



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**OPTIMIZACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRANSPORTE MEDIANTE LA
UBICACIÓN Y DISEÑO DE BOTADEROS EN MINERA ANTUCOYA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

MARÍA JAVIERA CABALLERO SALAZAR

PROFESOR GUÍA:

JAIME DÍAZ WITTIG

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RAÚL CASTRO RUIZ

FELIPE AZÓCAR HIDALGO

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE:** Ingeniera Civil de Minas
POR: María Javiera Caballero Salazar
FECHA: 29/06/2017
PROFESOR GUIA: Jaime Díaz Wittig

OPTIMIZACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE TRANSPORTE MEDIANTE LA UBICACIÓN Y DISEÑO DE BOTADEROS EN MINERA ANTUCOYA

El presente trabajo de título se desarrolla en la Superintendencia de Planificación y Desarrollo de Minera Antucoya, ubicada en la región de Antofagasta. Este consiste en la actualización del diseño de los botaderos mina, con el objetivo de optimizar las distancias de transporte mediante la minimización de sus tiempos de ciclo.

El diseño actual se realizó para el Caso Base 2016, constando en dos botaderos: uno al norte del rajo, de 91 [Mton], y otro al sur, de 710 [Mton]. Adicional a ellos, se utiliza el espacio y diseño para la pila ROM de tercer botadero dando un extra de 143 [Mton].

Se comienza diseñando en función de los límites de la minera, presentando tres alternativas de botaderos. Las dos primeras tienen sólo un botadero norte y otro sur, y a la tercera alternativa se le añade uno al oeste del rajo. Todas las alternativas cumplen con el estéril del plan minero del CB 2016 de 807 [Mton] con una holgura del 10%.

Posteriormente, se calculan las horas de transporte y su flota, arrojando que la alternativa 1 ahorra un 7% en horas totales y rebaja la flota de 23 a 22 camiones. Por su parte, la alternativa 2 y 3 ahorran 5% y 4% en horas, respectivamente, requiriendo la segunda 22 camiones y la tercera 23, al igual que el CB 2016.

Luego, se hace una evaluación técnica-económica, estudiando cualitativamente aspectos geotécnicos, operativos y de planificación, junto con cuantificar los costos operacionales y de inversión en transporte mina. De la evaluación técnica, se elimina la tercera alternativa, que no respeta el límite de línea base, por la desventaja frente a las otras y la tramitación de permisos adicionales que requeriría su implementación. Las dos alternativas con que se sigue trabajando, arrojan ahorros en OPEX de transporte mina de 20 [MUS\$] y 12 [MUS\$] y en CAPEX de 2 [MUS\$] y 1,5 [MUS\$].

Realizando un análisis de los resultados, se recomienda como diseño final la alternativa 1, la cual respeta los límites de propiedad y de línea base, y utiliza el espacio autorizado para pila ROM como botadero.

Prosiguiendo, se proponen diseños para los stocks mina. Este consta de dos stocks de alta ley, al este y noroeste del rajo, y un tercero de baja ley al este del rajo y atrás del stock de alta ley. Las horas de transporte adicionales son del 2%, no se afecta la flota ni el CAPEX de forma significativa, pero si implica un costo operacional extra de 4 [MUS\$].

Finalmente, se sensibilizan los resultados variando sus parámetros de velocidad y espera, de los usados en el CB 2016 a los del Plan de Negocios 2017-2021. Este cambio, aplicado a la alternativa 1, reduce en 8% las horas de transporte, demanda un camión menos, ahorra 8% en costos operacionales y 22% en inversión, demostrando que sus valores deben ser estudiados con cuidado.

**ABSTRACT OF THE SUBMITTED THESIS TO
OBTAIN THE DEGREE OF: Mining Engineer
BY: María Javiera Caballero Salazar
DATE: 29/06/2017
THESIS ADVISOR: Jaime Díaz Wittig**

OPTIMIZATION OF HAULAGE DISTANCES BY LOCATION AND DESIGN OF DUMPS IN ANTUCOYA MINE

This thesis are developer in the Planning and Developing Superintendence in Antucoya Mine. Consists in updating the design of the mine waste rock dumps, whose main objective is optimizing the hauling distance in the mine by minimizing cycle times.

The current design was raised for the Base Case 2016 and having two dumps: one in the north of the pit with 91 [Mton] and the other in the south with 710 [Mton]. Additional of them, the design of ROM pile is used like dump giving an extra tonnage of 143 [Mton].

It's begins designing in function of the limits of the mine, presenting three alternatives of dumps. All of them have one north dump and other in the south, adding for the third alternative another in the west of the pit. These comply with the waste calculating of the mining plan of Base Case 2016 of 807 [Mton] more an extra tonnage of 10%.

After designing, it's calculating the haulage total hours and the fleet, giving the first results to know what alternative is the more efficient. These gives than the first alternative save 7% in totals hours and reduces the fleet of transport from 23 to 22 trucks. For his part the second and third alternatives save 5% and 4% in hours, respectively, where the second alternative requires 22 trucks and the third need 23, equal of the Base Case 2016. The main saving happens during the first five-years.

Subsequently makes a technique-economic evaluation, qualitatively evaluating geotecnics, operating and the planning aspects, and then quantify operational and the investment cost of mine haulage. With the technique evaluation, it's eliminates the alternative which no respect the base line, for the disadvantage compared with the another's alternatives and the processing additional permission that would require its implementation. The two alternatives with which it's still working give savings in operating cost of transport of 20 [MUS\$] and 12 [MUS\$] and investment cost savings of 2 [MUS\$] and 1,5 [MUS\$].

For the results, it's recommended like final design the first alternative, which respects the property and base line limits, using the authorized space for ROM pile for dumps.

Continuing, it's proposed design for the stockmines. This consists in two stocks for high grade ore, one in the east and other in the northwest of the pit, and a third for low grade in the east of the pit. The haulage hours additional are from 2%, doesn't affect the fleet and investment to a significate way but implies a operational extra cost of 4 [MUS\$].

Finally, are modified the results varying the parameters of the use in the BC 2016 from to Business plan 2017-2021. This change, reduce in 8% the haulage hours, required one less truck, save 8% in operations cost and 22% in trucks investment, demonstrating that their values should be studied.

Agradecimientos

Esta memoria no es simplemente la realización de un trabajo, es la culmine de años de estudio y esfuerzo en donde hubo personas que me acompañaron y levantaron para llegar a este punto. Estoy convencida que elegí el camino correcto y feliz de no haber abandonado en momentos que pensé que lo haría, terminando ahora la carrera más bonita.

Comenzaré agradeciendo a mi profesor guía, Jaime, quien me oriento durante todos estos meses para la elaboración de este trabajo. Gracias por empujarme constantemente a realizar el mejor trabajo, enseñarme, darme parte de su tiempo y nunca dejarme simplemente cumplir.

A Juan Francisco, quién fue mi otro guía para esta memoria. Gracias por contestar todas las dudas, darte el tiempo (que es escaso) para enseñarme, siempre dar tu punto de vista y aconsejarme cuando lo necesitaba.

A Felipe Rojas por la oportunidad de realizar mi memoria en su equipo y darse el tiempo de ver las presentaciones, dar su opinión y recomendarme durante este trabajo. A Minera Antucoya y las personas que conocí durante este proceso, que son muchas para nombrarlas a todas. Gracias por la buena disposición cuando requerí ayuda y por los pequeños gestos cotidianos que hacen de la faena un lugar donde da gusta estar.

Gracias a los profesores Raúl y Felipe por aceptar ser parte de esta comisión, cuando sé que el tiempo no sobra. Por darme sus consejos y tiempo para hacer un mejor trabajo.

A mi familia, en especial a mi mamá. Gracias a ti pude comenzar esta carrera y has sido quién me ha apoyado de forma incondicional toda mi vida. Gracias por sopórtame cuando ni yo mismo lo hago, y espero llegar a ser tan buena como tú crees que soy.

A mis amigos, de Quillota, de la universidad y de la vida. En especial a la Jo, sin tu compañía estos meses hubieran sido más largos y con menos básquet; por presionarme a terminar y darte el tiempo de ayudarme. A Angela, me acompañaste a la distancia y nos alentamos mutuamente en este proceso; gracias por darte el trabajo de leer esto, aunque tuvo que ser tremendamente aburrido para ti.

A mi Alvarito. Gracias por estar siempre ahí en todos estos años de universidad. Por el amor, la compañía, comprendiéndome cuando nos tuvimos que separar por esta carrera. A ti y a tu familia por recibirme en su casa este último tiempo, facilitándome las cosas para trabajar.

Procuraré trabajar para llegar a ser una buena profesional y aportar desde mi trabajo a la sociedad, que ha sido el objetivo desde un principio.

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Motivación	1
1.2.	Objetivos	5
1.2.1.	Objetivo general.....	5
1.2.2.	Objetivos específicos	5
1.3.	Alcances.....	5
1.4.	Metodología.....	6
2.	Marco teórico	7
2.1.	Botaderos.....	7
2.1.1.	Descripción de un botadero	7
2.1.2.	Disposición de botaderos.....	8
2.1.3.	Cálculo del volumen del botadero.....	10
2.1.4.	Presión ejercida sobre el terreno	11
2.1.5.	Colapso en los botaderos	11
2.1.6.	Módulos de llenado.....	11
2.1.7.	Secuencia de llenado	12
2.1.8.	Operación en botaderos	12
2.1.9.	Mantenimiento de botaderos	13
2.1.10.	Costo de material enviado a botadero.....	14
2.1.11.	Stocks.....	14
3.	Antecedentes	16
3.1.	Minera Antucoya	16
3.2.	Geología.....	17
3.2.1.	Mineralogía y geología estructural.....	17
3.3.	Layout Minera Antucoya.....	19
3.3.1.	Topografía actual y límites.....	19
3.3.2.	Infraestructura.....	20
3.4.	Caso Base 2016.....	22
3.4.1.	Pit final y fases.....	22
3.4.2.	Plan Minero.....	24
3.4.3.	Diseño de botaderos.....	27
3.4.4.	Equipos de carguío.....	28
3.4.5.	Equipos de transporte.....	29
3.4.6.	Horas y flota de transporte.....	31

3.5.	Parámetros geotécnicos para botaderos y stocks	32
3.6.	Pendiente para botaderos	33
3.7.	Evaluación económica	33
3.7.1.	OPEX.....	33
3.7.2.	CAPEX.....	38
4.	Desarrollo y resultados.....	40
4.1.	Tonelajes por sector	40
4.2.	Ubicación de botaderos.....	41
4.2.1.	Alternativa 1	42
4.2.2.	Alternativa 2.....	43
4.2.3.	Alternativa 3.....	44
4.3.	Diseño de alternativas.....	45
4.3.1.	Alternativa 1	46
4.3.2.	Alternativa 2.....	50
4.3.3.	Alternativa 3.....	55
4.4.	Destino de fases a botaderos por alternativas	61
4.5.	Secuencia de llenado	62
4.5.1.	Alternativa 1	62
4.5.2.	Alternativa 2.....	63
4.5.3.	Alternativa 3.....	64
4.6.	Horas de transporte por alternativas	65
4.6.1.	LOM (Life of mine).....	66
4.6.2.	Quinquenio	67
4.6.3.	Decenio.....	68
4.6.4.	Flota de transporte	68
4.7.	Evaluación técnica de alternativas	71
4.8.	Evaluación económica de alternativas	74
4.8.1.	OPEX.....	74
4.8.2.	CAPEX.....	80
4.9.	Decisión diseño final	81
4.10.	Diseño de stocks.....	82
4.11.	Sensibilización de resultados parámetros PN 2017-2021	87
4.11.1.	Horas de transporte.....	88
4.11.2.	OPEX	89
4.11.3.	CAPEX	89
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	91

6. Glosario.....	96
7. Bibliografía	97
8. Anexos	98
8.1. Minehaul.....	98
8.2. Fases	99
8.3. Características camión Komatsu K930E-4.....	101
8.4. Definición de pendiente.....	103
8.5. Diseño de botaderos	106
8.5.1. Alternativa 1.....	106
8.5.2. Alternativa 2.....	108
8.5.3. Alternativa 3.....	110
8.6. Secuencia de llenado	113
8.6.1. Alternativa 1.....	113
8.6.2. Alternativa 2.....	115
8.6.3. Alternativa 3.....	117
8.7. Horas de transporte.....	119
8.8. Sensibilización de velocidades.....	122

Índice de figuras

Figura 1.1: Diseños antiguos de botaderos.....	2
Figura 1.2: Diseño inicial botaderos CB 2016.	3
Figura 1.3: Diseño final botaderos CB 2016.....	4
Figura 2.1: Elementos de un botadero.	8
Figura 2.2: Disposición de botaderos en laderas.	8
Figura 2.3: Disposición de botaderos en quebradas.	9
Figura 2.4: Disposición de botaderos en tortas.	9
Figura 2.5: Levantamiento superficie de talud.....	11
Figura 2.6: Tipos de descarga en botaderos.	13
Figura 3.1: Ubicación Minera Antucoya.....	16
Figura 3.2: Sección N-7497250. Modelo de Mineralización.	18
Figura 3.3: Esquema de rangos estructurales mayores.	18
Figura 3.4: Topografía actual y límites Minera Antucoya.....	19
Figura 3.5: Infraestructura Minera Antucoya.	21
Figura 3.6: Fase 10 y pit final.	22
Figura 3.7: Diseño de botaderos CB 2016.	27
Figura 3.8: Esquema parámetros de construcción botaderos.	32
Figura 4.1: Simulación para tonelaje óptimo por sector.....	40
Figura 4.2: Ubicaciones botaderos alternativa 1.	42
Figura 4.3: Ubicaciones botaderos alternativa 2.	43
Figura 4.4: Ubicaciones botaderos alternativa 3.	44
Figura 4.5: Evolución diseños alternativa 1.....	47

Figura 4.6: Vista en planta alternativa 1.	49
Figura 4.7: Evolución diseños alternativa 2.	51
Figura 4.8: Vista en planta alternativa 2.	53
Figura 4.9: Evolución diseños alternativa 3.	57
Figura 4.10: Vista en planta alternativa 3.	60
Figura 4.11: Llenado final botaderos alternativa 1.	62
Figura 4.12: Llenado final botaderos alternativa 2.	63
Figura 4.13: Llenado de botaderos alternativa 3.	64
Figura 4.14: Vista en plata de los stocks mina.	82
Figura 4.15: Diseño de stocks en sector actual.	83
Figura 4.16: Propuestas para stocks.	84
Figura 5.1: Diseño de botaderos alternativa 1.	92
Figura 5.2: Propuestas para stocks.	94
Figura 8.1: Fase 1.	99
Figura 8.2: Fase 2.	99
Figura 8.3: Fase 3.	99
Figura 8.4: Fase 4.	99
Figura 8.5: Fase 5.	99
Figura 8.6: Fase 6.	99
Figura 8.7: Fase 7.	100
Figura 8.8: Fase 8.	100
Figura 8.9: Fase 9.	100
Figura 8.10: Fase 10.	100
Figura 8.11: Medidas camión K930-E.	101
Figura 8.12: Curvas de rimpull para K930E-4, subiendo.	102
Figura 8.13: Curvas de rimpull para K930E-4, bajando.	102
Figura 8.14: Botadero sur CB 2016 y modificado al 5%, módulo 1.	103
Figura 8.15: Vista en planta botadero norte alternativa 1.	106
Figura 8.16: Vista de perfil botadero norte alternativa 1.	106
Figura 8.17: Vista en planta botadero sur alternativa 1.	107
Figura 8.18: Vista de perfil botadero sur alternativa 1.	107
Figura 8.19: Vista en planta botadero norte alternativa 2.	108
Figura 8.20: Vista de perfil botadero norte alternativa 2.	108
Figura 8.21: Vista en planta botadero sur alternativa 2.	109
Figura 8.22: Vista de perfil botadero sur alternativa 2.	109
Figura 8.23: Vista en planta botadero norte alternativa 3.	110
Figura 8.24: Vista en planta botadero norte alternativa 3.	110
Figura 8.25: Vista en planta botadero oeste alternativa 3.	111
Figura 8.26: Vista de perfil botadero oeste alternativa 3.	111
Figura 8.27: Vista en planta botadero sur alternativa 3.	112
Figura 8.28: Vista de perfil botadero sur alternativa 3.	112
Figura 8.29: Leyenda secuencia de llenado botaderos.	113
Figura 8.30: Secuencia de llenado alternativa 1 (1).	113
Figura 8.31: Secuencia de llenado alternativa 1 (2).	114
Figura 8.32: Secuencia de llenado alternativa 2 (1).	115
Figura 8.33: Secuencia de llenado alternativa 2 (2).	116
Figura 8.34: Secuencia de llenado alternativa 3 (1).	117
Figura 8.35: Secuencia de llenado alternativa 3 (2).	118

Índice de tablas

Tabla 1.1: Especificaciones diseños antiguos de botaderos.	2
Tabla 3.1: Balance de stocks CB 2016.....	26
Tabla 3.2: Parámetros de diseño botaderos CB 2016.....	28
Tabla 3.3: Parámetros y tiempo de carga equipos de carguío.	28
Tabla 3.4: Velocidades camión K930-E en CB 2016.....	29
Tabla 3.5: Tiempo operativo para camión K930-E en CB 2016.	29
Tabla 3.6: Velocidades camión K930-E en PN 2017.....	30
Tabla 3.7: Tiempo operativo para camión K930-E en PN 2017.	30
Tabla 3.8: Horas de transporte CB 2016.	31
Tabla 3.9: Parámetros de construcción botaderos.	32
Tabla 3.10: Parámetros de construcción stocks.....	33
Tabla 3.11: Costos operacionales de transporte.	35
Tabla 3.12: Tipos de lubricantes y sus características.	36
Tabla 3.13: Vida útil y costo componentes camión K930-E.....	38
Tabla 4.1: Tonelaje por sector.....	40
Tabla 4.2: Iteraciones alternativa 1.	46
Tabla 4.3: Especificaciones alternativa 1.	49
Tabla 4.4: Iteraciones alternativa 2.	50
Tabla 4.5: Especificaciones alternativa 2.	54
Tabla 4.6: Iteraciones alternativa 3.	55
Tabla 4.7: Especificaciones alternativa 3.	60
Tabla 4.8: Destino a botaderos por fase.....	61
Tabla 4.9: Horas de transporte CB 2016 y alternativas.....	66
Tabla 4.10: Horas de transporte quinquenio, CB 2016 y alternativas.	67
Tabla 4.11: Horas de transporte decenio, CB 2016 y alternativas.	68
Tabla 4.12: Flota de transporte por año para CB 2016 y alternativas.	70
Tabla 4.13: Distribución de puntajes evaluación técnica.....	71
Tabla 4.14: Puntaje por clasificación.....	71
Tabla 4.15: Evaluación estabilidad general de botaderos.	72
Tabla 4.16: Evaluación accesos y caminos segregados.	72
Tabla 4.17: Evaluación construcción de rampas.	72
Tabla 4.18: Evaluación capacidad.....	73
Tabla 4.19: Evaluación horas de transporte.	73
Tabla 4.20: Evaluación límites.....	73
Tabla 4.21: Utilización espacio autorizado pila ROM	73
Tabla 4.22: Resultados evaluación técnica.	74
Tabla 4.23: Resultados OPEX por alternativas para LOM.	75
Tabla 4.24: Costos OPEX transporte quinquenio por alternativas.	77
Tabla 4.25: Costos OPEX operación transporte mina, quinquenio por alternativas.	77
Tabla 4.26: Costos OPEX mantención transporte mina, quinquenio por alternativas. ...	78
Tabla 4.27: Costos OPEX transporte decenio por alternativas.	78
Tabla 4.28: Costos OPEX operación transporte mina, decenio por alternativas.	79
Tabla 4.29: Costos OPEX mantención transporte mina, decenio por alternativas.	79
Tabla 4.30: Entrada de camiones nuevos.	80
Tabla 4.31: Overhaul de flota de camiones.....	80
Tabla 4.32: Venta de flota de camiones.	80
Tabla 4.33: Resultados CAPEX por alternativas para LOM.	80

Tabla 4.34: Resultados CAPEX por alternativas para decenio.	81
Tabla 4.35: Características stocks sector actual.	83
Tabla 4.36: Características propuestas stocks alta ley.....	84
Tabla 4.37: Horas de transporte de propuestas de stocks.	85
Tabla 4.38: Costos operacionales con stocks.	86
Tabla 4.39: Entrada de camiones nuevos para alternativa 1 y propuestas de stocks. ...	86
Tabla 4.40: Overhaul camiones para alternativa 1 y propuestas de stocks.....	86
Tabla 4.41: Resultados CAPEX para alternativa 1 y propuestas de stocks para LOM. .	87
Tabla 4.42: Horas de transporte actualizada a velocidad PN 2017.	88
Tabla 4.43: OPEX diseño recomendado con velocidades PN 2017.....	89
Tabla 4.44: Entrada de camiones alternativa 1 actualizada para velocidades de PN 2017.	89
Tabla 4.45: Overhaul camiones alternativa 1 actualizada para velocidades de PN 2017.	89
Tabla 4.46: Flota final de transporte diseño recomendado para velocidades del PN 2017.	89
Tabla 4.47: CAPEX actualizado a velocidades PN 2017.....	90
Tabla 5.1: Características alternativas diseño de botaderos.....	91
Tabla 5.2: Horas y flota de transporte alternativas diseño de botaderos.....	91
Tabla 5.3: Resultados económicos alternativas de botaderos.	92
Tabla 5.4: Resultados propuestas stocks mina.	93
Tabla 5.5: Resultados sensibilización de parámetros de velocidad y maniobra de camiones.	94
Tabla 8.1: Velocidades recomendadas por el fabricante K930-E.....	103
Tabla 8.2: Velocidades recomendadas por el fabricante K930-E restringidas por velocidad máxima.....	104
Tabla 8.3: Tiempos de viaje en distintas pendientes.	104
Tabla 8.4: Horas de transporte detalladas por alternativa.	119
Tabla 8.5: Distancia de transporte alternativa 1.	119
Tabla 8.6: Distancias de transporte alternativa 2.	120
Tabla 8.7: Distancias de transporte alternativa 3.	120
Tabla 8.8: Velocidades promedio camiones enero-marzo 2017.....	122
Tabla 8.9: Velocidades promedio camiones CB 2016.....	122
Tabla 8.10: Velocidades promedio camiones PN 2017-2021.....	122
Tabla 8.11: Horas de transporte según velocidades.	122

Índice de gráficos

Gráfico 3.1: Asignación de materiales por fase.	23
Gráfico 3.2: Extracción de fases por año.....	23
Gráfico 3.3: Plan Minero Antucoya CB 2016. Movimiento mina.	24
Gráfico 3.4: Plan Minero Antucoya CB 2016. Razón estéril/mineral.	24
Gráfico 3.5: Plan Minero Antucoya CB 2016. Alimento a planta.	25
Gráfico 3.6: Tonelajes cargados por equipos.	29
Gráfico 3.7: Índices camiones K930-E	32
Gráfico 3.8: Costos mina.....	34
Gráfico 4.1: Horas de transporte LOM, CB 2016 y alternativas.....	66
Gráfico 4.2: Flota de camiones por alternativas.	69

Gráfico 4.3: Costos OPEX Operación transporte mina para LOM por alternativas.	75
Gráfico 4.4: Costos OPEX Mantenimiento transporte mina para LOM por alternativas.	76
Gráfico 4.5: Horas de transporte con stocks.	85
Gráfico 4.6: Horas de transporte diseño recomendado con velocidades actualizadas. .	88

Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1: Volumen de botaderos.....	10
Ecuación 3.1: Costo Mano de obra.	35
Ecuación 3.2: Costo Servicios de campamento.	35
Ecuación 3.3: Costo Diésel.	35
Ecuación 3.4: Costo Otros servicios de mantención de contratos.....	36
Ecuación 3.5: Costo Neumáticos	36
Ecuación 3.6: Costo Repuestos mecánicos.	36
Ecuación 3.7: Costo Lubricantes.....	36
Ecuación 3.8: Costo tarifa mensual de Servicios Marc Fijo.....	37
Ecuación 3.9: Costo Cuota componentes de Servicios Marc Fijo.	37
Ecuación 3.10: Costo Servicios Marc Fijo.	37
Ecuación 3.11: Costo servicios Marc Fijo.....	37
Ecuación 3.12: Costo compra camiones.	38
Ecuación 3.13: Costo overhaul camiones.	39
Ecuación 3.14: Valor residual camiones.....	39
Ecuación 4.1: Tiempo de viaje.	65
Ecuación 4.2: Tiempo de acarreo.....	65
Ecuación 4.3: Tiempo de ciclo.....	65
Ecuación 4.4: Rendimiento flota.....	65
Ecuación 4.5: Horas de transporte.	65
Ecuación 4.6: Horas efectivas camión por período.	68
Ecuación 4.7: Número de camiones por período.	68
Ecuación 4.8: Horas efectivas último camión por período.....	69

1. Introducción

1.1. Motivación

La presente memoria se desarrolla en la Gerencia de Planificación y Desarrollo de Minera Antucoya, específicamente en la superintendencia de Planificación y Desarrollo. Minera Antucoya, perteneciente en su mayoría a la compañía Antofagasta Minerals S.A. (AMSA), comenzó como proyecto el año 2012 y la operación fue puesta en marcha el 2015. Su producción consiste en cátodos de alta pureza, mediante la explotación de óxidos a través de un rajo, con posteriores procesos de lixiviación, extracción por solvente y electro-obtención. Se proyecta una producción de 85 [kton] de cobre fino al año.

