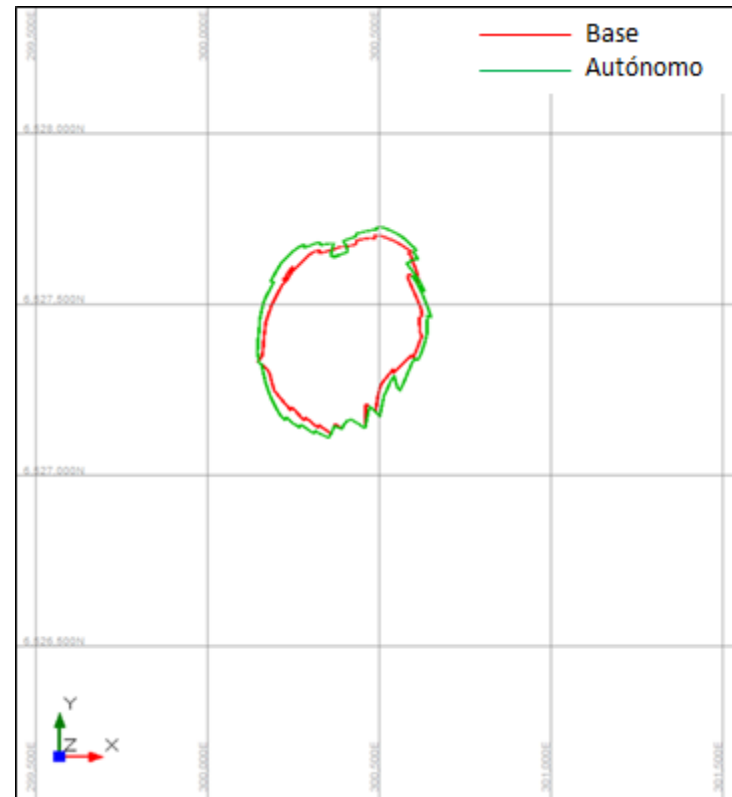
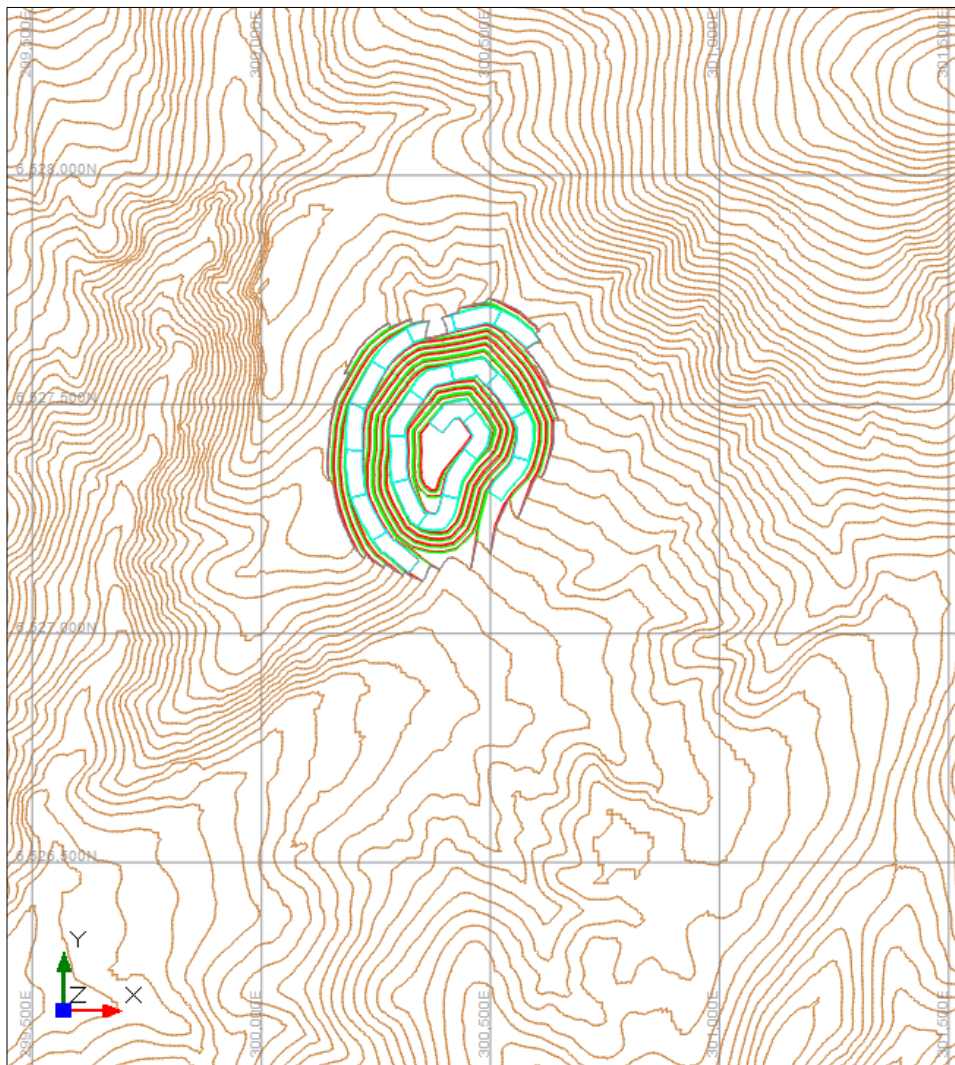
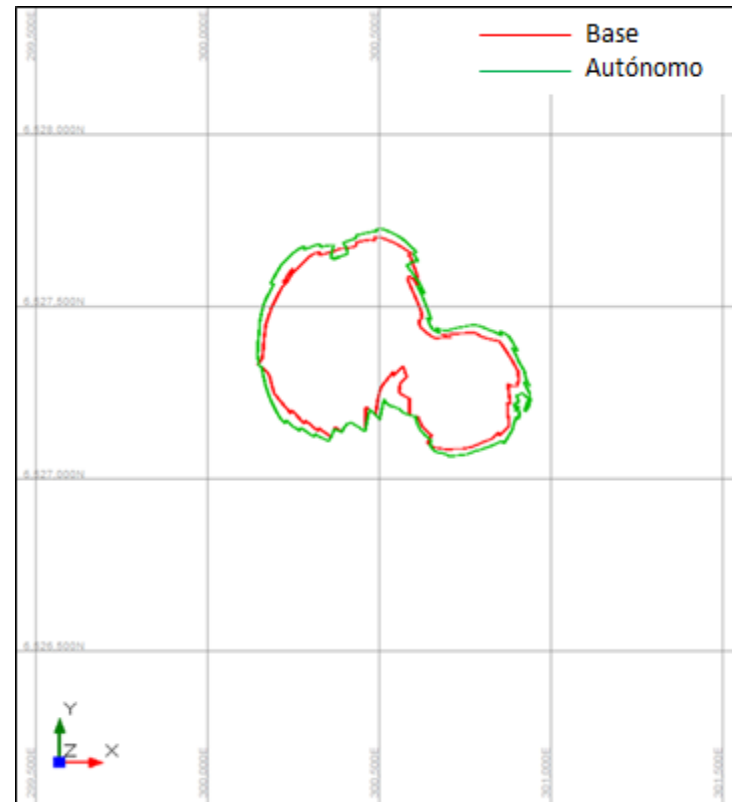
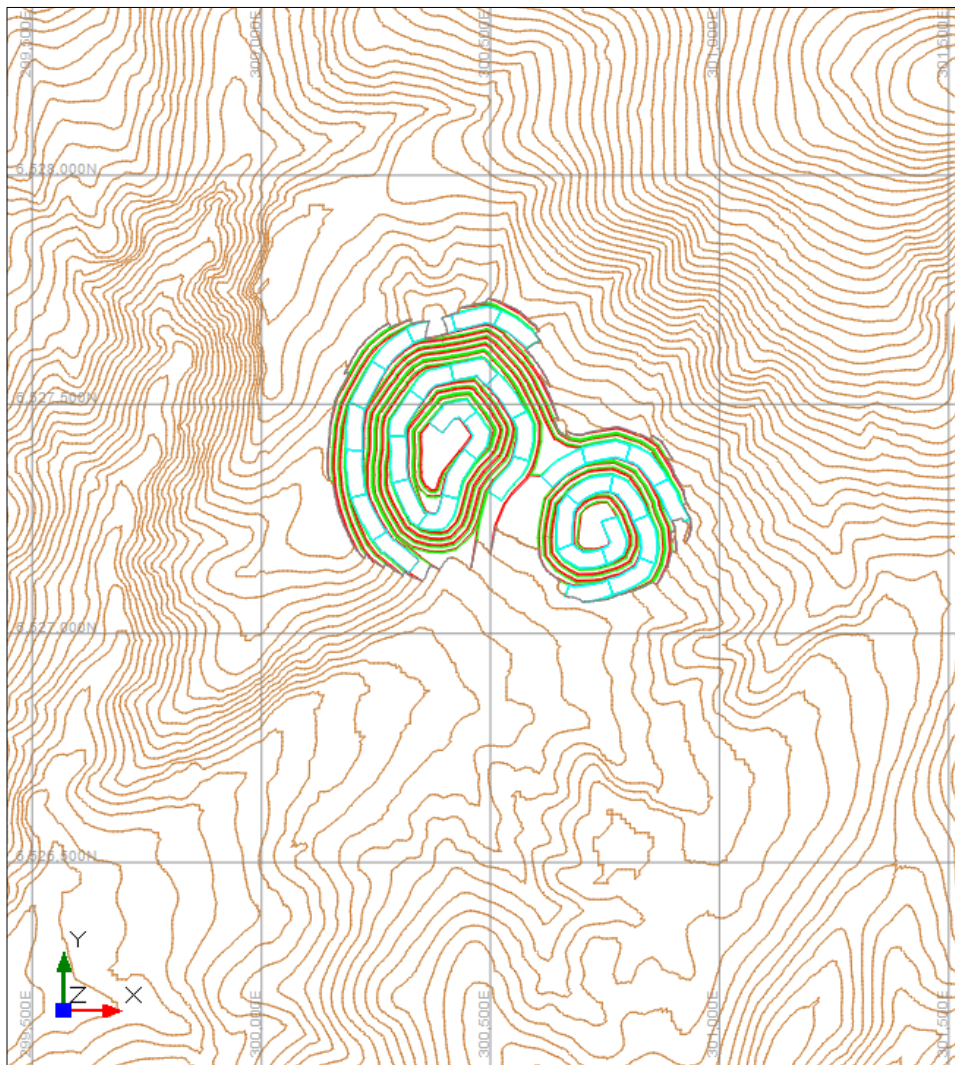


Figura 6-2: Distribución de fases



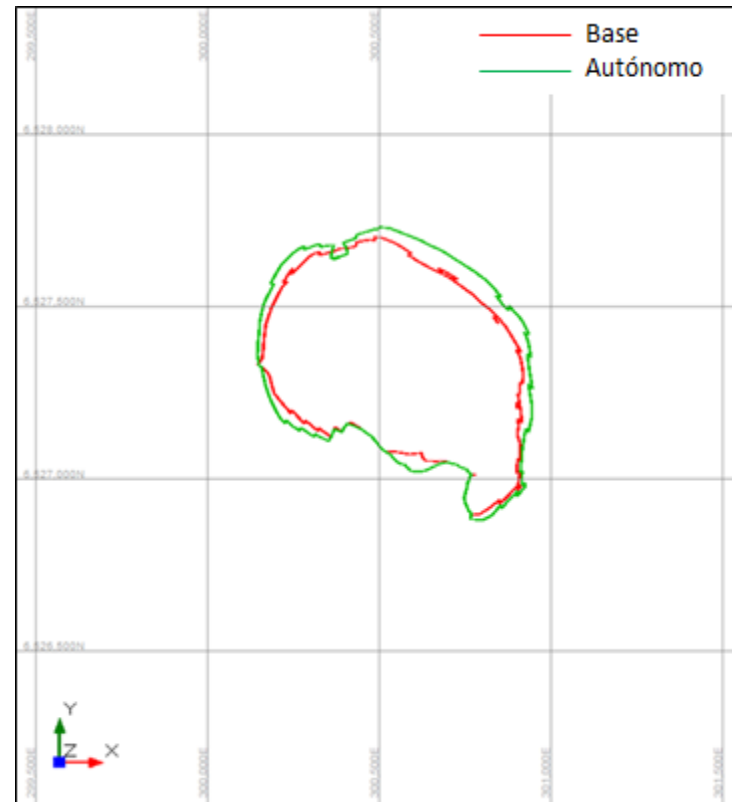
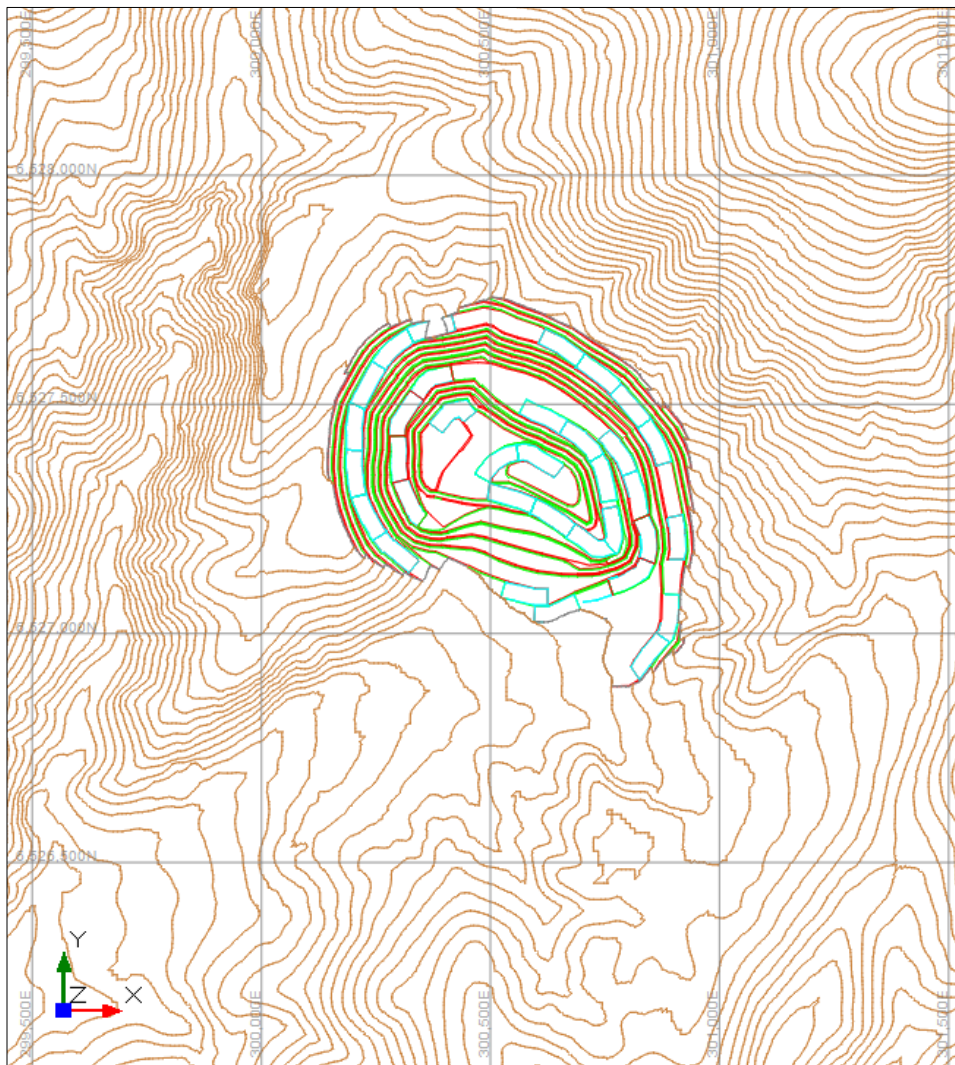
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min	14,4	0,81	0,20	13,3	0,82	0,21	8,5
Cu>02							
Lastre	28,8			24,0			19,9
Total	43,2			37,3			15,8
E/M	2,0			1,8			

Figura 6-3: Fase 1 - Operación camiones autónomos



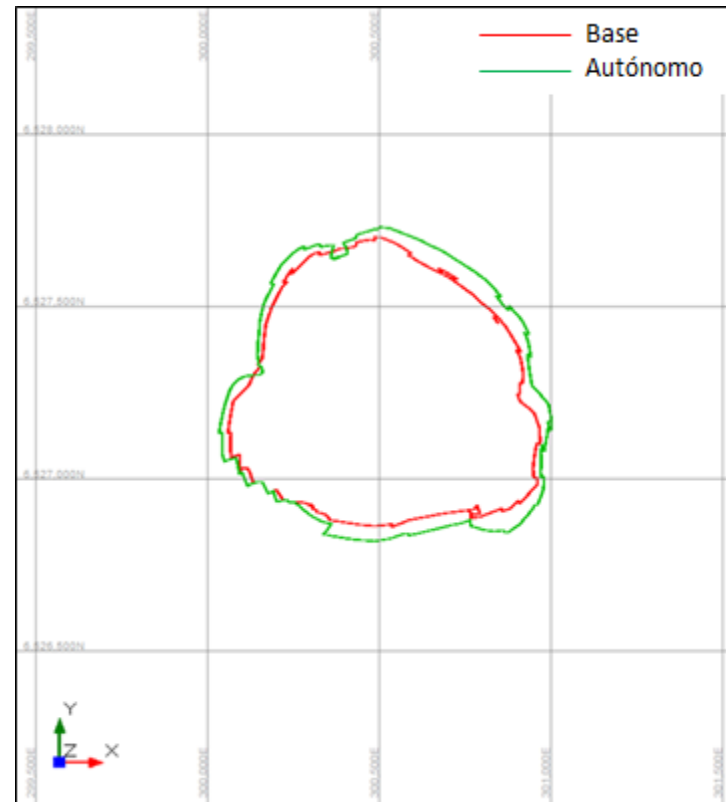
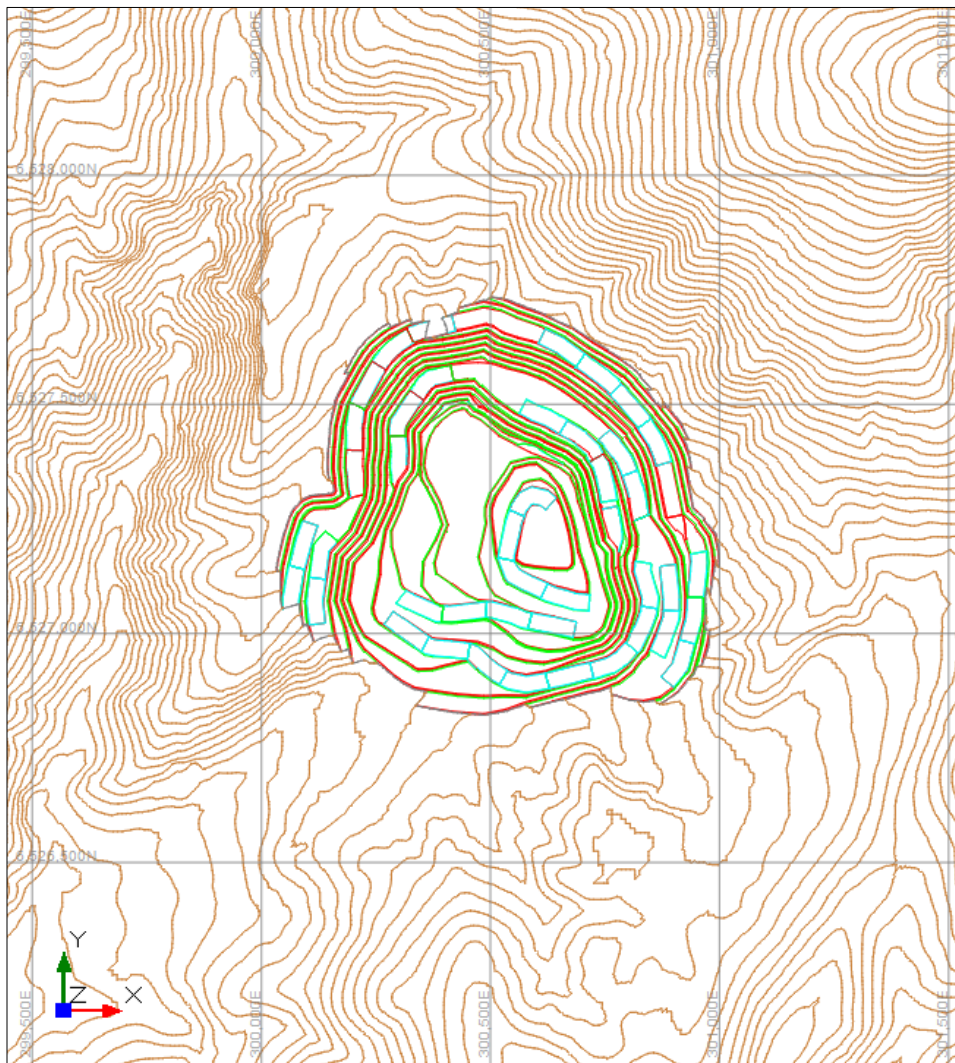
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	1,7	1,00	0,28	1,5	1,02	0,29	9,9
Lastre	11,2			8,7			28,4
Total	12,9			10,2			25,6
E/M	6,6			5,7			

Figura 6-4: Fase 2 – Operación camiones autónomos



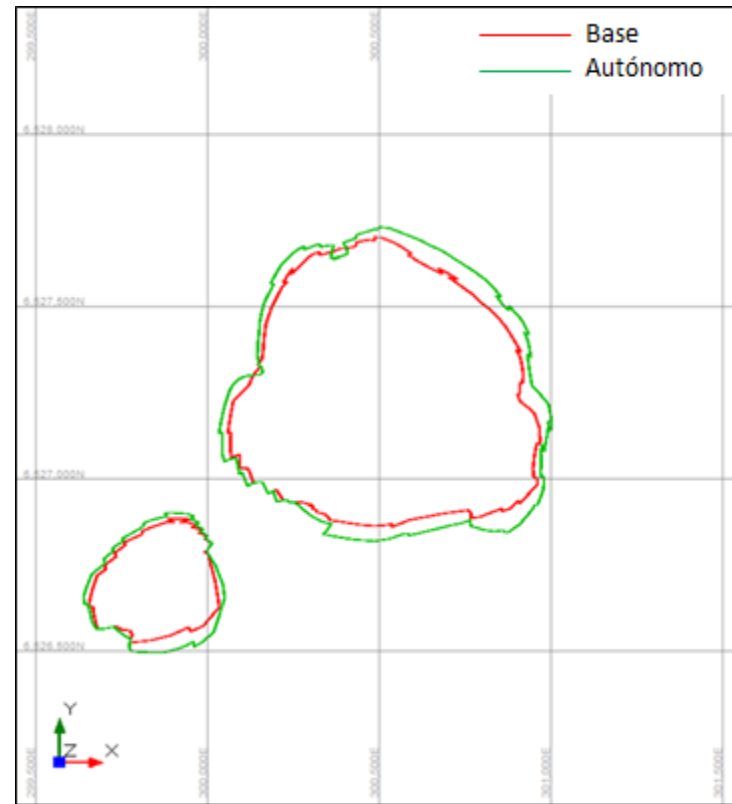
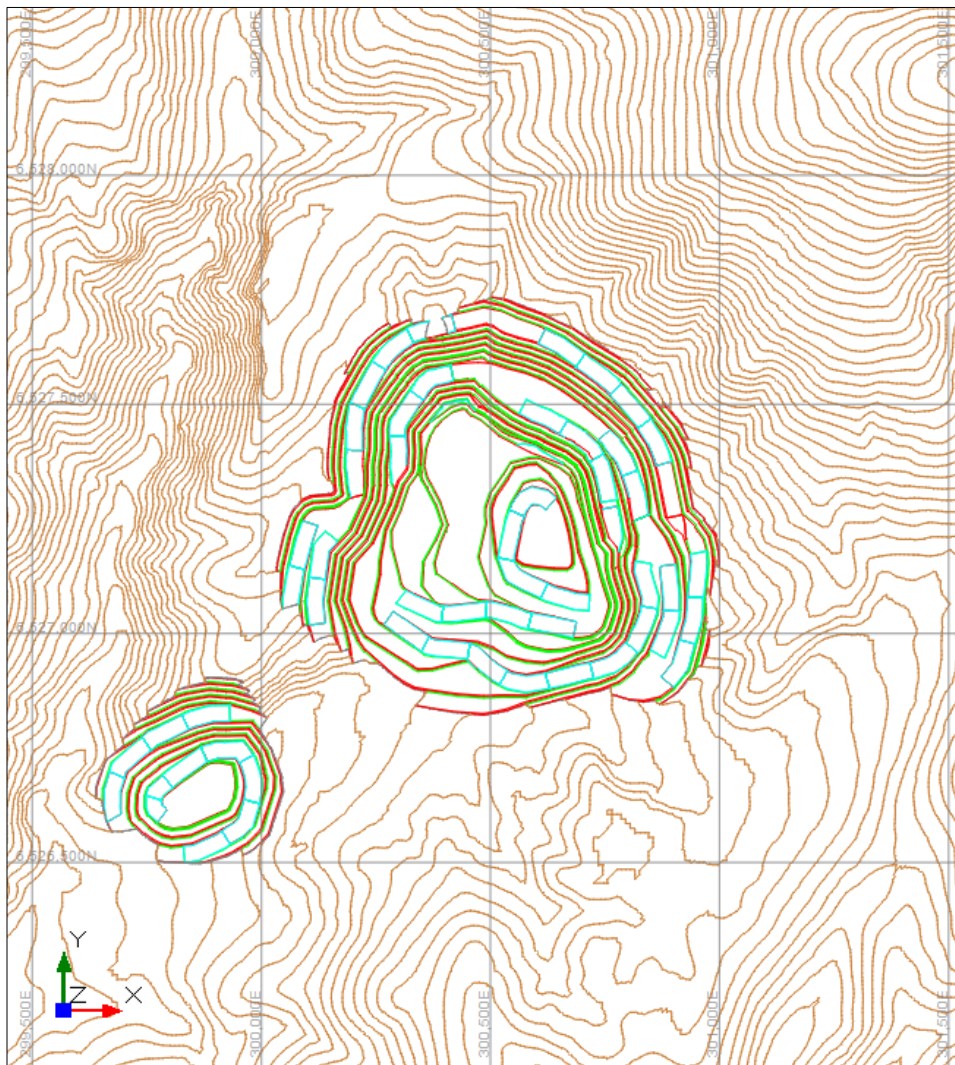
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	10,7	0,61	0,15	9,7	0,61	0,15	10,7
Lastre	21,0			17,0			23,3
Total	31,7			26,7			18,7
E/M	2,0			1,8			