Se propone elaborar una actualización del diseño de botaderos mina de Minera Antucoya, el que ha ido evolucionando en distintas oportunidades desde su etapa de proyecto hasta la actualidad.

En el 2011, para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se presentó un primer diseño, que contaba con una capacidad total de 570 [Mton] en dos botaderos, uno al norte del rajo y otro al sur, tal como muestra la Figura 1.1.

Al año siguiente, por requerimiento de mayor capacidad y para presentar al Sernageomin se realizó un nuevo diseño, que aumentaba la capacidad total a 623 [Mton], siendo mayor el botadero sur respecto al diseño anterior y disminuyendo prácticamente a la mitad el norte. Este agregaba un stock de 25 [Mton].

En 2014 bajo el contexto del Caso Base (CB) 2015 se volvieron a modificar los diseños acrecentando considerablemente su capacidad, para así ajustarse al lastre proyectado, lo que se ve reflejado principalmente en el botadero norte. Este considera un tonelaje de 247 [Mton] y el sur de 565 [Mton], lo que significa un total de 812 [Mton]. A diferencia de los dos diseños anteriores, no se respetaba los límites autorizados para botaderos.

Estos tres primeros diseños ya descritos se evidencian en la Figura 1.1 y sus especificaciones están en la Tabla 1.1.

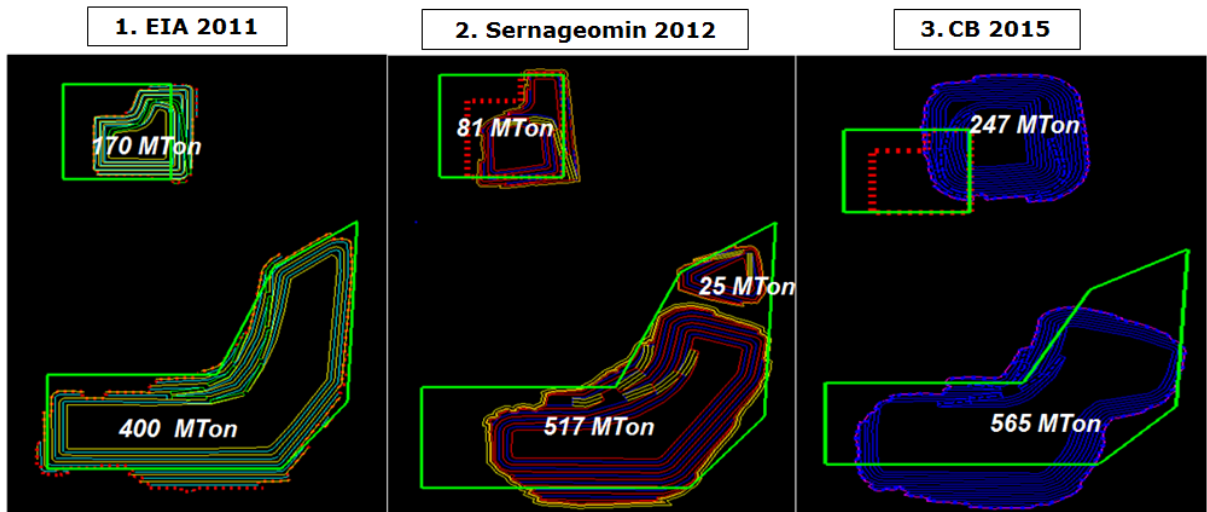


Figura 1.1: Diseños antiguos de botaderos.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Tabla 1.1: Especificaciones diseños antiguos de botaderos.

Propuesta	Botadero norte	Botadero sur	Stock	Total
1. EIA 2011	170 [Mton]	400 [Mton]	-	570 [Mton]
2. Sernageomin 2012	81 [Mton]	517 [Mton]	25 [Mton]	623 [Mton]
3. CB 2015	247 [Mton]	565 [Mton]	25 [Mton]	812 [Mton]

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Para el CB 2016 se acuerda respetar nuevamente los sectores autorizados para la disposición de botaderos, los límites de propiedad y la línea base de proyecto, por lo que se tuvo que rediseñar lo que ya se tenía. Se elabora un diseño inicial que consideraba dos botaderos con un total de 801 [Mton], tal como se observa en la Figura 1.2.

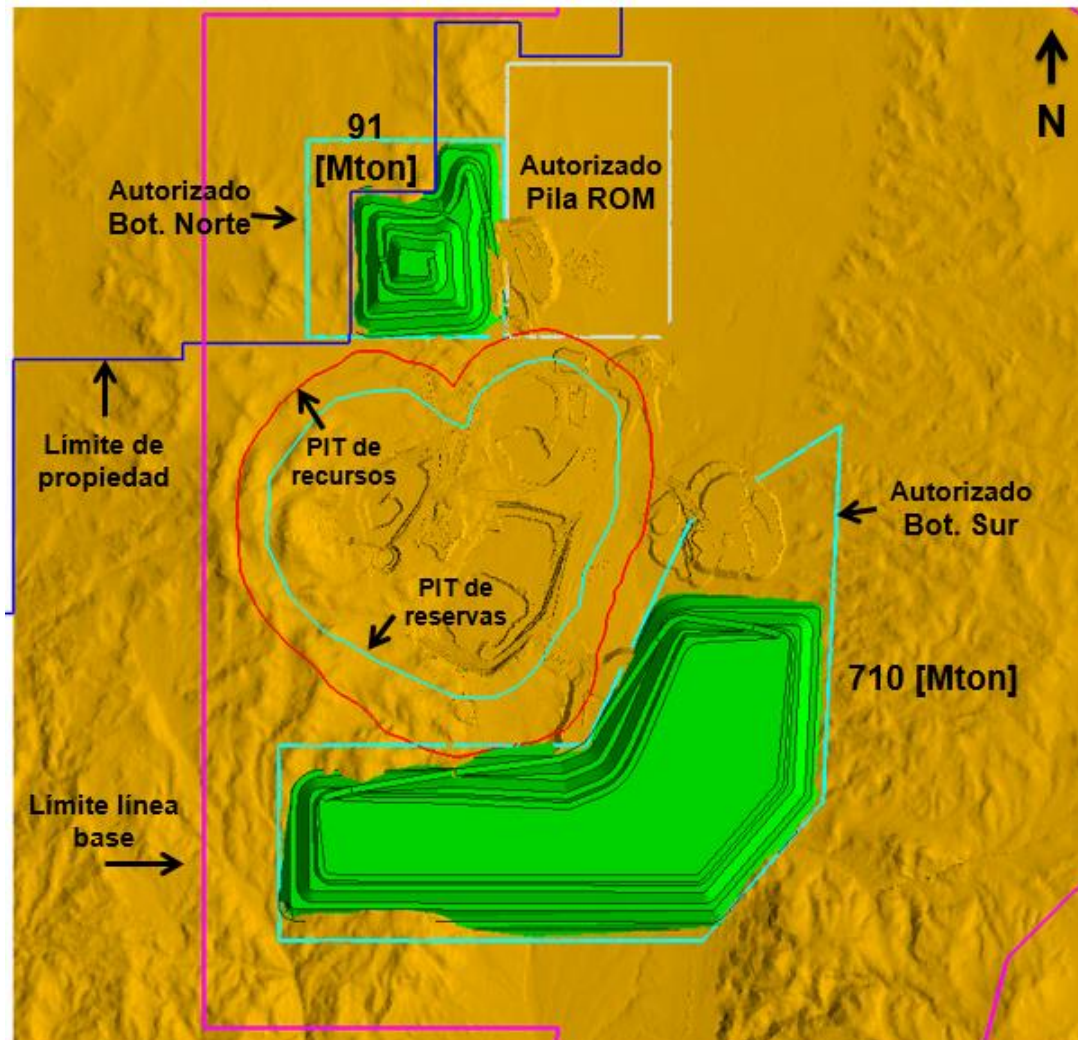


Figura 1.2: Diseño inicial botaderos CB 2016.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Los resultados de este diseño arrojaron un aumento en las distancias y horas de transporte respecto al CB 2015. Se presumía que esto ocurría por la disminución de capacidad del botadero norte, insuficiente considerando las salidas del rajo enfocadas hacia ese sector de la mina, cuyo lastre se veía obligado a realizar un camino largo hacia el botadero sur. Esto implicaba tiempos de transporte superiores a los esperados, sumando un total de **2.283.730 [hrs]** con una flota de 24 camiones K930E-4.

Como solución al aumento de las horas de transporte, se decidió incluir el espacio y diseño de la pila ROM (Run of mine) como tercer botadero. Si bien es parte del diseño final del CB 2016, hasta la fecha de este estudio no ha sido efectivamente utilizada para descargar material. Este nuevo diseño se muestra en la Figura 1.3.

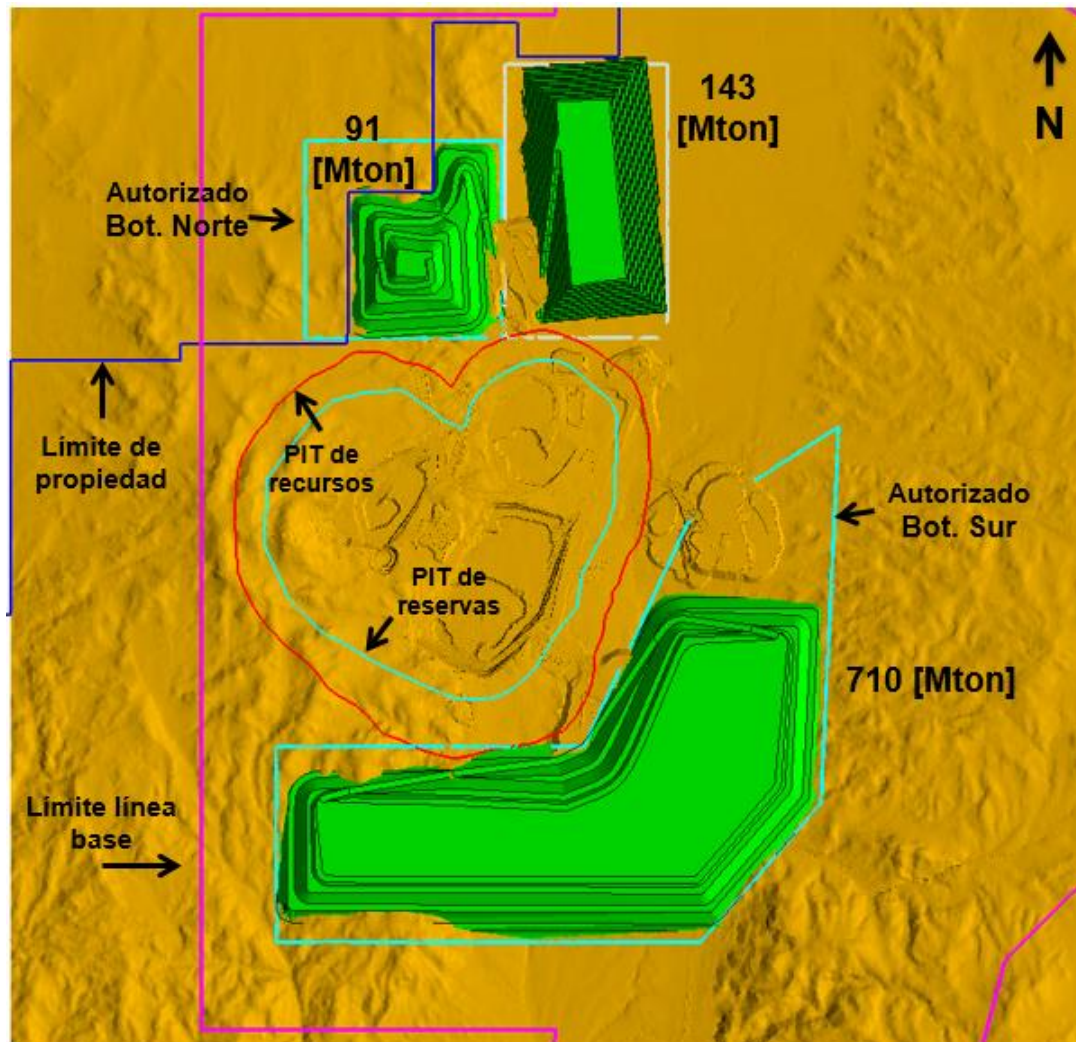


Figura 1.3: Diseño final botaderos CB 2016.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Este cambio implicó la disminución de las horas de transporte a **2.190.221 [hr]** y una flota de 23 camiones. Si bien este último diseño logró disminuir las horas de transporte, con este estudio se busca optimizar los diseños y analizar si hay opciones de mejoras.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Optimizar las distancias de transporte de Minera Antucoya mediante el análisis de la ubicación y diseños de sus botaderos actuales. Proponer alternativas adicionales a las existentes y/o rediseñando las actuales soluciones.

Para esto, se debe buscar minimizar los tiempos de transporte desde las distintas fases hacia los botaderos, y de esta manera lograr una disminución en el costo de transporte.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se buscan con la memoria, son:

- Generar alternativas de diseño de botaderos.
- Calcular las horas de transporte para las alternativas y poder comparar con el Caso Base 2016.
- Evaluar técnica y económicamente, mediante un modelo simplificado, las alternativas generadas, y así recomendar la mejor para que sea implementada.
- Proponer alternativas de stocks que cumpla con los tonelajes actuales proyectados para estos.

1.3. Alcances

Los alcances del estudio son:

- Utilizar el plan minero generado en el CB 2016, es decir, no se pueden modificar las fases ni los planes de producción de este.
- En botaderos debe cumplirse con la capacidad calculada para lastre en el CB 2016.
- Se deben aplicar los parámetros de construcción de botaderos presentados por el área de geotecnia y aprobados a fines del año 2016.
- La flota de camiones estimados por Antucoya en el CB 2016 debe mantenerse, al menos, hasta el 2021. Desde ese año, puede modificarse si presenta mejores resultados.

- No se harán análisis del impacto medioambiental de los sectores donde se emplacen los botaderos, debido a que gran parte de ellos ya han sido estudiados. De usarse un sector que aún no cuente con aprobación y sea escogido como diseño final, minera Antucoya hará las gestiones necesarias frente a la autoridad.

1.4. Metodología

La metodología desarrollada para esta memoria es descrita a continuación:

1. Revisión de literatura existente y antecedentes del tema

Se recopila la información referente al tema y el trabajo anterior relacionado a botaderos.

2. Definición de tonelaje por sector

Se estima el tonelaje de lastre ideal para cada sector de la mina, sirviendo de base para los diseños posteriores.

3. Análisis de alternativas

Se definen alternativas de ubicaciones para botaderos, basados en los antecedentes recopilados. Posteriormente, se realizan los diseños para las ubicaciones definidas.

4. Resultados para alternativas diseñadas

Se simulan los ciclos de acarreo de las alternativas, para obtener las distancias promedio y con ello calcular las horas de transporte. Con las horas de transporte por período junto al rendimiento de los equipos, se calcula la flota de transporte.

5. Evaluación técnica-económica de alternativas

De las alternativas definidas y sus resultados, se evalúan las ventajas y debilidades de las alternativas, de manera de descartar alguna si es necesario. A las alternativas más favorables, se les hace una evaluación de los costos de transporte mina, tanto operacionales como de inversión.

6. Sugerencias diseño de stocks mina

Al diseño de botaderos recomendado, se le crean alternativas de stocks. A estas, se le calculan las horas de transporte, flota y costos, de manera de proponer un diseño para estos.

7. Sensibilización diseño final

Finalmente, se recalculan las horas de transporte y los costos asociados modificando las velocidades de los camiones a las del Plan de Negocios 2017-2021.

8. Conclusiones y recomendaciones

Se resumen las conclusiones obtenidas del trabajo y se realizan recomendaciones respecto al diseño escogido como óptimo.

2. Marco teórico

En este capítulo se presenta información bibliográfica sobre botaderos, la que considera los puntos que serán desarrollados más adelante para el trabajo.

2.1. Botaderos

Un botadero se define como sitio donde se deposita estéril y lastre que se extrae desde la mina. El sector que sea factible para la ubicación de botaderos debe cumplir lo mejor posible las exigencias para su habilitación, tanto técnicas como económicas, que se irán detallando en los párrafos siguientes.

Primero, la distancia entre el punto de carga de los camiones en la mina y el botadero debe ser la mínima posible, dado que el rendimiento de los equipos de transporte es afectado por esta distancia, es decir, influye económicamente a la operación.

Segundo, el lugar donde se ubicará el botadero debe ser desde el punto de vista geológico y geomecánico apto para ello, debido a que la gran cantidad de material que se depositará puede provocar siniestros geomecánicos, tales como hundimientos en el sector mismo o cambiar la distribución de esfuerzos en sectores aledaños.

Es fundamental asegurarse que el sector escogido carezca de importancia económica tanto presente como futura, es decir, comprobar que no existen recursos utilizables en sector. Estos podrían ser un yacimiento sin interés económico hoy pero que puede ser explotable en el futuro o alguna reserva de agua, entre otros.

Por último, pero no menos importante, se debe estudiar el daño ambiental tanto real como potencial que representa la utilización del sector, para comprobar que este sea nulo.

2.1.1. Descripción de un botadero

Un botadero tiene ciertas características inherentes. Los valores de sus parámetros de diseño deben ser determinados por un estudio geotécnico, los que dependerán del tipo de material y del suelo donde se emplace.

- **Torta:** también llamado piso, módulo o banco. Es la unidad básica de un botadero.
- **Berma:** distancia entre la cresta de la torta inferior y la pata de la torta superior.
- **Ángulo de reposo material:** ángulo formado por la pata y la cresta de una misma torta. Tanto esta como los dos elementos anteriores se ejemplifican en la Figura 2.1.

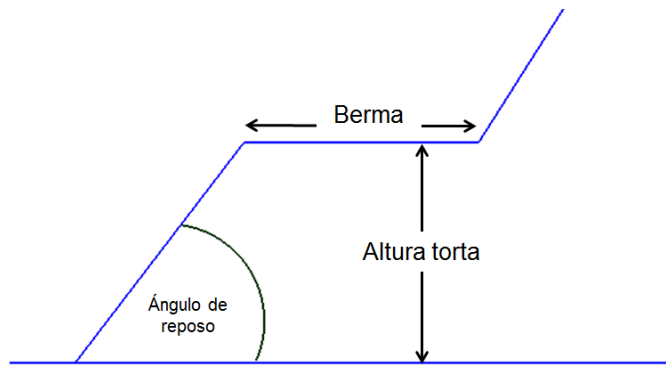


Figura 2.1: Elementos de un botadero.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

- **Altura máxima:** altura a la que puede ser construida el botadero. No es necesario llegar a la altura máxima si se tiene un área mayor que optimice la operación.
- **Rampa:** camino a través del cual los camiones transitan en el botadero hasta el punto de descarga.

2.1.2. Disposición de botaderos

Hay tres disposiciones usuales para botaderos, que dependerán de la topografía del sector. Estos son: en laderas, en quebradas o en tortas.

Disposición en laderas: la disposición del lastre en laderas de cerros cercanos a las operaciones es una de las más utilizadas, por la simplicidad que representa para la descarga, mantención y estabilidad de las tortas. Esta forma se observa en la Figura 2.2.

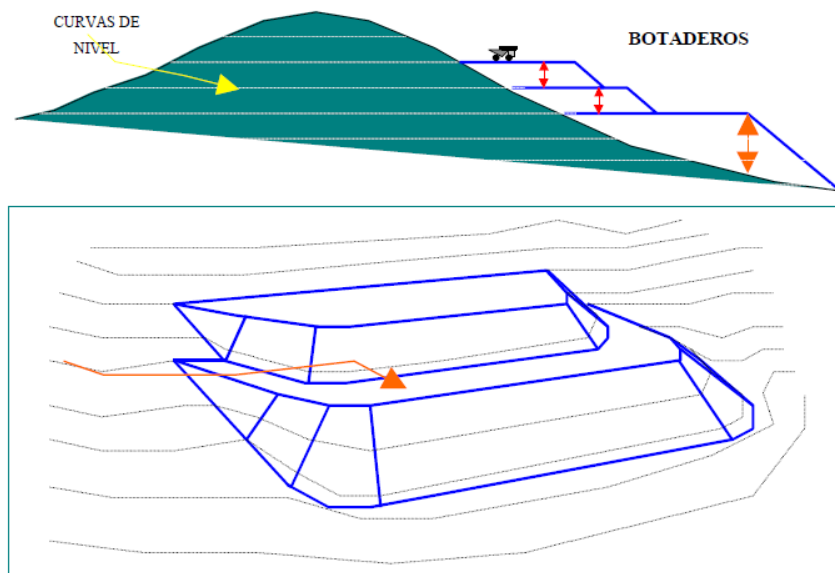


Figura 2.2: Disposición de botaderos en laderas.
Fuente: Vásquez "et al", 1998, p.112.

Disposición en quebradas: se realiza en casos que la actividad no represente un riesgo real o potencial al lugar, por lo que debe hacerse un estudio del sector que incluya los cauces de aguas que se puedan ver afectados. La Figura 2.3 enseña este tipo de disposición.

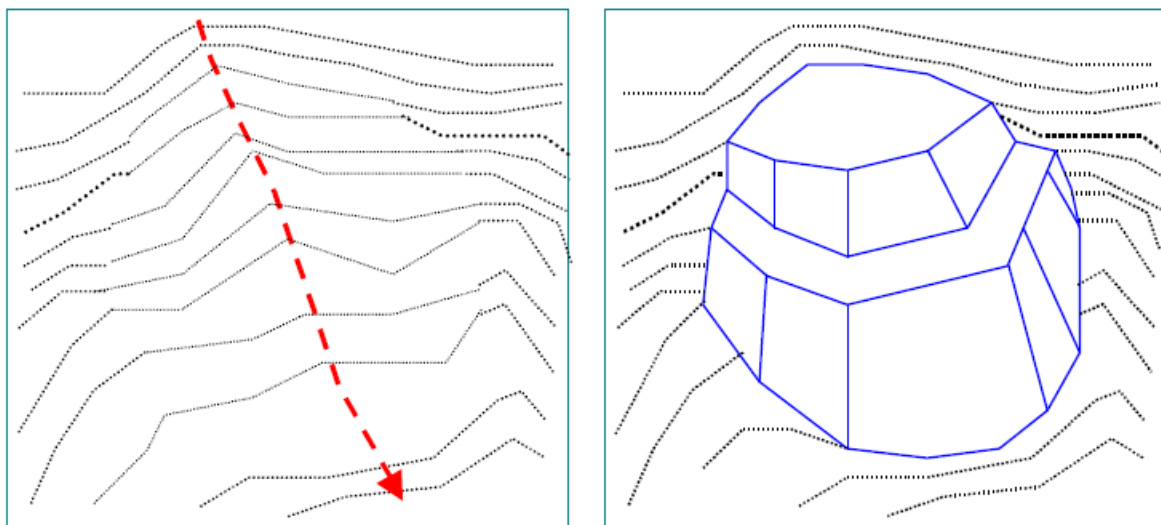


Figura 2.3: Disposición de botaderos en quebradas.
Fuente: Vásquez "et al", 1998, p.113.

Disposición en tortas: o pilas. Se recurre a esta construcción cuando no hay laderas cercanas a la explotación. Este tipo de botaderos requiere la construcción de accesos permanentes sobre la pila misma, a diferencia de las laderas que los accesos se pueden habilitar por la topografía. Las características anteriores se muestran en la Figura 2.4.

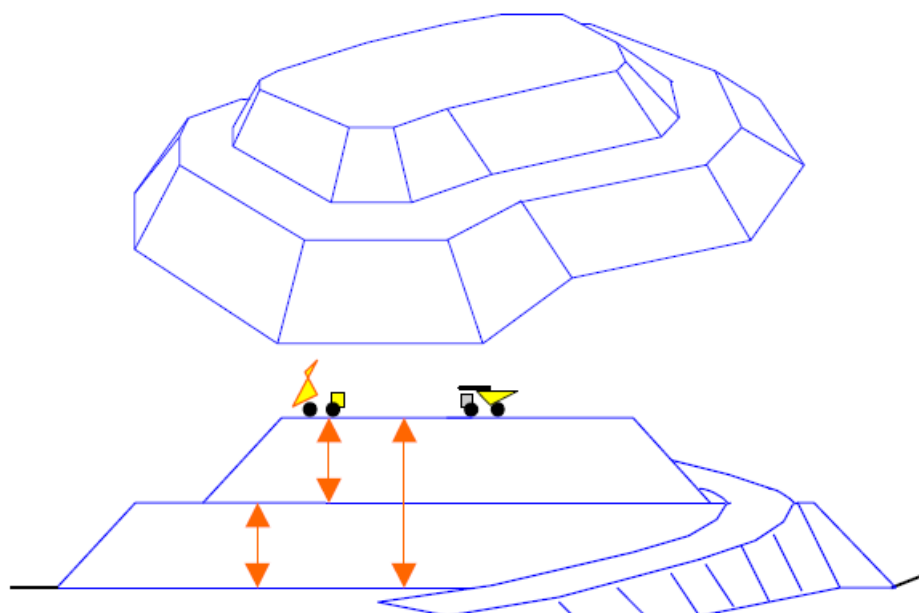


Figura 2.4: Disposición de botaderos en tortas.
Fuente: Vásquez "et al", 1998, p.114.

2.1.3. Cálculo del volumen del botadero

Para estimar el espacio físico necesario para la disposición del lastre se debe calcular el volumen de los botaderos, debiéndose incorporar la variable de densidad. La forma de calcularla está en la Ecuación 2.1.

Ecuación 2.1: Volumen de botaderos.

$$\text{Volumen necesario para material X [m}^3\text{]} = \frac{\text{Tonelaje de material X in situ (mina)}}{\text{Densidad material no consolidado X [m}^3\text{]}}$$

Una vez calculado el volumen, se identifican los sectores factibles para su deposición, considerando lo ya descrito y la geometría del depósito (parámetros geotécnicos), para de esta manera saber el área mínima requerida y sus límites. Se hace fundamental tener un levantamiento topográfico del sector y así poder intuir la forma del botadero y su capacidad real en función de ello.

Se debe considerar para lo anterior, que serán distintos los sectores y volúmenes al separar el material según tipos, ya que algunos pueden funcionar como acopio (stocks) para su futuro procesamiento, por lo que se debe tener claro el tipo de material y no efectuar mezclas. Los tipos de material pueden ser:

- Sulfuros de baja ley, potencialmente lixiviables o comercializables, cuando el proceso actual sea flotación de sulfuros y no haya lixiviación de óxidos.
- Sulfuros de alta ley, potencialmente lixiviables, cuando el proceso actual sea lixiviación de óxidos y no tenga procesamiento de sulfuros.
- Material tipo suelo u orgánico, que pueda ser utilizado para futuras restauraciones ambientales.
- Material distinto al que es tratado como principal (carbonatos, arcillas, gravas, etc.) que represente un interés económico.
- Material de menores leyes cuyo tratamiento sea pospuesto para dar preferencia a los que otorguen mayor beneficio actual.

Es interesante pensar si en el futuro cierto material depositado podría someterse a un proceso in-situ, por tanto, desde un principio se deben escoger sectores adecuados, independiente si aquel proceso se llevará a cabo finalmente. Por ejemplo, si un material podría ser lixiviado con ácido sulfúrico, escoger un sector adecuado evitaría gastar recursos en un futuro para mover material, acondicionar el sector o simplemente perder el material por lo costoso de tener que realizar nuevos movimientos.

2.1.4. Presión ejercida sobre el terreno

Al ser los botaderos de gran volumen, uno de sus efectos es la presión sobre el terreno que se alojan, por lo que al escoger un sector hay que estudiar si este será capaz de soportar sin problemas la disposición del estéril.

Hay casos registrados en que los botaderos estaban muy cerca de la explotación de la mina, produciendo anomalías en el rajo o sectores subterráneos productos a la presión ejercida.

2.1.5. Colapso en los botaderos

Cuando se tiene material compacto o in-situ, como por ejemplo los bancos de un rajo, los colapsos en las caras ocurren en función de las estructuras presentes y son predecibles, ya que en general son debidamente mapeadas y se pueden observar desde la superficie. Esto permite estimar, prevenir y controlar los eventos de inestabilidad.

En el caso de los depósitos de material no compacto, como son los botaderos, se pueden observar indicios de inestabilidad en superficie, pero no es siempre posible determinar el volumen afectado por esta inestabilidad, ya que la cara por la que desliza el material es curva. Un indicio que permite estimar la curva de deslizamiento, y por ende tomar acciones al respecto, es un levantamiento en la superficie del talud tal como se muestra en la Figura 2.5.

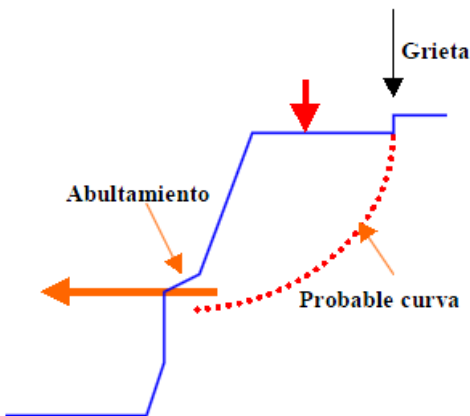


Figura 2.5: Levantamiento superficie de talud.
Fuente: Vásquez "et al", 1998, p.116.

2.1.6. Módulos de llenado

Con el propósito de fraccionar un botadero, este se divide en pequeños elementos de dimensiones preestablecidas que tienen cierto tonelaje y se denominan módulos, los que son de gran utilidad al momento de establecer la secuencia de llenado de los depósitos. Estos deben tener una buena distribución, de manera que sean operacionales y su tamaño sea económico. Se distinguen dos tipos, radiales y cúbicos (o semi-cúbicos), y serán descritos en los párrafos siguientes.

Módulos radiales: son subdivisiones radiales realizadas a cierta distancia en la horizontal. Esta división se efectúa a partir del punto de vaciado, considerado como centro de circunferencia, radiando arcos hasta cortar con los límites de las crestas del botadero. Así, estos módulos definidos en la superficie se proyectan hasta cortar la base conforme al ángulo de talud definido.

Módulos cúbicos o semi-cúbicos: el botadero se subdivide en unidades de llenado de dimensiones superficiales cuadradas o rectangulares.

2.1.7. Secuencia de llenado

Luego de la generación de los módulos de llenado estos se deben secuenciar, es decir, definir la estrategia de llenado que indica la forma y el momento en que se deben ir llenando las distintas zonas del botadero y así minimizar los costos de transporte por traslado del material. Para la optimización del secuenciamiento se escogen uno de estos criterios: **minimizar** la **distancia** al módulo o el **tiempo** que demora el camión para llegar a este.

El secuenciamiento de llenado por distancia, toma como parámetro la distancia que debe recorrer el camión desde la entrada del botadero hasta llegar a la zona de descarga de cada módulo. Así, el secuenciamiento se realiza optimizando la distancia, es decir, descarga primero en los módulos donde la distancia es menor.

El secuenciamiento de llenado por tiempo, toma en consideración el tiempo que le toma al camión ir al módulo, descargar y volver a la entrada del botadero. Para esto, se debe tener las distancias y las velocidades del camión en las distintas pendientes. Así, el secuenciamiento se realiza optimizando el tiempo, descargando en los módulos donde ir el tiempo sea menor.

Aunque resulte evidente, en caso que las optimizaciones de distancia o tiempo recién nombradas resulten en un módulo de cota superior en donde sus módulos inferiores aún no se hayan llenado, deben completarse primero estos para que el superior no quede “colgando”.

2.1.8. Operación en botaderos

La descarga del lastre se realiza en las cercanías del borde del botadero, siempre considerando una distancia de seguridad para evitar accidentes tanto durante como después de la operación.

Para operar, el camión trabaja en conjunto con los equipos de apoyo ya sean bulldozers o wheelozers, los cuales acomodan el material y construyen una berma de seguridad una vez descargado este. La descarga puede realizarse de dos maneras: hacia el talud del botadero y sobre el botadero, tal como se muestra en la Figura 2.6.

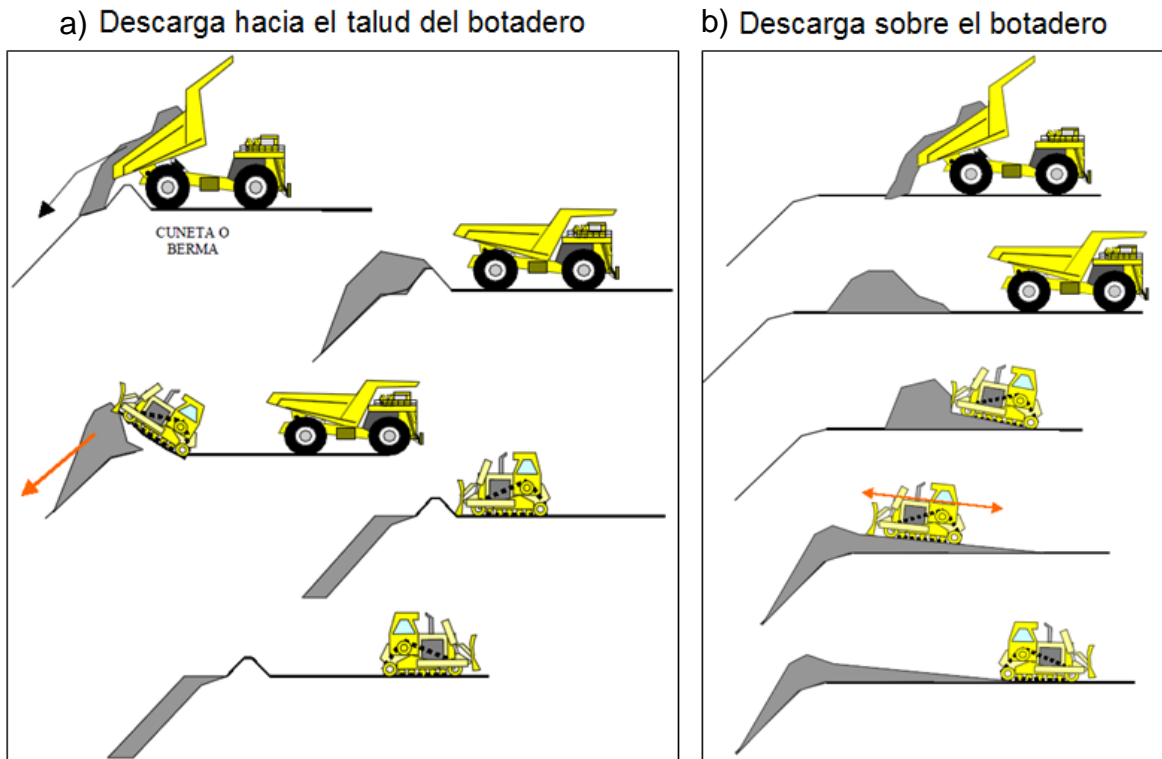


Figura 2.6: Tipos de descarga en botaderos.
 Fuente: Vásquez "et al", 1998, p.119-120.

- a) **Hacia el talud:** el camión se posiciona de cola justo antes del pretil del botadero y desde allí descarga hacia atrás, para que posteriormente el equipo de apoyo empuje el material hacia el talud y deje la berma lista para la próxima descarga.
- b) **Sobre el botadero:** el camión descarga al piso y el equipo de apoyo lo empuja hacia el talud, dejando el piso lo más plano posible.

2.1.9. Mantenimiento de botaderos

Para evitar el colapso de los botaderos, se debe compactar el material, para lograr que quede lo más parecido a un material in-situ, logrando así una mejor estabilidad global. Según los recursos disponibles en la operación, la compactación puede realizarse con los equipos de apoyo bulldozers y wheeldozers, siendo menos comunes la utilización de rodillos compactadores, pero con los cuáles sé que obtienen mejores resultados.

El material tiene una densidad in-situ antes de arrancarlo de la mina pero una vez tronado está densidad cambia, llegando al botadero con una densidad menor. Por más que sea compactado si bien aumentará su densidad, nunca llegará a ser la misma que la in-situ. Por ejemplo, un material con densidad in-situ de 2,7 [ton/m³] llegará a botadero con una densidad de 1,92 [ton/m³] y puede alcanzar con la compactación 2 a 2,1 [ton/m³], es decir, el 78% de la in-situ. Lo anterior por supuesto dependerá de la granulometría, el grado de esponjamiento con que llega el material y la calidad de mantención del depósito.

Por la presión que ejercen las pilas sobre los niveles inferiores es esperable que la densidad sea decreciente en función de la altura. Si bien los equipos no pueden lograr una compactación máxima en comparación a la que realiza la presión de las miles de

toneladas sobre las capas inferiores, es relevante que los equipos logren uniformidad en la compactación. Esto, puesto que entre más homogéneo sea la densidad por niveles en el botadero, la operación será más segura y la estabilidad general de la pila mejorará. En caso de discontinuidades en el botadero, si ocurre una falla o problema será en este punto por donde se manifestará, independiente sea el causante de aquello.

Un ejemplo de los anterior son las fallas por eventos sísmicos. Si acontece un sismo importante y hay un sector mal compactado, será este el más probable por el que ocurra el colapso o daño, sin ser el causante del evento.

2.1.10. Costo de material enviado a botadero

Considerando que un botadero no tiene ningún beneficio económico, de deben tener en cuenta los costos que involucran su extracción y disposición. Los costos de mover un bloque de lastre son:

- Costo de extracción desde la mina, que abarca las operaciones unitarias de carguío y de transporte, dependientes de las distancias que deba recorrer el equipo de acarreo.
- Costo asociado a un nuevo manejo de material (que si se diseña correctamente no debiese ocurrir).
- Costo de mantención de los botaderos, que generalmente entra en los costos de servicios mina.
- Costo de restauración de los botaderos en caso de imprevistos, lo que ingresa a costos de imprevistos de la operación.

Es importante tener en cuenta estos gastos, ya que son parte relevante de una explotación de rajo por lo importante de los volúmenes involucrados.

2.1.11. Stocks

Los stocks mina en cuanto a características son bastante similares a un botadero pero es el tipo de material que en ellos se deposita lo que hace la diferencia. Estos se depositan en un sector de la mina para que cuando su valor económico lo justifique, sean alimentados a la planta.

Las razones para contar con stocks pueden ser varias, mencionando algunas tales como:

- Ley de mineral menor a la alimentada actualmente pero que tiene valor económico en cierta etapa de la mina
- Tipo de material no apto para ser alimentado actualmente pero que mediante mezclas puede ser alimentado en un futuro.

- Tener minerales de buenas leyes disponibles en caso que no se pueda extraer desde las fases, de manera de darle continuidad a la planta.

Las definiciones, estructura de los botaderos y la forma en que estos se operan, fueron abarcados en este capítulo, de manera que sirvan como base para tener claro conceptos con que se trabajará a lo largo de esta memoria.

3. Antecedentes

3.1. Minera Antucoya

Minera Antucoya es una operación ubicada en las comunas de Mejillones y María Elena, a 125 [km] de Antofagasta, a una altura aproximada de 1.700 m.s.n.m. Su ubicación exacta se aprecia en la Figura 3.1.

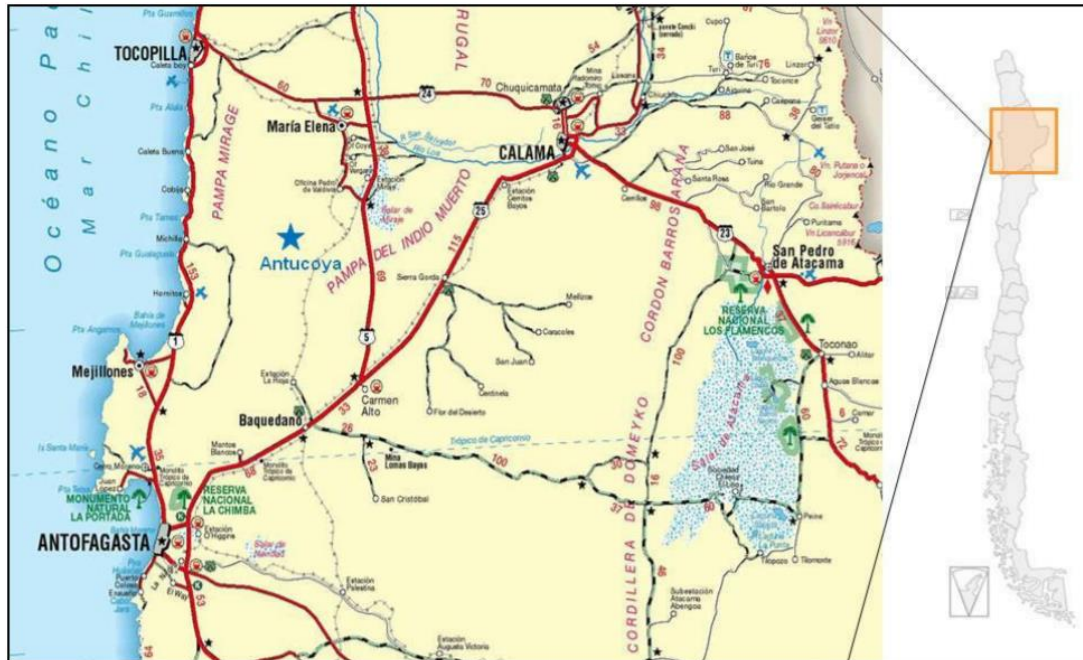


Figura 3.1: Ubicación Minera Antucoya.

Fuente: Minera Antucoya, 2015.

Actualmente es operada por la compañía Antofagasta Minerals S.A. (AMSA), dueña del 70% de Antucoya. Por su parte, Marubeni Corporation es dueño del otro 30%. AMSA es la operadora de Minera Los Pelambres, Zaldívar y Michilla, todas ellas productoras de mineral de cobre en Chile.

La construcción del proyecto Antucoya comenzó el 2012, siendo interrumpido el 2013 para re-evaluar su factibilidad económica. Una vez retomado el proyecto, la puesta en marcha ocurrió el 2015 y a finales del mismo año logró su primer cátodo.

Su producción objetivo es de 85 [Kton] de cobre fino al año, lo cual debiese cumplirse el 2018. A la fecha de esta memoria aún se encuentra en etapa de ramp-up.

La operación de Antucoya considera varias etapas, que se irán detallando en orden secuencial:

- **Minería a cielo abierto:** la extracción se realiza a gran escala en el rajo Antucoya. Allí operan dos palas eléctricas y dos hidráulicas además de un cargador frontal, y el transporte se realiza a través de camiones.

- **Chancado**: este proceso contempla tres tipos de chancadores: primario, secundario y terciario. Desde la mina el mineral llega al chancador primario con máximo 66 [cm] y finaliza el proceso por debajo los 12,7 [mm].
- **Aglomerado**: una vez chancado el mineral, se introduce en tambores aglomeradores donde se mezcla con ácido sulfúrico y agua de mar. Esto permite que el mineral se sulfata y se forme una mezcla homogénea, que tiene la humedad y calidad física necesaria para el proceso siguiente de apilamiento.
- **Lixiviación en pilas**: el material se transporta mediante correas y es depositado por un equipo esparcidor en pilas dinámicas de 4 [m] y posteriormente regado con soluciones ácidas que disuelven y arrastran el cobre desde el mineral hasta el fondo de la pila, donde se dispone de un sistema de drenes que recoge la solución desde la pila y la lleva a otro sector a través de canaletas impermeabilizadas. El tiempo de regado de la pila es de 65 días, donde completa su ciclo y el material se considera agotado.

Una vez que las pilas se agotan, éstas son retiradas por una rotopala y transportado a través de correas a depósito de ripios.

- **Extracción por solvente**: en esta etapa la solución se libera de impurezas y se concentra su contenido de cobre, pasando de 9 [gpl] a 45 [gpl], mediante una extracción iónica.
- **Electro-obtención**: aquí se recupera el cobre de la solución electrolito concentrado para producir cátodos de alta pureza (99,9% de cobre), que son el producto final.

3.2. Geología

3.2.1. Mineralogía y geología estructural

El yacimiento Antucoya corresponde a un pórfido cuprífero, sometido a intensos procesos supergenos, llegando incluso a desarrollar una importante mineralización típica de yacimientos exóticos, debido a eventos de hidrólisis, escasa migración de fluidos y entorno de condiciones superáridas.

El modelo de mineralización está compuesto por ocho unidades, las que se han definido a partir de la mineralogía de mena principal presente en el sector. Estas se presentan en la Figura 3.2.