Figura 6-5: Fase 3 – Operación camiones autónomos



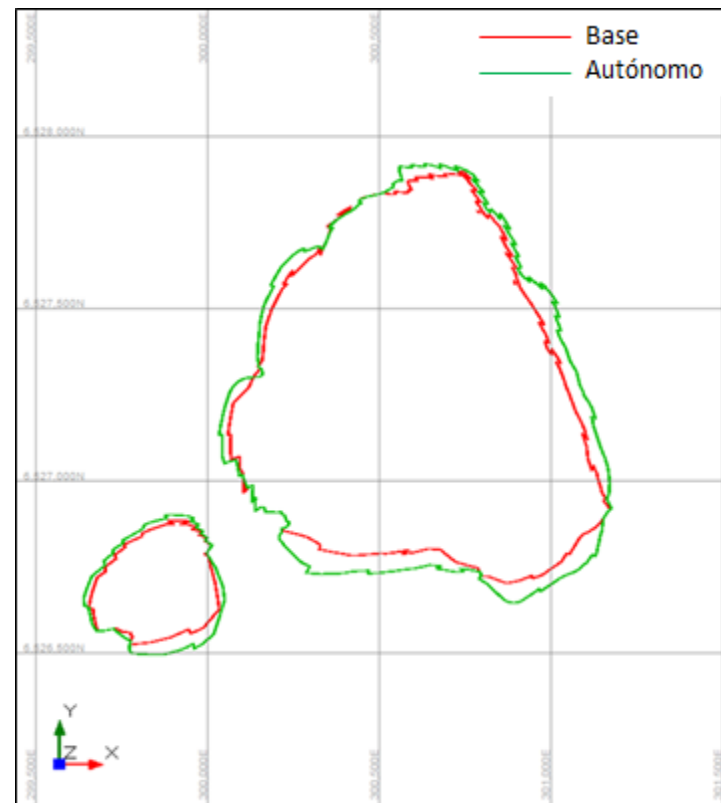
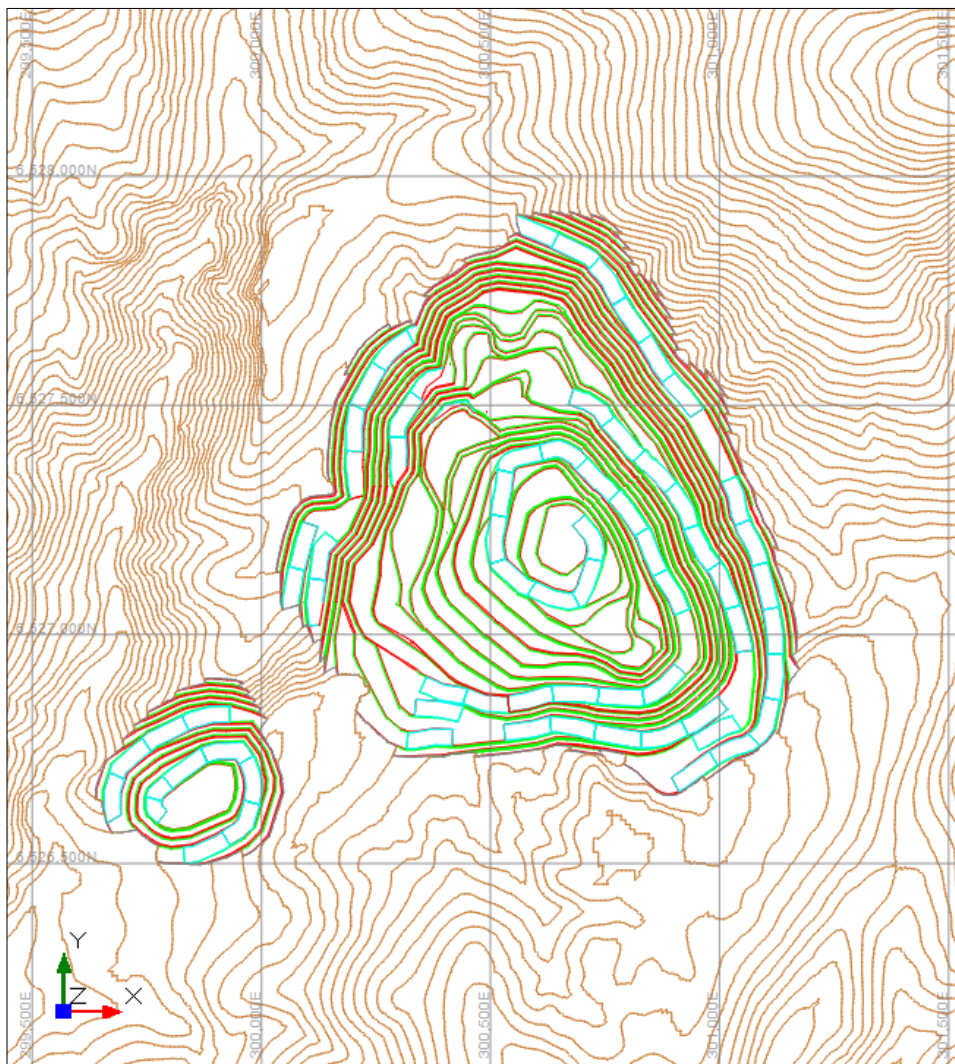
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	24,2	0,64	0,19	22,8	0,65	0,19	6,1
Lastre	40,6			37,0			9,8
Total	64,8			59,7			8,4
E/M	1,7			1,6			

Figura 6-6: Fase 4 – Operación camiones autónomos



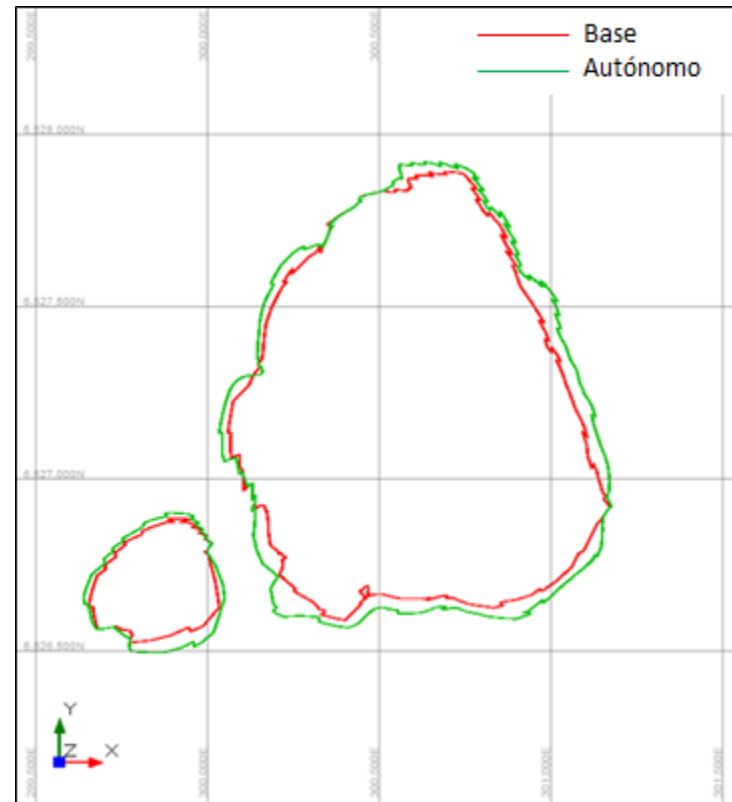
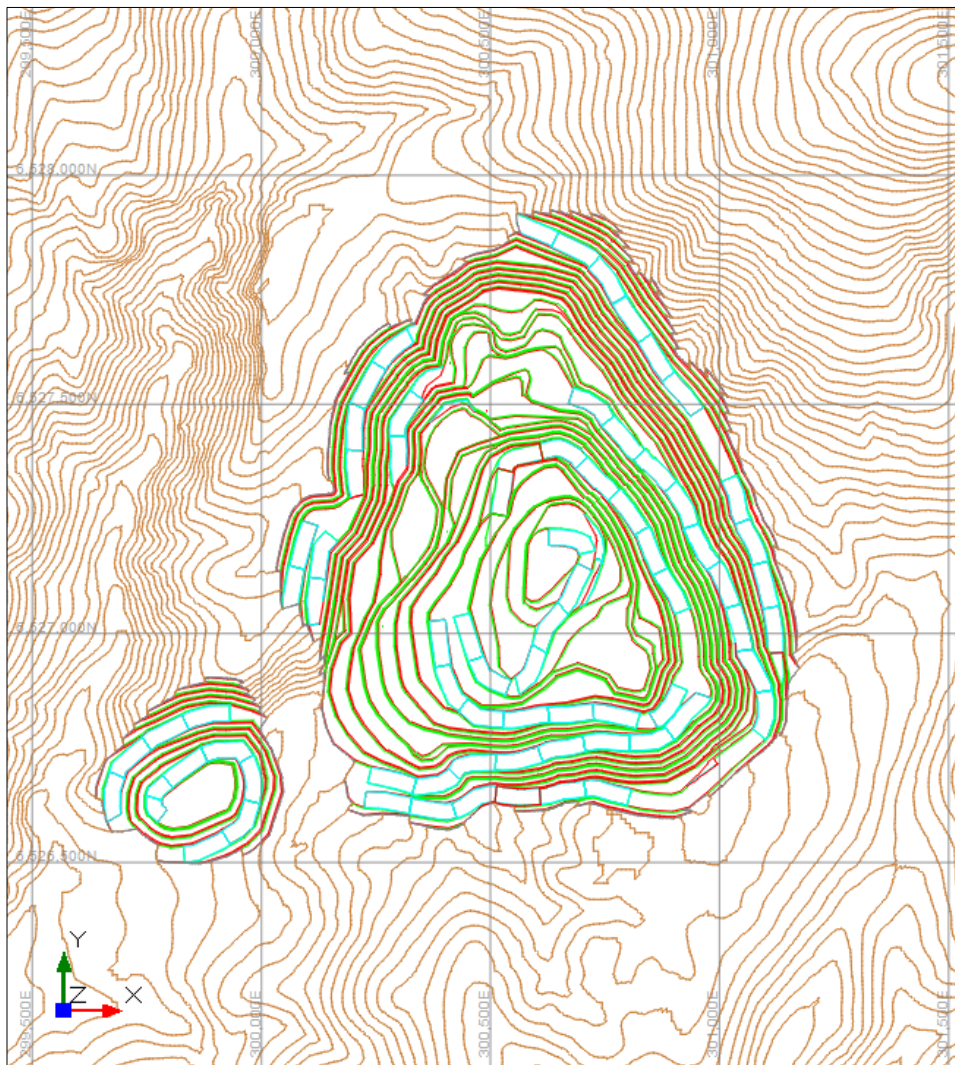
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	4,9	0,62	0,28	4,5	0,63	0,28	8,3
Lastre	9,3			6,4			44,3
Total	14,2			10,9			29,4
E/M	1,9			1,4			

Figura 6-7: Fase 5 – Operación camiones autónomos



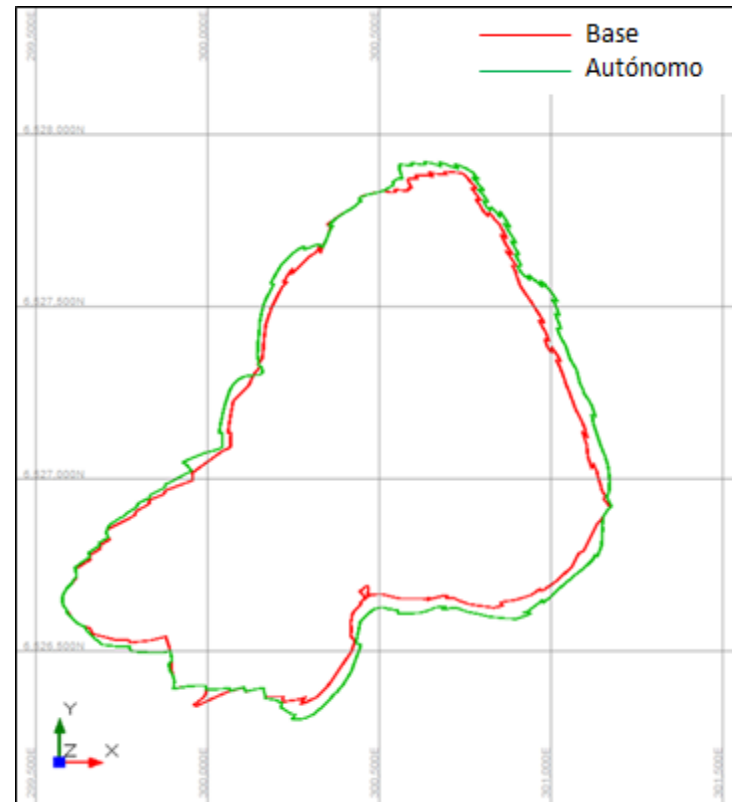
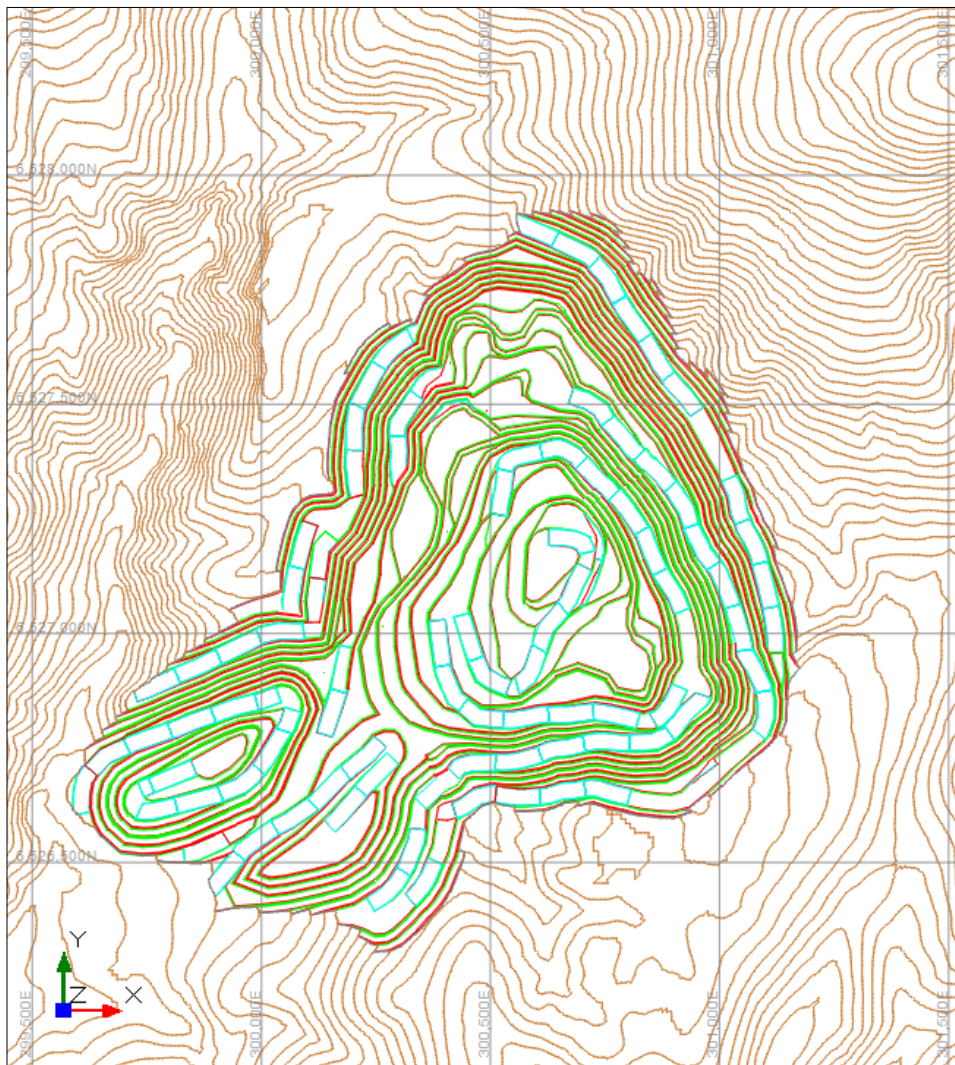
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	33,4	0,68	0,15	35,2	0,67	0,15	-5,1
Lastre	98,1			90,9			7,9
Total	131,4			126,0			4,3
E/M	2,9			2,6			

Figura 6-8: Fase 6 – Operación camiones autónomos



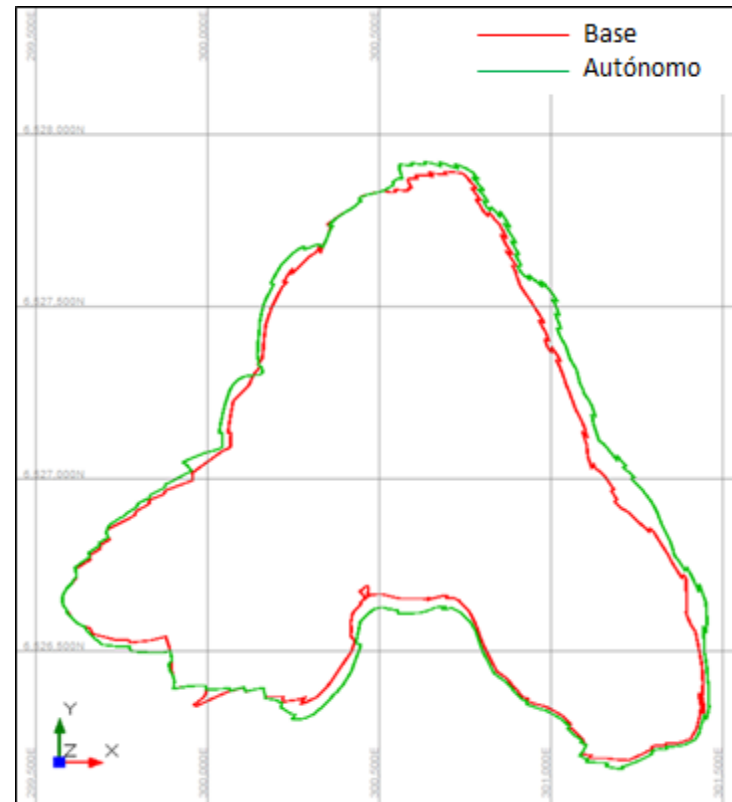
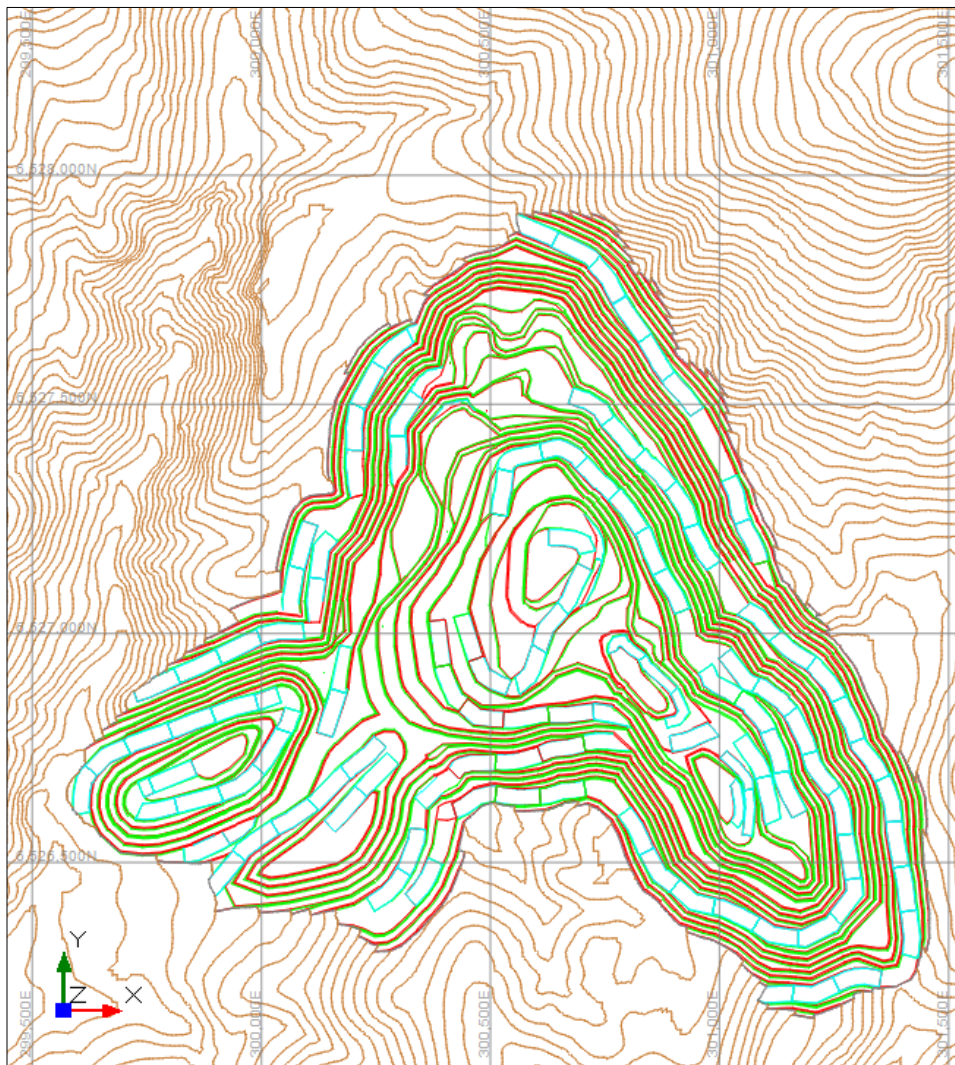
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	8,2	0,65	0,22	8,6	0,66	0,22	-4,2
Lastre	46,4			41,6			11,5
Total	54,6			50,2			8,8
E/M	5,6			4,8			