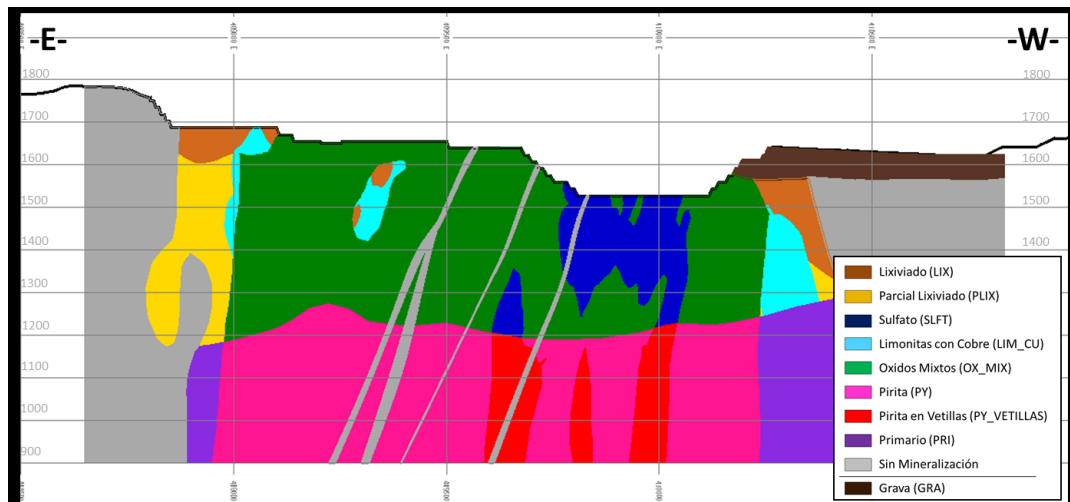


Figura 3.2: Sección N-7497250. Modelo de Mineralización.
 Fuente: Superintendencia de Geotécnica, Minera Antucoya, 2016, p.12.

La mineralización reconocida en este yacimiento está asociada al complejo intrusivo Buey Muerto y la roca volcánica de caja adyacente a estos pórfidos.

El emplazamiento de estos cuerpos está controlado por la intersección de dos sistemas de falla principalmente: Sistema de Falla Atacama (N-S) y Zona de Falla Buey Muerto (NW-SE), como muestra la Figura 3.3. Esto implica que las rocas que se encuentran fuera de este ámbito, tienen poco potencial de mineralización de cobre, ya que no estarían afectadas por este sistema hidrotermal.

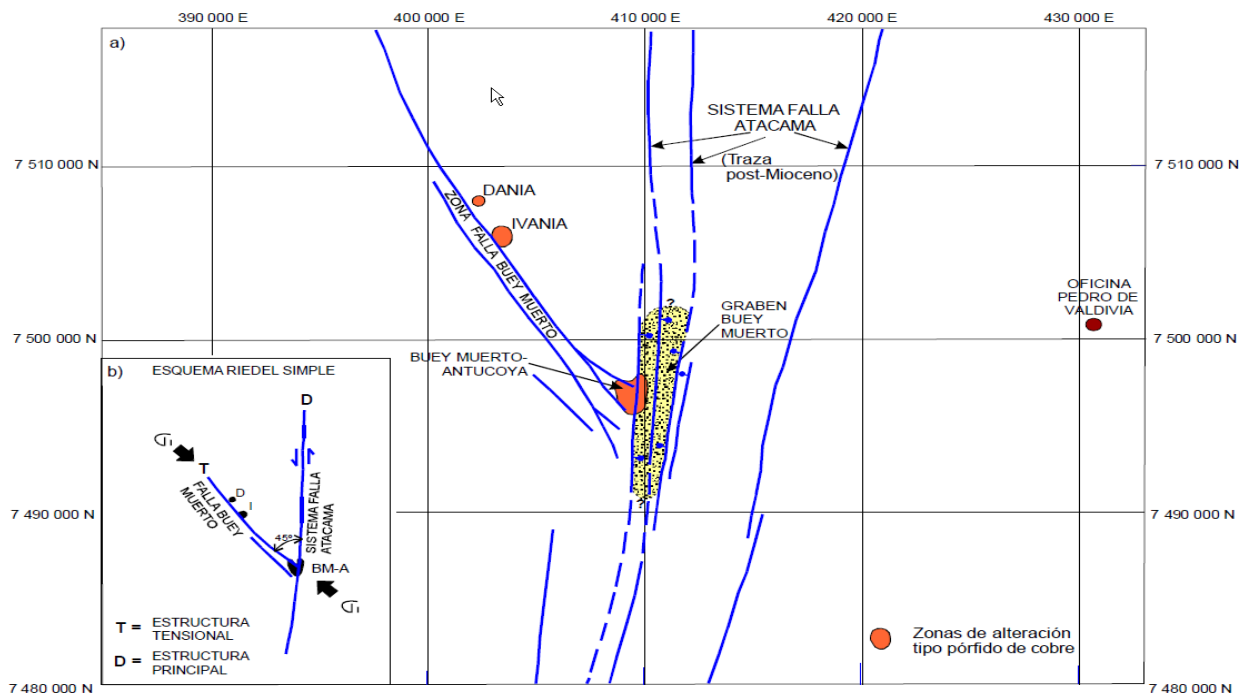


Figura 3.3: Esquema de rangos estructurales mayores.
 Fuente: Superintendencia de Geotécnica, Minera Antucoya, 2016, p.12.

La densidad promedio del yacimiento es de 2,3 [ton/m³] y se considera una densidad de 1,8 [ton/m³] para botaderos (material no consolidado), lo que representa un 78% de la in-situ.

3.3. Layout Minera Antucoya

3.3.1. Topografía actual y límites

En la Figura 3.4 se expone la topografía actual del rajo Antucoya. La operación actual se desarrolla en tres fases (F01, F02, F03), descargándose el lastre en dos botaderos, norte y sur, más un stock que se divide en mineral de alta y baja ley. En la figura adjunta se observan las líneas de avance de estos elementos.

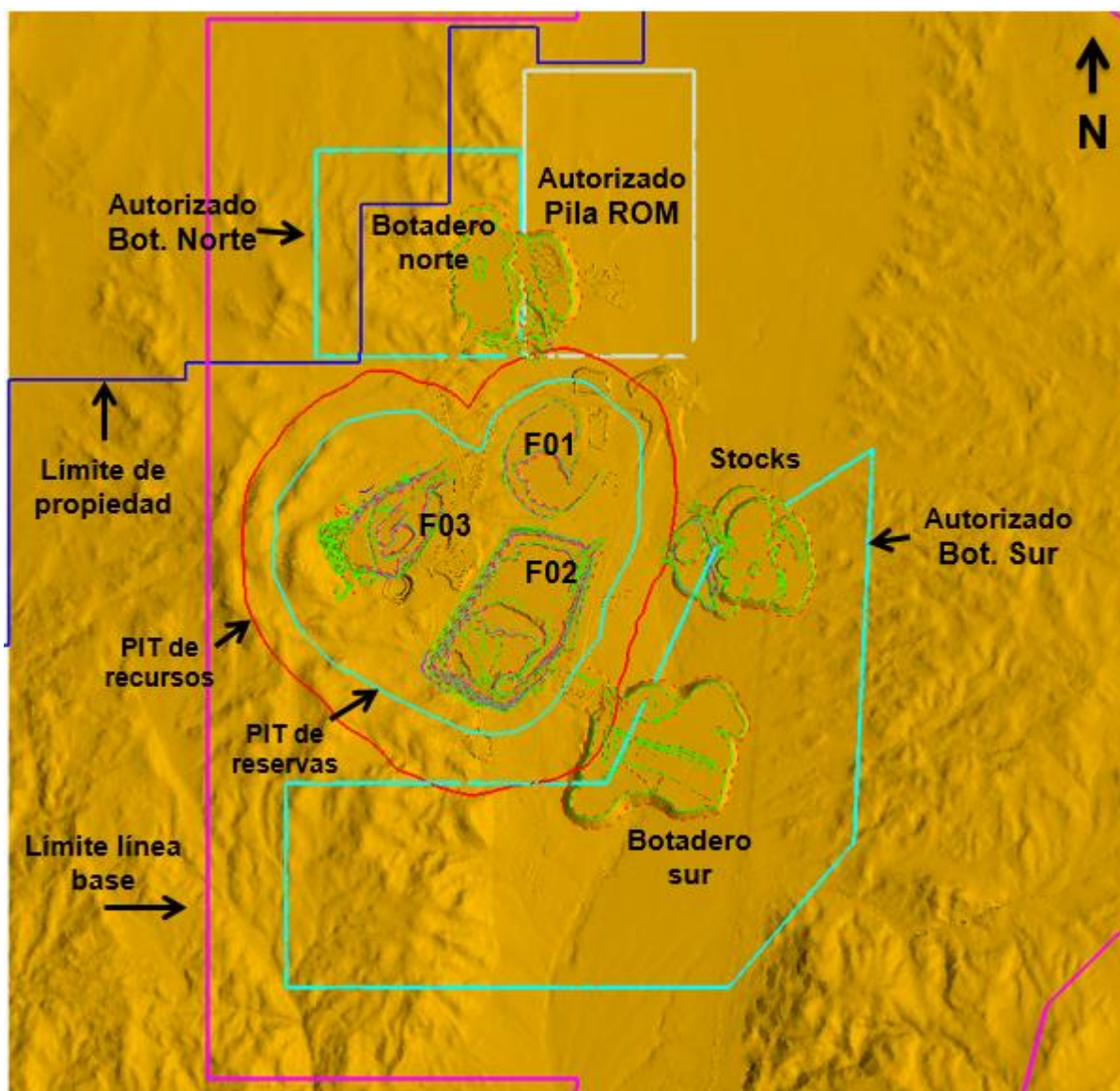


Figura 3.4: Topografía actual y límites Minera Antucoya.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los límites mostrados en la figura anterior se explican a continuación:

- **Límite de propiedad:** (línea azul) delimita el espacio que es propiedad minera de Antucoya. Lo que está fuera de este límite es propiedad de la compañía SQM.

- **Límite línea base:** (línea fucsia) delimita el espacio aprobado para la operación. El uso de espacio fuera de este límite implica realizar estudio de los sectores para una futura aprobación, lo que no es seguro. Se recomendó no salir de este límite al menos que su uso sea realmente justificado.
- **PIT de reservas:** (línea celeste) perímetro del rajo final.
- **PIT de recursos:** (línea roja) perímetro de crecimiento del rajo, que corresponde a la Envolvente de Recursos 2016 de Antucoya.
- **Autorizado Pila ROM:** (línea gris) sector autorizado para operar con lixiviación ROM. Actualmente no se opera y no está dentro del Plan Minero del CB 2016.
- **Autorizado Bot. Norte y Bot. Sur:** (líneas celestes) espacios que están actualmente autorizados para disponer del botadero norte y sur.

3.3.2. Infraestructura

Es importante tener en cuenta la infraestructura y caminos actuales de para no construir sobre ella o si se usa el sector, considerar donde deberá moverse; respetar la distancia de seguridad de los botaderos a la infraestructura; y utilizar los caminos actuales de la mina el mayor tiempo posible antes de necesitar construir otros nuevos. En la Figura 3.5 se remarcan la infraestructura relevante para esta memoria y que mayor potencial tiene de interferir con el diseño de los botaderos.

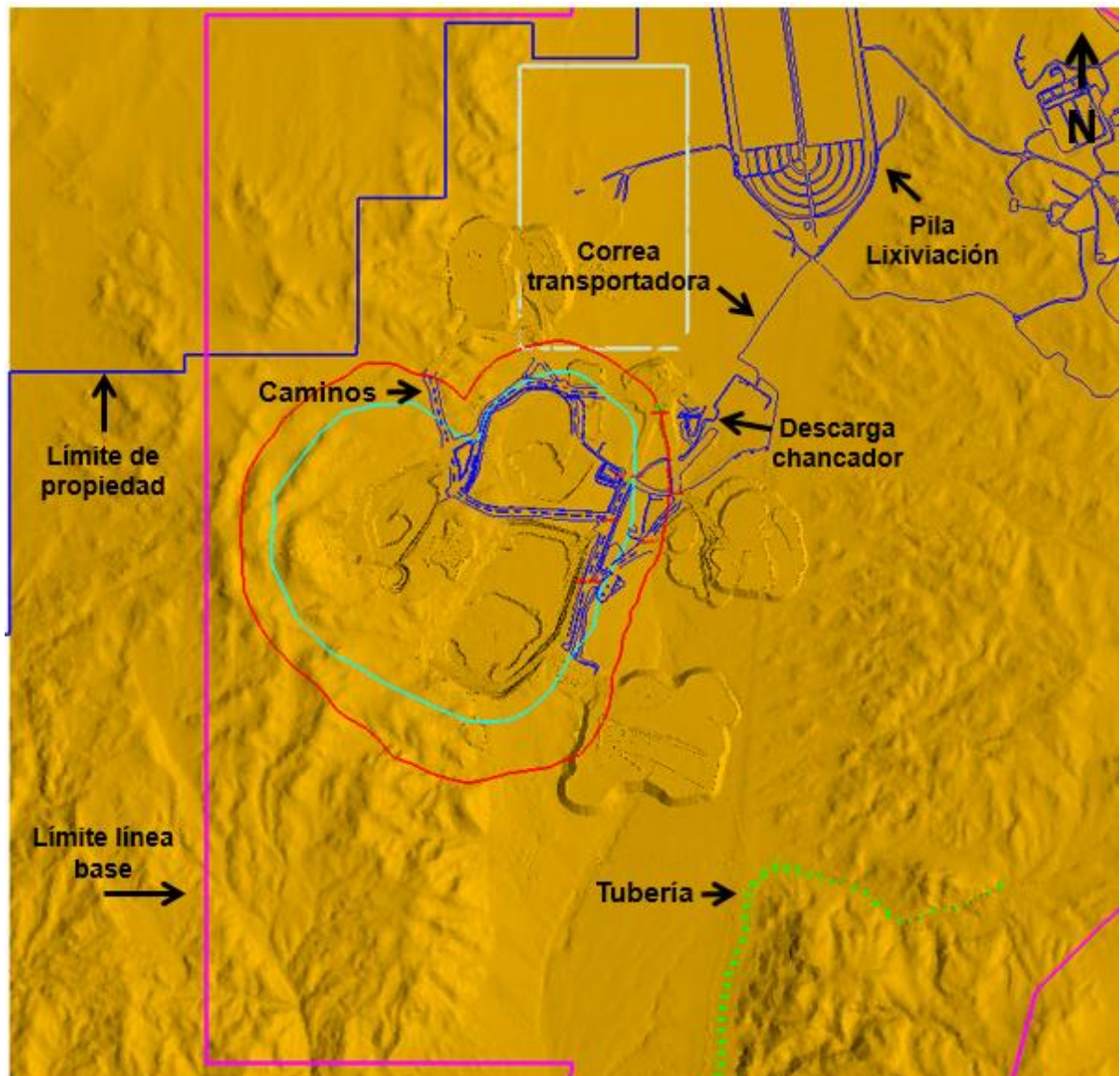


Figura 3.5: Infraestructura Minera Antucoya.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

No se diseñará en el sector noreste por encontrarse allí el chancado, correas y pilas, las que se observan claramente en la figura anterior. Se debe tener cuidado por el sector sur con la tubería, no pudiendo quedar por encima de está. Los demás sectores quedan libres para el diseño ya que en su mayoría son caminos o infraestructura inactiva o que pueden ser movidos si los resultados así lo indican.

3.4. Caso Base 2016

Anualmente se realiza un estudio completo de todos los aspectos relacionados a la operación de minera Antucoya. Este abarca la geología, la planificación, la evaluación económica de la operación e inversión que se llevará a cabo desde el año siguiente hasta el final de la vida mina. Todos los puntos que sirvan para esta memoria del CB 2016 serán expuestos durante este capítulo.

3.4.1. Pit final y fases

El rajo Antucoya se compone de 10 fases. En la Figura 3.6 se encuentra resaltada en morado la fase diez (F10), que es la última en ser explotada, y se observa además el pit final compuesto por todas las otras fases, cuyo detalle está en el Anexo 8.2.

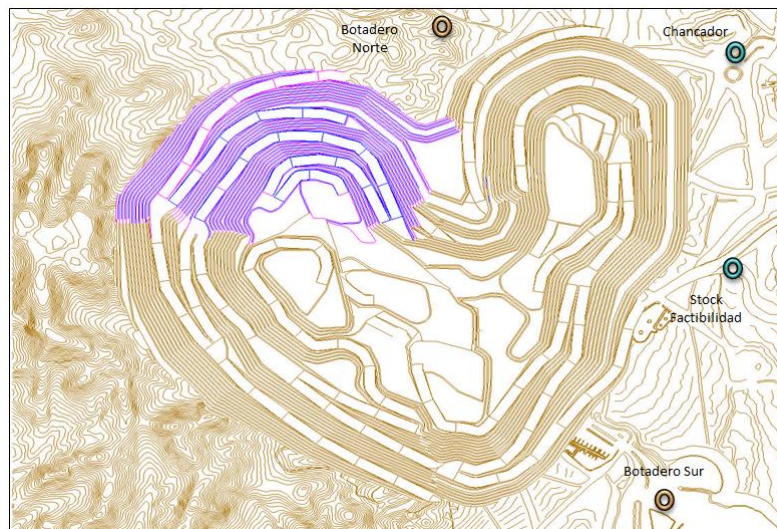


Figura 3.6: Fase 10 y pit final.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Al ubicar las fases, estas resultan en la asignación de materiales que se observa en el Gráfico 3.1. Estos se dividen en tres: a) Mineral, que irá directamente a la planta o a stocks de alta ley, donde este último se utiliza para alimentar a la planta durante todos los años de operación; b) Baja ley, que corresponde a mineral de stock que se alimenta a planta los tres últimos años de operación; c) Estéril, que es el material que se deposita en los botaderos.

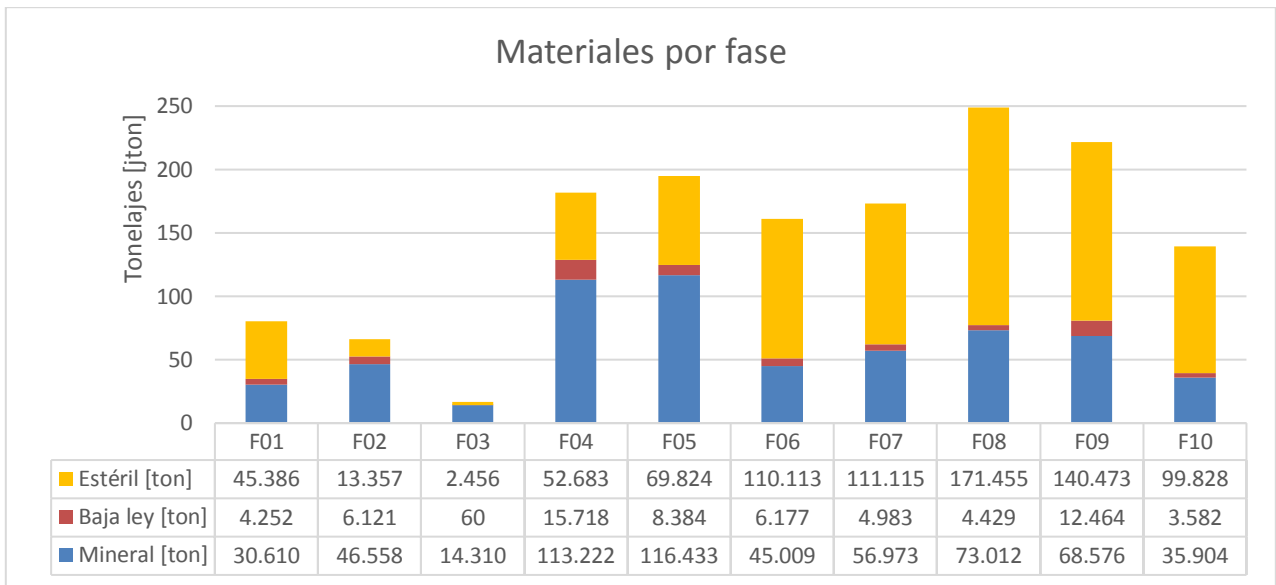


Gráfico 3.1: Asignación de materiales por fase.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Además, del tipo de material que se extrae de cada fase, es importante saber la secuencia de salida de estas, para tener claro de que fase se está extrayendo año a año. En el Gráfico 3.2 se muestra esta secuencia por fases.

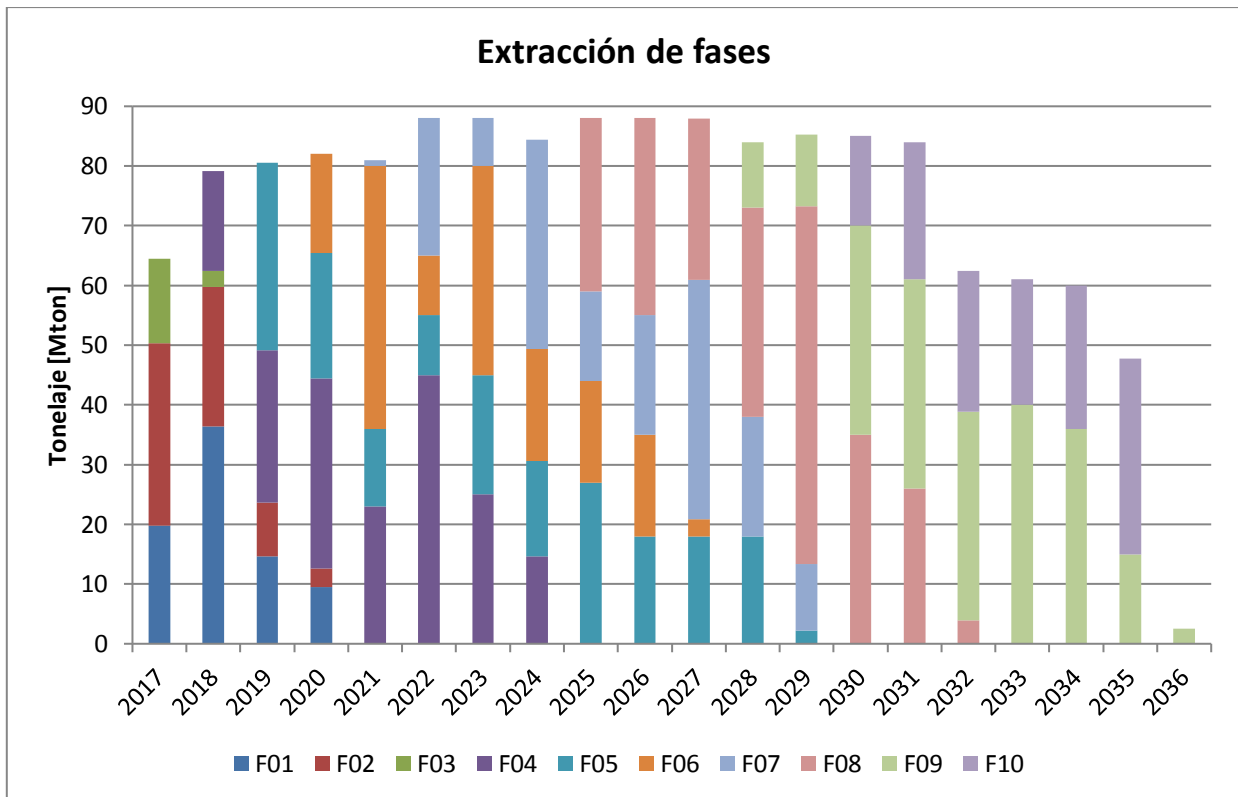


Gráfico 3.2: Extracción de fases por año.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Los dos últimos años (2037-2038) no hay extracción mina debido a que se alimenta a la planta sólo desde el stock de baja ley. El detalle de los stocks se verá en el plan minero.

3.4.2. Plan Minero

El Plan Minero presentado en el CB 2016 contempla movimientos desde:

- Mina a planta
- Mina a stock baja ley
- Mina a stock alta ley
- Mina a botaderos
- Stock alta ley a planta
- Stock baja ley a planta

La extracción mina varía levemente a lo largo de los años, lo que se puede observar en el Gráfico 3.3, alcanzando máximos cercanos a las 90 [kton/año].

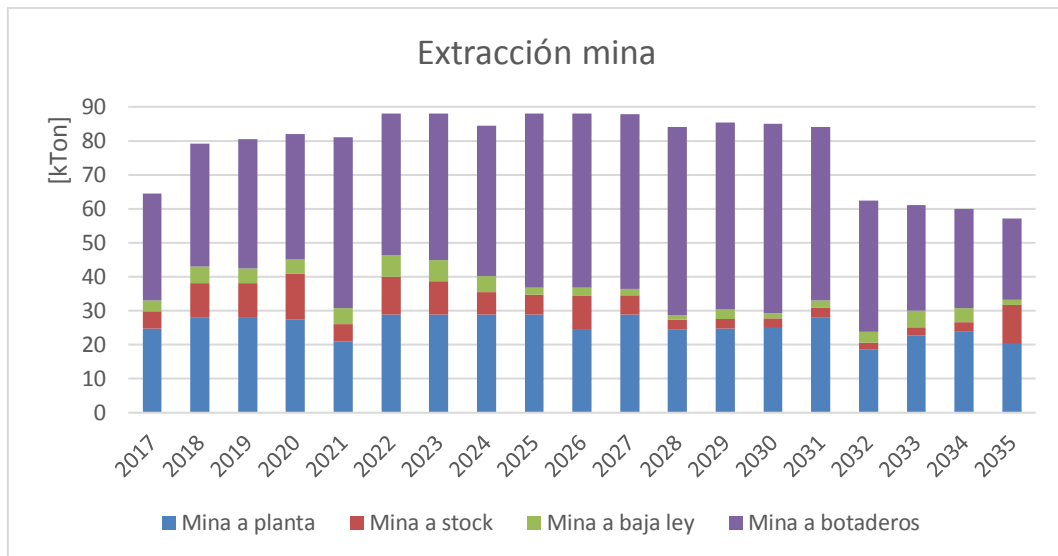


Gráfico 3.3: Plan Minero Antucoya CB 2016. Movimiento mina.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Un punto a tener en cuenta en el movimiento mina y que se desprende del gráfico anterior, es la razón estéril/mineral de lo extraído. En el Gráfico 3.4 se observan estas razones por año:

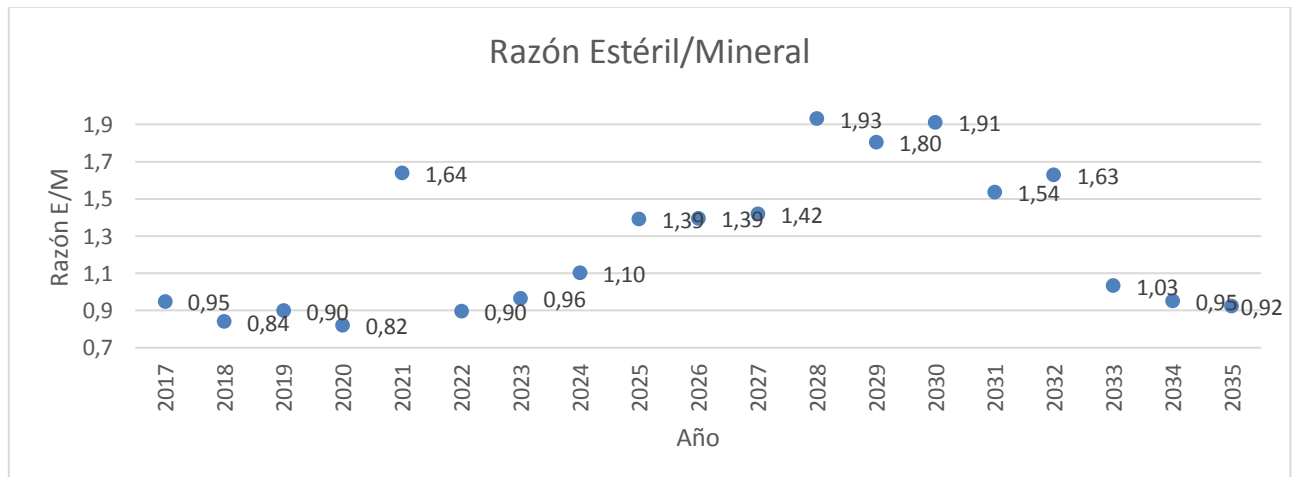


Gráfico 3.4: Plan Minero Antucoya CB 2016. Razón estéril/mineral.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

De la razón estéril/mineral se ve que los primeros siete años el estéril es menor que el mineral, excepto para 2021 que alcanza el valor 1,64. Ya desde el año 2024 ocurre lo contrario, superando el estéril ampliamente el tonelaje de mineral que se puede alimentar a planta, llegando incluso a 1,93 para el año 2028. Recién para los dos últimos años de extracción se vuelve a bajar de la razón 1:1.

Por su parte, la alimentación planta y la ley de CuT% (cobre total) se visualiza en el Gráfico 3.5. La planta recibe mineral tanto de la mina como de los stocks, siendo uniforme en 32 [kton/año] (excepto para el último año que no se opera todo el año). La ley no se comporta de forma uniforme, siendo máxima el año 2030, y mínima para los dos últimos años, que es cuando se alimenta sólo de stock de baja ley.

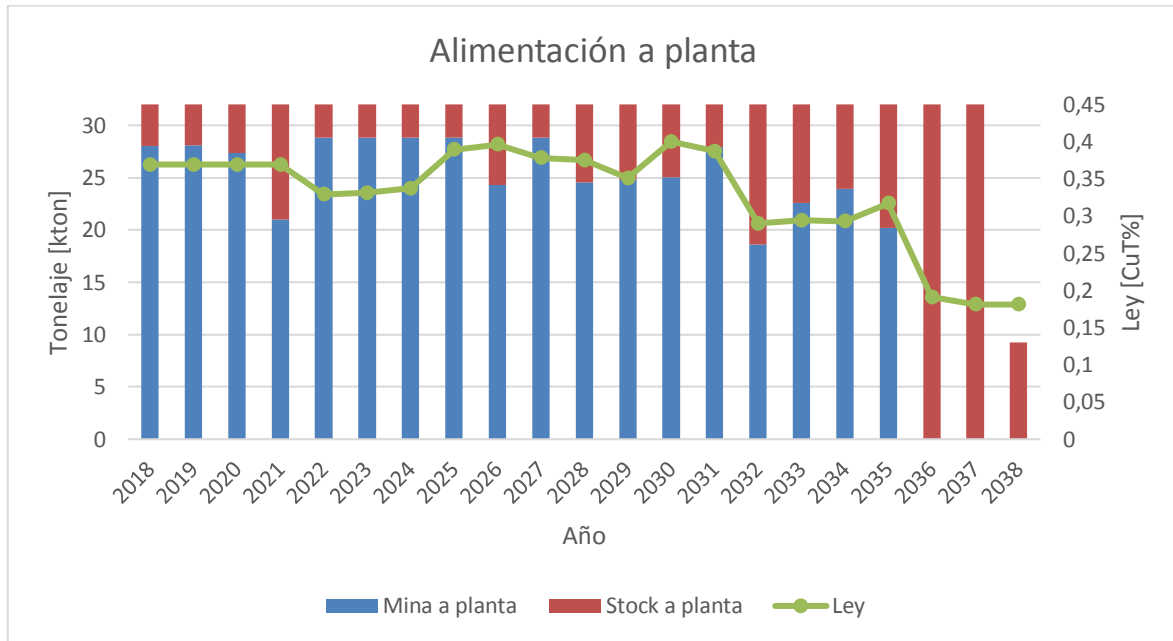


Gráfico 3.5: Plan Minero Antucoya CB 2016. Alimento a planta.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Si bien no se especifica en el gráfico, el stock de alta ley alimenta a la planta durante toda la vida mina; el stock de baja ley sólo lo hace los últimos tres años. Esto se explicará mejor en breve.

La Tabla 3.1 muestra el balance de stocks a lo largo de la vida de la mina. Se remarca la capacidad máxima requerida para ambos stocks, que es en la cual se deben basar los diseños. Cuando se habla de alta ley, es aquel mineral de ley mayor o igual a la ley de corte del período. Baja ley es la ley mayor o igual a 0,16% y menor a la ley de corte del período.

Tabla 3.1: Balance de stocks CB 2016.

	Alta ley			Baja Ley		
	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance
	Kton	Kton	Kton	Kton	Kton	Kton
2016	-	-	10.753	-	-	3.734
2017	2.424	4.582	8.595	3.263	-	6.997
2018	7.071	880	14.756	4.794	-	11.791
2019	6.829	760	20.854	4.310	-	16.102
2020	10.507	1.600	29.761	4.199	-	20.221
2021	2.732	8.699	23.794	4.689	-	24.910
2022	7.957	-	31.751	6.429	-	31.339
2023	6.718	-	38.469	6.082	-	37.421
2024	3.420	-	41.889	4.756	-	42.176
2025	2.702	-	44.591	2.134	-	44.310
2026	7.321	5.000	46.913	2.426	-	46.733
2027	2.613	-	49.525	1.761	-	48.494
2028	-	4.705	44.820	1.375	-	49.870
2029	-	4.426	40.394	2.841	-	52.710
2030	-	4.212	36.183	1.424	-	54.135
2031	-	997	35.186	2.114	-	56.249
2032	-	11.330	23.856	3.088	-	59.337
2033	-	6.912	16.945	4.920	-	64.257
2034	-	5.394	11.550	4.147	-	68.405
2035	-	9.534	2.016	1.440	-	69.844
2036	-	2.017	-	58	28.640	41.263
2037	-	-	-	-	32.000	9.263
2038	-	-	-	-	9.263	0

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Tal como se desprende de la tabla, el stock de alta ley alcanza una capacidad total de **50 [Mton]** el 2027 y, para el caso del stock de baja ley de **70 [Mton]** el año 2035.

3.4.3. Diseño de botaderos

Como se mencionó en el capítulo 1.1., el diseño del CB 2016 contempla dos botaderos al norte y un tercero al sur, como muestra la Figura 3.7. Este diseño respeta los límites tanto de propiedad como la línea base, además de sus botaderos estar construidos dentro del espacio autorizado para ellos.

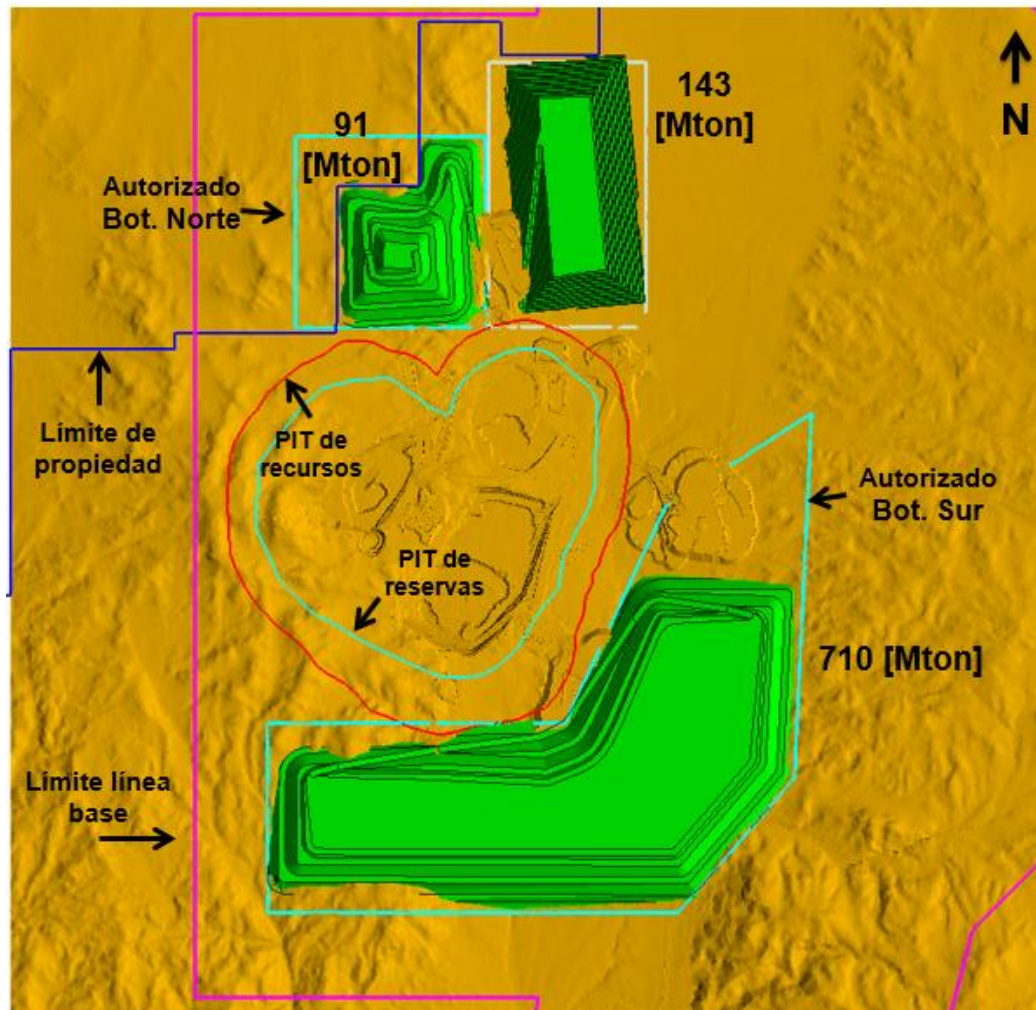


Figura 3.7: Diseño de botaderos CB 2016.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

En un principio no estaba considerado el tercer botadero que se ubica en el espacio de la pila ROM y su diseño es el original para operar como pila, es decir, realizar lixiviación con material directo desde la mina.

Los parámetros de construcción de botaderos del CB 2016 son los siguientes:

Tabla 3.2: Parámetros de diseño botaderos CB 2016.

	Norte	Sur	Pila ROM
Capacidad [Mton]	91	710	143
Altura módulo [m]	50	50	10
Ángulo cara-banco	37°	37°	37°
Berma [m]	35	35	6,5
Altura máxima [m]	200	200	130
Pendiente rampa	8%	8%	10%
Número de rampas	1	2	1

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

El diseño de los stocks mina en este punto ya está prácticamente lleno, por lo que no se especifica su diseño original, sólo el sector en donde se ubican. Para el cálculo de distancias desde las fases a stocks o stocks a planta se consideró un punto medio en los sectores donde los stocks se encuentran.

3.4.4. Equipos de carguío

Para obtener el tiempo completo de transporte mina, se requiere saber los tiempos de carguío de los equipos disponibles y su productividad. Estos se considerarán fijos y para fines de esta memoria se utilizan los mismos del CB 2016.

Los equipos de carguío mina son cinco:

- Dos palas eléctricas P&H 4100XPC/AC
- Dos palas hidráulicas Hitachi EX 5600-6
- Un cargador frontal Letourneau L2350

Sus capacidades y tiempo de carguío se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Parámetros y tiempo de carga equipos de carguío.

	Pala eléctrica (PE)	Pala hidráulica (PH)	Cargador frontal (CF)
Tiempo por pase [min]	0,5	0,5	1,3
Capacidad balde [m³]	56	29	41
Capacidad nominal de balde [ton]	108	56	79
Factor llenado [%]	95	85	85
Capacidad balde [ton]	103	48	67
Número de pases	3	7	5
Tiempo de carguío [min]	1,5	3,5	6,3

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

La producción por período de los equipos de carguío del CB 2016 también se toma como dato, por lo que no se darán detalle de su cálculo. Los valores se muestran en el Gráfico 3.6.

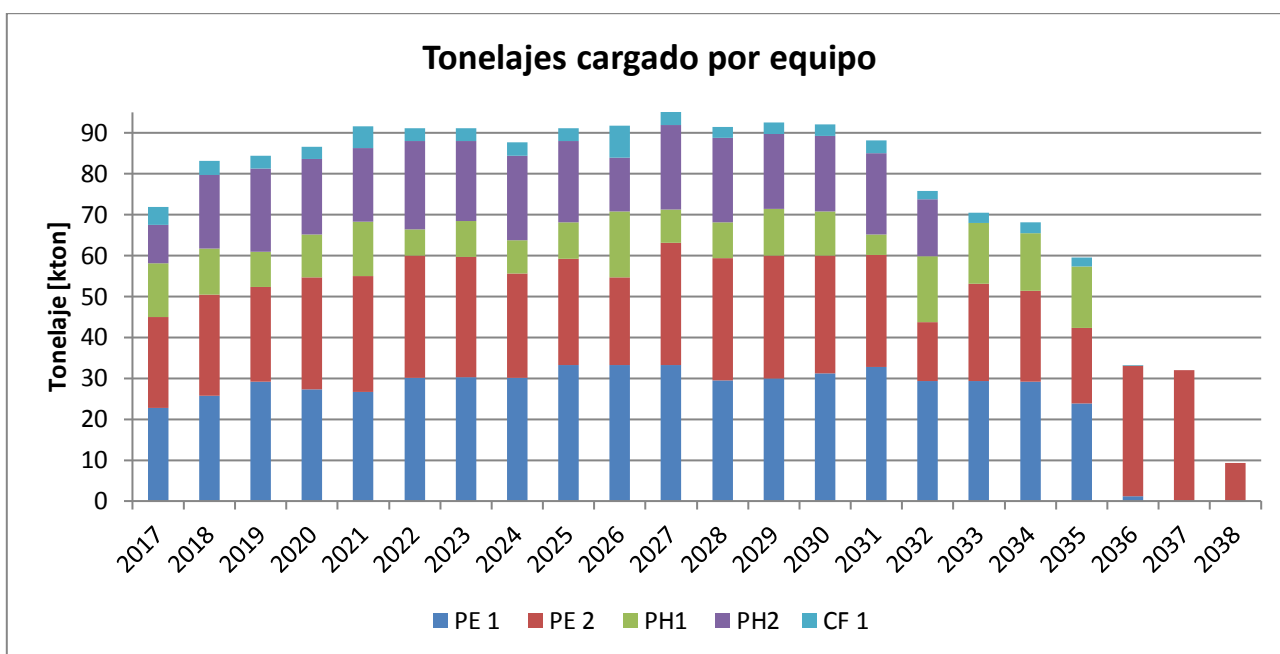


Gráfico 3.6: Tonelajes cargados por equipos.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

3.4.5. Equipos de transporte

El CB 2016 se planificó sólo con el uso de camiones eléctricos Komatsu 930E-4. Estos tienen una capacidad de tolva de 300 [ton] y las velocidades estimadas en este caso son las mostradas en la Tabla 3.4. Detalles sobre las características de este camión se encuentran en el anexo 8.3.

Tabla 3.4: Velocidades camión K930-E en CB 2016.

Velocidad	Subiendo [km/hr]	Horizontal [km/hr]	Bajando [km/hr]
Cargado	12,5	30	21
Vacío	28	45	33

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Para el cálculo de tiempo de ciclo se consideraron los tiempos operativos especificados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Tiempo operativo para camión K930-E en CB 2016.

Acción	Tiempo [min]	
Espera carguío	1,0	
Acuatamiento	1,0	
Carguío	Pala de cables	1,5
	Pala hidráulica	3,5
	Cargador frontal	6,3
Espera descarga	0,0	
Descarga	1,0	

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Estos mismos parámetros son usados para evaluar las alternativas de diseño de botaderos en esta memoria y así sus resultados sean comparables con los del CB 2016.

Para el Plan de Negocios 2017-2021 se actualizaron los parámetros de velocidades y tiempos de carguío de los equipos de transporte. Estas velocidades se emplean al final de este trabajo para sensibilizar los resultados una vez elegido un diseño final y hacer una comparación entre resultados. Estos parámetros se muestran en la Tabla 3.6 y Tabla 3.7.

Tabla 3.6: Velocidades camión K930-E en PN 2017.

Velocidad	Subiendo [km/hr]	Horizontal [km/hr]	Bajando [km/hr]
Cargado	14,5	40	14,5
Vacío	25	40	25

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Tabla 3.7: Tiempo operativo para camión K930-E en PN 2017.

Acción		Tiempo [min]
Espera carguío		0,0
Aculatamiento		1,0
Carguío	Pala de cables	1,5
	Pala hidráulica	3,5
	Cargador frontal	7,5
Espera descarga		0,0
Descarga		1,0

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

3.4.6. Horas y flota de transporte

El objetivo principal de esta memoria es disminuir las horas de transporte, lo que influirá directamente en los costos de transporte, tanto en OPEX como en CAPEX. En la Tabla 3.8 se especifican las horas por año con su respectiva flota.

Tabla 3.8: Horas de transporte CB 2016.

Año	Horas de transporte	Flota de camiones
2017	63.050	16
2018	85.576	16
2019	85.404	16
2020	110.702	16
2021	94.442	16
2022	98.156	16
2023	112.946	18
2024	117.832	18
2025	117.203	18
2026	116.136	18
2027	145.294	23
2028	141.801	23
2029	130.802	23
2030	121.800	23
2031	140.586	23
2032	113.478	23
2033	111.675	23
2034	120.568	23
2035	111.336	23
2036	25.330	5
2037	20.243	4
2038	5.860	4
Total	2.190.221	-

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Cuando se calcula la flota para las distintas opciones se requiere saber la disponibilidad y uso de la disponibilidad de los equipos por periodo. La de los camiones K930E-4 se detalla en el Gráfico 3.1.

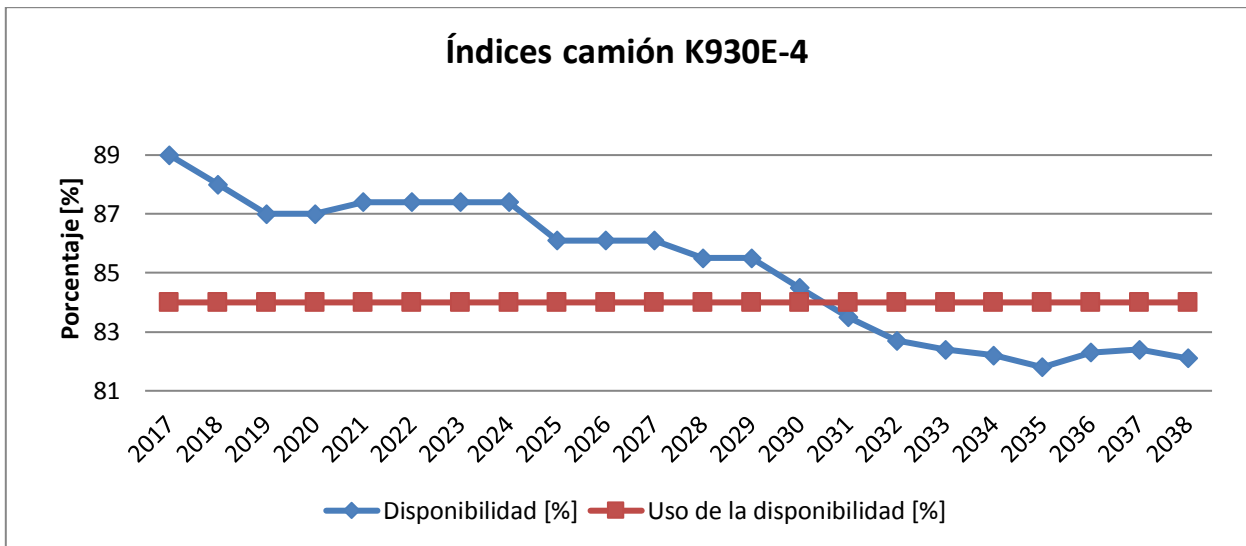


Gráfico 3.7: Índices camiones K930-E
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

3.5. Parámetros geotécnicos para botaderos y stocks

El año 2016, el área de geotécnica modificó y unificó los parámetros de construcción de botaderos, los que fueron aprobados por la autoridad, los cuales serán los utilizados para esta memoria. Estos se esquetizan en la Figura 3.8 y su detalle se muestra en la Tabla 3.9.