Figura 6-9: Fase 7 – Operación camiones autónomos



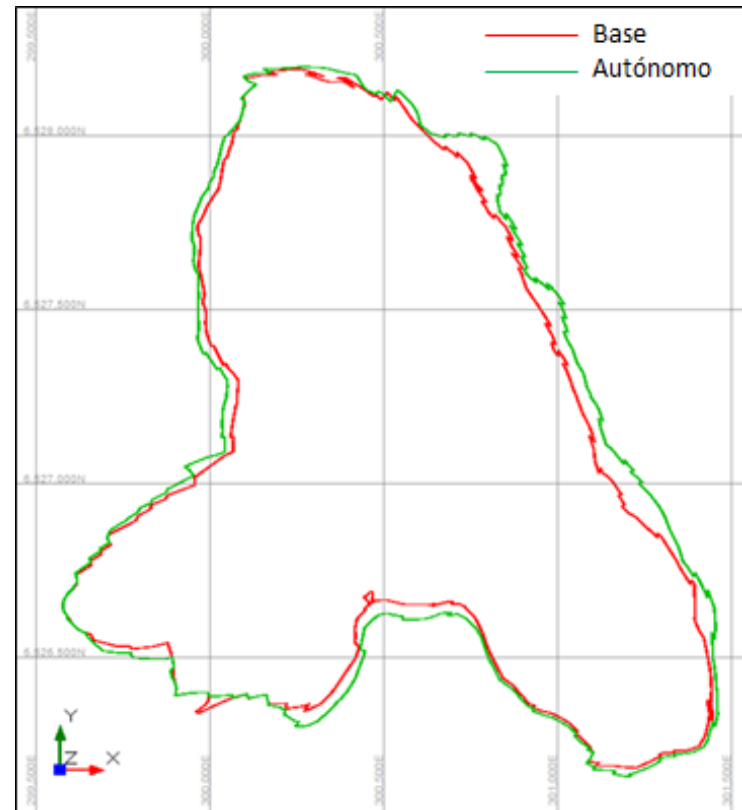
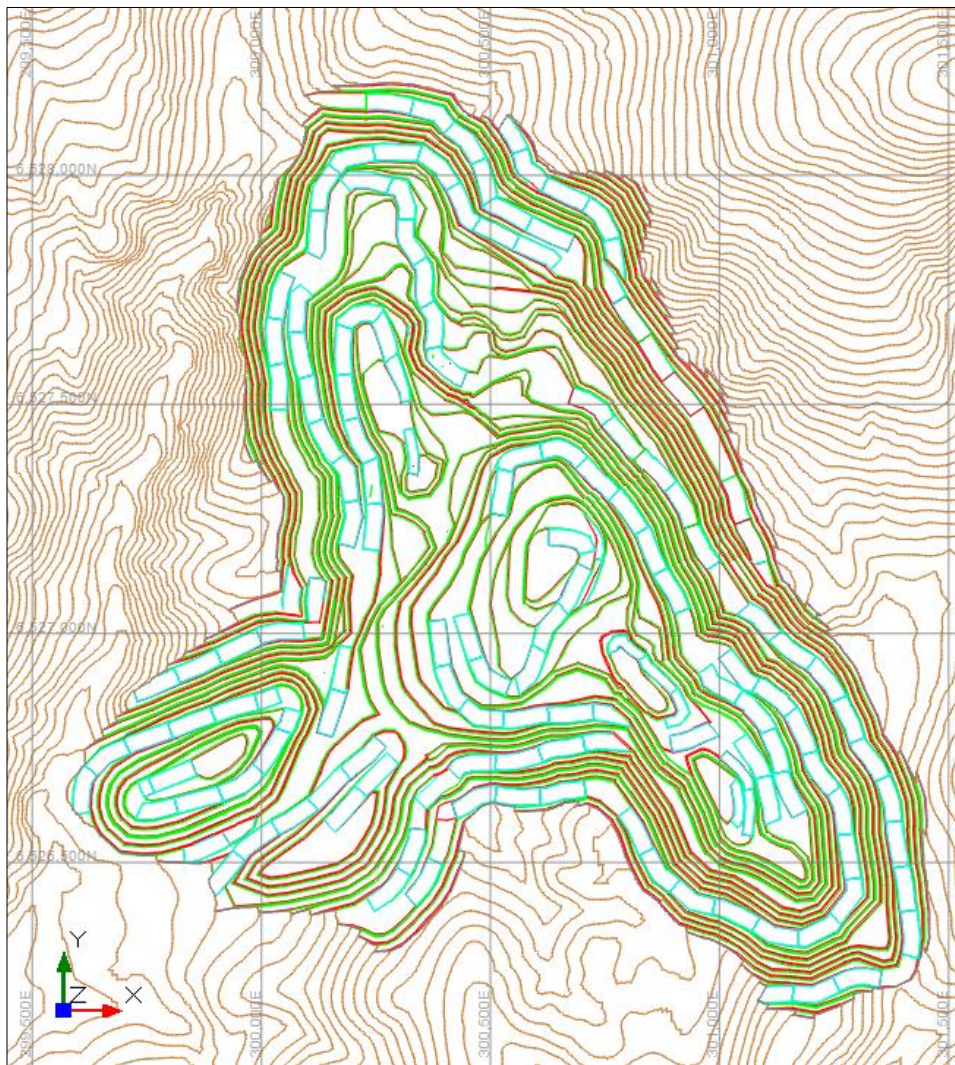
	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	15,1	0,51	0,24	14,8	0,51	0,24	1,9
Lastre	36,4			33,5			8,6
Total	51,6			48,4			6,6
E/M	2,4			2,3			

Figura 6-10: Fase 8 – Operación camiones autónomos



	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	21,8	0,72	0,09	20,7	0,73	0,09	5,5
Lastre	100,1			87,0			15,0
Total	121,9			107,7			13,2
E/M	4,6			4,2			

Figura 6-11: Fase 9 – Operación camiones autónomos



	Autónomo			Base			Dif. %
	Mt	% Cu	g/t Au	Mt	% Cu	g/t Au	
Min Cu>02	26,3	0,72	0,22	25,4	0,72	0,22	3,6
Lastre	108,0			96,1			12,4
Total	134,3			121,5			10,6
E/M	4,1			3,8			

Figura 6-12: Fase 10 – Operación camiones autónomos

La Figura 6-13 muestra el límite del pit final para ambos casos, se presenta un crecimiento importante por la pared Este, donde está ubicada la fase 6 y 9, esto debido a una importante cantidad de rampas en el lado este y la necesidad de mantener anchos de expansión de mínimo 70 metros entre fases. En términos de área, el pit final aumenta en un 8,5%.

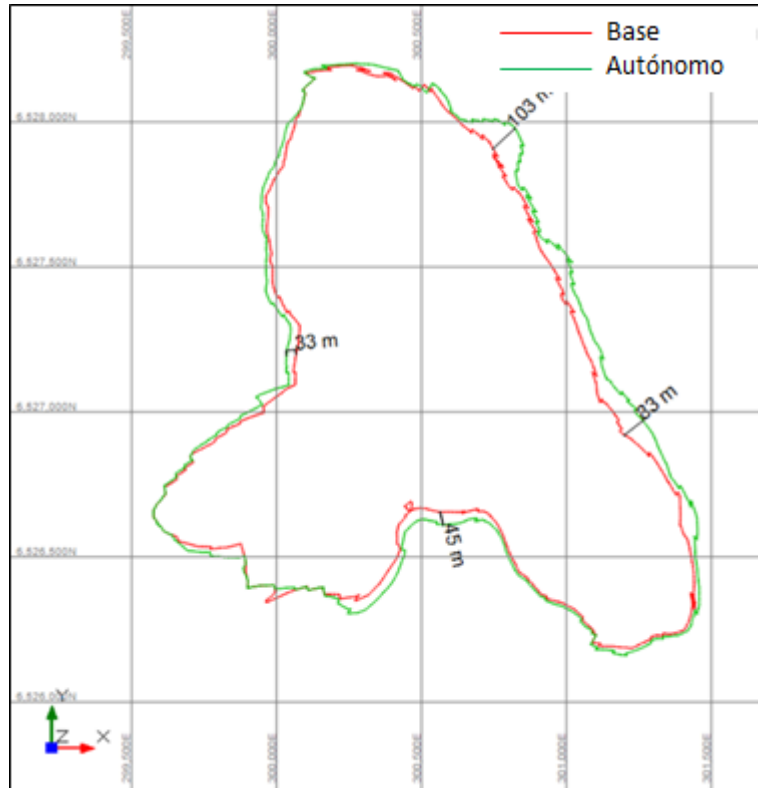


Figura 6-13: Comparación límite pit final

En la Tabla 6-1 se presenta un resumen de mineral a ley de corte 0,2 % Cu total, el tonelaje total y la razón lastre mineral por fase la que se calculó considerando el óxido como lastre, para el Escenario autónomo y caso base respectivamente.

Tabla 6-1: Resumen cubicación de fases – Caso autónomo

Fase	Sulfuro > 0.2 % Cu			Óxido > 0.2 % Cu			Tonelaje Lastre kt	Tonelaje Total (kt)	Razón L/M
	Tonelaje (kt)	Ley Cu %	Ley Au g/t	Tonelaje (kt)	Ley Cu %	Ley Au g/t			
1	7.411	0,88	0,17	2.798	0,51	0,13	35.781	43.192	4,8
2	1.124	0,94	0,27	7	0,69	0,19	11.742	12.866	10,4
3	7.769	0,63	0,13	147	0,41	0,11	23.965	31.735	3,1
4	15.083	0,63	0,15	2.174	0,59	0,17	49.667	64.750	3,3
5	1.849	0,67	0,26	1.719	0,62	0,30	12.309	14.158	6,7
6	23.201	0,69	0,13	157	0,63	0,21	108.241	131.442	4,7
7	4.604	0,64	0,18	23	0,53	0,26	50.002	54.606	10,9
8	7.742	0,52	0,21	1.672	0,42	0,23	43.809	51.551	5,7
9	11.690	0,71	0,09	1.364	0,59	0,11	110.206	121.896	9,4
10	10.498	0,70	0,16	5.872	0,61	0,12	123.845	134.342	11,8
Total	90.971	0,68	0,15	15.932	0,57	0,16	569.567	660.538	6,3

El diseño de fases fue realizado con el objetivo de conservar la cantidad de mineral, lo genera una mayor cantidad de material estéril dentro del pit final. Como resultado se obtuvo un total de 660,5 Mt, que significa un aumento de 10% con respecto al caso base (598,6 Mt). Este aumento de 61,9 Mt corresponde a 1,4 Mt de mineral y 60,5 Mt de estéril. Las leyes medias de Cu y Au se mantienen en 0,68% y 0,15 g/t respectivamente.

7. PLAN DE PRODUCCIÓN

7.1. Criterios para plan de producción

Para el estudio se conservaron los mismos criterios y parámetros operacionales utilizados en el plan minero para el caso base, los cuales se detallan a continuación:

Los criterios y parámetros operacionales considerados en el desarrollo del plan minero son los siguientes:

- **Capacidad de Producción:** 20 kt/d (7,3 Mt por año.)
- **Periodos del Plan:** Preproducción y dos primeros años de producción en periodos trimestrales, año 3 al año 5 en periodos semestrales, año 6 en adelante en periodos anuales.
- **Días de Operación:** 365 días/año.
- **Leyes de Corte:** Se utiliza la misma estrategia de ley de corte variable utilizada en el caso base, que va entre 0,2 y 0,45 % Cu. El material entre 0,2 y la ley de corte se acopia en un stock de baja ley para ser re-manejado en los últimos periodos del plan.
- **Dilución Mineral:** de acuerdo a los análisis realizados, se aplica un valor variable por banco, la cual varía entre 2,5% y 7,5%, aplicable directamente a las leyes de Cu y Au. El promedio total alcanza a 4,6%.
- **Re-manejo de Mineral:** 10% del mineral que va al chancador.
- **Profundización del Pit:** Máximo 8 bancos por año. Excepcionalmente se acepta hasta 10.

7.2. Plan minero

De acuerdo a los criterios mencionados anteriormente se desarrolló el plan de producción que se detalla en las siguientes tablas, se entregan los movimientos de lastre mineral y stock, por año. El muro del tranque de relaves será construido con estéril proveniente de la mina.

El movimiento total no incluye el re-manejo de mineral.

Tabla 7-1: Plan minero – Detalle por año

Periodo	Mineral a Chancador									Mineral a Stock						Lastre (kt)	Mov. Total (kt)
	Desde Mina			Desde Stock			Total			0.4 % Cu < Mineral			0.2 % Cu < Mineral < COG				
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)		
Año -1																3.900	3.900
Año 0										53	0,66	0,17	41	0,31	0,13	31.006	31.100
Año 1	6.252	0,89	0,17	53	0,66	0,17	6.305	0,89	0,17				748	0,33	0,09	29.224	36.224
Año 2	7.300	0,59	0,14				7.300	0,59	0,14				468	0,26	0,14	43.590	51.358
Año 3	7.300	0,69	0,18				7.300	0,69	0,18				966	0,32	0,14	39.324	47.590
Año 4	7.300	0,69	0,14				7.300	0,69	0,14				2.411	0,35	0,08	41.597	51.308
Año 5	7.300	0,65	0,11				7.300	0,65	0,11				881	0,28	0,07	43.077	51.258
Año 6	7.300	0,57	0,13				7.300	0,57	0,13				214	0,26	0,10	44.577	52.091
Año 7	7.300	0,65	0,13				7.300	0,65	0,13							45.033	52.333
Año 8	7.300	0,68	0,20				7.300	0,68	0,20							45.583	52.883
Año 9	7.300	0,63	0,15				7.300	0,63	0,15							44.807	52.107
Año 10	4.499	0,64	0,15	2.801	0,32	0,10	7.300	0,52	0,13							48.250	52.749
Año 11	4.913	0,78	0,09	2.387	0,32	0,10	7.300	0,63	0,09							47.687	52.600
Año 12	6.463	0,61	0,10	541	0,32	0,10	7.004	0,59	0,10							46.137	52.600
Año 13	4.662	0,76	0,21				4.662	0,76	0,21							15.776	20.438
Total	85.189	0,67	0,15	5.781	0,32	0,10	90.971	0,65	0,14	53	0,66	0,17	5.728	0,32	0,10	569.567	660.538

7.3. Análisis del Plan Minero

Con el objetivo de analizar e identificar los periodos de mayor complejidad del plan minero se presentan los siguientes gráficos:

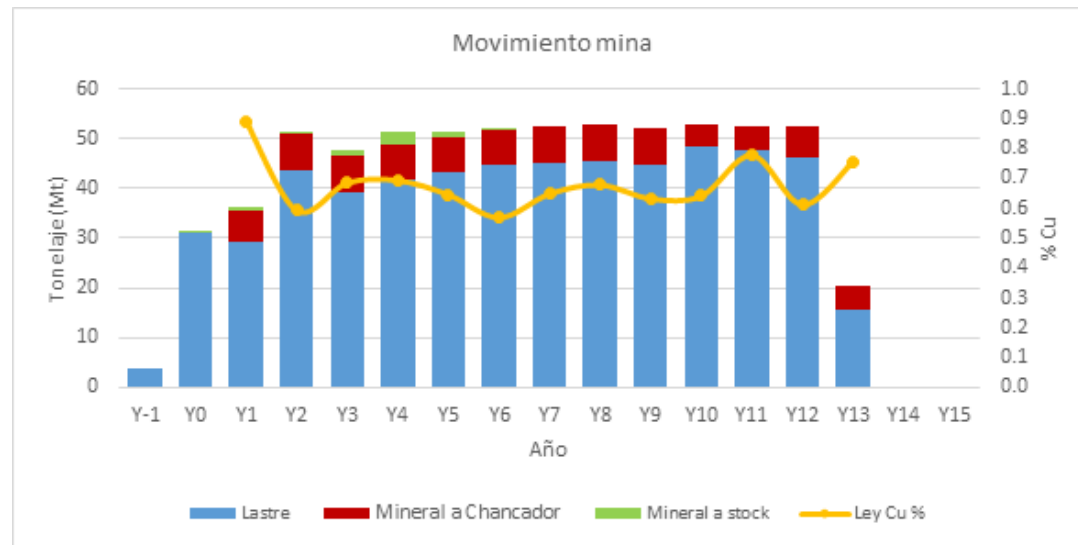


Figura 7-1: Tonelaje por material y ley media de Cu

El tonelaje a mover en preproducción es aproximadamente 35 Mt, mínimo posible para cumplir con las restricciones operacionales impuestas. El movimiento total máximo del plan aproximadamente 52 Mt.

7.4. Comparación plan autónomo vs plan caso base

A continuación, se compara el resultado obtenido para el plan minero basado en el diseño para operación de camiones autónomos con el plan minero base, cuyo diseño estaba pensado en camiones manuales de menor tamaño.

La Tabla 7-2 muestra el movimiento mina total para el plan de operación manual y el de operación autónoma.

Tabla 7-2: Comparación Movimiento mina total

Caso Autónomo					
Periodo	Mineral Total			Lastre (kt)	Mov. Total (kt)
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)		
Y-1				3.900	3.900
Y0				31.006	31.100
Y1	6.305	0,89	0,17	29.224	36.224
Y2	7.300	0,59	0,14	43.590	51.358
Y3	7.300	0,69	0,18	39.324	47.590
Y4	7.300	0,69	0,14	41.597	51.308
Y5	7.300	0,65	0,11	43.077	51.258
Y6	7.300	0,57	0,13	44.577	52.091
Y7	7.300	0,65	0,13	45.033	52.333
Y8	7.300	0,68	0,20	45.583	52.883
Y9	7.300	0,63	0,15	44.807	52.107
Y10	7.300	0,52	0,13	48.250	52.749
Y11	7.300	0,63	0,09	47.687	52.600
Y12	7.004	0,59	0,10	46.137	52.600
Y13	4.662	0,76	0,21	15.776	20.438
Total	90.971	0,65	0,14	569.567	660.538

Caso Base					
Periodo	Mineral Total			Lastre (kt)	Mov. Total (kt)
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)		
Y-1				4.400	4.400
Y0				25.669	25.874
Y1	6.305	0,91	0,18	20.947	27.767
Y2	7.300	0,58	0,14	38.275	45.958
Y3	7.300	0,68	0,16	38.974	47.606
Y4	7.300	0,73	0,15	35.539	44.623
Y5	7.300	0,63	0,12	39.606	47.826
Y6	7.300	0,56	0,10	45.164	52.785
Y7	7.300	0,70	0,14	40.395	47.695
Y8	7.300	0,70	0,19	41.347	48.647
Y9	7.300	0,54	0,16	43.435	50.735
Y10	7.300	0,63	0,11	39.542	44.946
Y11	7.300	0,52	0,10	46.154	49.950
Y12	6.093	0,62	0,10	39.566	45.597
Y13	4.201	0,76	0,22	10.078	14.279
Total	89.599	0,65	0,14	509.088	598.687

El movimiento total mina para el caso autónomo alcanza tonelajes mayores que los del caso base, esto para la mayoría de los periodos del plan minero. Ambos planes alcanzan un peak de 52 Mt anuales en el año 6, sin embargo, el plan para operación autónoma mantiene este ritmo hasta el año 12, mientras que en el caso base es solo durante un año.

A pesar de que el plan autónomo tiene ritmos de producción mayores, al tener el mismo movimiento máximo podría significar que no sea necesario un aumento en el tamaño de la flota, pero si un anticipo en la adquisición de equipos, ya que el plan minero alcanza tonelajes mayores en periodos más tempranos.

En pre-producción, el plan autónomo alcanza 35 Mt para poder cumplir con los requerimientos productivos, mientras que en el caso base este movimiento llega a 30,2 Mt.

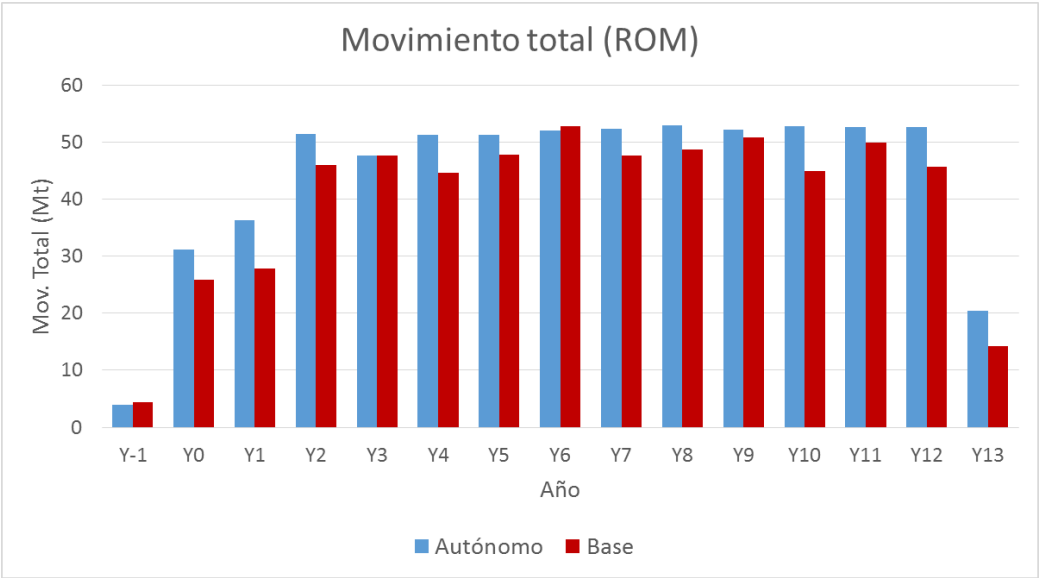


Figura 7-2: Comparación movimiento total planes mineros

La Tabla 7-3 muestra la alimentación a chancador proveniente desde mina y stock para el plan de operación manual y el de operación autónoma.

Tabla 7-3: Comparación alimentación a chancador

Caso Autónomo									
Periodo	Desde Mina			Desde Stock			Total		
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)
Y-1									
Y0									
Y1	6.252	0,89	0,17	53	0,66	0,17	6.305	0,89	0,17
Y2	7.300	0,59	0,14				7.300	0,59	0,14
Y3	7.300	0,69	0,18				7.300	0,69	0,18
Y4	7.300	0,69	0,14				7.300	0,69	0,14
Y5	7.300	0,65	0,11				7.300	0,65	0,11
Y6	7.300	0,57	0,13				7.300	0,57	0,13
Y7	7.300	0,65	0,13				7.300	0,65	0,13
Y8	7.300	0,68	0,20				7.300	0,68	0,20
Y9	7.300	0,63	0,15				7.300	0,63	0,15
Y10	4.499	0,64	0,15	2.801	0,32	0,10	7.300	0,52	0,13
Y11	4.913	0,78	0,09	2.387	0,32	0,10	7.300	0,63	0,09
Y12	6.463	0,61	0,10	541	0,32	0,10	7.004	0,59	0,10
Y13	4.662	0,76	0,21				4.662	0,76	0,21
Total	85.189	0,67	0,15	5.781	0,32	0,10	90.971	0,65	0,14

Caso Base									
Periodo	Desde Mina			Desde Stock			Total		
	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)	Tonelaje (kt)	Cu (%)	Au (g/t)
Y-1									
Y0									
Y1	6.137	0,91	0,18	168	0,86	0,15	6.305	0,91	0,18
Y2	7.300	0,58	0,14				7.300	0,58	0,14
Y3	7.300	0,68	0,16				7.300	0,68	0,16
Y4	7.300	0,73	0,15				7.300	0,73	0,15
Y5	7.300	0,63	0,12				7.300	0,63	0,12
Y6	7.300	0,56	0,10				7.300	0,56	0,10
Y7	7.300	0,70	0,14				7.300	0,70	0,14
Y8	7.300	0,70	0,19				7.300	0,70	0,19
Y9	7.300	0,54	0,16				7.300	0,54	0,16
Y10	5.405	0,74	0,11	1.895	0,32	0,10	7.300	0,63	0,11
Y11	3.796	0,71	0,09	3.504	0,32	0,10	7.300	0,52	0,10
Y12	6.031	0,62	0,11	62	0,32	0,10	6.093	0,62	0,10
Y13	4.201	0,76	0,22				4.201	0,76	0,22
Total	83.970	0,67	0,15	5.629	0,34	0,10	89.599	0,65	0,14

En ambos planes se cumple con una alimentación de 7,3 Mt por año hasta el año 11, en ambos casos la planta se alimenta durante 13 años. En los 2 últimos periodos del plan el caso autónomo envía mayor tonelaje a la planta, esto debido a que la envolvente contiene una mayor cantidad de mineral.

El plan de re-manejo es muy similar en ambos casos, se envía a planta en el año 1 una fracción del stock inicial y a partir del año 10 se re-maneja mineral de baja ley ($0,2 < \%Cu < COG$).