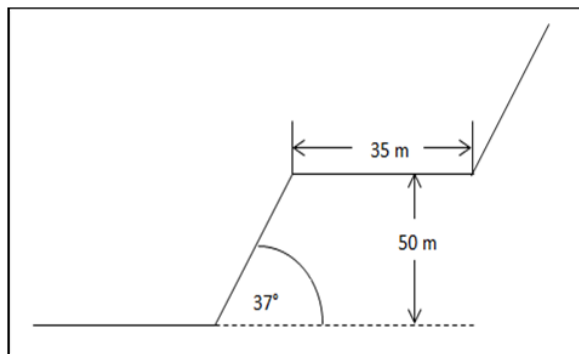


Figura 3.8: Esquema parámetros de construcción botaderos.
Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

Tabla 3.9: Parámetros de construcción botaderos.

Parámetro	Valor
Berma	35 [m]
Altura de torta	50 [m]
Altura máxima	200 [m]
Ángulo de reposo	37°

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

El mineral de stocks tiene características similares a botaderos, por lo que si se quisiese podrían utilizarse estos mismos. Sin embargo, desde el punto de vista operacional no es

recomendable. Por este motivo, se recurrió al instructivo mina que habla sobre el carguío y transporte de acopios.

En relación a la altura de stocks, el instructivo dicta que no debe superar los 13 metros, para la correcta operación de los equipos de carguío. Respecto a la berma, dice que no debe acercarse a menos de 10 [m] del pretil de seguridad que se encuentra al borde del stock, lo que implica 15 [m] de berma.

Se consultó al superintendente de geotecnia sobre estos parámetros para comprobar que son estables para este tipo de construcciones y este dió su aprobación en base a estudios que realizó el área previamente. En resumen, los parámetros para stocks se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Parámetros de construcción stocks.

Parámetro	Valor
Berma	15 [m]
Altura de torta	13 [m]
Ángulo de reposo	37°

Fuente: Superintendencia de Geotecnia, Minera Antucoya. 2016.

3.6. Pendiente para botaderos

Para la flota de Cat 797 B que operaba hasta el 2016, la pendiente óptima era del 8%. En el Caso Base 2016, a raíz del cambio de equipos, se realizó una revisión de la pendiente de los botaderos que fuera óptima para la flota de camiones Komatsu 930E-4.

En esta revisión se resolvió que la pendiente óptima este tipo de equipo es del **10%**. Al ser los mismos camiones los utilizados para efecto de esta memoria, se hizo una nueva revisión con una diferente metodología, la que arrojó el mismo resultado. La metodología y conclusiones se pueden revisar en el Anexo 8.4.

3.7. Evaluación económica

3.7.1. OPEX

Para la evaluación económica del OPEX se tomó como base el presupuesto realizado para el PN 2017-2021, que es la última evaluación por parte de Antucoya. El presupuesto considera todos los costos de la minera, dividiéndolos en mina, planta y gerencia & administración (G&A).

Los costos se dividen de la siguiente manera: mina representa un 29% del total, planta 56% y 15% G&A. Costos mina, que es donde influyen los resultados de esta memoria, se divide en seis sub-costos cuyo porcentaje de gastos se muestra en el Gráfico 3.8.

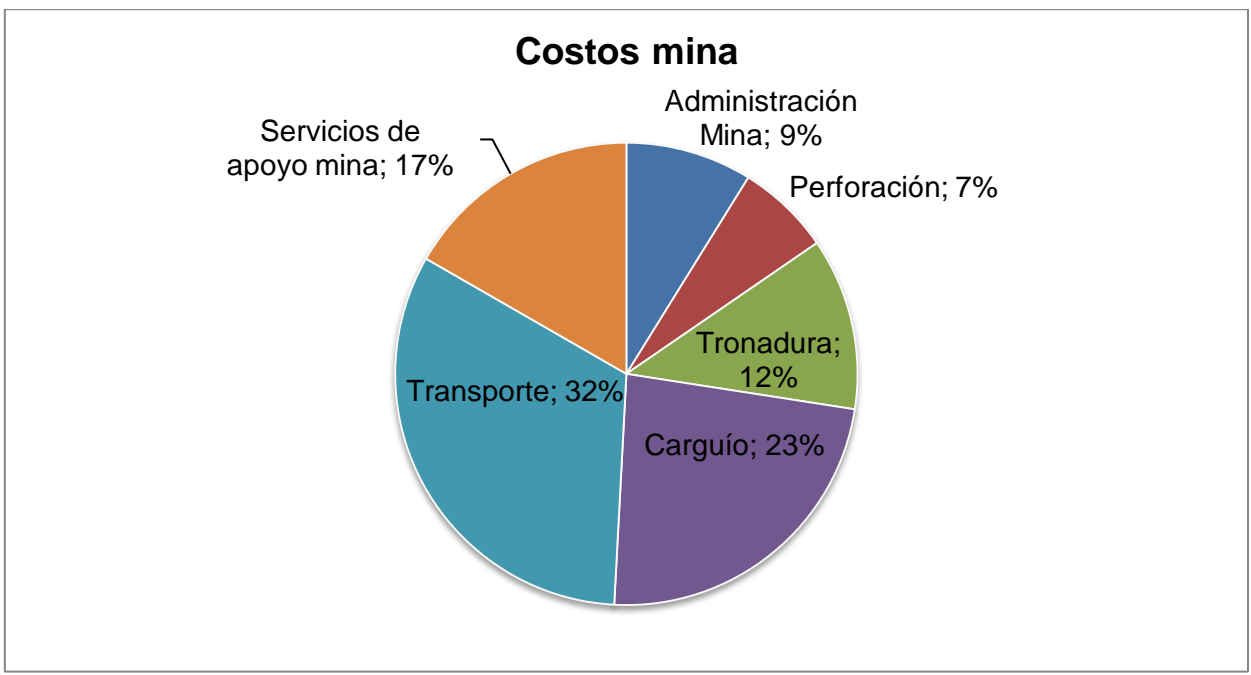
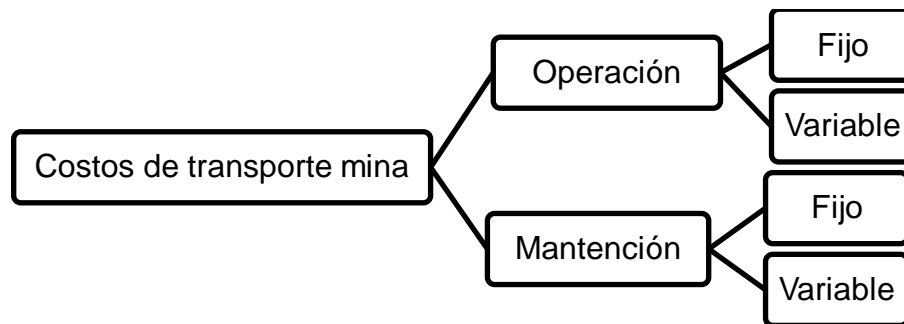


Gráfico 3.8: Costos mina.

Fuente: Gerencia de Finanzas, Minera Antucoya. 2016.

Como se observa en el gráfico de arriba, el 32% de los costos de la mina corresponden a transporte. Si se considera dentro del costo total de Antucoya, transporte representa un 9,4%, lo que es un porcentaje importante considerando los múltiples costos existentes.

Enfocándose en los costos de transporte, estos se dividen en costos de operación y mantenimiento, los que a su vez se dividen en fijos y variables. Esto se muestra con mayor claridad en el Esquema 3.1.



Esquema 3.1: División costos de transporte mina.

Estos costos, divididos según su área y tipo se desglosan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Costos operacionales de transporte.

Área	Tipo de costo	Costo
Operación	Fijo	Mano de obra
		Servicios de campamento
		Otros servicios de mantención de contratos
	Variable	Diésel
Mantención	Fijo	Servicios Marc Fijo
	Variable	Neumáticos
		Repuestos mecánicos
		Lubricantes
		Servicios Marc Variable
Servicios de Mantención Mecánica Externa		

Fuente: Gerencia de Finanzas, Minera Antucoya. 2016.

Las ecuaciones utilizadas para la estimación de estos costos son detalladas en los párrafos siguientes. Serán estas ecuaciones las mismas usadas para obtener los costos de los diseños realizados en esta memoria.

- **Mano de obra:** es el salario de los operarios de camiones. El costo anual se obtiene con la Ecuación 3.1.

Ecuación 3.1: Costo Mano de obra.

$$\text{Mano de obra [KUS\$]} = 38,22 \text{ [KUS\$]} * \text{N}^\circ \text{ de operarios}$$

- **Servicios de campamento:** corresponde al costo de campamentos para los operarios de camiones. Su costo se calcula de forma similar que el de mano de obra y se obtiene de la Ecuación 3.2.

Ecuación 3.2: Costo Servicios de campamento.

$$\text{Servicios de campamento [KUS\$]} = 19,09 * \text{N}^\circ \text{ de operarios}$$

- **Diésel:** para saber el costo del combustible se utiliza la Ecuación 3.3, cuyos parámetros son variables por períodos.

Ecuación 3.3: Costo Diésel.

$$\text{Diésel [KUS\$]} = \frac{\text{Costo diesel} \left[\frac{\text{US\$}}{\text{lt}} \right] * \text{Horas transporte [hr]} * \text{Consumo camión} \left[\frac{\text{lt}}{\text{hr}} \right]}{1.000}$$

- **Otros servicios de mantención de contratos:** Este ítem en particular se refiere a contratos para la mantención de equipos. Si bien los contratos que se consideran están vigentes hasta el 2021, estos de igual manera deberán renovarse así que su valor (que es dependiente del número de camiones) se replica para los años siguientes. El costo anual se muestra con la Ecuación 3.4.

Ecuación 3.4: Costo Otros servicios de mantención de contratos.

$$O. S. \text{ de mantención de contratos [KUS\$]} = 186 \text{ [KUS\$]} * N^{\circ} \text{ camiones}$$

- **Neumáticos:** en este caso, el 2017 se mantuvo el mismo costo del PN 2017-2021 ya que la mayor parte de este se traspasó al CAPEX. Para los años siguientes, se obtuvo un ponderador con los costos recibidos, para ingresar en la fórmula final de la Ecuación 3.5.

Ecuación 3.5: Costo Neumáticos

$$\text{Neumáticos [KUS\$]} = 6,88 * N^{\circ} \text{ de camiones} * \text{Costo neumático [KUS\$]}$$

El costo de neumático es de 32,89 [KUS\$].

- **Repuestos mecánicos:** el costo anual de ellos se calcula con la Ecuación 3.6.

Ecuación 3.6: Costo Repuestos mecánicos.

$$\text{Repuestos mecánicos [KUS\$]} = 57 \text{ [KUS\$]} * N^{\circ} \text{ de camiones}$$

- **Lubricantes:** son cuatro los tipos de lubricantes utilizados en distintos compartimientos de los camiones, cuyas horas de cambio, cantidad por cambio y costo dependen del tipo, los que son detallados en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Tipos de lubricantes y sus características.

Compartimiento	Lubricante	Hrs. Cambio	Cantidad por cambio [lt]	Precio [US\$/lt]
Motor Diésel	Mobil 15W40	250	408	1,26
Sistema Hidráulico	Spirax S6 10W40	4.000	1.400	3,43
Motores Tracción	Omala S4 680	2.000	204	7,59
Refrigerante	ELC 33%	12.000	600	1,35

Fuente: Superintendencia de Mantención mina, Minera Antucoya. 2016.

Para obtener el costo total se usa la sumatoria de todos los tipos de lubricantes, tal como la Ecuación 3.7.

Ecuación 3.7: Costo Lubricantes.

$$\text{Lubricantes [KUS\$]} = \sum \left(\frac{\text{Horas de transporte [hr]}}{\text{Hrs.Cambio [hr]} * 1.000} * \text{Cantidad por cambio [lt]} * 1,4 * \text{Precio} \left[\frac{\text{US\$}}{\text{lt}} \right] \right)$$

El multiplicador de 1,4 de la ecuación es porque se considera un relleno del 40% además del cambio completo.

- **Servicios Marc Fijo:** el contrato Marc para camiones se tiene con el proveedor del mismo que es Komatsu. Este ítem se compone una parte de costo fijo mensual

y otra cuota de componentes dependiente del número de camiones. La Ecuación 3.10 representa el costo total, que se compone de la Ecuación 3.8 y Ecuación 3.9.

Ecuación 3.8: Costo tarifa mensual de Servicios Marc Fijo.

$$\text{Tarifa mensual [KUS\$]} = \text{Tarifa Marc[UF]} * \text{Valor UF} \left[\frac{\text{US\$}}{\text{UF}} \right] * \frac{\text{N}^\circ \text{ camiones}}{1.000} * \text{Meses}$$

Ecuación 3.9: Costo Cuota componentes de Servicios Marc Fijo.

$$\text{Cuota componentes [KUS\$]} = 3,436[\text{KUS\$}] * \text{N}^\circ \text{ camiones} * \text{Meses}$$

Ecuación 3.10: Costo Servicios Marc Fijo.

$$\text{Servicios Marc Fijo [KUS\$]} = (\text{Tarifa mensual} + \text{Cuota componentes})[\text{KUS\$}]$$

- **Servicios Marc Variable:** depende del horómetro de los camiones, tal como lo muestra la Ecuación 3.11.

Ecuación 3.11: Costo servicios Marc Fijo.

$$\text{Servicios Marc Variable [KUS\$]} = \frac{\text{Tarifa promedio} \left[\frac{\text{US\$}}{\text{hr}} \right] * \text{Horas operativas [hr]}}{1.000}$$

La tarifa promedio entregada por mantención es de 23,46 [US\$/hr] para los primeros cinco años, la que se replicó para los años siguientes.

- **Servicios de Mantención Mecánica Externa:** esto se refiere principalmente a componentes mayores del camión.
Para el 2017 no se modifican los considerados en el PN 2017-2021 que corresponde a la compra de tolvas. Desde el 2018, se comienza a calcular por la necesidad de cambio de componentes según las horas de duración de cada pieza y las horas totales de cada camión.
Para ello, se debe hacer una tabla detallada de la entrada de cada camión y sus horas de trabajo acumulada, de manera de saber en qué año deben ser reemplazados sus componentes.
Los componentes, su vida útil y costo se detallan en la Tabla 3.13

Tabla 3.13: Vida útil y costo componentes camión K930-E.

Componente	Vida Útil [horas]	Costo [US\$]
Motor diésel	18.000	350.000
Radiador	18.000	50.000
Alternador principal	16.000	200.000
Suspensión delantera derecha	16.000	40.000
Suspensión delantera izquierda	16.000	40.000
Cilindro de levante derecho	18.000	20.000
Cilindro de levante izquierdo	18.000	20.000
Suspensión trasera derecha	18.000	25.000
Suspensión trasera izquierda	18.000	25.000
Motor tracción trasero derecho	18.000	80.000
Motor tracción trasero izquierdo	18.000	80.000
Parrillas de frenado	18.000	30.000
Soplador	18.000	30.000

Fuente: Superintendencia de Mantención mina, Minera Antucoya. 2016.

3.7.2. CAPEX

En los costos de inversión sólo se tiene en cuenta la compra de los camiones, al ser los componentes de estos considerados en el OPEX. Además, se deja fuera la compra de los 16 camiones con que se parte el 2017, debido a que está inversión ya fue realizada.

La inversión de camiones se divide en tres tipos: **compra**, **overhaul** y **venta**. La forma de calcular cada tipo se especifica a continuación.

Parámetros importantes a considerar: **Costo camión nuevo = KUS\$4.342**
Ajuste valor residual = 80%

- **Compra:** para saber el costo de los camiones nuevos que ingresen a operación se utiliza la Ecuación 3.12.

Ecuación 3.12: Costo compra camiones.

$$\text{Compra [KUS\$]} = \text{Costo camión nuevo [KUS\$]} * \text{Nro. de camiones}$$

- **Overhaul:** justo antes que el camión llegue a las 85.000, que son las horas en que debiese darse de baja, a algunos camiones se le realiza un overhaul para que puedan seguir operando. Esto se aplica porque no se justifica comprar uno nuevo que sea utilizado sólo un par de años. Así, a los actuales antes de darlos de baja, se le otorga unos años extras de vida útil. Por cada camión que se le haga este procedimiento, su costo se calcula con la Ecuación 3.13.

Ecuación 3.13: Costo overhaul camiones.

$$\text{Overhaul [KUS\$]} = \left(\frac{\text{Hrs. finales} - \text{Hrs. a overhaul}}{85.000} + 0,1 \right) * \text{Costo camión nuevo [KUS\$]}$$

Horas finales se refiere a las horas del camión cuando ya es dado de baja y horas a overhaul a las que tiene en el momento que se realiza este.

- **Valor residual:** al final de la operación algunos camiones quedan con horas aún disponibles antes de ser dado de baja y estos pueden ser vendidos. El valor residual, que sería el precio de venta de los camiones, se obtiene de la Ecuación 3.14.

Ecuación 3.14: Valor residual camiones.

$$\text{V. Residual [KUS\$]} = \left(\frac{85.000 - \text{Hrs. finales}}{85.000} \right) * \text{Costo camión [KUS\$]} * \text{Ajuste valor residual [\%]}$$

Los antecedentes que se expusieron en este capítulo son los necesarios para desarrollar el trabajo y obtener los resultados. De necesitarse información o cálculos extras, serán debidamente explicados su forma de llegar a ellos en los desarrollos antes de ser utilizados.

4. Desarrollo y resultados

En este capítulo se irá detallando el proceso para ir cumpliendo cada uno de los hitos descritos en la metodología y sus resultados.

4.1. Tonelajes por sector

Se propone obtener un aproximado de los tonelajes de lastre que debiesen ir hacia el norte y el sur del rajo. Para esto, se crean las rutas de la mina y se fijan dos puntos sobre los botaderos actuales que los representan, con una capacidad ilimitada, tal como se observa en la Figura 4.1.

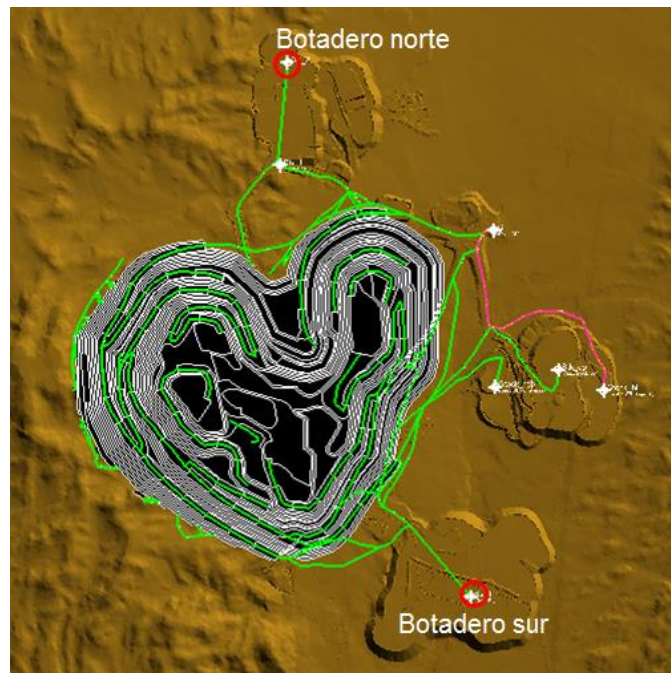


Figura 4.1: Simulación para tonelaje óptimo por sector.
Fuente: Elaboración propia. 2017.

Al realizar la simulación libre en *Minehaul* (ver Anexo 8.1) se consiguen los tonelajes mostrados en la Tabla 4.1 como óptimos por sector.

Tabla 4.1: Tonelaje por sector.

	Sector norte	Sector sur
Tonelaje [Mton]	370	437

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Estos resultados sólo son una referencia para la construcción de los diseños de las alternativas. Hay que considerar que al momento de agregar rampas y tortas a los botaderos, las distancias de transporte variarían respecto al caso de no tener límite de capacidad, pero de todas formas estas debiesen estar cercanas a estos valores.

4.2. Ubicación de botaderos

Para la ubicación de los botaderos se comienza llegando a un consenso con la gerencia y el equipo de planificación con la que se está trabajando, respecto a los criterios para escoger ubicaciones. Lo que mayor discusión da en este punto, es decidir cómo tratar los límites y si a partir de ellos se pueden generar distintas alternativas que los respeten de forma separada.

Se decide de esta manera diseñar con tres tipos de configuraciones de límites:

- 1. Respetar los límites tanto de propiedad como de línea base. Se podrá utilizar el espacio autorizado para pila ROM como parte de los botaderos.**
- 2. Respetar la línea base pero no los límites de propiedad, sin utilizar el espacio autorizado para pila ROM.**
- 3. Respetar los límites de propiedad pero no la línea base, sin utilizar el espacio autorizado para pila ROM.**

Una vez fijo lo anterior, se revisa la infraestructura del distrito, la configuración de caminos actual y la topografía, para así detectar sectores que puedan hacer de botaderos, sumándose así a los que se están usando. Lo ideal respecto a los caminos es aprovechar los actuales postergando lo más posible la construcción de nuevos.

Se debe estar atento a la topografía de manera de no crear caminos que sobrepasen la pendiente óptima o sean caminos muy sinuosos para mantener la pendiente. Respecto a lo mismo, se deben evaluar oportunidades de sacar provecho de la topografía para el llenado de los botaderos, por ejemplo, sectores tipo laderas o quebradas.

Dicho lo anterior, las alternativas para ubicaciones son las siguientes:

4.2.1. Alternativa 1

Se respetan los límites tanto de propiedad como línea base, y se puede utilizar el espacio autorizado para ROM para ubicar el botadero norte, tal como muestra la Figura 4.2.