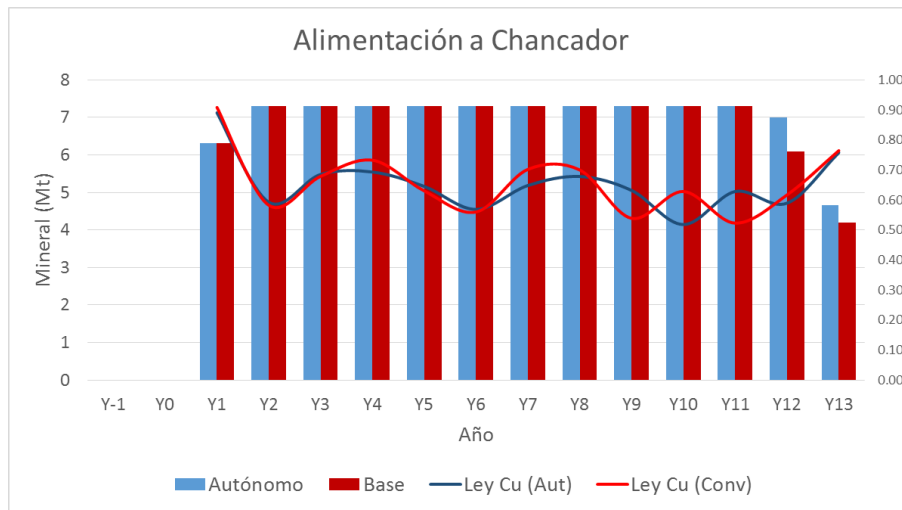


Figura 7-3: Comparación alimentación a chancador planes mineros

8. CALCULO DISTANCIAS DE TRANSPORTE

Para el cálculo de requerimientos de transporte es necesario contar con las distancias que recorren los camiones de acuerdo al plan. Se calcularon las distancias de transporte definidas por todas las rutas para los distintos tipos de material hacia los diferentes destinos asignados como se observa en el layout de la Figura 8-1.

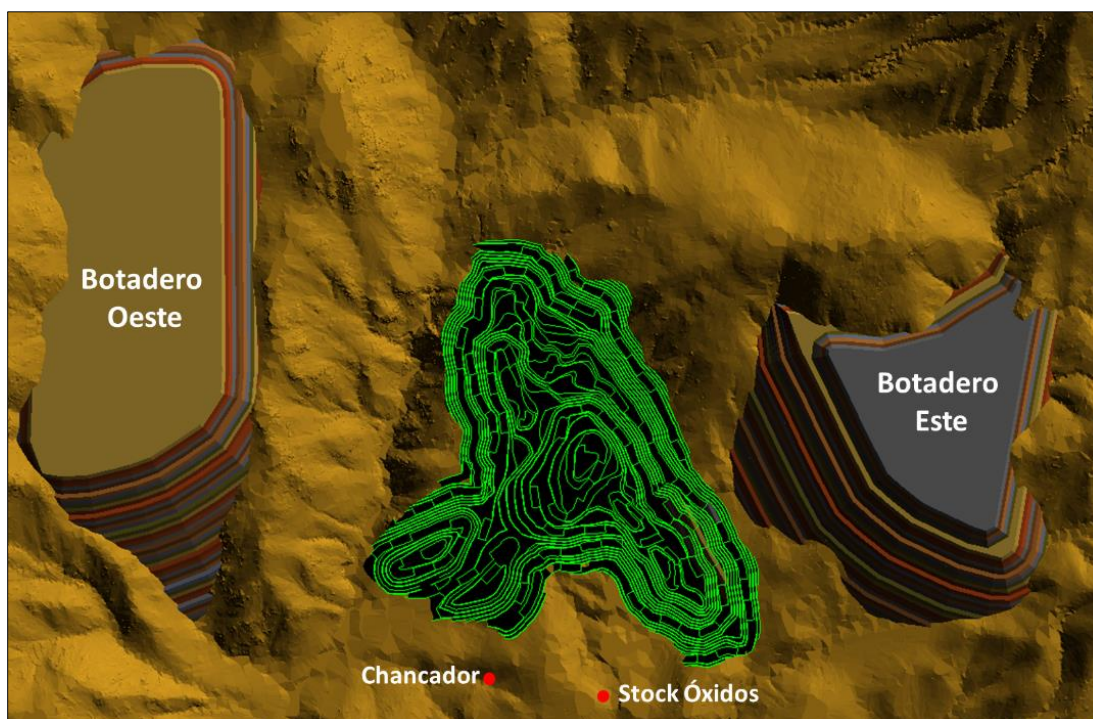


Figura 8-1: Layout general

La Tabla 8-1 muestra el promedio de distancias para cada caso, las cuales no presentan diferencias significativas.

Tabla 8-1: Distancias promedio

	Caso Autónomo		Caso Base	
	Metros	%	Metros	%
Horizontal	1.168	27%	1.227	29%
Subida	2.653	62%	2.546	60%
Bajada	445	10%	444	11%
Total	4.266		4.218	

La Figura 8-2 muestra la comparación entre la distancia media recorrida por año para el caso autónomo y el caso base, donde se puede ver que ambos casos tienen un perfil de distancias muy similar.

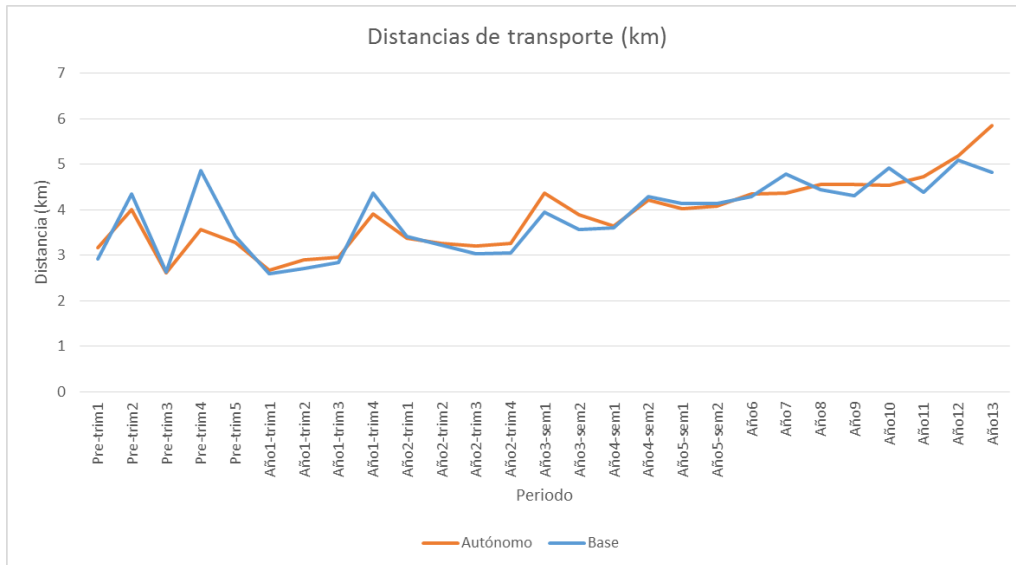


Figura 8-2: Comparación distancia media por periodo

La Figura 8-3 muestra la comparación de kilo toneladas – kilómetro por año. Esta medida tiene la ventaja de hacer comparables diferentes cantidades de material y sus distancias. Se obtuvo para el caso autónomo valores superiores que en el caso base, lo que se debe a los mayores tonelajes de transporte para dicho plan.

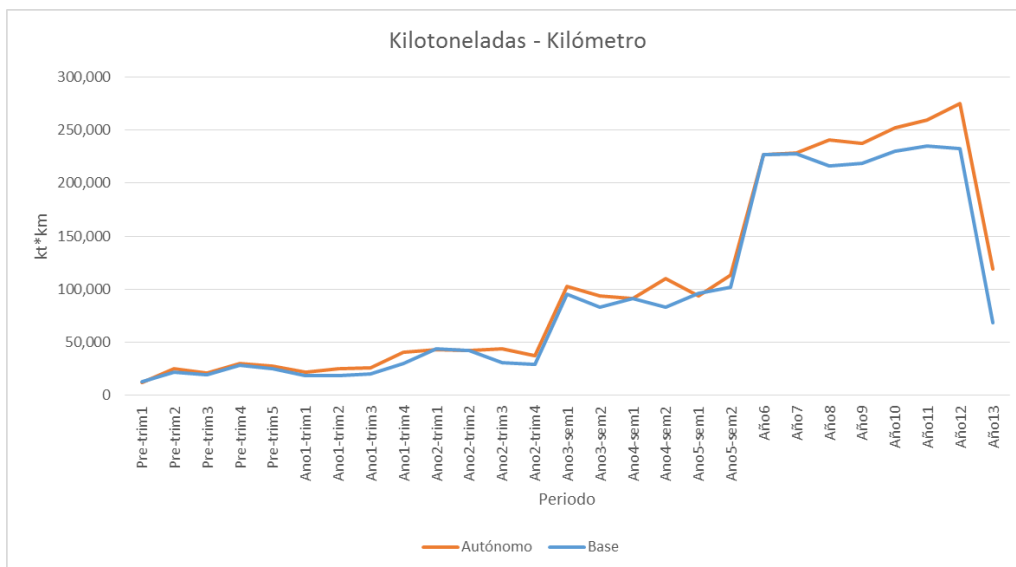


Figura 8-3: comparación kilotonelada-kilómetro por periodo

9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Basándose en la información recopilada, en la cual se establece la posible disminución de varios componentes de los costos operacionales, es probable que la utilización de camiones autónomos signifique una reducción en el costo unitario de operación, sin embargo, la implementación de camiones autónomos trae consigo algunos costos adicionales de soporte, licencias de operación y repuestos que no están presentes en la evaluación de operaciones con camiones manuales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los camiones autónomos requieren de una mayor inversión inicial, además de que los operadores deben ser capacitados para una multi-operación, lo que generaría mayores costos en ese aspecto.

A continuación, se presentan las estimaciones de costos de capital y operación para los 3 casos propuestos en este estudio, utilizando los criterios que se ven afectados por la implementación de la tecnología autónoma en el transporte.

9.1. Flota de equipos

Los requerimientos de equipos para la operación de la mina, se dimensionaron de acuerdo a la capacidad y rendimientos de cada equipo y al cumplimiento del plan de producción de la mina.

Uno de los principales aspectos afectados por la implementación de camiones de mayor envergadura y autónomos es el tamaño de la flota requerida, ya que esta se dimensiona de acuerdo a la capacidad de los equipos, sus rendimientos y el requerimiento del plan de producción.

Los índices operacionales que se han empleado se ajustan a las siguientes definiciones de disponibilidad, utilización y factor operacional, sobre la base de las horas totales, horas disponibles, horas de mantención, horas de operación, horas de reservas y pérdidas operacionales, horas efectivas y pérdidas operacionales.



Figura 9-1: Índices operacionales

Los índices operacionales se definen como:

- Disponibilidad (%) = Tiempo Disponible / Horas Nominal
- Utilización (%) = Tiempo Operativo / Tiempo Disponible
- Factor Operacional (%) = Tiempo Efectivo / Tiempo Operativo

A continuación, se presenta una tabla con las características más relevantes de los equipos principales a utilizar.

Tabla 9-1: Equipos principales operación

Operación	Caso Base	Escenario 1 y 2
Perforación	Mineral (Diámetro Perf. 7 7/8") Estéril (Diámetro Perf. 10 5/8")	Mineral (Diámetro Perf. 7 7/8") Estéril (Diámetro Perf. 10 5/8")
Carguío	Cargador Frontal (Balde 26 yd ³) Pala Hidráulica (Balde 29 yd ³)	Cargador Frontal (Balde 26 yd ³) Pala Hidráulica (Balde 37 yd ³)
Transporte	Camión Tolva 185 t	Camión Tolva 220 t

9.1.1. Requerimiento equipos de carguío

El equipo principal de carguío es la pala hidráulica y el cargador frontal actúa como apoyo en zonas de difícil acceso a la pala, limpieza de bancos y en el carguío en los stocks.

El cálculo de las productividades de los equipos de carguío se basa en las capacidades de los baldes y los factores de llenado.

El escenario 1 y 2 difieren del caso base en el tamaño de la pala hidráulica a utilizar para hacer posible la operación con el camión de mayor tamaño, esto podría generar diferencias en el número de equipos requeridos para cumplir con el plan de producción.

Tabla 9-2: Parámetros equipos de carguío

Pala Hidráulica	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Capacidad de balde (yd ³)	29	37	37
Factor de llenado (%)	96	96	96
Número de pases	4	4	4
Cargador Frontal	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Capacidad de balde (yd ³)	26	26	26
Factor de llenado (%)	85	85	85
Número de pases	5	5	6

El caso base tiene como requerimiento de carguío 3 palas hidráulicas de 29 yd³ y 1 cargador frontal de 26 yd³. Para el escenario 1 y escenario 2, donde el match de los cargadores es con un camión de mayor tamaño, la tercera pala queda sub-utilizada, por lo que es reemplazada por un cargador frontal, resultando 2 palas hidráulicas de 37 yd³ y 2 cargadores frontales de 26 yd³.

La Tabla 9-3 muestra el máximo requerimiento de equipos de carguío para cada uno de los casos y la Figura 9-2 el requerimiento de equipos de carguío por periodo.

Tabla 9-3: Número máximo de equipos de carguío

	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Pala hidráulica (#)	3	2	2
Cargador frontal (#)	1	2	2

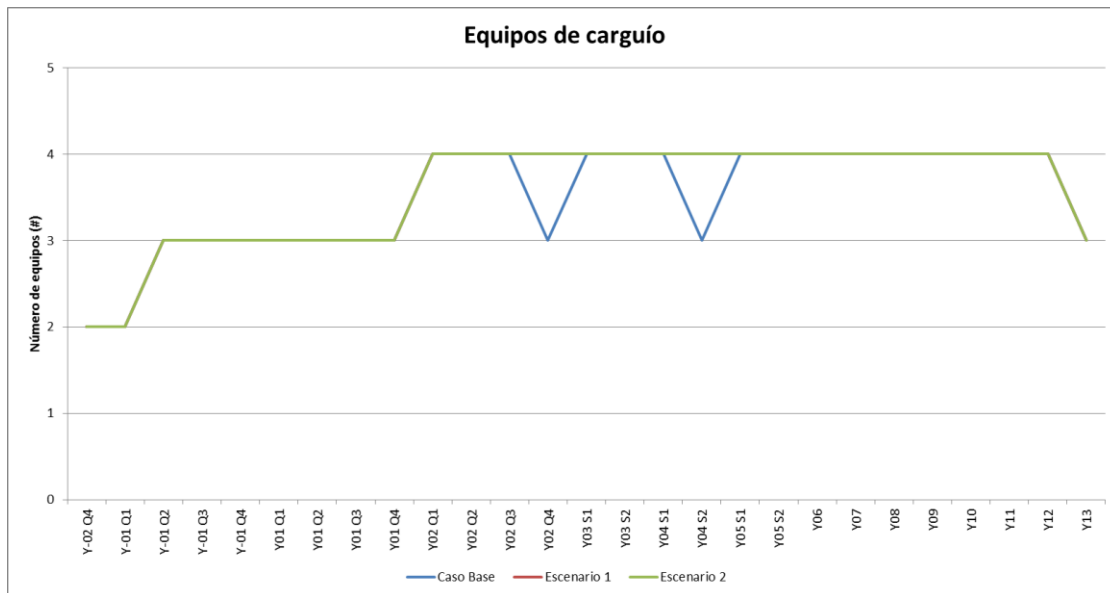


Figura 9-2: Requerimiento equipos de carguío

9.1.2. Requerimiento equipos de transporte

La flota de transporte requerida es uno de los principales factores que podría presentar diferencias entre los 3 escenarios.

En primer lugar, el mayor tamaño del camión utilizado en el escenario 1 y 2 con respecto al caso base podría genera una disminución en el número de camiones necesarios para cumplir con el plan de producción.

Luego, la utilización de camiones es uno de los parámetros que se ven favorecidos por la operación autónoma, principalmente porque no existe la pérdida de horas por cambio de turno ni colación. Se estima que la utilización aumenta en 1 hora por turno, lo que favorece a la disminución de la flota de camiones. La Tabla 9-4 muestra los índices operacionales de camiones utilizados para cada escenario.

Tabla 9-4: Índices operacionales para camión

Escenario	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Disponibilidad (%)	86,7	86,7	86,7
Utilización (%)	83,3	83,3	93,0
Factor Operacional (%)	91,7	91,7	91,7

Para el cálculo de los requerimientos de transporte se utilizan las rutas de transporte para los distintos tipos de material hacia los diferentes destinos presentadas en el capítulo anterior y junto con las velocidades se obtiene el tiempo de viaje utilizado para el cálculo de rendimiento de equipos.

Se estima que los camiones autónomos podrían transitar a una velocidad de un 3% mayor con respecto a la operación manual, debido a que las rutas por donde transitan se encuentran en mejor estado. La Tabla 9-5 presenta las velocidades medias utilizadas.

Tabla 9-5: Velocidades de camiones

Escenario	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Horizontal – Cargado	40.0	32.8	33.8
Subiendo – Cargado	12.0	12.0	12.4
Bajando – Cargado	30.0	31.4	32.3
Horizontal – Descargado	35.0	40.8	42.0
Subiendo – Descargado	35.0	33.1	34.1
Bajando – Descargado	40.0	40.8	42.0

Las productividades del transporte en los distintos tipos de material se han calculado empleando los tiempos de viaje e índices operacionales de factor operacional, disponibilidad mecánica y utilización para este equipamiento.

Teniendo las productividades de los equipos de transporte y los requerimientos de producción se determinaron los equipos requeridos por periodo, que se muestran a continuación.

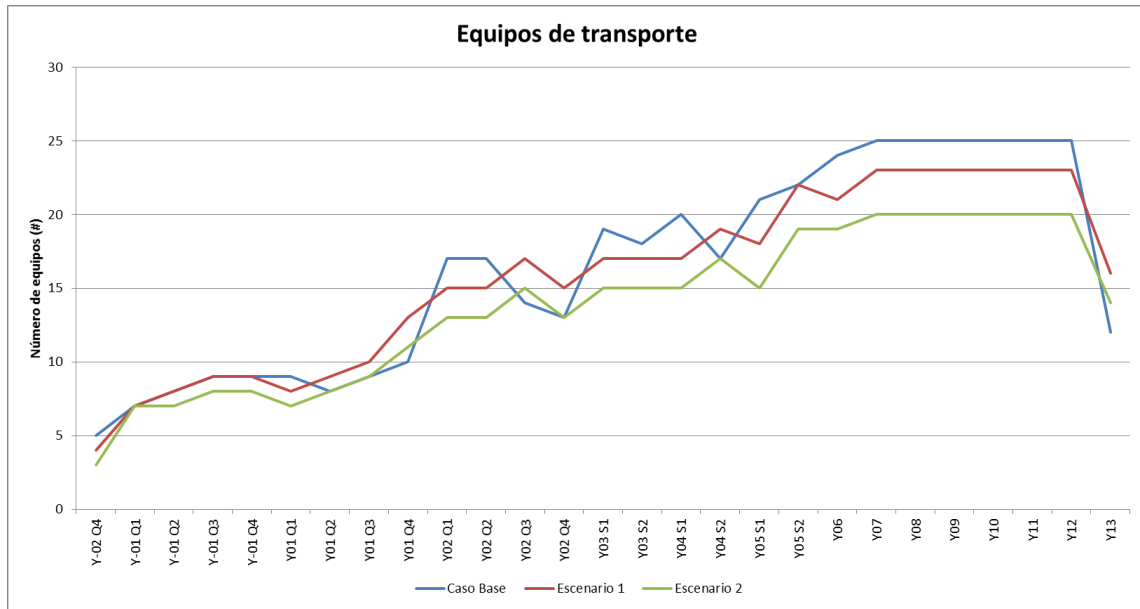


Figura 9-3: Requerimiento equipos de transporte

Como resultado, se obtuvo para el caso base un máximo de 25 camiones. Al aumentar el tamaño del camión en el escenario 1 se redujo el tamaño de la flota en 2 camiones, llegando a 23 y luego, al considerar los beneficios productivos de la tecnología autónoma, la flota se reduce a 20 camiones.

9.1.3. Requerimiento de equipos de perforación

El cálculo de las productividades de los equipos de perforación se basa en los requerimientos de perforación por tipo de roca en cuanto a las dimensiones de la malla de perforación requerida y la capacidad en velocidad de penetración de los equipos de perforación según el tipo de roca, en este caso se ha diferenciado la perforación de Mineral y Estéril.

Para las disponibilidades de los equipos de perforación, se ha utilizado disponibilidades decrecientes en los primeros años de trabajo, iniciando con 88% de disponibilidad el equipo nuevo y llegando a 82%.

Con las productividades de los equipos y los requerimientos de producción se han determinado los equipos requeridos por periodo, que se muestran en la figura siguiente.

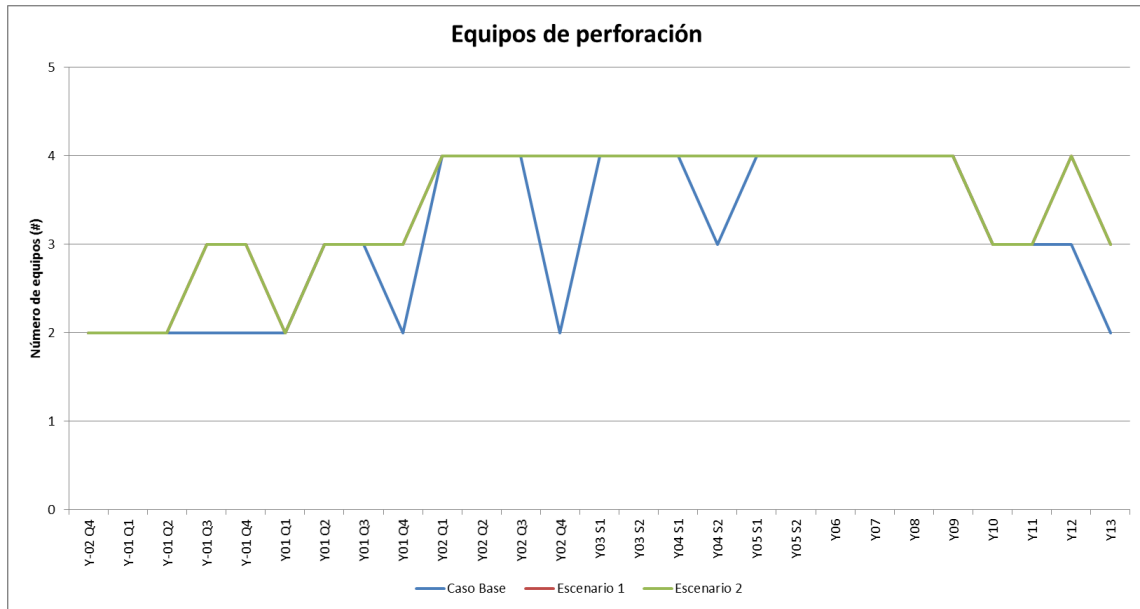


Figura 9-4: Requerimiento de equipos de perforación

Para los periodos de producción en régimen del plan de producción se requiere 2 perforadoras para el mineral y 2 perforadoras para el estéril.

9.1.4. Requerimiento de equipos auxiliares y de soporte

El requerimiento de estos equipos se ha calculado en base a lo siguiente:

- Los equipos bulldozer, operan principalmente como apoyo a los equipos de carguío y se estima el requerimiento del bulldozer tipo 1 en 1 unidad por cada 2 equipos de carguío y uno adicional para trabajos en el botadero y el bulldozer tipo 2 se estima en 1 unidad por cada 2 equipos de carguío.
- Los equipos wheeldozer, operan principalmente como apoyo a los equipos de carguío, transporte y perforación, como limpieza de pisos para su operación y se ha estimado el requerimiento para el caso del wheeldozer tipo 1 en 1 unidad cada 4 equipos de carguío y el wheeldozer tipo 2 en una unidad cada 2 equipos de carguío.
- Las motoniveladoras que operan en la mantención de caminos, se ha calculado su requerimiento en base a la longitud de caminos del plan, con los parámetros de velocidad y cobertura por cada pasada en el camino.
- El camión regador que actúa principalmente en el riego de caminos, se ha estimado su requerimiento en función de la longitud de caminos tomando en consideración los parámetros de cobertura del riego, velocidad de operación, número de pases requeridos.
- Los equipos de soporte se estiman en una unidad para el plan de producción, excepto las luminarias cuyo requerimiento se estima en una unidad por cada perforadora, pala y 2 unidades para la descarga de camiones en los botaderos.