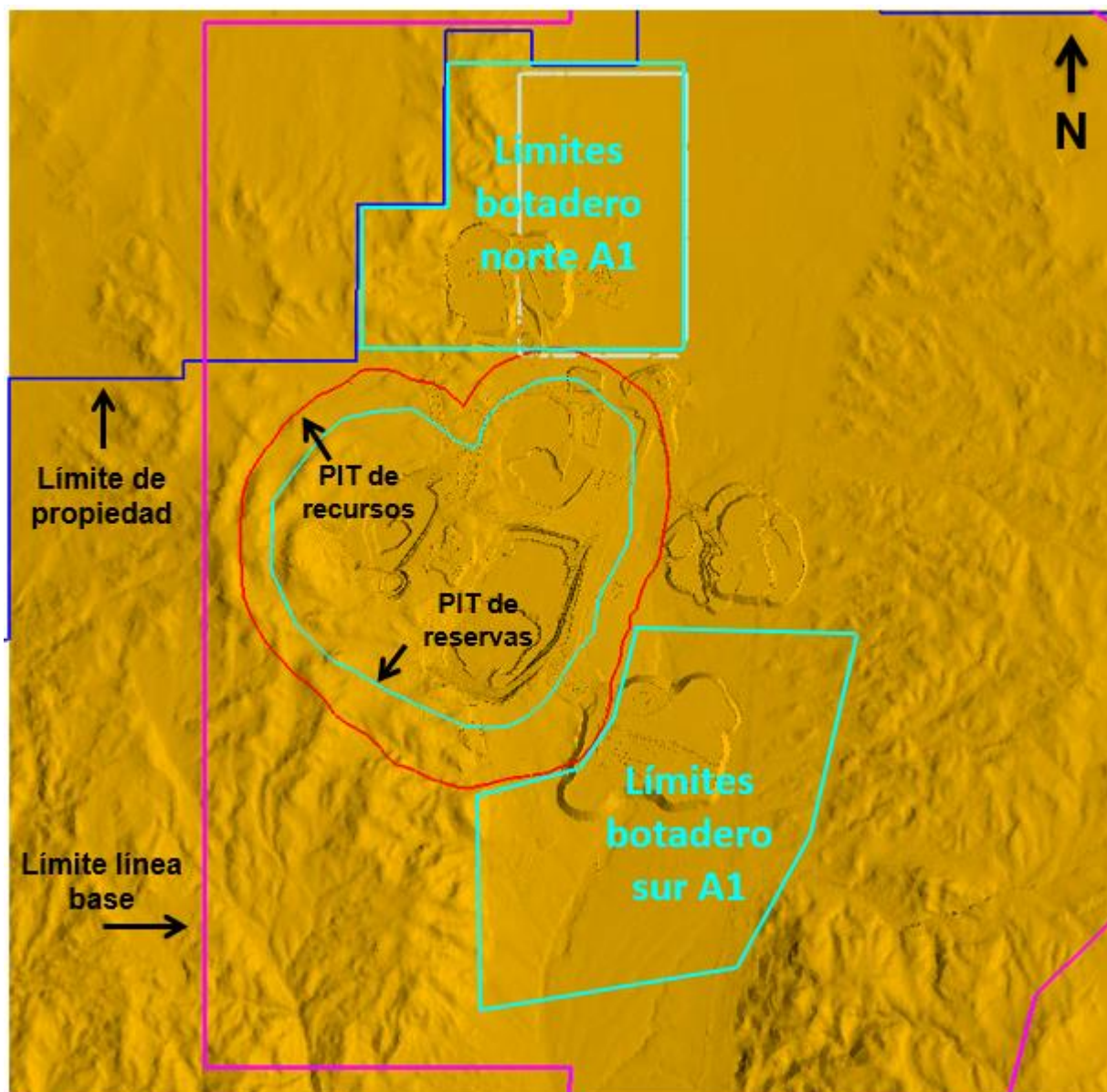


Figura 4.2: Ubicaciones botaderos alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En esta alternativa, para los límites del botadero norte se ocupa todo el espacio disponible dentro del límite de propiedad (límite norte y oeste), siendo limitado en el este por el espacio autorizado para pila ROM y en el sur por el rajo.

En caso del botadero sur, se utiliza el sector más plano de la topografía, quedando dentro del botadero sur actual, limitándose por el norte por el sector de stock y el límite del rajo.

4.2.2. Alternativa 2

Se respeta la línea base pero no el límite de propiedad, sin utilizar el espacio autorizado para ROM, tal como muestra la Figura 4.3.

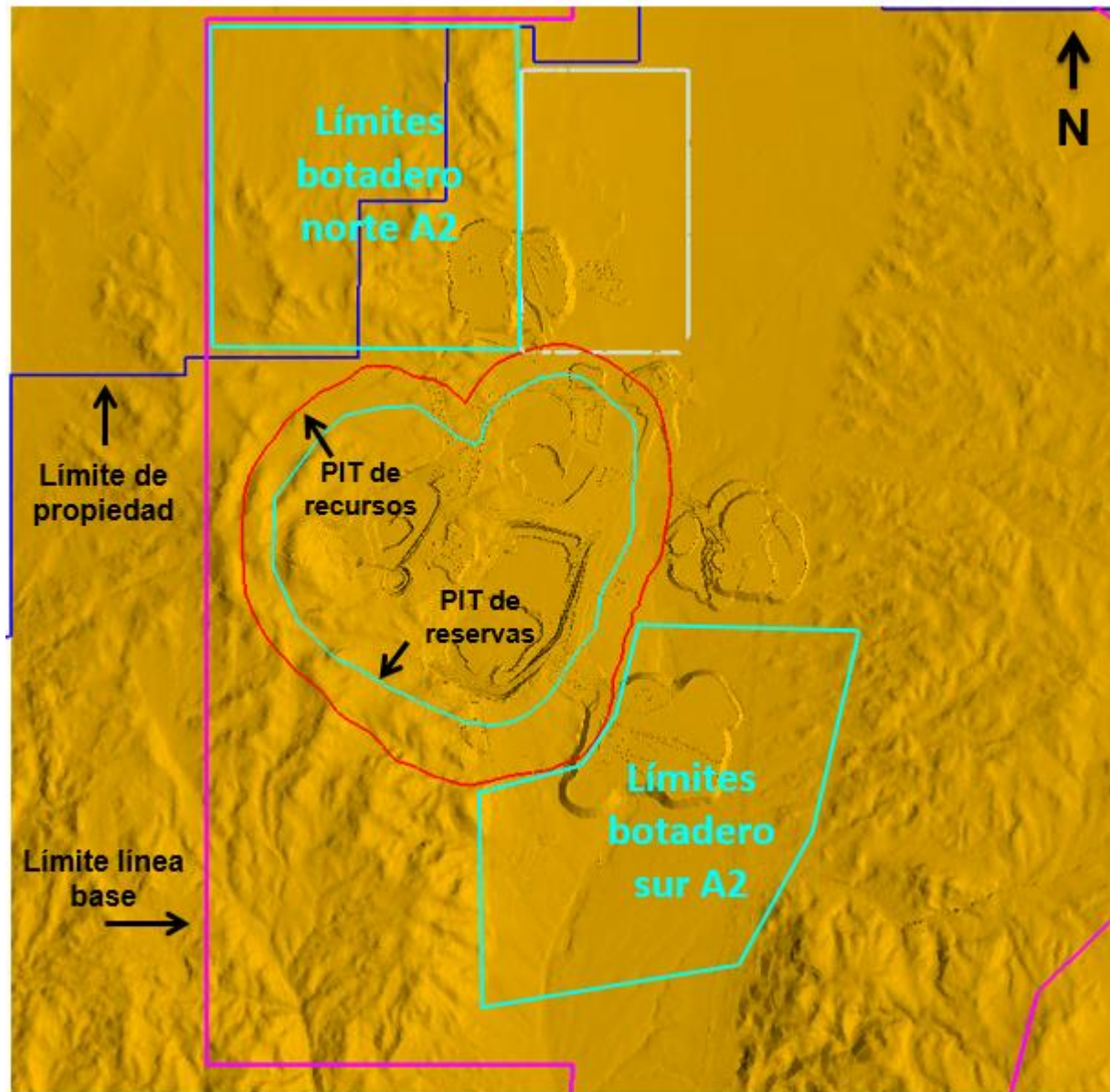


Figura 4.3: Ubicaciones botaderos alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En esta alternativa, para los límites del botadero norte se ocupa todo el espacio disponible dentro del límite de línea base (límite norte y oeste), siendo limitado en el este por el espacio autorizado para pila ROM y por el sur por el rajo.

En caso del botadero sur, no cambia respecto a la alternativa 1.

4.2.3. Alternativa 3

Se respeta el límite de propiedad, pero no la línea base, sin utilizar el espacio destinado para ROM, como se observa en la Figura 4.4.

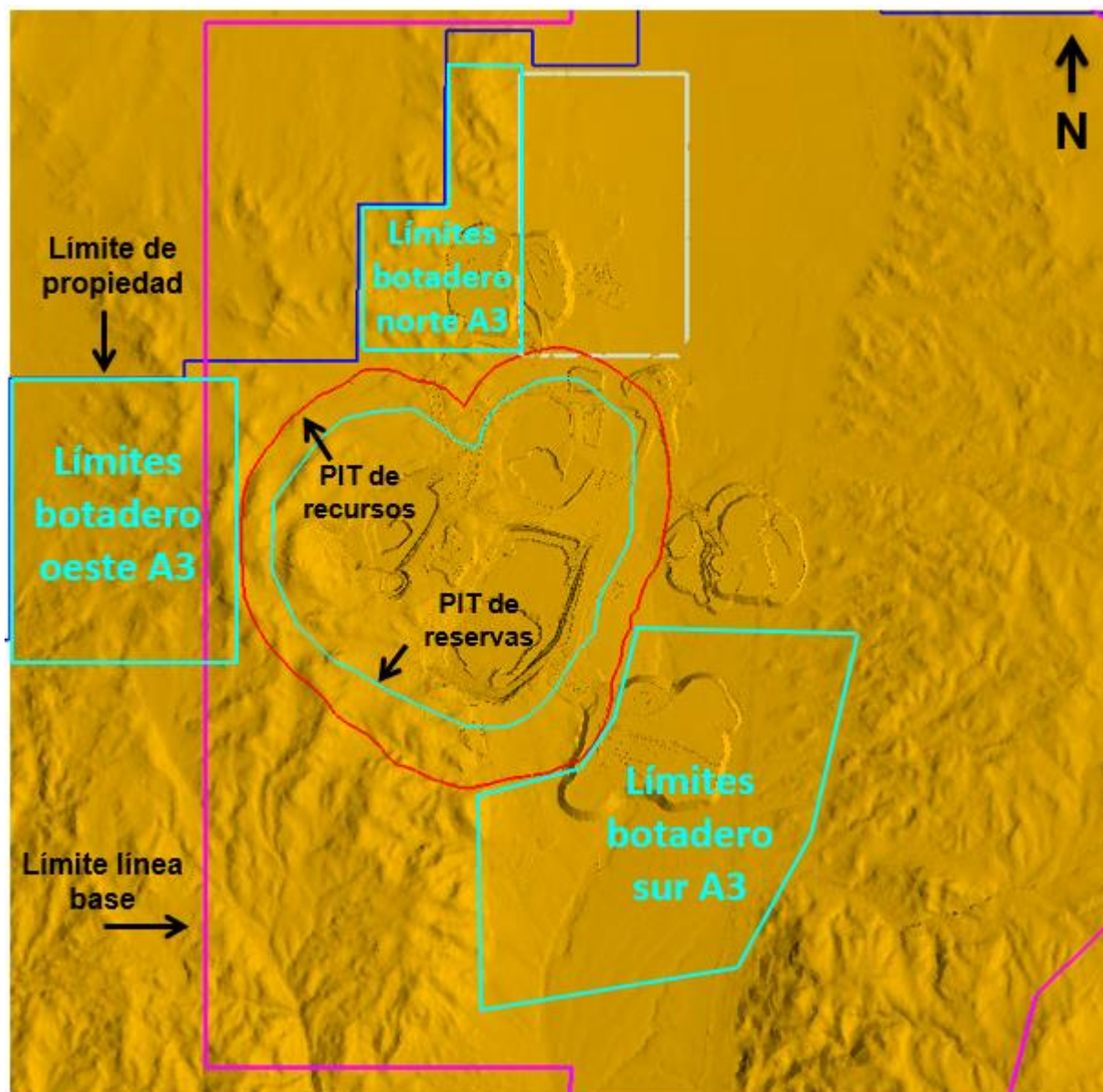


Figura 4.4: Ubicaciones botaderos alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En esta alternativa, para el botadero norte se usa el espacio que queda entre el límite de propiedad, el espacio destinado para pila ROM y perímetro del pit de reservas.

Para el botadero oeste, se destina todo el sector al oeste del rajo que este dentro del límite de propiedad. No se sigue extendiendo hacia el sur porque las distancias serían muy largas.

En caso del botadero sur, no cambia respecto a las dos alternativas anteriores.

4.3. Diseño de alternativas

Con el espacio a utilizar bien definido para cada botadero, se realizan diseños que cumplan, al menos, con el tonelaje definido en el punto 4.1, más un 10% de holgura.

Una vez realizado el diseño, se trabaja con el programa *Minehaul* para obtener las horas de acarreo de material. Para esto, se debe:

- Cargar un proyecto desde *Mineplan* (que contiene los materiales, el plan minero y las fases).
- Se ingresa el diseño de los botaderos.
- Se fijan los destinos. Estos corresponden a chancado, botaderos y stocks.
- Se crean las rutas.
- Se ingresan todos los parámetros de acarreo.

Una vez realizado lo anterior, se obtiene las distancias y horas para el diseño generado. Con estos resultados de diseño, se modifican los botaderos en función de mejorar las horas. Las modificaciones pueden ser:

- Aumentar o disminuir el área de la base.
- Modificar la entrada o número de rampas.
- Modificar la forma general del botadero.

Por cada cambio que se realicé al diseño, se debe volver a ingresar a *Minehaul* para obtener nuevas horas. Esto debe hacerse iterativamente hasta llegar a las menores horas y cuyo diseño ya no de espacio a modificaciones. Las modificaciones deben hacerse de un botadero a la vez, para tener claro que modificación produjo el cambio.

Para esta etapa el tonelaje óptimo por sector dependerá del diseño del botadero, por lo que indudablemente varía según alternativas y no será el mismo determinado en el punto 4.1.

Los diseños escogidos como óptimos, se realizarán con la altura máxima de 200 [m]. Esto se hace porque esa es la altura aprobada actualmente, por lo que se debe hacer buen uso de ese permiso independiente si se rellanará hasta esta altura.

Las iteraciones realizadas para cada alternativa se detallan en los puntos siguientes, junto al diseño final y sus principales características. Las líneas de diseño y las dimensiones de los botaderos se encuentran detalladas en el Anexo 8.5.

4.3.1. Alternativa 1

Para esta alternativa se hicieron un gran número de iteraciones, pero las diez más significativas se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Iteraciones alternativa 1.

		Tonelaje [Mt]	Nro. Rampas
Iteración 1	Norte	371	1
	Sur	528	1
Iteración 2	Norte	329	1
	Sur	567	1
Iteración 3	Norte	343	1
	Sur	540	1
Iteración 4	Norte	411	1
	Sur	529	2
Iteración 5	Norte	341	1
	Sur	529	2
Iteración 6	Norte	412	1
	Sur	529	2
Iteración 7	Norte	418	2
	Sur	513	2
Iteración 8	Norte	366	2
	Sur	530	2
Iteración 9	Norte	420	2
	Sur	530	2
Iteración 10	Norte	420	2
	Sur	523	2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las nueve primeras iteraciones se muestran en la Figura 4.5, de manera de ver cómo fue evolucionando el diseño hasta llegar al final que corresponde a la décima iteración.

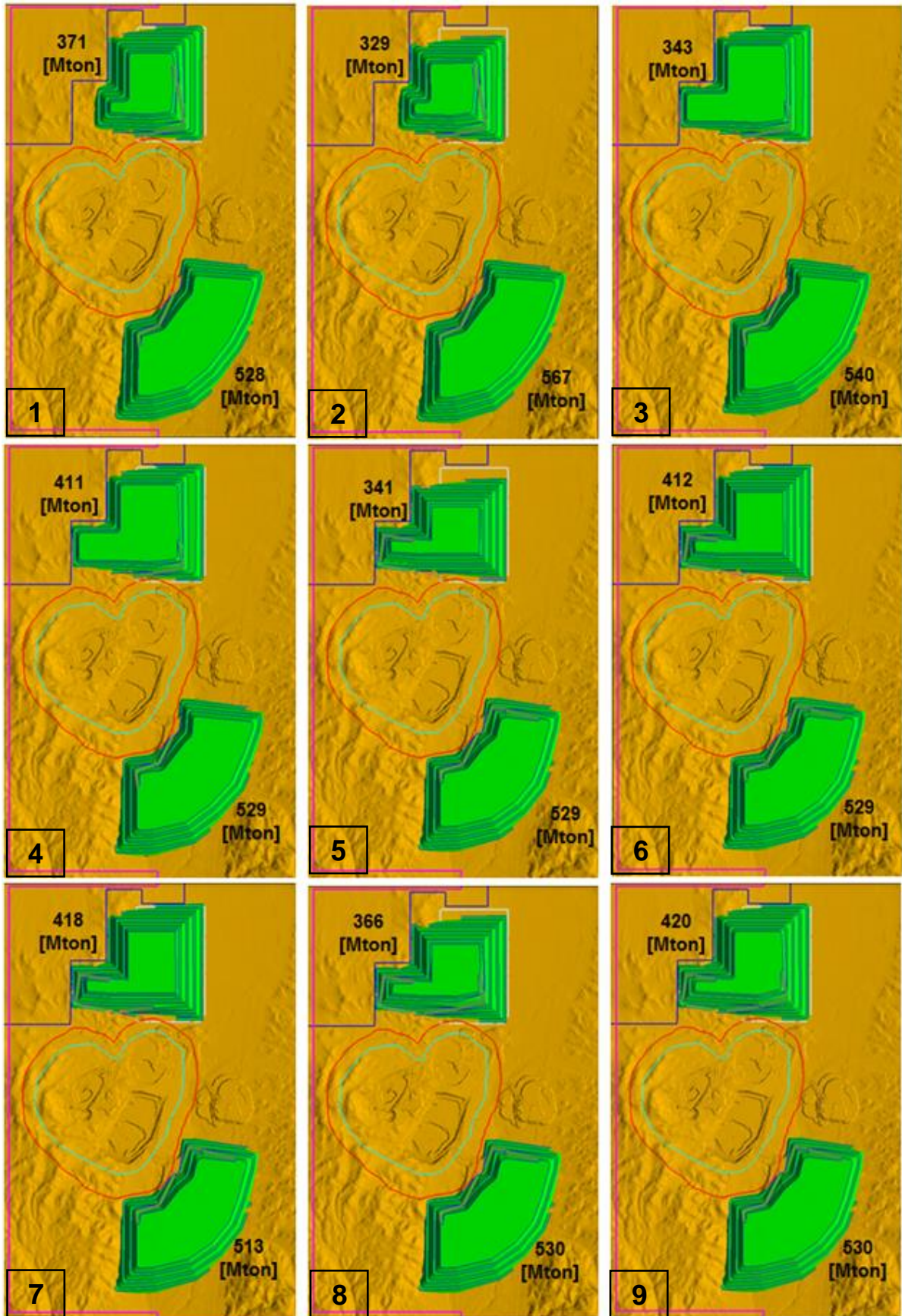


Figura 4.5: Evolución diseños alternativa 1.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Lo que se fue realizando en las iteraciones se explica a continuación:

1. Se comenzó diseñando un botadero norte con un área mínima y llegando a los 200 [m], con la capacidad obtenida como óptima. El botadero sur se hizo de una capacidad holgada para tener las primeras distancias. Cada botadero tiene sólo una rampa.
2. En base a las distancias, se decidió reducir aún más el área del botadero norte, quitándole área por el norte. El sur se aumentó. Las distancias aumentaron respecto a la iteración 1.
3. Dado que aumentaron las distancias, se vuelve a aumentar el área del botadero norte y por tanto su capacidad, esta vez usando toda el área disponible. Se disminuye el área del botadero sur.
4. Dado que el área anterior del botadero norte dio buenos resultados, se aumentan las tortas, es decir, su capacidad. Se disminuye un poco la capacidad del botadero sur y a este se le adiciona una segunda rampa.
5. Se prueba recortando el botadero norte por el sector norte, que no se había probado por si solo antes. Al botadero sur no se le realiza ningún cambio.
6. Dado que la reducción de área no resultó para el botadero norte, se vuelve al área máxima posible y la rampa se mueve del este al oeste del botadero. El botadero sur se mantiene igual. Los resultados mejoran.
7. Al botadero norte se le adiciona una segunda rampa en el sector este, pero sólo en la segunda torta para saber si funciona. El botadero sur se agranda ligeramente en tonelaje.
8. La rampa este se construye hasta arriba en el botadero norte. Como antes sólo se había probado recortar por el norte sólo con una rampa, se vuelve a probar por si ocurren cambios al tener dos, lo que no arroja mejores resultados. El botadero sur se agranda levemente.
9. Ya que con el cambio anterior las distancias aumentan, se vuelve al área máxima y las dos rampas. El botadero sur se mantiene igual.

Finalmente, se mantiene el botadero norte de la iteración anterior y se baja un poco la capacidad del botadero sur, lo que obtiene las mejores distancias. La Figura 4.6 muestra una vista de este diseño final. Como se puede observar, ambos botaderos tienen dos rampas. El botadero norte tiene cinco tortas y el sur cuatro.

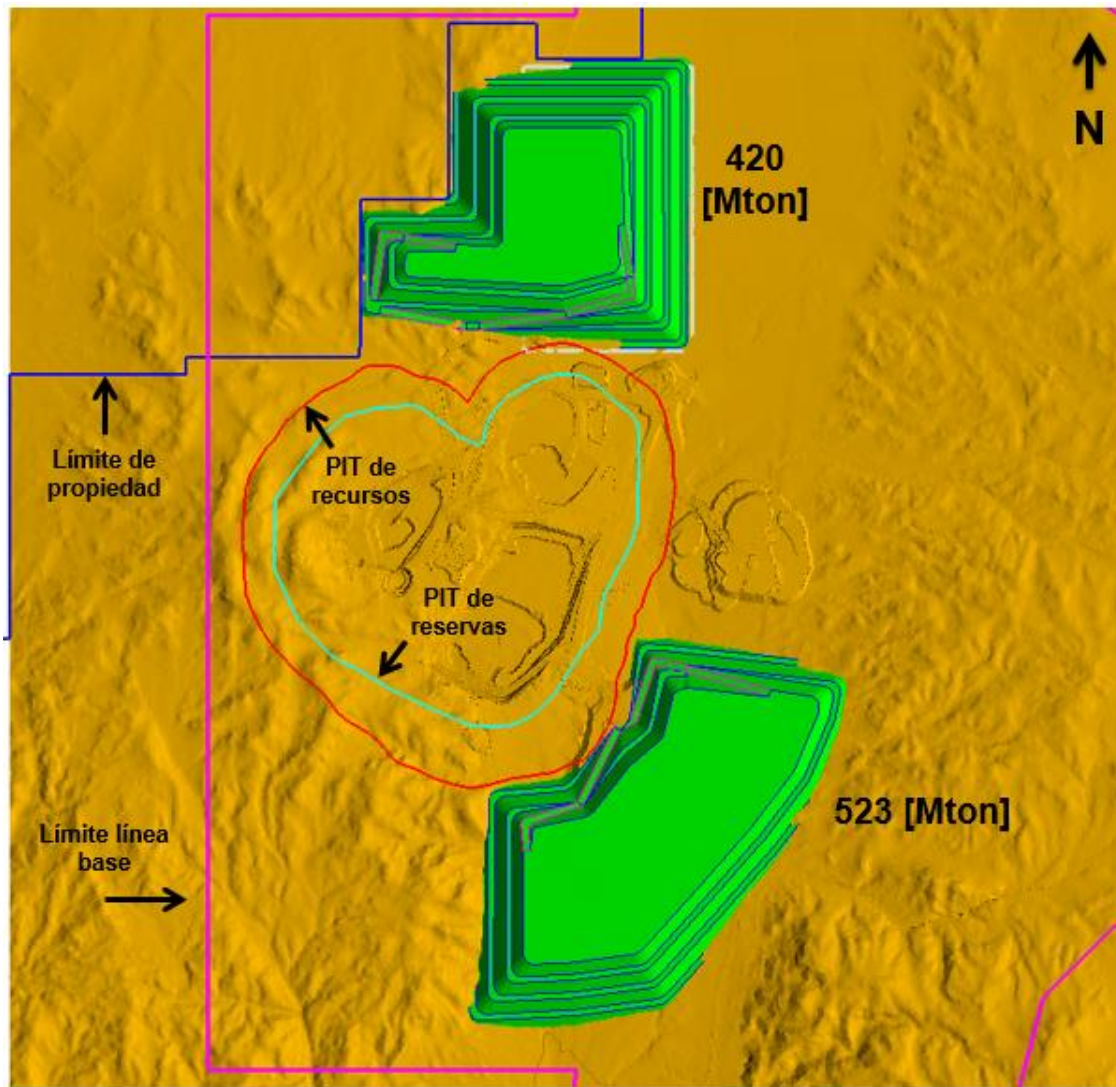


Figura 4.6: Vista en planta alternativa 1.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las características generales del diseño se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Especificaciones alternativa 1.