A continuación, se presenta el requerimiento por periodo de equipos auxiliares. El requerimiento de equipos en los 3 casos alcanza un máximo de 13 unidades, la diferencia se encuentra en que para el Escenario 2 (camión autónomo) la utilización de estos equipos es mayor, lo que se ve reflejado en los costos de operación.

Tabla 9-6: Máximo requerimiento equipos auxiliares

	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Bulldozer 1	2	2	2
Bulldozer 2	3	3	3
Wheeldozer 1	1	1	1
Wheeldozer 2	3	3	3
Moto-Niveladora	3	3	3
Camión Aljibe	1	1	1

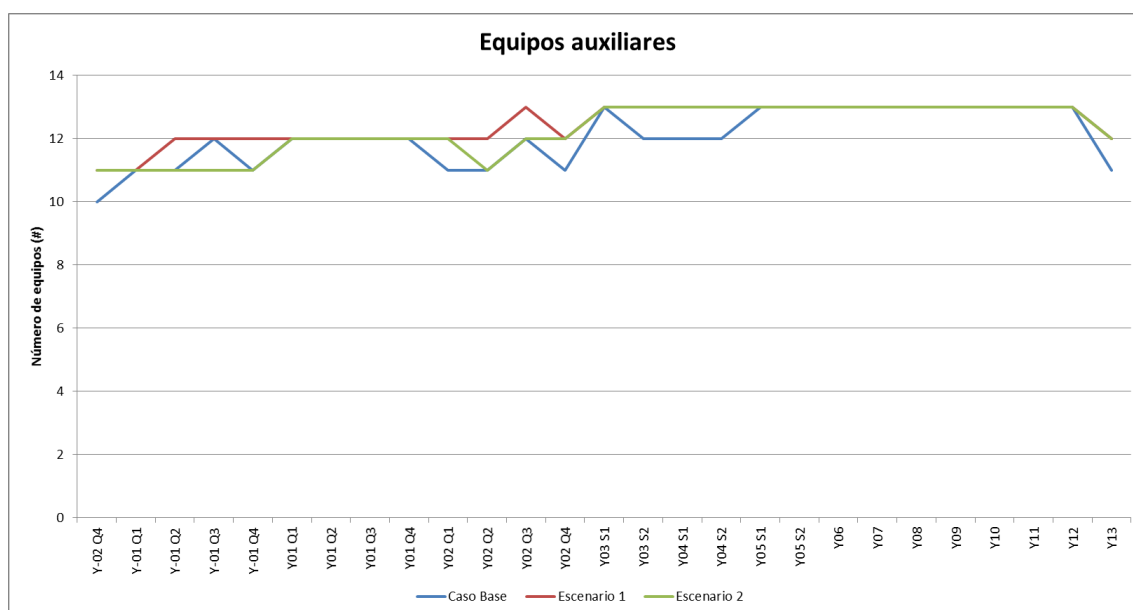


Figura 9-5: Requerimiento de equipos auxiliares

A continuación, se presenta el requerimiento por periodo de equipos de soporte. El requerimiento de equipos en los 3 casos alcanza un máximo de 18 unidades.

Tabla 9-7: Máximo requerimiento equipos de soporte

	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Vehículo Multi-Servicios	1	1	1
Camión de Combustible	1	1	1
Camión Lubricador	1	1	1
Camión de Servicios	1	1	1
Camión Carga Liviana	1	1	1
Grúa Móvil	1	1	1
Retroexcavadora	1	1	1
Manipulador de Neumáticos	1	1	1
Torres de iluminación	10	10	10

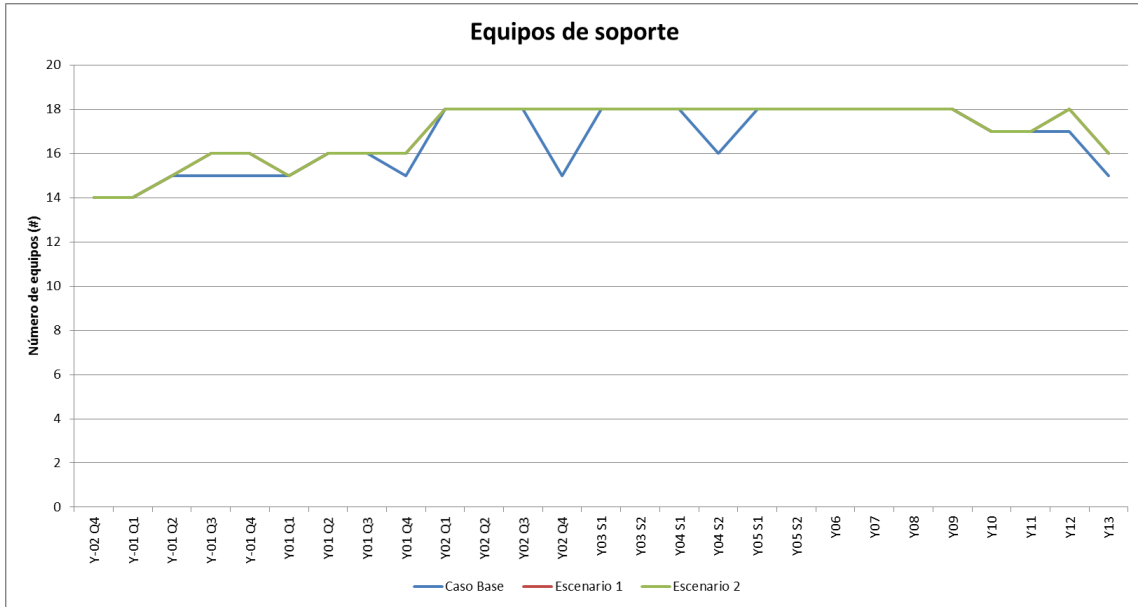


Figura 9-6: Requerimiento de equipos de soporte

9.2. Dotación

Otro de los ítems importantes en el cálculo del costo mina, luego de calculada la flota de equipos es la mano de obra, en este caso se considera una planilla fija para las áreas de gerencia, planificación, operación mina y mantenimiento.

Tabla 9-8: Dotación para administración mina

Cargo	#	Sueldo (US\$/año)
Operaciones Mina	18	
Superintendente Mina	1	176.000
Jefe de Operaciones	1	83.000
Jefes de Turno	4	57.000
Instructor Operaciones	1	30.000
Asistente Administrativo	2	26.000
Ingeniero Dispatch	1	26.000
Operador Dispatch	4	33.000
Choferes	4	28.000
Mantenimiento Mina	11	
Jefe de Mantenimiento	1	83.000
Ingeniero Mecánico Mantenimiento	2	57.000
Supervisores de Mantenimiento	4	57.000
Jefe de Taller	1	57.000
Jefe de Terreno	1	57.000
Programadores	2	30.000
Servicios técnicos	21	
Jefe de Planificación	1	83.000
Ingenieros de Minas (Planificación + Geo-mecánica)	6	57.000
Analista	1	33.000
Topógrafos	1	33.000
Secretario	1	26.000
Geólogos	3	57.000
Alarifes	1	28.000
Jefe Muestreo	1	30.000
Capataz Muestreros	2	33.000
Muestreros	4	28.000
TOTAL	50	

Para el escenario 2 se considera una dotación adicional a la contemplada en la operación manual, la cual se detalla a continuación:

- Staff de capacitación, ya que el sistema requiere una organización potente en términos de capacitación y entrenamiento
 - 1 Jefe Capacitación: 57.000 US\$/año
 - 1 Instructor Sala: 30.000 US\$/año
 - 4 Instructores Terreno: 30.000 US\$/año
 - 1 Analista información: 26.000 US\$/año
- Además del Jefe de Turno, se requiere un profesional u operador avezado que cumpla las funciones de Pit Patroller en la mina. (57.000 US\$/año)
- Nivel de despachadores mina debe ser al menos Ingeniero Ejecución. Se requiere además 5 despachadores adicionales a los que tenía la operación manual, con un 20% más de remuneración.

Para el caso de los operadores, se consideran un sistema de turno continuo de 7 x 7, con 4 grupos de trabajo, es decir, 4 operadores por equipo. Además, se agrega un 12.5% sobre las horas de un turno correspondiente a vacaciones y ausentismos.

La implementación de camiones autónomos trae consigo una disminución en el número de operadores de camiones, ya que en este caso 1 hombre opera varios equipos de manera simultánea.

Si bien, el objetivo de la operación autónoma señala que no se requieren operadores dedicados específicamente para camiones ya que los mismos operadores de equipos auxiliares estarían capacitados para esto, la experiencia indica que no se ha logrado reducir en un 100% el número de operadores, ya que aún existen algunas labores dentro de la operación minera que no ha sido posible realizar utilizando el camión en modo autónomo, como apertura de rampas o bancos muy estrechos que se presentan en la aperturas de fase. Esto es relevante, ya que no se puede prescindir del total de los operadores de camiones.

Se utilizó como criterio una reducción a un 30% para el número de operadores de camiones y adicionalmente se agrega un 5% de la dotación de otros equipos por concepto de capacitación, ya que todos los operadores deben ser multi-funcionales y más capacitados que en una operación manual. El factor de capacitación es aplicable a los operadores de todos los equipos.

Tabla 9-9: Cálculo operadores de equipos

Escenario	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Operadores por camión	4	4	1.2
Factor de capacitación	-	-	5%

En cuanto a los salarios de los operadores, se considera un aumento de un 20% para la operación autónoma, esto debido a que se necesitan operadores más capacitados, de carácter multi-funcional, es decir, que sean capaces de operar cualquier equipo y su salario debe ser competitivo en el mercado para asegurar una baja rotación.

Tabla 9-10; Sueldo base operadores y meconios

Equipos		Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Carguío				
Cargador Frontal	US\$/año	31.000	31.000	37.200
Pala hidráulica	US\$/año	39.000	39.000	46.800
Transporte				
Camión	US\$/año	31.000	31.000	37.200
Perforación				
Perforadoras	US\$/año	31.000	31.000	37.200
Auxiliares				
Equipos auxiliares	US\$/año	31.000	31.000	37.200
Soporte				
Equipos de soporte	US\$/año	28.000	28.000	33.600
Mecánicos				
	US\$/año	39.000	39.000	39.000

La mano de obra requerida para operación y mantención de equipos se reduce en 65 operadores, principalmente producto de la reducción de flota de camiones y el número de operadores necesarios para la autonomía. Por otro lado, el número de personas requeridas para la administración mina aumenta.

Tabla 9-11: Requerimiento de mano de obra

	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Operadores	202	195	137
Carguío	18	19	19
Trasporte	107	99	27
Perforación	19	19	20
Auxiliares	41	41	53
Soporte	17	17	18
Mecánicos	144	136	124
Administración mina	50	50	65
Total	396	381	326

La mano de obra total baja un 4% producto del cambio de tamaño del camión y luego un 14% por la implementación de autonomía, llegando a 326 personas como máximo para el escenario 2, con operación autónoma.

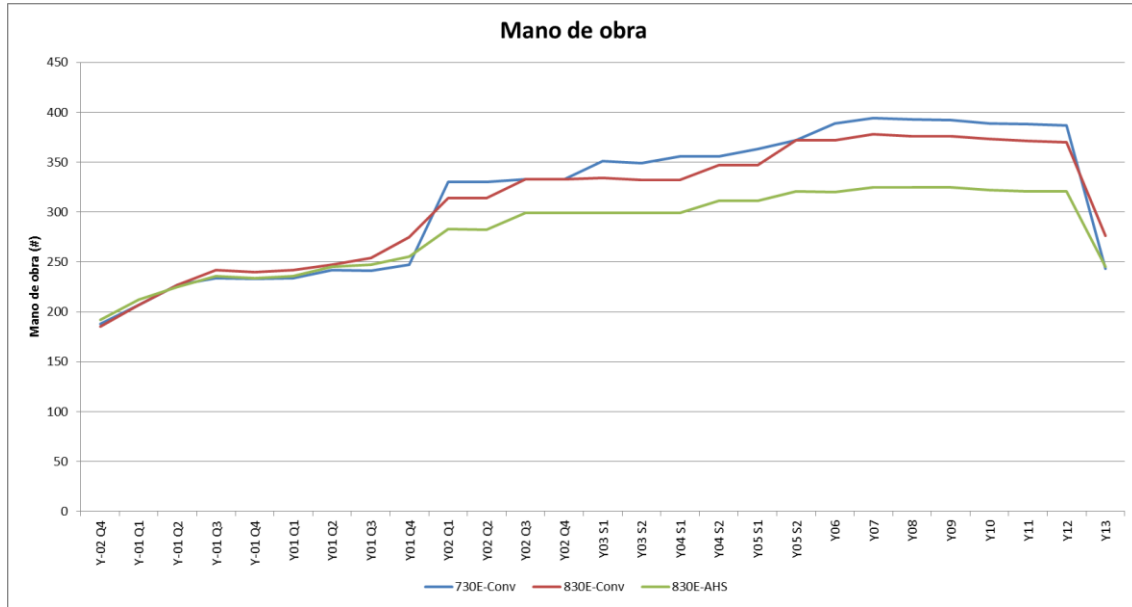


Figura 9-7: Requerimientos de mano de obra

Por otro lado, el gasto por mano de obra baja un 3% producto del cambio de tamaño del camión y solo un 2% por la implementación de autonomía, esto debido a que el sueldo de los operadores aumentó.

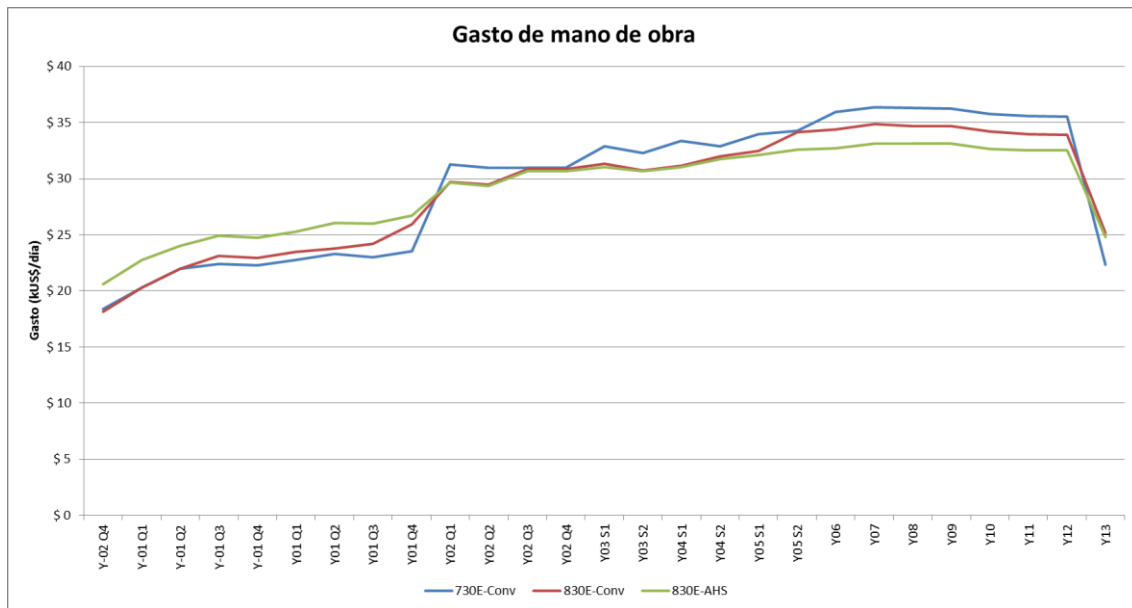


Figura 9-8: Gasto total mano de obra

9.3. Costos de operación

El cálculo del costo de operación se basa en los costos horarios de los equipos y las horas de operación requeridas para cumplir con el plan minero. El costo horario incluye costos de mantenimiento, combustible, lubricantes, grasa, neumáticos, mano de obra, entre otros.

La siguiente tabla presenta el costo unitario de los principales elementos de consumo para los equipos.

Tabla 9-12: Costos de operación unitarios

	Caso Unitario
ANFO	0,69 US\$/Kg
Energía Eléctrica	0,17 US\$/kWh
Combustible	0,524 US\$/l
Lubricante	2,4 US\$/l

Dentro de la información recolectada sobre tecnologías autónomas, después de una mejora en los estándares de seguridad, una posible disminución de los costos operativos es el efecto más nombrado entre los autores. Los costos operacionales engloban a varios sub costos como los costos salariales, costos de combustibles, costos de mantenimiento y reparación, costos de neumáticos, entre otros. A continuación, se analizan cada uno de estos ítems.

- **Costo de combustibles:** El consumo de combustible de los camiones autónomos considera una probable reducción del orden del 15%. Por lo tanto, debería haber una disminución del mismo orden en los costos de combustibles.

La Tabla 9-13 presenta los consumos de combustible para cada equipo, donde se destacan los consumos para la pala hidráulica que varía de acuerdo al tamaño de la pala y el camión.

Tabla 9-13: Consumo de combustible equipos

Equipo	Caso Base l/hr	Escenario 1 l/hr	Escenario 2 l/hr
Cargador frontal	165	165	165
Pala Hidráulica	251	330	330
Camión	152	170	145
Perforadora mineral	107	107	107
Perforadora estéril	105	105	105
Bulldozer 1	69	69	69
Bulldozer 2	98	98	98
Wheeldozer 1	84	84	84
Wheeldozer 2	83	83	83
Moto niveladora	32	32	32
Camión aljibe	113	113	113

- **Costos de mantenimiento de camiones:** Estos costos están asociados a las mantenencias planificadas y no planificadas realizadas a los equipos. Se considera que los componentes principales de los camiones tendrían una

mayor durabilidad en camiones autónomos, lo que significaría una economía de un 30% en los costos de mantención correspondientes a las componentes principales.

La Tabla 9-14 presenta los costos de mantención promedio estimados para cada equipo, donde se destacan los consumos para la pala hidráulica que varía de acuerdo al tamaño de la pala y el camión.

Tabla 9-14: Costo de mantención

Equipo	Caso Base US\$/hr	Escenario 1 US\$/hr	Escenario 2 US\$/hr
Cargador frontal	160	160	160
Pala Hidráulica	154	162	162
Camión	126	143	131
Perforadora mineral	40	40	40
Perforadora estéril	49	49	49
Bulldozer 1	90	90	90
Bulldozer 2	115	115	115
Wheeldozer 1	70	70	70
Wheeldozer 2	89	89	89
Moto niveladora	93	93	93
Camión aljibe	100	100	100

- **Costos de neumáticos:** La operación autónoma logra un mejor rendimiento de los neumáticos, que se estima en un 50% más de duración. Si el desgaste de neumáticos es menor, será necesario comprar neumáticos menos frecuentemente, por lo que también debería generarse una disminución en los costos de neumáticos.

Tabla 9-15: Vida útil de neumáticos

Escenario	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Vida útil neumáticos (hr)	6.000	6.000	9.000

- **Costo de control de taludes:** La operación de camiones autónomos exige que las rutas se encuentren libres de derrames y en las mejores condiciones, ya que los obstáculos generan detenciones en los camiones. Para esto se considera un aumento de un 10% en el gasto de control de taludes de la mina.

Tabla 9-16: Costo control de taludes

Escenario	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Control de taludes (US\$/año)	220.000	220.000	242.000

- **Costo de operación equipos auxiliares:** En la misma línea del punto anterior, se encuentra la mayor utilización de equipos auxiliares, ya que deben estar constantemente en operaciones de limpieza y mantenimiento de rutas.

Tabla 9-17: Utilización equipos auxiliares

Escenario	Caso Base %	Escenario 1 %	Escenario 2 %
Bulldozer	60	60	75
Wheeldozer	60	60	75
Moto niveladora	65	65	75
Camión aljibe	65	65	75

- **Costos adicionales sistema autónomo:** La implementación de camiones autónomos significa un conjunto de costos adicionales que no están contemplados a la operación manual. Estos costos están comprometidos con la empresa que suministra los equipos. Un total estimado de este costo fue proporcionado por una de las empresas proveedoras de camiones autónomos y se mantiene en reserva por compromisos de confidencialidad. El costo incluye los siguientes ítems:
 - Tarifa anual por uso de licencia del software
 - Tarifa mensual de soporte local y remoto
 - Tarifa mensual por repuestos de equipos

9.4. Costos de inversión

Los gastos de capital consideran la adquisición de equipos según los requerimientos determinados por el plan de producción para las operaciones unitarias de perforación, carguío, transporte, equipos auxiliares y de soporte. También se consideran otros gastos de capital como son labores pioneras de desarrollo como caminos y plataformas iniciales.

El cálculo de inversión para equipos se realiza considerando la reposición en base a la vida útil. La Tabla 9-18 presenta las horas de vida útil utilizadas para cada equipo y el costo de adquisición.

Tabla 9-18: Costo adquisición equipos

Equipo	Vida útil (Horas)	Caso Base kUS\$	Escenario 1 kUS\$	Escenario 2 kUS\$
Perforación				
Mineral	60.000	1.400	1.400	1.400
Estéril	60.000	2.000	2.000	2.000
Carguío				
Cargador Frontal	45.000	5.000	5.000	5.000
Pala Hidráulica	90.000	5.945	9.300	9.300
Transporte				
Camión	70.000	2.952	4.220	4.220
Auxiliares				
Bulldozer 1	32.000	1.262	1.262	1.262
Bulldozer 2	40.000	1.987	1.987	1.987
Wheeldozer 1	42.000	1.074	1.074	1.074
Wheeldozer 2	42.000	1.974	1.974	1.974
Motoniveladora 1	50.000	865	865	865
Camión Regador	60.000	1.811	1.811	1.811
Soporte				
Vehículo Multi Servicios	36.000	164	164	164
Camión de Combustible	40.000	1.611	1.611	1.611
Camión Lubricador	36.000	350	350	350
Camión de Servicios	36.000	490	490	490
Camión Carga Liviana	36.000	33	33	33
Grúa Móvil	36.000	1.560	1.560	1.560
Retroexcavadora	36.000	215	215	215
Manipulador de Neumáticos	30.000	1.272	1.272	1.272
Torres de Iluminación	20.000	13	13	13

La operación autónoma significa un costo de implementación de dispositivos adicionales tanto en los camiones como el resto de los equipos que van a trabajar en conjunto con ellos, el costo estimado de esta inversión de detalla a continuación:

- Implementación en camiones: 650.000
US\$/equipo
- Implementación en equipos auxiliares y de carguío: 100.000
US\$/equipo
- Implementación en camionetas: 60.000
US\$/equipo

{Además, se requiere la instalación de 2 cabinas simuladoras y central de entrenamiento estimada en 2,4 MUS\$ cada una.

10. ANÁLISIS DE COSTOS

10.1. Escenario actual

El análisis de los escenarios propuestos en el estudio se realizará mediante el indicador VAC (Valor Actual de Costos), que significa la actualización a una tasa de descuento fija de todos los elementos de costos de cada alternativa, es decir la suma de los costos de operación y costos de capital.

A continuación, se presenta el resultado de costos de operación para los 3 casos en estudio, todos los resultados están actualizados a una tasa de descuento de 8%.

Con respecto al gasto total, aumenta en 44 MUS\$ para el escenario 1, esto se debe principalmente al gasto en carguío y transporte, ya que el plan asociado a este escenario contiene un 10% adicional material a mover.

Para el escenario 2, al implementar la autonomía hay un aumento de 8 MUS\$. Para este caso la mayoría de los ítems se mantuvieron muy cercanos al escenario 1, exceptuando el costo de transporte que tuvo una baja significativa. Se observa también un alza en el costo de equipos auxiliares y los gastos en ingeniería y administración, es en este ítem donde impactan fuertemente los costos adicionales relacionados con sistema autónomo, que dependen de la empresa proveedora de camiones.

Tabla 10-1: Gasto total de operación

Costos de operación	Unidad	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Carguío	MUS\$	57	66	67
Transporte	MUS\$	240	265	218
Perforación	MUS\$	26	28	29
Tronadura	MUS\$	57	61	61
Auxiliares	MUS\$	68	72	87
Soprote	MUS\$	10	10	11
Ingeniería y Administración	MUS\$	24	24	61
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	8	8	8
Total	MUS\$	490	534	542

La Tabla 10-2 presenta el costo por tonelada movida. Se obtuvo una baja de un 1% al cambiar el tamaño del camión y luego un aumento al implementar la autonomía, el cual responde principalmente al aumento en el costo de ingeniería y administración. El costo de transporte llega a 0.7 US\$/t con autonomía, un 18% más bajo que para el Escenario 1

Tabla 10-2: Costo de operación unitario

Costos de operación	Unidad	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Carguío	US\$/t	0,196	0,204	0,207
Transporte	US\$/t	0,852	0,856	0,700
Perforación	US\$/t	0,088	0,086	0,089
Tronadura	US\$/t	0,189	0,185	0,185
Auxiliares	US\$/t	0,232	0,221	0,265
Soporte	US\$/t	0,033	0,030	0,033
Ingeniería y Administración	US\$/t	0,078	0,071	0,187
Drenaje y monitoreo de taludes	US\$/t	0,028	0,026	0,027
Total	US\$/t	1,695	1,678	1,692

En cuanto al gasto de capital, la Tabla 10-3 presenta el total obtenido para los 3 casos de estudio, actualizados a una tasa de descuento de 8%.

Se obtuvo un aumento significativo entre el caso base y los escenarios 1 y 2, principalmente por la compra y reacondicionamiento de equipos. Si bien en los escenarios 1 y 2 se requiere una menor cantidad de camiones, el valor de estos es más elevado al ser camiones de mayor tamaño.

Tabla 10-3: Costo de inversión total

Costos de capital	Unidad	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Equipos Carguío	MUS\$	19	25	25
Equipos Transporte	MUS\$	52	70	71
Equipos Perforación	MUS\$	6	6	6
Equipos Auxiliares	MUS\$	19	21	21
Equipos de Soporte	MUS\$	5	5	5
Overhaul Equipos	MUS\$	3	12	13
Otras Inversiones	MUS\$	14	16	21
Sistema de despacho	MUS\$	2	2	2
Operación de preproducción	MUS\$	36	40	44
Total	MUS\$	157	195	208

Como resultado, se obtuvo un aumento total de costos actualizados de 83 MUS\$ entre el caso base y el escenario 1, producto de cambiar el tamaño del camión.

Luego, al aplicar el cambio de tecnología entre el escenario 1 y escenario 2, se obtuvo un aumento de 22 MUS\$, llegando a un total de 751 MUS para el camión autónomo. Este resultado se presenta en la Tabla 10-1 y Tabla 10-4.

El aumento se ve reflejado tanto en los costos de operación como en el costo capital.

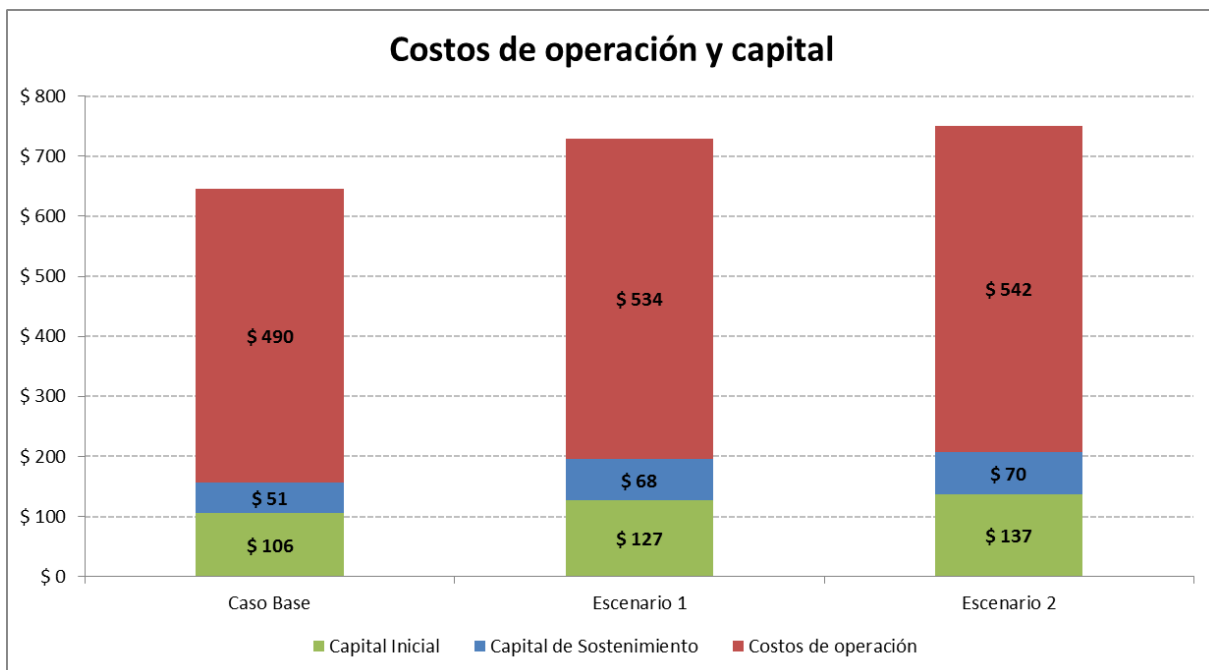


Figura 10-1: Comparación de costos de operación y capital

Tabla 10-4: Comparación costos de operación y capital

Costos (Tasa de dcto. 8%)	Unidad	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2
Capital inicial	MUS\$	106	127	137
Capital de sostenimiento	MUS\$	51	68	71
Costos de operación	MUS\$	490	534	542
Total	MUS\$	646	729	751

El gráfico presentado en la Figura 10-2 muestra las principales componentes de costos analizadas y su efecto con respecto al resultado final.

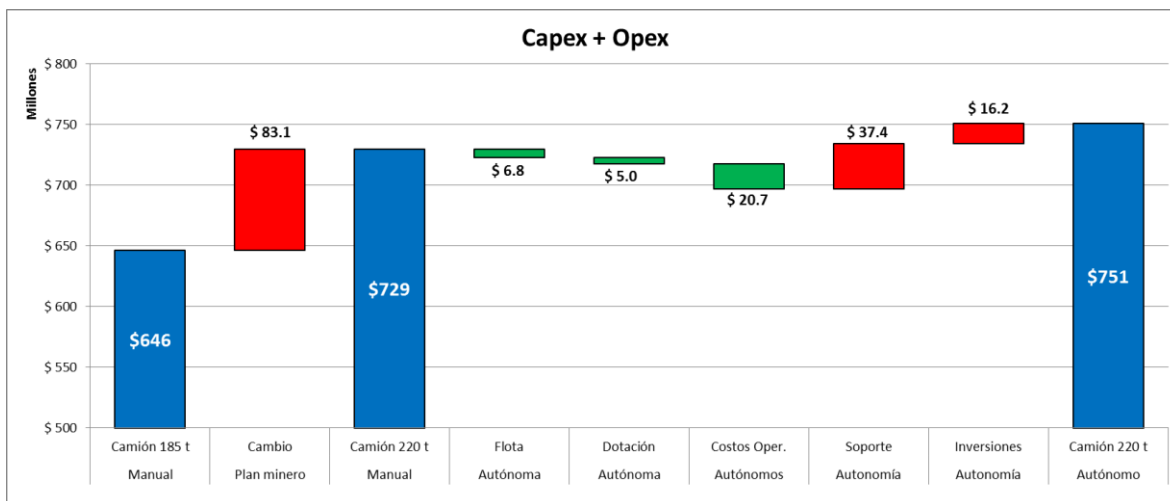


Figura 10-2: Análisis de costos

Al cambiar el plan minero producto del cambio en el tamaño del camión de 185 t a uno de 220 t se obtuvo un incremento de 83 MUS\$.

Luego, al implementar la autonomía en la flota de camiones de 220 t, se obtienen importantes disminuciones de costos relacionadas con:

- Reducción del tamaño de la flota: - 6,8 MUS\$
- Disminución de la dotación requerida: - 5,0 MUS\$
- Reducción de los costos de operación mina: - 20,7 MUS\$

Sin embargo, las tarifas de soporte propias de la operación del sistema autónomo significan un importante aumento de 37,4 MUS\$, junto con las inversiones adicionales por implementación de autonomía que agregan 16,2 MUS\$ al costo capital.

Esto indica que la aplicación de la tecnología autónoma en camiones tiene ventajas comparativas con respecto a camiones manuales en términos operativos, ya que permite tener una mayor utilización del tiempo de trabajo, reducir el número de equipos de transporte y mantener prácticas operacionales más amigables tanto con las personas como con los equipos de la mina, sin embargo, al ser aún una tecnología muy poco utilizada en Chile y con pocas empresas que puedan proveer del servicio, los costos asociados a su implementación son aún muy elevados.

10.2. Escenario futuro

La minería ha tenido un desarrollo sostenido a lo largo de los años en el aspecto tecnológico y todo apunta a un futuro mucho más inteligente y automatizado. Ahora bien, lo que ha ocurrido es que mucha de esta inteligencia no ha sido parte de la cultura dentro de las empresas mineras, si no que todos estos avances se han ido externalizando y se ha entregado el control del proceso productivo a las empresas que proveen servicios a las compañías.

En la actualidad, la industria minera enfrenta un problema de incompatibilidad entre las tecnologías de automatización utilizadas en las distintas etapas del proceso. Se han realizado grandes avances e inversiones, pero no se ha puesto el foco en un proceso minero integrado, donde distintas tecnologías puedan ser compatibles entre sí para obtener el mayor potencial de cada una.

Las minas por lo general tienen un gran número de equipos independientes de distintos proveedores, cada uno de los cuales dispone de sus propios datos e interfaces y los operadores y personal de salas de control deben vigilar muchas pantallas para coordinar diferentes partes del proceso. Una de las claves para un proceso más eficiente y seguro está en la integración de los datos y procesos de trabajo y para esto surge la necesidad de desarrollar estándares de interoperabilidad en la minería.

La tendencia en automatización tiene relación con lograr estándares que permitan la interoperabilidad entre distintos equipos y sistemas, lo cual se hace fundamental para tener una industria más competitiva y que el desarrollo de tecnologías sea eficiente. Esto permitirá que distintos fabricantes del mundo puedan especializarse en el desarrollo de componentes beneficiando a emprendedores y centros de investigación para que puedan ser un complemento a los proveedores de equipos y a la vez la diversificación de la oferta beneficiará a las empresas mineras que podrán acceder a las tecnologías a un menor costo.

La interoperabilidad es la capacidad que tiene un producto o un sistema para funcionar con otros productos o sistemas, generalmente de otros fabricantes o proveedores, sin restricción de acceso o de implementación. Esto se logra a través del intercambio y uso de información entre distintas partes del negocio.

Algunos de los beneficios que traería el desarrollo de estándares de componentes y sistemas en la minería, para facilitar el trabajo colaborativo entre distintos agentes son:

- Mayor especialización de proveedores, lo que permite un desarrollo tecnológico más efectivo.
- Reducción de barreras de entrada para nuevos proveedores de productos o servicios.
- Mayor competencia en el mercado lo que trae beneficios económicos (menores costos de licitación y contratos más favorables para las mineras, menores costos de mantenimiento, etc.)
- Mercados abiertos y más competitivos.
- Mayores facilidades en la implementación y la posibilidad de migrar entre sistemas de diferentes proveedores.

En la industria minera existe la necesidad de estandarizar los procesos productivos para poder alcanzar un desarrollo tecnológico más eficaz. A modo de ejemplo se encuentran los camiones autónomos, los cuales son provistos por pocos fabricantes y la inexistencia de estándares de interoperabilidad entre los sistemas de dichos equipos impide que empresas distintas puedan proveer de servicios y desarrollar componentes que potencien el trabajo de

los camiones autónomos. Esto afecta a la competitividad y reduce el espacio para innovación restringiendo que otros especialistas puedan aportar con nuevos desarrollos tecnológicos.

A continuación, se plantean los resultados de un escenario pensando en una operación autónoma con estándares de interoperabilidad. Se tomaron algunas consideraciones pensando en los beneficios que podría traer el trabajo colaborativo entre distintos actores de la minería y la masificación de las tecnologías.

- Con el avance de la tecnología la operación de los camiones podrá realizarse de manera 100% autónoma, pudiendo prescindir de los operadores destinados a camiones
- La masificación de la autonomía en faenas mineras chilenas aumentará la oferta de operadores capacitados en la multi-operación, por lo que no sería más costoso un operador manual que uno capacitado para autonomía.
- El aumento de la competencia y la entrada de nuevos proveedores al mercado permitiría implementar la tecnología a costos menores. Este beneficio también se obtendría en el área de licencias y soporte. Se consideró una reducción de un 30% en los costos adicionales relacionados con operación e inversión de autonomía.

El análisis tiene como resultado una disminución de los costos de operación con respecto al escenario 1 de operación manual. Este ejercicio está basado en supuestos y sólo tiene como objetivo mostrar que la masificación y los avances de la tecnología autónoma podrían posicionarla como una alternativa rentable ante la tecnología manual, ya que hoy en día, los elevados costos de las empresas proveedoras y las pocas alternativas que hay en el mercado hacen que la alternativa se aleje de los costos obtenidos con las tecnologías convencionales y algunas empresas opten por lo tradicional.

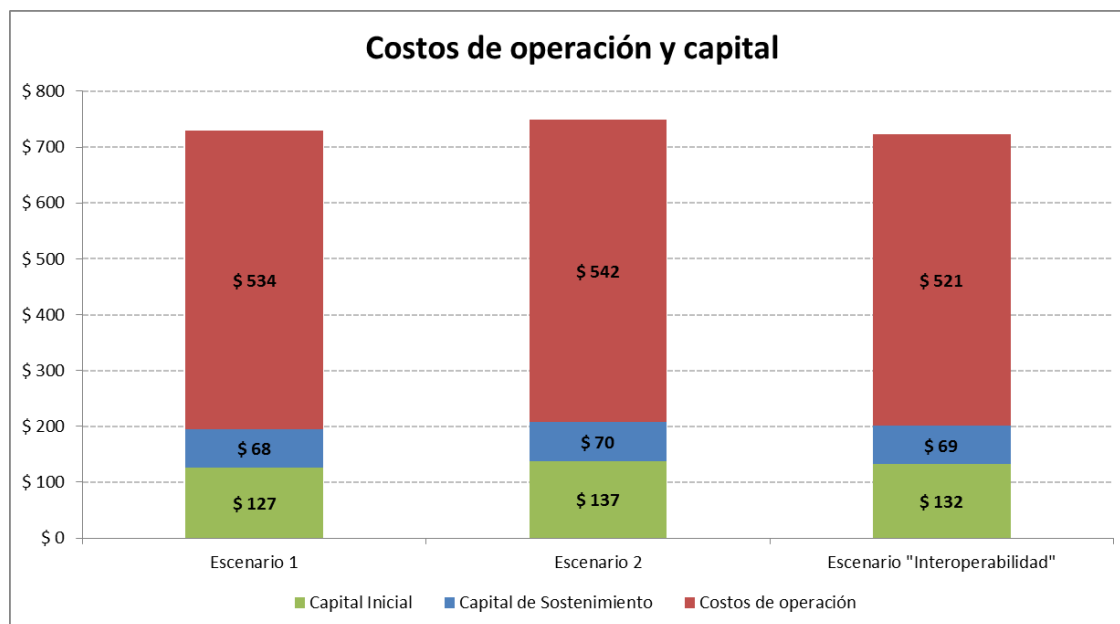


Figura 10-3: Comparación de costos – Escenario Interoperabilidad

Tabla 10-5: Comparación de costos – Escenario Interoperabilidad

Costos (Tasa de dcto. 8%)	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario Interoperabilidad
Capital inicial	MUS\$	127	137	132
Capital de sostenimiento	MUS\$	68	71	69
Costos de operación	MUS\$	534	542	521
Total	MUS\$	729	751	722

11. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De este trabajo es posible desprender dos tipos de conclusiones: de la comparación económica de ambas tecnologías en un escenario actual y de la proyección a futuro que tiene la autonomía en el negocio minero.

Con respecto a la evaluación económica de ambos escenarios, se tomaron en consideración los costos asociados a la operación e inversiones del proyecto.

Los **costos totales** aumentan en 83 MUS\$ para el escenario 1 al aumentar el tamaño del camión, esto se debe a que el diseño minero incluye mayores volúmenes de material a mover. Luego, la implementación de la autonomía significa un aumento de 22 MUS\$ con respecto al escenario con igual tamaño de camión.

Al estimar los **costos de operación** para los escenarios con camión de 220 toneladas, se obtuvo un aumento de 8 MUS\$ al implementar camiones autónomos. A continuación, se detallan algunas ventajas y desventajas que trae el uso de camiones autónomos en los costos de operación:

- **Ventajas:**
 - La flota de camiones requerida para una operación autónoma es un 13% menor con respecto a la operación manual, pasando de 23 camiones a 20 camiones.
 - La mano de obra se reduce en un 14% para la operación autónoma con respecto a la operación manual. Esto considera el menor requerimiento de operadores de camiones y un aumento en personal específico que se necesita para este tipo de tecnología
 - El consumo de combustible para camiones autónomos se estima en un 15% menor, ya que la conducción es mucho más estable y a las velocidades recomendadas por el fabricante del equipo. La eficiencia de combustible en una operación manual tiene importantes fluctuaciones, ya que el factor humano tiene mucha influencia en el consumo del equipo.
 - Los costos de mantención para camiones autónomos están estimados en un 8% menor, esto se debe a la mayor durabilidad de las componentes principales del equipo al estar operando bajo prácticas más amigables con neumáticos, frenos y otros componentes de desgaste.
 - En la misma línea del punto anterior, los neumáticos de los camiones tienen una durabilidad mucho mayor que para camiones manuales, estimado en un 50% de horas.
- **Desventajas:**
 - Para asegurar una correcta operación de los camiones se requiere que las rutas de tránsito se encuentren libres de derrames y en óptimas condiciones, por lo que se requiere un mayor gasto en el ítem de control de taludes (estimado en un 10% mayor) y en la utilización de los equipos auxiliares que deben estar constantemente en operaciones de limpieza y mantenimiento de rutas.

- La implementación de camiones autónomos significa un conjunto de costos adicionales, los cuales incrementan el costo de operación total. Estos costos están relacionados con las tarifas de licencias, costos de soporte y tarifas de repuestos, las cuales están fijadas por el proveedor de los equipos.

Con respecto a los **costos de inversión**, la implementación de la autonomía significa un aumento de 13 MUS\$. Esto se debe a las inversiones adicionales relacionadas específicamente con la automatización, como lo son las cabinas simuladoras y centrales de entrenamiento.

De acuerdo con esto, se obtiene que la implementación de camiones autónomos trae ventajas en la reducción de costos asociados a el tamaño de la flota de equipos, la dotación requerida para el proyecto y los costos de operación de los equipos, sin embargo, todo esto no logra superar los costos adicionales asociados al soporte, licencias de operación para equipos autónomos y las inversiones adicionales requeridas.

La utilización de camiones autónomos permite que la mina sea más segura, tanto para las personas como para los equipos y, además, proporciona una operación de transporte más predecible, eficiente y productiva.

El futuro del sector minero apunta a una actividad cada vez más inteligente, automatizada y que permita la integración de distintos sistemas en una misma operación, sin embargo, una de las dificultades que presenta actualmente la tecnología autónoma está relacionada con la exclusividad y la incompatibilidad entre las distintas tecnologías, lo que genera que los costos de implementación, mantención y reemplazo sean muy elevados.

Actualmente se está trabajando en generar estándares globales de interoperabilidad que permitan la interacción tecnológica de la industria minera para solucionar las dificultades operativas que existen y que le restan competitividad a la industria.

La interoperabilidad entre equipos y su estandarización a nivel mundial es necesaria para agilizar la productividad y seguridad en la industria minera, además ayudará a reducir costos y facilitará la automatización y la operación remota. Para lograr esto será necesario que exista colaboración entre distintos actores del negocio (mineras, proveedores de equipos, proveedores de sistemas, universidades, centros científicos, profesionales, etc.) y dejar de ver las tecnologías como una competencia entre productos para comenzar a colaborar entre todos en beneficio de la industria.

En este trabajo se realizó un ejercicio que evalúa un rango de mejora para la tecnología de los camiones autónomos en el proyecto en estudio. El ejercicio considera los beneficios que traería el avance de la tecnología para una óptima implementación y el aumento de los competidores en el mercado para una reducción de costos. Se obtuvo una disminución de 7 MUS\$ en los costos con respecto al escenario manual.

Si bien, los resultados obtenidos para camiones autónomos no muestran una mejora con respecto al escenario con camiones manuales, si representan un importante potencial para el proyecto, debido a que la información disponible para operación autónoma es aún muy escasa

y no está suficientemente validada. Es probable que, si se analiza este mismo caso para el mediano plazo, la autonomía entregue resultados mucho más alentadores, ya que el rápido avance de las tecnologías permitirá solucionar en un corto plazo algunas de las limitantes que actualmente afectan a la operación y se podrá acceder a ellas a menores costos y con mayores facilidades para su implementación.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Scott Brundrett, P.Eng. (2003) - Industry analysis of autonomous mine haul truck commercialization
- Onur Gölbaşı, Kadri Dagdelen (2017) - Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck Technology in Open Pit Mines
- R J Thompson (2011) - Mine Road Design and Management in Autonomous Hauling Operations
- Alejandro Canelo, Carlos Aguilera - 10 años de Operación Autónoma en División Gabriela Mistral, Codelco. Presente y Futuro (XV Congreso Internacional Expomin 2018)
- John McGagh (2014) – Autonomous Haulage Rio Tinto
- Juliana Parreira, John Meech (2010) - Autonomous vs manual haulage trucks - How mine simulation Contributes to future haulage system developments
- Nick Redwood, Whittle Consulting (2018) - Autonomous Haulage Systems Financial Model Assessment
- Julio Magri (2014) - Efectos de la incorporación de tecnologías autónomas en el diseño y la planificación minera
- Juliana Parreira (2013) - An Interactive Simulation Model to Compare an Autonomous Haulage Truck System with a Manually-Operated System
- Comisión Chilena del cobre (2017) - Tendencias de usos y demanda de productos de cobre.
- Consejo Minero (2017) - Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena 2017-2026
- Sernageomin 2017 – Anuario de la minería de Chile

ANEXO A: RECURSOS Y PLANES MINEROS

La siguiente tabla detalla el modelo de recursos.

	COG	Mt	Óxidos		Mt	Sulfuros	
	Cu (%)		Cu (%)	Au (g/t)		Cu (%)	Au (g/t)
Medidos	1,0	0,8	1,22	0,22	5,4	1,31	0,20
	0,5	5,5	0,75	0,16	29,6	0,80	0,14
	0,2	10,9	0,57	0,13	47,0	0,65	0,12
Indicados	1,0	0,9	1,46	0,47	8,9	1,62	0,40
	0,5	8,5	0,74	0,20	37,1	0,90	0,23
	0,2	20,4	0,53	0,15	66,6	0,67	0,19
Medidos + Indicados	1,0	1,7	1,35	0,36	14,2	1,50	0,32
	0,5	14,1	0,74	0,19	66,6	0,85	0,19
	0,2	31,3	0,55	0,14	113,6	0,66	0,16
Inferidos	1,0	0,0	1,14	0,20	0,2	1,38	0,39
	0,5	0,5	0,65	0,16	3,0	0,70	0,14
	0,2	2,0	0,43	0,15	7,0	0,51	0,13

Las siguientes tablas y figuras detalles del plan minero autónomo.

Periodo	Plataforma	Botadero		Plataforma y Muro Tranque		
		Oeste (kt)	Central (kt)	Etapas 1 (kt)	Etapas 2 (kt)	Etapas 3 (kt)
y-1	1.000	122	1.788	991		
y0	3.300	5.322	13.908	5.600	2.875	
y1		12.320	13.404			3.500
y2		9.643	29.788			4.160
y3		5.878	26.554			6.891
y4		27.253	14.335			
y5		37.437	5.640			
y6		21.298	16.280			7.000
y7		29.250	14.368			1.414
y8		27.520	18.045			18
y9		18.491	26.316			
y10		33.745	14.505			
y11		38.101	9.586			
y12		38.465	7.673			
y13		13.468	2.308			
Total	4.300	318.312	214.495	6.591	2.875	22.983

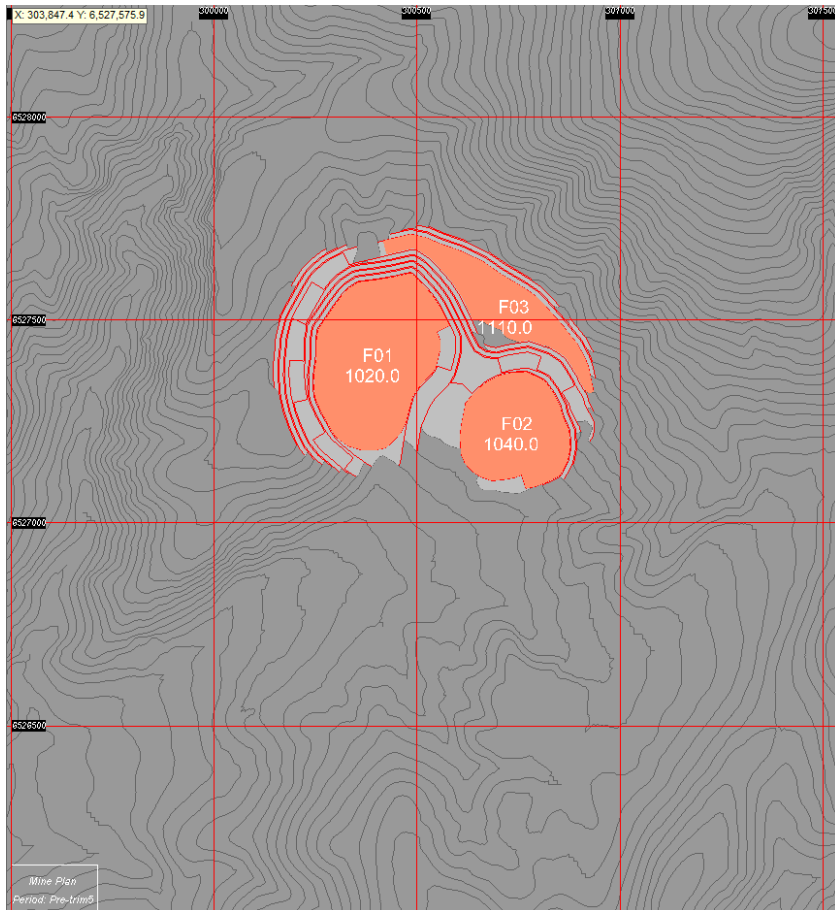
Ritmo de Explotación (Mt)															
Fase	Período (Año)														
	Y-1	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13
F01	4	23	14	2											
F02		6	5	2											
F03		2	10	15	4	1									
F04			6	20	12	14	7	5							
F05			1	6	8										
F06			1	7	24	30	21	11	16	16	6				
F07						6	13	12	13	7	4				
F08						1	9	21	8	10	1	3			
F09								3	15	19	34	26	17	6	0
F10										1	7	23	36	47	20

En general se mantienen 3 a 4 fases en operación simultánea, excepto algunos años en donde se están abriendo o cerrando algunas.

Mineral (Mt)															
Fase	Período (Año)														
	Y-1	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13
F01			5,9	0,8											
F02			0,4	0,7											
F03			0,0	4,2	2,3	0,8									
F04				1,6	3,0	3,2	2,8	2,0							
F05				0,0	1,7										
F06					0,3	3,3	4,1	3,2	4,1	3,6	2,8				
F07							0,4	0,4	2,2	0,8	0,7				
F08								1,7	1,0	2,7	0,4	1,9			
F09									0,0	0,2	3,4	2,6	4,3	1,2	0,0
F10													0,6	5,3	4,6

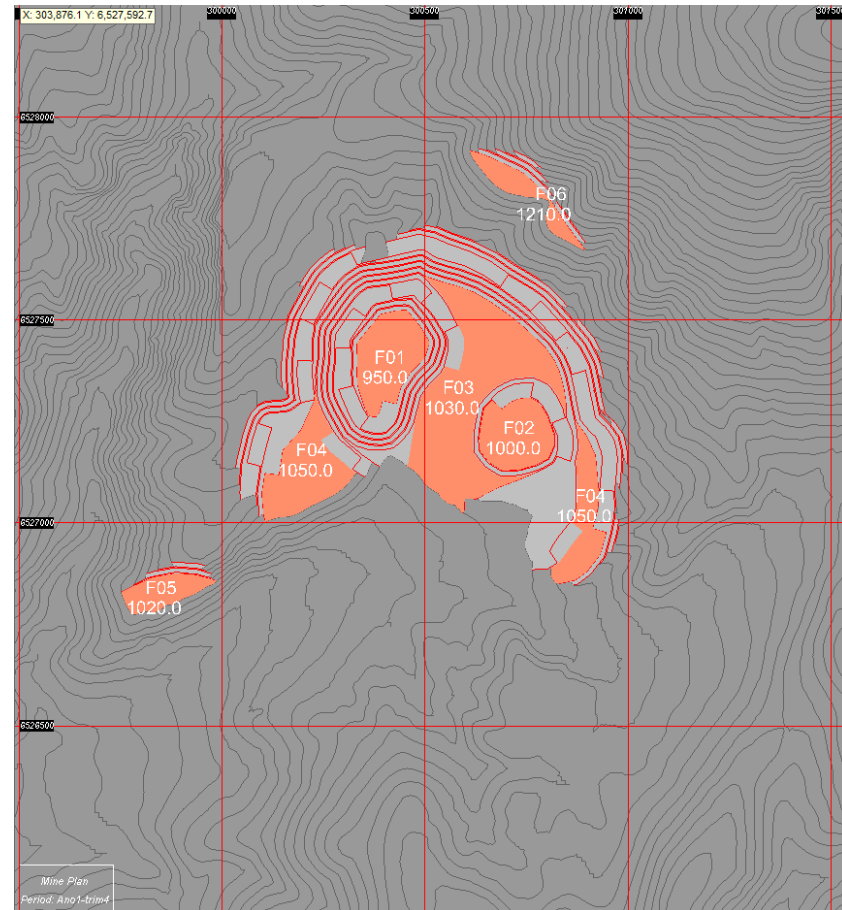
En general hay más de una fase en producción de mineral excepto al principio y fin del plan.

Pre-stripping – Plan Autónomo



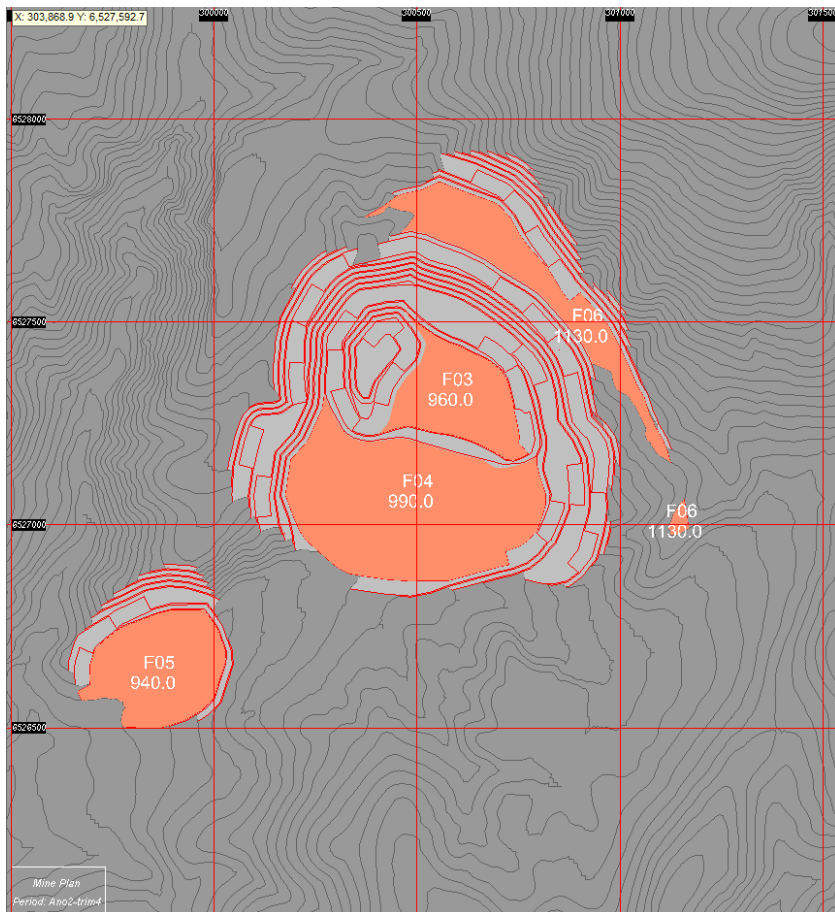
3 Frentes activos con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 1 – Plan Autónomo



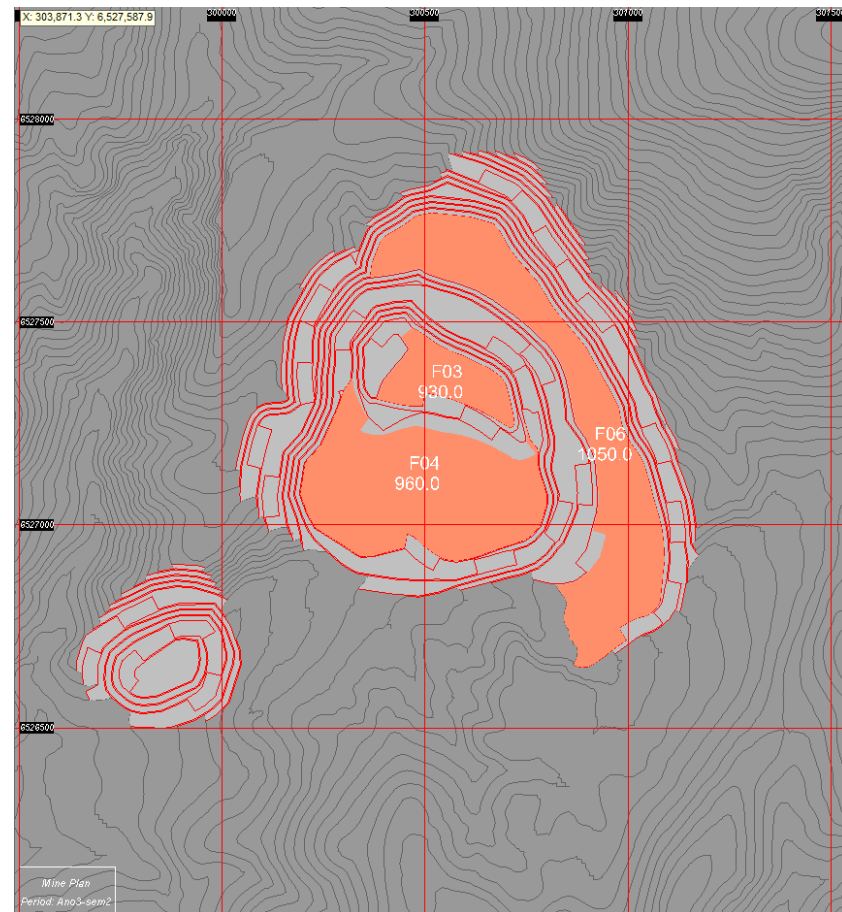
7 Frentes activos, 3 frentes podrían requerir operación manual (bancos de apertura de fase)

Año 2 – Plan Autónomo



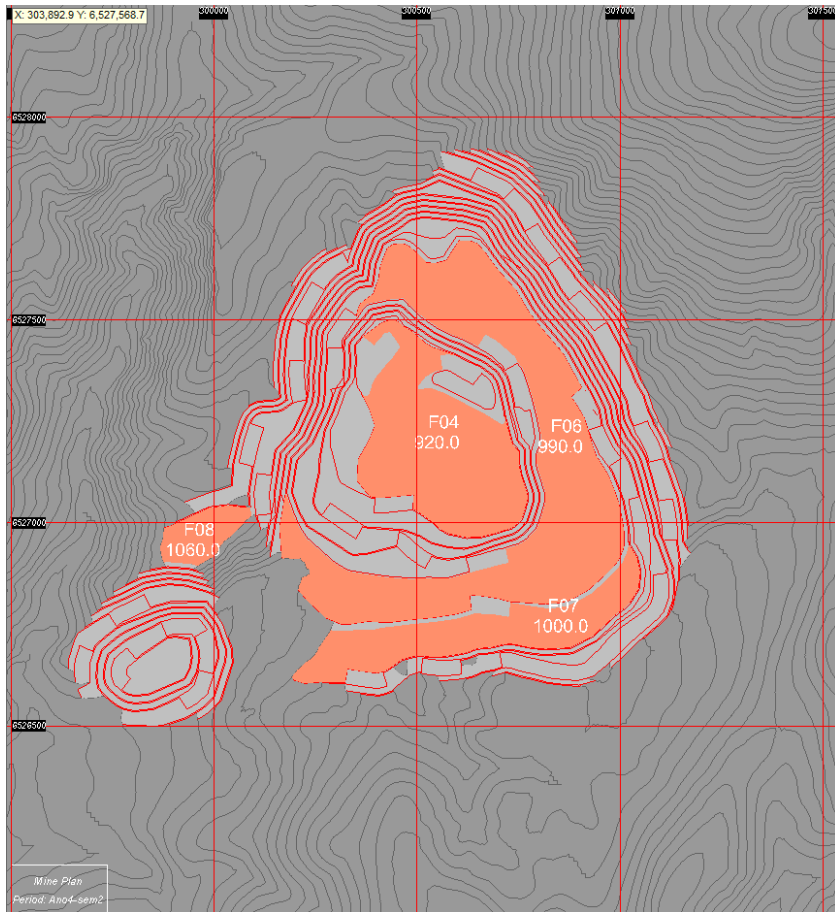
5 Frentes activos, una parte muy menor de la F06 podría necesitar operación manual

Año 3 – Plan Autónomo



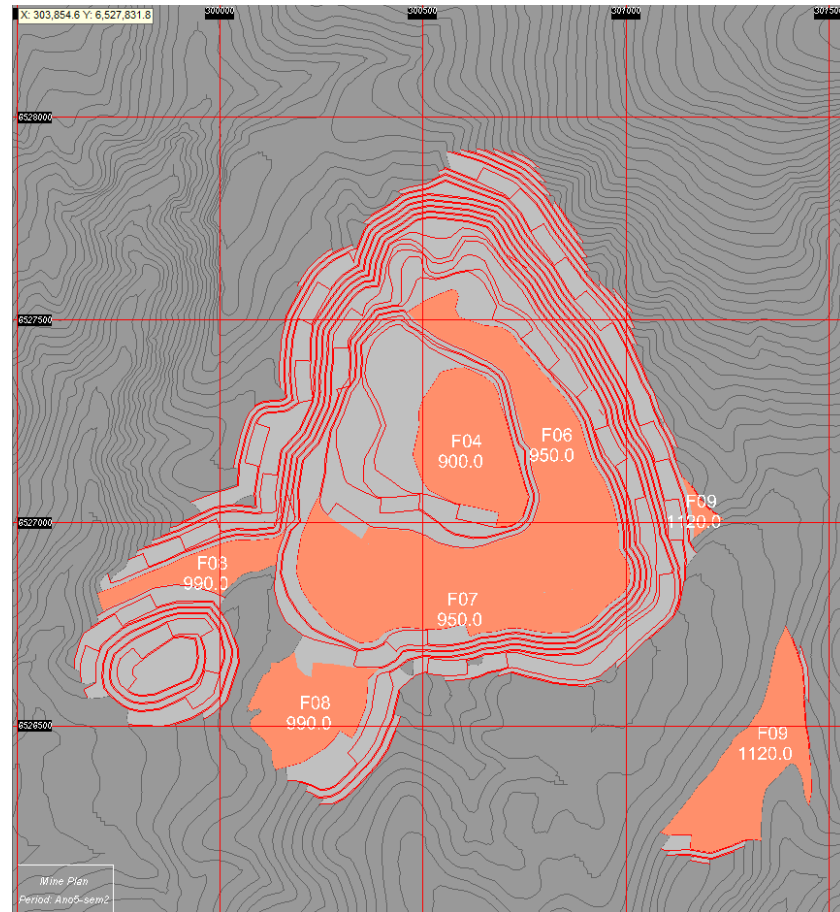
3 Frentes activos con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 4 – Plan Autónomo



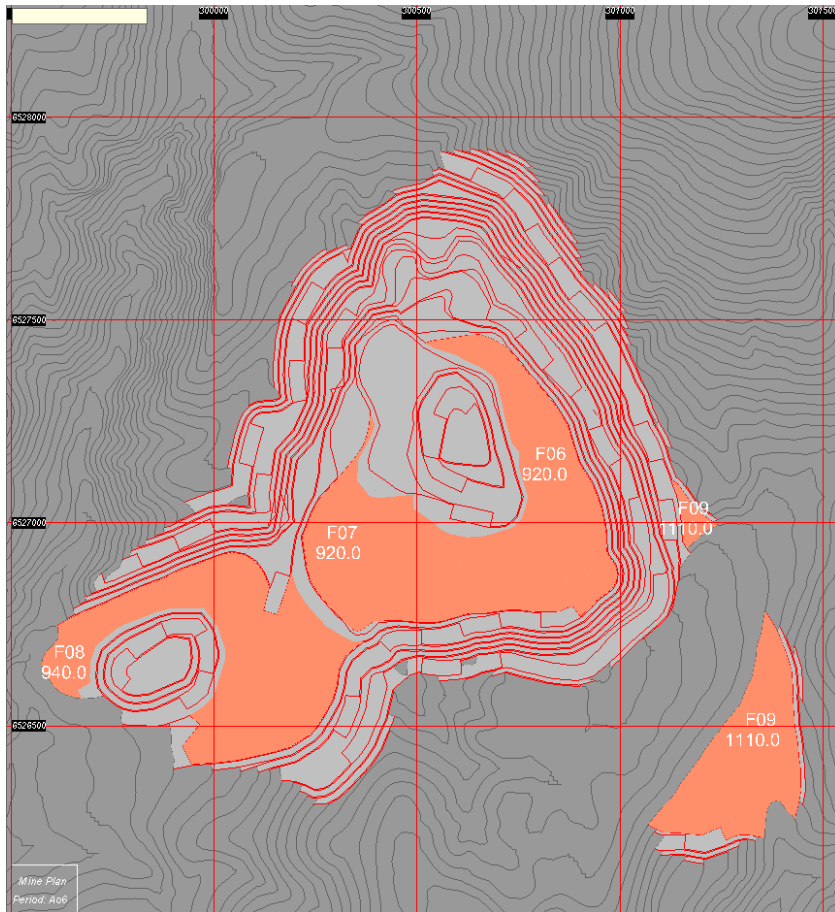
4 Frentes activos con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 5 – Plan Autónomo



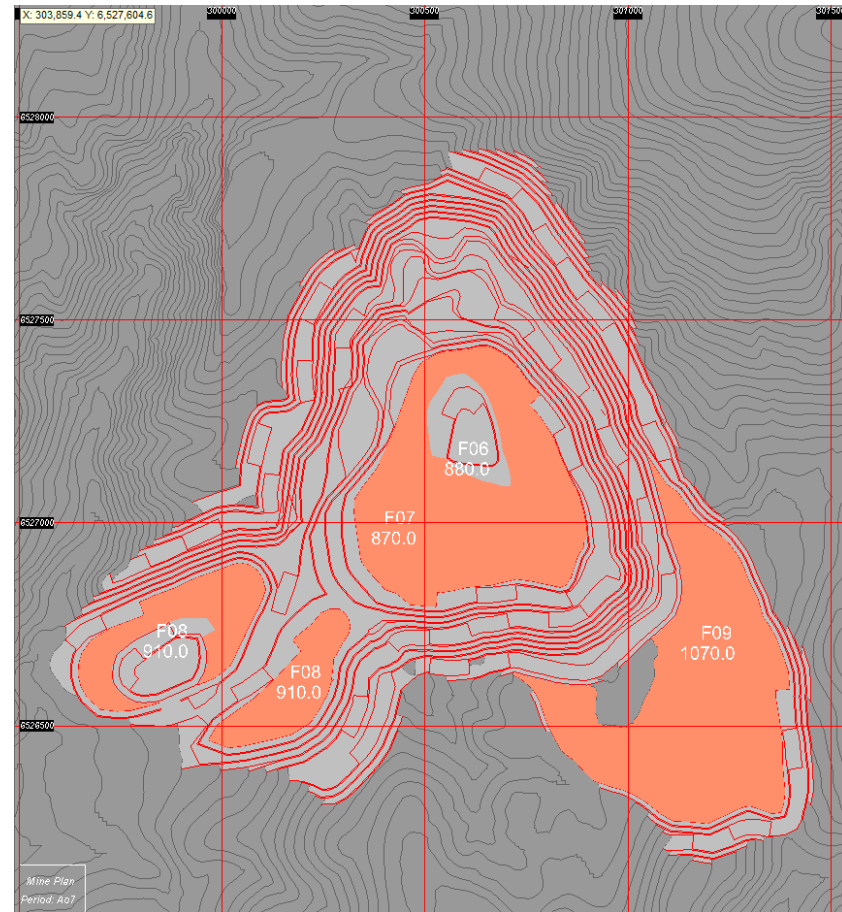
5 Frentes activos, una parte muy menor de la F09 podría necesitar operación manual

Año 6 – Plan Autónomo



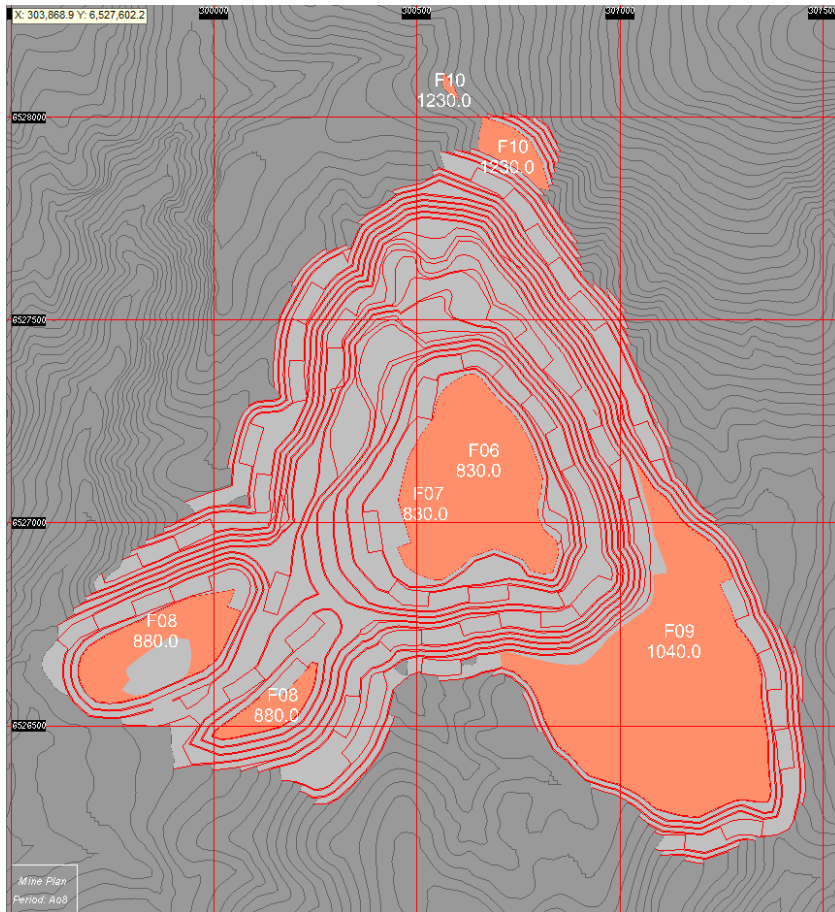
3 Frentes activas, una parte muy menor de la F09 podría necesitar operación manual

Año 7 – Plan Autónomo



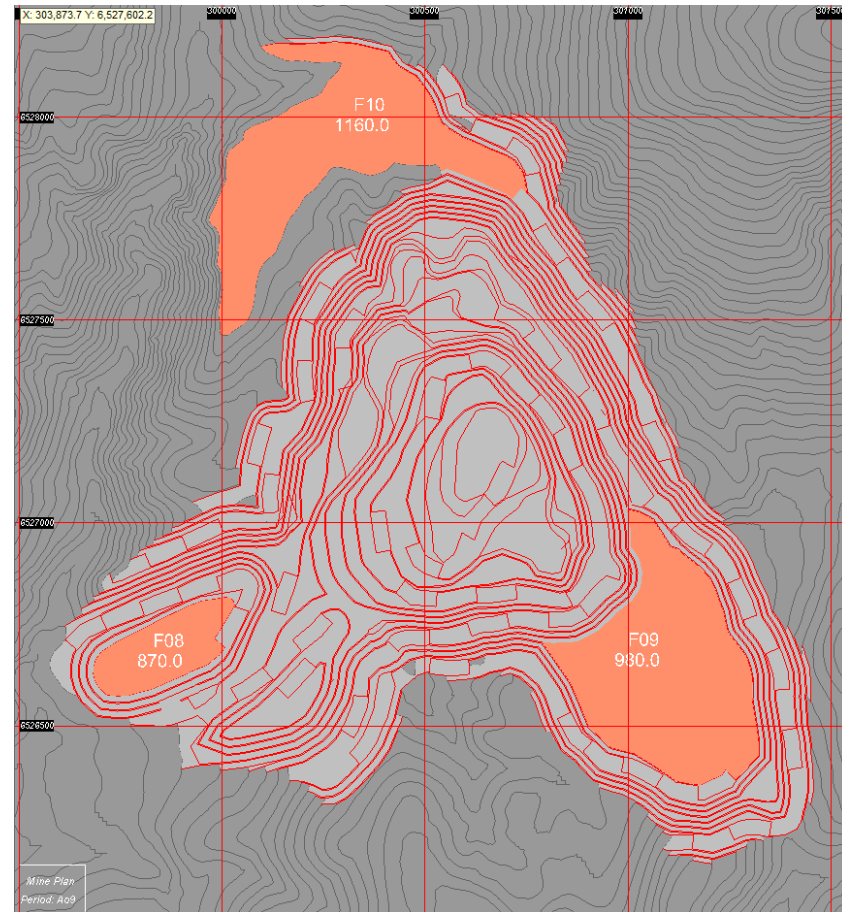
4 Frentes activas con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 8 – Plan Autónomo



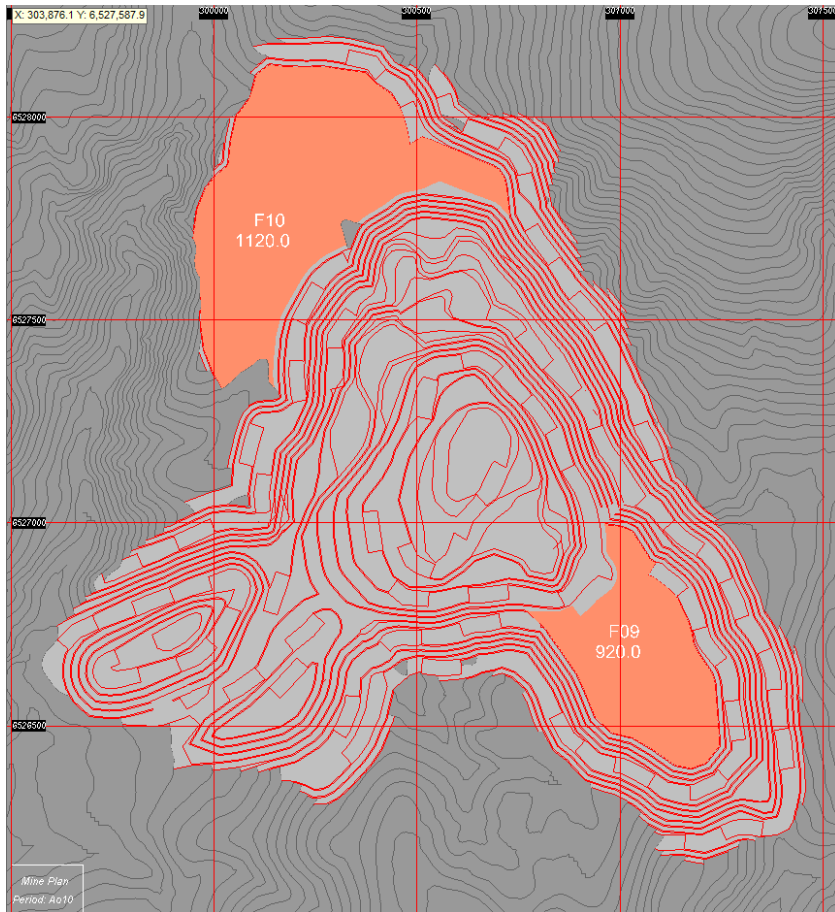
5 Frentes activas, una parte muy menor de la F10 podría necesitar operación manual

Año 9 – Plan Autónomo



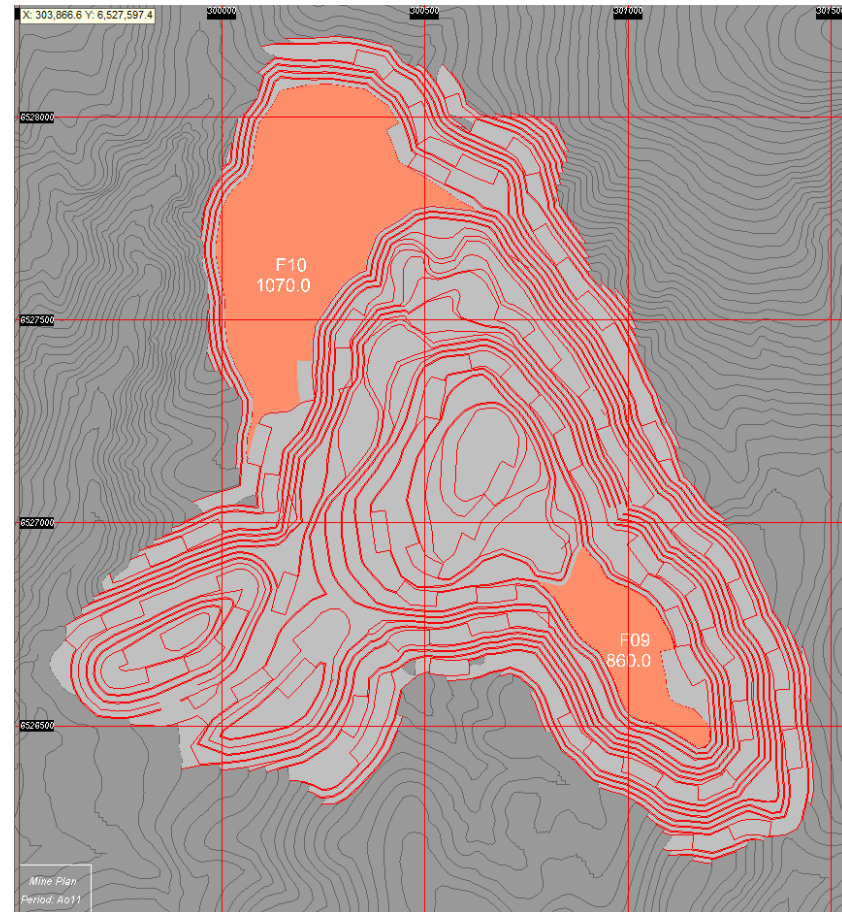
3 Frentes activas con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 10 – Plan Autónomo



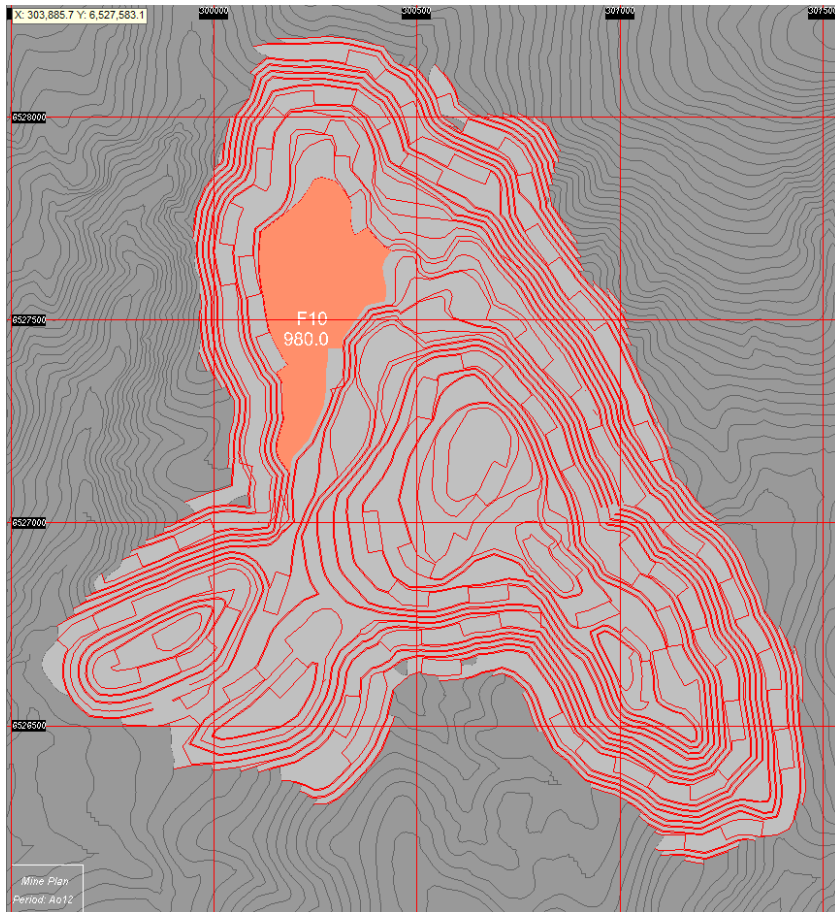
2 Frentes activas con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 11 – Plan Autónomo

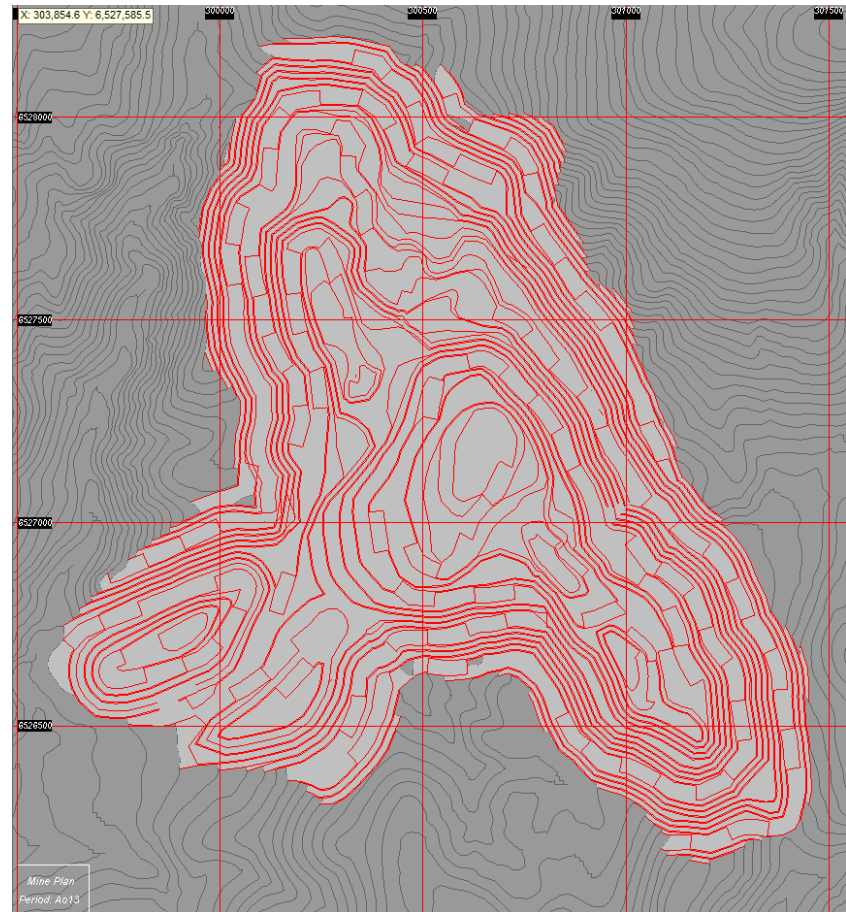


2 Frentes activas con anchos operacionales aceptables para una operación autónoma.

Año 12 – Plan Autónomo



Año 13 – Plan Autónomo



1 Frente activa con ancho operacional aceptable para una operación autónoma.

ANEXO B: ADQUISICIÓN EQUIPOS

Las siguientes tablas presentan la compra de equipos para el caso base

	#	Y-02	Y-01	Y-01	Y-01	Y-01	Y01	Y01	Y01	Y01	Y02	Y02	Y02	Y02	Y03
Cargador Frontal	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3
	Compra	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Camión	Requerido	5	7	8	9	9	9	8	9	10	17	17	14	13	19
	Compra	5	2	1	1	0	0	0	0	1	7	0	0	0	2
Perforadora de mineral	Requerido	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2
	Compra	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de estéril	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 2	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 2	Requerido	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Compra	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motoniveladora	Requerido	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3
	Compra	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	#	Y03	Y04	Y04	Y05	Y05	Y06	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14
Cargador Frontal	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión	Requerido	18	20	17	21	22	24	25	25	25	25	25	25	12	0
	Compra	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de mineral	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de estéril	Requerido	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 2	Requerido	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 2	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motoniveladora	Requerido	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Las siguientes tablas presentan la compra de equipos para el escenario 1

	#	Y-02	Y-01	Y-01	Y-01	Y-01	Y01	Y01	Y01	Y01	Y01	Y02	Y02	Y02	Y02	Y03
Cargador Frontal	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Compra	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión	Requerido	4	7	8	9	9	8	9	10	13	15	15	17	15	17	
	Compra	4	3	1	1	0	0	0	1	3	2	0	2	0	0	
Perforadora de mineral	Requerido	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Compra	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Perforadora de estéril	Requerido	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
	Compra	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bulldozer 2	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wheeldozer 2	Requerido	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Compra	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Motoniveladora	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
	Compra	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	#	Y03	Y04	Y04	Y05	Y05	Y06	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14
Cargador Frontal	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión	Requerido	17	17	19	18	22	21	23	23	23	23	23	23	16	0
	Compra	0	0	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de mineral	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de estéril	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 2	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 2	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Motoniveladora	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Las siguientes tablas presentan la compra de equipos para el escenario 2

	#	Y-02	Y-01	Y-01	Y-01	Y-01	Y01	Y01	Y01	Y01	Y01	Y02	Y02	Y02	Y02	Y03
Cargador Frontal	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Compra	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión	Requerido	3	7	7	8	8	7	8	9	11	13	13	15	13	15	
	Compra	3	4	0	1	0	0	0	1	2	2	0	2	0	0	
Perforadora de mineral	Requerido	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Compra	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Perforadora de estéril	Requerido	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
	Compra	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bulldozer 2	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
	Compra	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wheeldozer 2	Requerido	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Compra	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Motoniveladora	Requerido	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	
	Compra	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Compra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	#	Y03	Y04	Y04	Y05	Y05	Y06	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14
Cargador Frontal	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pala Hidráulica	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión	Requerido	15	15	17	15	19	19	20	20	20	20	20	20	14	0
	Compra	0	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de mineral	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perforadora de estéril	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 1	Requerido	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer 2	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 1	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wheeldozer 2	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Motoniveladora	Requerido	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión aljibe	Requerido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO C: COSTOS DE OPERACIÓN

Costos de operación de caso base por operación unitaria

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	0,00	0,00	40,31	61,50	70,01	71,55	76,90	79,96
Carguío	MUS\$	0,00	0,00	4,52	8,00	8,44	9,19	9,57	10,48
Transporte	MUS\$	0,00	0,00	13,75	25,82	29,93	33,08	37,98	38,37
Perforación	MUS\$	0,00	0,00	2,52	3,85	4,16	4,05	4,28	4,54
Tronadura	MUS\$	0,00	0,00	6,36	8,94	9,25	8,86	8,87	9,50
Auxiliares	MUS\$	0,00	0,00	7,68	8,95	11,99	10,14	9,90	10,66
Soporte	MUS\$	0,00	0,00	1,47	1,49	1,50	1,48	1,49	1,49
Ingeniería y Administración	MUS\$	0,00	0,00	3,42	3,61	3,64	3,63	3,66	3,70
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	0,00	0,00	0,60	0,84	1,10	1,12	1,15	1,20

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	85,24	94,68	87,21	94,54	85,89	83,11	32,46
Carguío	MUS\$	8,88	9,64	10,43	9,53	10,41	9,22	3,10
Transporte	MUS\$	46,15	53,98	44,53	55,26	45,00	44,76	15,45
Perforación	MUS\$	4,23	4,33	4,34	3,88	4,17	3,93	1,49
Tronadura	MUS\$	8,77	8,91	9,20	8,23	8,81	8,37	3,35
Auxiliares	MUS\$	10,82	11,20	12,09	11,08	10,98	10,31	5,80
Soporte	MUS\$	1,49	1,49	1,49	1,48	1,48	1,48	0,96
Ingeniería y Administración	MUS\$	3,68	3,69	3,70	3,45	3,42	3,40	1,24
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	1,20	1,43	1,43	1,63	1,63	1,63	1,07

Costos de operación de escenario 1 por operación unitaria

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	0,00	0,00	47,75	67,87	77,10	79,30	80,86	84,87
Carguío	MUS\$	0,00	0,00	5,74	9,31	9,11	11,26	9,87	11,03
Transporte	MUS\$	0,00	0,00	17,14	28,77	35,45	35,87	40,71	41,95
Perforación	MUS\$	0,00	0,00	3,16	4,36	4,24	4,49	4,46	4,55
Tronadura	MUS\$	0,00	0,00	7,56	9,71	9,21	9,83	9,34	9,40
Auxiliares	MUS\$	0,00	0,00	8,61	9,76	12,86	11,58	10,17	11,56
Soporte	MUS\$	0,00	0,00	1,47	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Ingeniería y Administración	MUS\$	0,00	0,00	3,48	3,63	3,62	3,64	3,66	3,68
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	0,00	0,00	0,60	0,84	1,10	1,12	1,15	1,20

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	92,05	98,21	99,11	97,23	93,96	90,54	40,87
Carguío	MUS\$	10,98	10,65	11,90	11,98	12,14	10,24	3,70
Transporte	MUS\$	48,23	55,42	54,70	53,53	52,12	49,80	21,60
Perforación	MUS\$	4,55	4,55	4,39	4,35	4,35	4,39	1,89
Tronadura	MUS\$	9,43	9,52	9,38	9,24	9,25	9,38	4,24
Auxiliares	MUS\$	12,48	11,46	12,13	11,55	9,59	10,18	6,10
Soporte	MUS\$	1,49	1,49	1,49	1,48	1,48	1,49	0,97
Ingeniería y Administración	MUS\$	3,69	3,69	3,69	3,47	3,42	3,42	1,29
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	1,20	1,43	1,43	1,63	1,63	1,63	1,07

Costos de operación de escenario 2 por operación unitaria

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	0,00	0,00	50,90	71,52	77,64	80,02	84,59	83,91
Carguío	MUS\$	0,00	0,00	5,87	9,46	9,29	11,44	10,03	11,42
Transporte	MUS\$	0,00	0,00	13,44	23,18	28,68	29,13	35,08	31,90
Perforación	MUS\$	0,00	0,00	3,31	4,49	4,36	4,63	4,62	4,70
Tronadura	MUS\$	0,00	0,00	7,56	9,71	9,21	9,83	9,34	9,40
Auxiliares	MUS\$	0,00	0,00	10,33	13,21	14,28	13,02	13,29	14,09
Soporte	MUS\$	0,00	0,00	1,60	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
Ingeniería y Administración	MUS\$	0,00	0,00	8,17	8,95	9,05	9,18	9,41	9,53
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	0,00	0,00	0,62	0,89	1,15	1,17	1,19	1,25

COSTO OPERACIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	97,58	100,94	94,90	97,82	91,10	86,40	41,05
Carguío	MUS\$	11,18	10,42	12,35	12,28	12,29	9,71	3,74
Transporte	MUS\$	44,51	48,34	43,26	46,52	39,34	37,16	17,18
Perforación	MUS\$	4,74	4,73	4,58	4,54	4,54	4,58	1,98
Tronadura	MUS\$	9,43	9,52	9,38	9,24	9,25	9,38	4,24
Auxiliares	MUS\$	15,09	15,04	12,45	12,40	12,90	12,76	7,02
Soporte	MUS\$	1,62	1,62	1,62	1,61	1,61	1,62	1,06
Ingeniería y Administración	MUS\$	9,76	9,76	9,76	9,55	9,49	9,50	4,72
Drenaje y monitoreo de taludes	MUS\$	1,25	1,50	1,50	1,69	1,69	1,69	1,11

ANEXO D: COSTOS DE INVERSIÓN

Costos de inversión de caso base

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	60,67	57,68	6,59	31,68	6,59	6,26	6,02	5,96
Equipos Carguío	MUS\$	10,68	5,95		5,95				
Equipos Transporte	MUS\$	14,00	11,20	2,80	19,60	5,60	2,80	5,60	5,60
Equipos Perforación	MUS\$	3,40		1,40	2,00				
Equipos Auxiliares	MUS\$	15,07	2,84		1,99				
Equipos de Soporte	MUS\$	5,77	0,01	0,01	0,03			0,08	0,01
Overhaul Equipos	MUS\$								
Otras Inversiones	MUS\$	4,84	3,18	0,30	1,81	0,96	3,44	0,31	0,31
Sistema de despacho	MUS\$			2,08	0,31	0,03	0,02	0,03	0,03
Operación de preproducción	MUS\$	6,90	34,50						

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	3,59	3,21	2,84	6,67			0,71
Equipos Carguío	MUS\$							
Equipos Transporte	MUS\$	2,80						
Equipos Perforación	MUS\$							
Equipos Auxiliares	MUS\$		2,53					
Equipos de Soporte	MUS\$	0,01	0,03					
Overhaul Equipos	MUS\$			2,84	3,81			
Otras Inversiones	MUS\$	0,76	0,66		2,86			0,71
Sistema de despacho	MUS\$	0,02						
Operación de preproducción	MUS\$							

Costos de inversión de escenario 1

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	66,75	75,77	20,67	24,79	0,65	11,77	12,80	0,01
Equipos Carguío	MUS\$	14,08	9,34		4,74				
Equipos Transporte	MUS\$	15,80	19,75	15,80	15,80		7,90	11,85	
Equipos Perforación	MUS\$	3,40	2,00	1,40					
Equipos Auxiliares	MUS\$	15,93	1,97		1,99				
Equipos de Soporte	MUS\$	5,77	0,03	0,01	0,01			0,08	0,01
Overhaul Equipos	MUS\$								
Otras Inversiones	MUS\$	4,90	3,92	1,23	2,09	0,65	3,83	0,82	
Sistema de despacho	MUS\$			2,23	0,17		0,03	0,05	
Operación de preproducción	MUS\$	6,85	38,75						

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	4,86	3,21	3,32	15,92	17,92		0,71
Equipos Carguío	MUS\$							
Equipos Transporte	MUS\$	3,95						
Equipos Perforación	MUS\$							
Equipos Auxiliares	MUS\$		2,53		3,95			
Equipos de Soporte	MUS\$	0,01	0,03					
Overhaul Equipos	MUS\$			3,32	9,10	17,92		
Otras Inversiones	MUS\$	0,88	0,66		2,86			0,71
Sistema de despacho	MUS\$	0,02						
Operación de preproducción	MUS\$							

Costos de inversión de escenario 2

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y-02	Y-01	Y01	Y02	Y03	Y04	Y05	Y06
Total	MUS\$	71,54	82,95	18,43	27,49	0,65	13,11	9,90	2,54
Equipos Carguío	MUS\$	14,08	9,34		4,74				
Equipos Transporte	MUS\$	13,87	23,12	13,87	18,50		9,25	9,25	
Equipos Perforación	MUS\$	3,40	2,00	1,40					
Equipos Auxiliares	MUS\$	15,93	1,97		1,99				2,53
Equipos de Soporte	MUS\$	5,77	0,03	0,01	0,01			0,08	0,01
Overhaul Equipos	MUS\$								
Otras Inversiones	MUS\$	10,57	3,92	0,96	2,09	0,65	3,83	0,54	
Sistema de despacho	MUS\$			2,19	0,17		0,03	0,03	
Operación de preproducción	MUS\$	7,91	42,56						

COSTO INVERSIÓN	Unidad	Y07	Y08	Y09	Y10	Y11	Y12	Y13
Total	MUS\$	5,53	11,29	0,62	26,99	1,47		0,71
Equipos Carguío	MUS\$							
Equipos Transporte	MUS\$	4,62						
Equipos Perforación	MUS\$							
Equipos Auxiliares	MUS\$		3,95					
Equipos de Soporte	MUS\$	0,01	0,03					
Overhaul Equipos	MUS\$		6,65	0,62	24,12	1,47		
Otras Inversiones	MUS\$	0,88	0,66		2,86			0,71
Sistema de despacho	MUS\$	0,02						
Operación de preproducción	MUS\$							