	Botaderos		
	Norte	Sur	Total
Cota inferior (m.s.n.m)	1.630	1.546	-
Cota superior (m.s.n.m)	1.830	1.746	-
Altura máxima [m]	200	200	-
Área [km ²]	2,43	3,02	5,45
Capacidad real [Mt]	420	530	950
Capacidad utilizada [Mt]	325	483	807
Porcentaje extra	29%	10%	18%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Si bien el botadero norte está sobredimensionado, esto se hizo para mantener los 200 [m] de altura máxima, a pesar que no se utilicen los últimos pisos, lo que se verá en detalle en la secuencia de llenado.

4.3.2. Alternativa 2

Al igual que la alternativa 1, para esta alternativa se realizaron varias iteraciones, destacando 14 como las más importantes y cuyas características principales se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Iteraciones alternativa 2.

		Tonelaje [Mt]	Nro. Rampas
Iteración 1	Norte	379	1
	Sur	528	1
Iteración 2	Norte	379	1
	Sur	568	1
Iteración 3	Norte	381	1
	Sur	528	1
Iteración 4	Norte	311	1
	Sur	567	1
Iteración 5	Norte	481	1
	Sur	539	1
Iteración 6	Norte	334	1
	Sur	540	1
Iteración 7	Norte	444	1
	Sur	530	2
Iteración 8	Norte	395	1
	Sur	530	2
Iteración 9	Norte	422	1
	Sur	530	2
Iteración 10	Norte	331	2
	Sur	531	2
Iteración 11	Norte	320	2
	Sur	531	2
Iteración 12	Norte	332	2
	Sur	531	2
Iteración 13	Norte	437	2
	Sur	531	2
Iteración 14	Norte	437	2
	Sur	545	2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Estas 14 iteraciones se muestran en la Figura 4.7 y serán descritas a continuación:

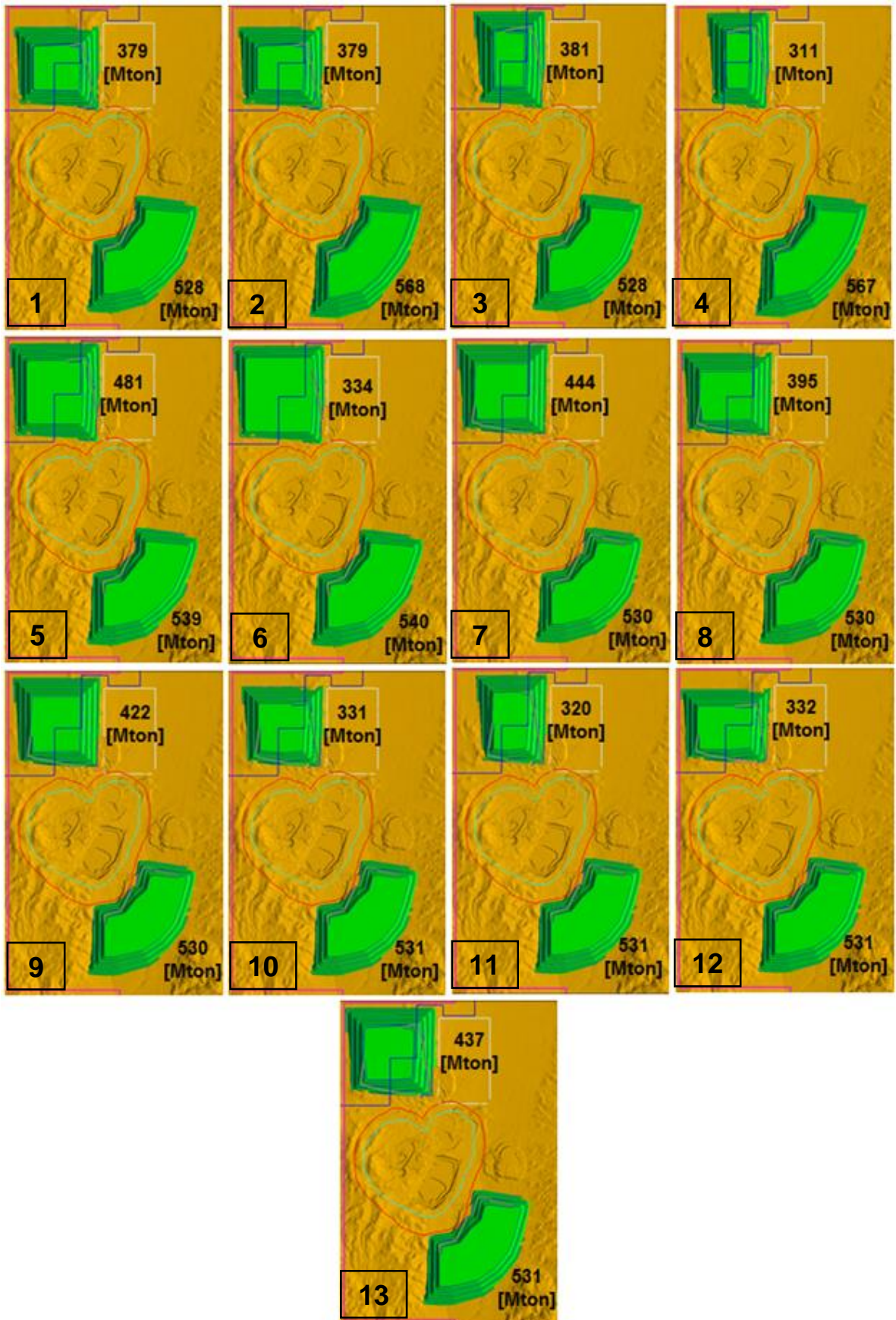


Figura 4.7: Evolución diseños alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

1. Al igual que la alternativa 1, se diseña un botadero norte con la capacidad calculada como óptima, no usando toda el área disponible y con una rampa que va de sur a norte del botadero. Al botadero sur se le da un poco más de holgura que el óptimo y desde ese punto se irá modificando.
2. El botadero norte no se modifica de la iteración anterior. El botadero sur se aumenta levemente su tonelaje para ver de qué manera se modifican las distancias de transporte.
3. Al no obtener mejores resultados, el botadero sur se vuelve al de la primera iteración. El botadero norte se aumenta su área hacia el norte y se reduce por el oeste para saber cómo se modifican los resultados.
4. Se sigue disminuyendo el área por sector oeste para el botadero norte y se aumenta la capacidad del botadero sur a uno similar al de la segunda iteración.
5. En vista que la reducción de área no dio buenos resultados como se esperaba, esta vez se prueba utilizar toda el área disponible en el botadero norte. Como aumenta el tonelaje del botadero norte, se reduce nuevamente el del botadero sur.
6. Como varios pisos pueden estar descargándose a la vez, se hace una prueba reduciendo los pisos sólo a la necesario. El botadero sur se mantiene fijo.
7. Como la iteración anterior no da mejores distancias de transporte promedio, se vuelve al área de la iteración 5 pero esta vez moviendo la rampa de este a oeste. Para el botadero sur se reduce levemente el tonelaje y se le agrega una segunda rampa.
8. Dado que al botadero norte se movió la rampa de lugar, se prueba nuevamente disminuyendo el área del botadero norte por el sector norte, en caso que ocurrieran diferencias en las distancias. El sur se mantiene igual.
9. Al no mejorar las distancias con el cambio anterior, se vuelve al botadero norte que ocupa toda el área disponible. El sur se mantiene invariable.
10. Al igual que ocurrió en la alternativa 1, al botadero norte se le agrega una segunda rampa, probando nuevamente con un área menor ya que ambas rampas podrían hacer diferencia en las distancias. El botadero sur se mantiene.
11. Como se está haciendo la prueba esta vez con dos rampas en el botadero norte, se extiende el área hacia el norte y se reduce por el oeste, como ya se hizo antes pero sólo con una rampa. El botadero sur no se modifica.
12. En vista que el cambio anterior no favoreció los resultados para el botadero norte, se acorta el área por el norte y se aumenta por el oeste, manteniendo las dos rampas. El botadero sur se mantiene sin variación.

13. Dado que la reducción del área dio como resultado distancias más largas, se vuelve a ocupar toda el área disponible manteniendo las dos rampas. Por el momento el botadero sur se mantiene igual.

Para terminar y como diseño final de esta alternativa, se llega a la altura máxima de 200 [m] en el botadero sur, mantenido el área de la iteración 13. Se aumenta el área y tonelaje del botadero sur en vista que se obtienen mejores resultados.

Este diseño final tiene dos rampas tanto en el botadero norte como en el sur, tal como se muestra en la Figura 4.8.

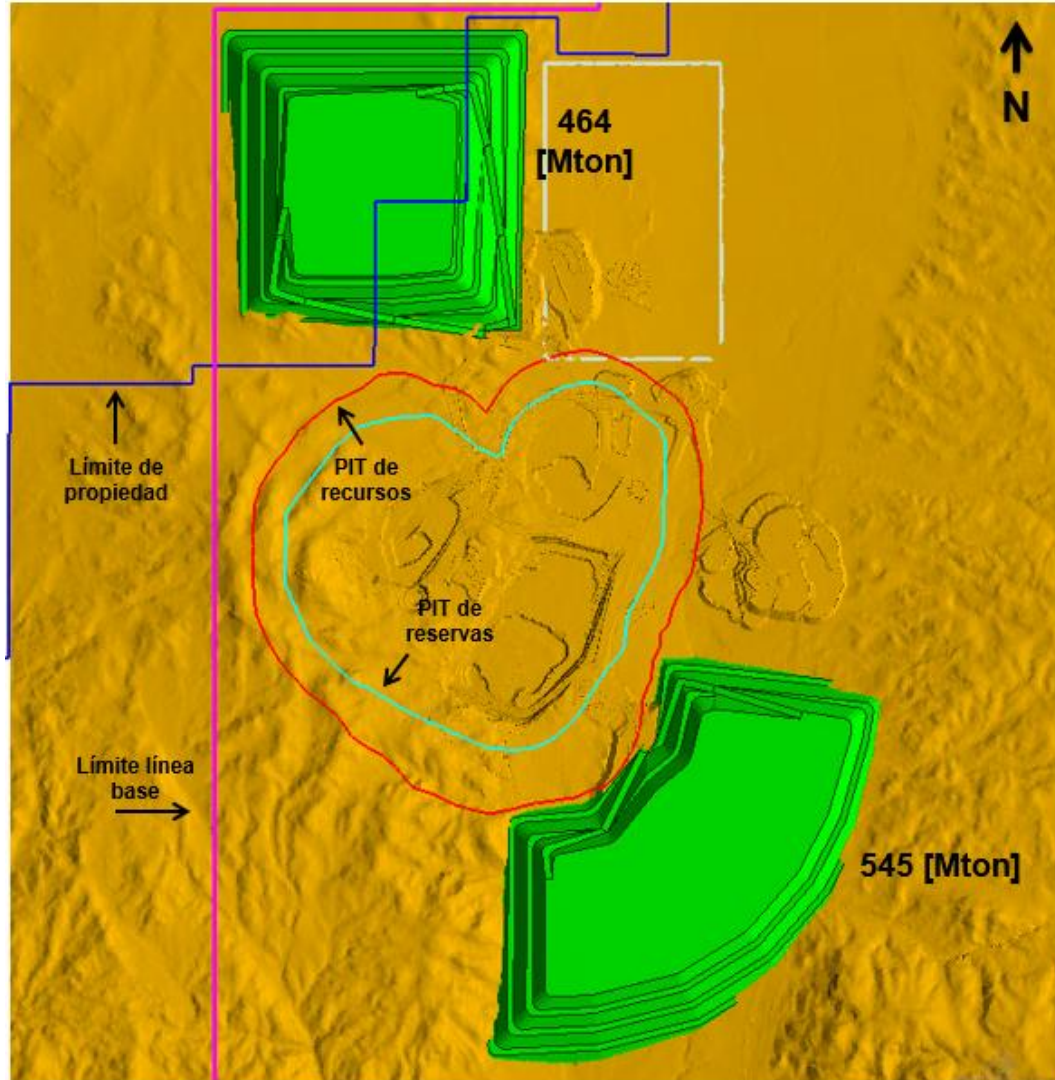


Figura 4.8: Vista en planta alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las características generales del diseño se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Especificaciones alternativa 2.

	Botaderos		
	Norte	Sur	Total
Cota inferior (m.s.n.m)	1.665	1.546	-
Cota superior (m.s.n.m)	1.865	1.746	-
Altura máxima [m]	200	200	-
Área [km ²]	2,69	3,10	5,79
Capacidad real [Mt]	464	545	982
Capacidad utilizada [Mt]	312	495	807
Porcentaje extra	49%	10%	25%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Respecto a la capacidad del botadero norte sobredimensionada, es por la misma razón de la alternativa 1.

4.3.3. Alternativa 3

Como se vio en las ubicaciones de las alternativas, la tercera que se diseña cuenta además de un botadero norte y sur, un tercer botadero al oeste del rajo. Por esta razón, las iteraciones son más que las anteriores, llegando a 18. Sus principales características se especifican en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Iteraciones alternativa 3.

		Tonelaje [Mt]	Nro. Rampas
Iteración 1	Norte	83	1
	Oeste	286	1
	Sur	612	1
Iteración 2	Norte	83	1
	Oeste	170	1
	Sur	622	1
Iteración 3	Norte	83	1
	Oeste	189	1
	Sur	592	1
Iteración 4	Norte	83	1
	Oeste	225	1
	Sur	592	1
Iteración 5	Norte	83	1
	Oeste	241	1
	Sur	592	1
Iteración 6	Norte	83	1
	Oeste	183	1
	Sur	592	1
Iteración 7	Norte	83	1
	Oeste	384	1
	Sur	585	2
Iteración 8	Norte	83	1
	Oeste	303	1
	Sur	585	2
Iteración 9	Norte	83	1
	Oeste	360	1
	Sur	585	2
Iteración 10	Norte	83	1
	Oeste	235	1
	Sur	585	2
Iteración 11	Norte	83	1
	Oeste	300	1
	Sur	585	2
Iteración 12	Norte	83	1
	Oeste	308	1
	Sur	585	2
Iteración 13	Norte	83	1
	Oeste	308	1
	Sur	585	2

Iteración 14	Norte	83	1
	Oeste	308	1
	Sur	614	2
Iteración 15	Norte	83	1
	Oeste	192	1
	Sur	614	2
Iteración 16	Norte	93	2
	Oeste	195	2
	Sur	614	2
Iteración 17	Norte	93	2
	Oeste	145	2
	Sur	655	2
Iteración 18	Norte	93	2
	Oeste	145	2
	Sur	635	2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La evolución recién vista en la tabla se puede ver gráficamente en la Figura 4.9, y será detallada paso a paso como fue ocurriendo su evolución.

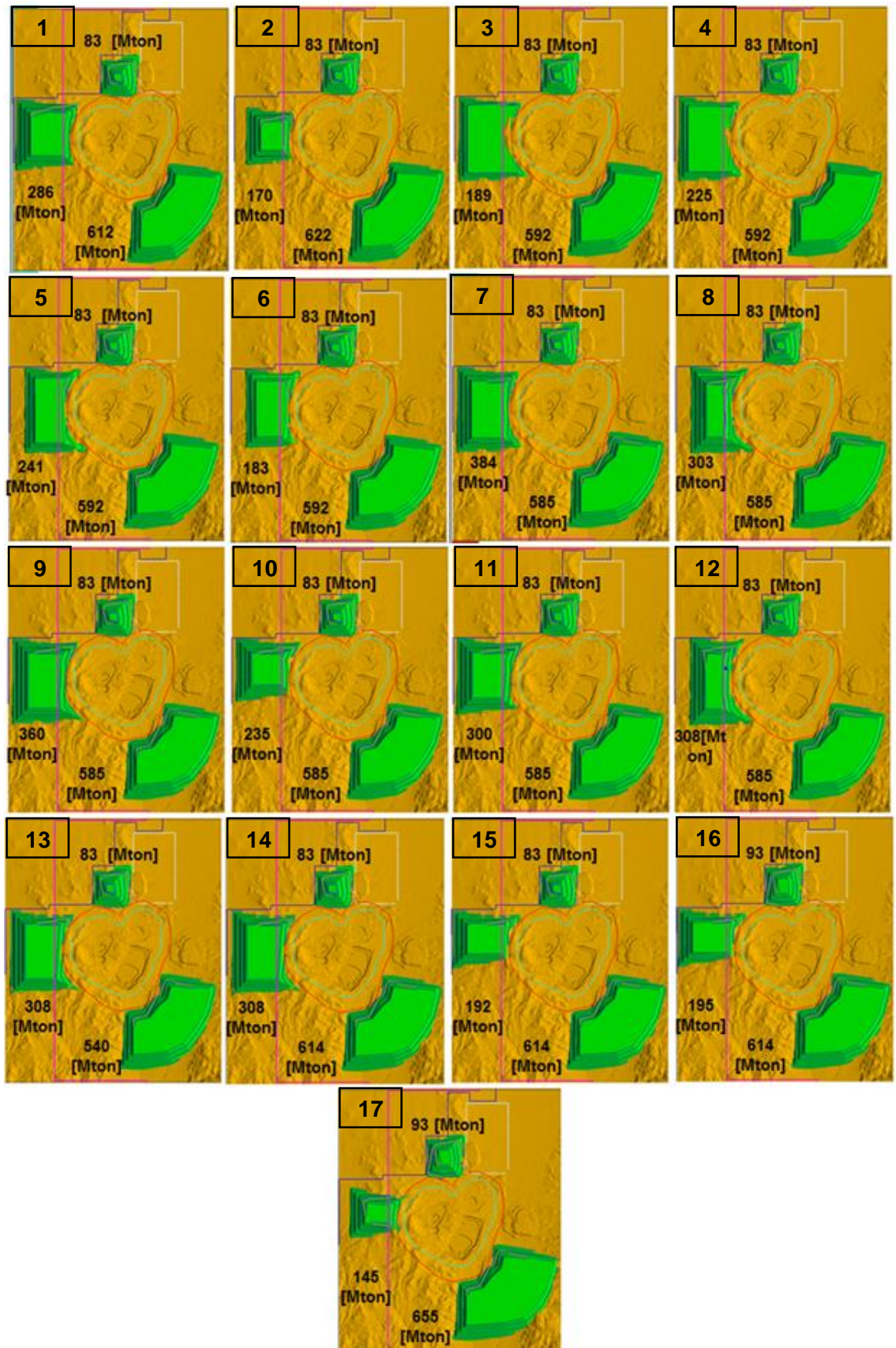


Figura 4.9: Evolución diseños alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

1. Para el botadero norte se usa toda el área disponible que es bastante reducida, contando con una rampa. El botadero sur se comienza con uno de mayor tonelaje que los casos anteriores por lo pequeño del botadero norte. Este también cuenta con una rampa. Por la topografía irregular del botadero oeste, se comienza probando un diseño que abarque un área extensa.
2. El botadero norte se mantiene, ya que no da espacio a modificaciones. Se agranda levemente el botadero sur al disminuir considerablemente el área del botadero oeste y así saber de qué manera se modifican los resultados.
3. Dado que los resultados anteriores no fueron los esperados, se aumenta nuevamente el área del botadero oeste, se reducen sus pisos y se reduce el área del botadero sur.
4. En vista que la modificación en el botadero oeste dio resultados confusos respecto a la eficacia del cambio, se aumentan los pisos y se cambia la rampa de lugar. El botadero tanto norte como sur se mantienen invariables.
5. Como los resultados aún no muestran con certeza el área óptima para el botadero oeste, se recorta su área por el sector oeste para identificar qué cambios favorecen a las distancias. Los otros dos botaderos se mantienen invariantes.
6. Los resultados siguen sin ser claros. Se continúa modificando el área del botadero oeste, reduciéndolo levemente por el sur.
7. Por la gran variación de los resultados, se vuelve nuevamente a aumentar el área del botadero oeste. El área del botadero sur se mantiene, y se le agrega una segunda rampa.
8. Se sigue intentando buscar una regularidad para encontrar el área óptima del botadero oeste, quitándole espacio por el oeste.
9. Nuevamente se aumenta el área del botadero oeste por su lado oeste, moviendo su rampa de lugar para haber si ocurre variación en los resultados.
10. Al ver que los resultados no muestran regularidad, se prueba una nueva opción reduciendo significativamente el botadero oeste por el sector sur.
11. Se extiende levemente hacia el sur el área del botadero oeste, en función de notar cambios en los resultados.
12. Como los resultados aún no son concluyentes sobre qué cambio ayuda, se vuelve a reducir el área por el oeste manteniendo un tonelaje similar al de la iteración anterior.
13. Ya que se ha modificado bastantes veces el botadero oeste, se decide dejar fijo para las dos iteraciones siguientes y ver cómo cambian los resultados al modificar el botadero sur. Para esto, se reduce el tonelaje de este botadero y así saber cómo se modifican los resultados.

14. Al notar que reducir el tonelaje del botadero sur no dio mejores resultados, se prueba lo contrario aumentando el tonelaje de este. Lo anterior, da los mejores resultados hasta ahora.
15. Nuevamente se vuelve a intervenir el botadero oeste, reduciendo su área, lo que da los mejores resultados hasta ahora.
16. Por segunda vez se vuelve a modificar el botadero norte y es para adicionarle una segunda rampa. Lo mismo se hace para el botadero oeste, manteniendo su área prácticamente invariable del paso anterior.
17. Tal como se constató en las iteraciones 14-15 al aumentar el sur y disminuir el oeste, las distancias mejoran por lo que se vuelve a intentar lo mismo, dando nuevamente buenos resultados, aunque el botadero sur queda ligeramente sobredimensionado.

Como último diseño y que da lugar al diseño final, se ajusta el botadero sur para que tenga una holgura de 10% como se planteó al principio. El botadero norte se mantiene desde la iteración 16 y el oeste de la 17.

La Figura 4.10 muestra una vista en planta de la alternativa 3. Resumiendo lo dicho en las iteraciones, los tres botaderos quedan con dos rampas cada uno, notando que el botadero sur es bastante mayor a los obtenidos en las dos primeras alternativas.

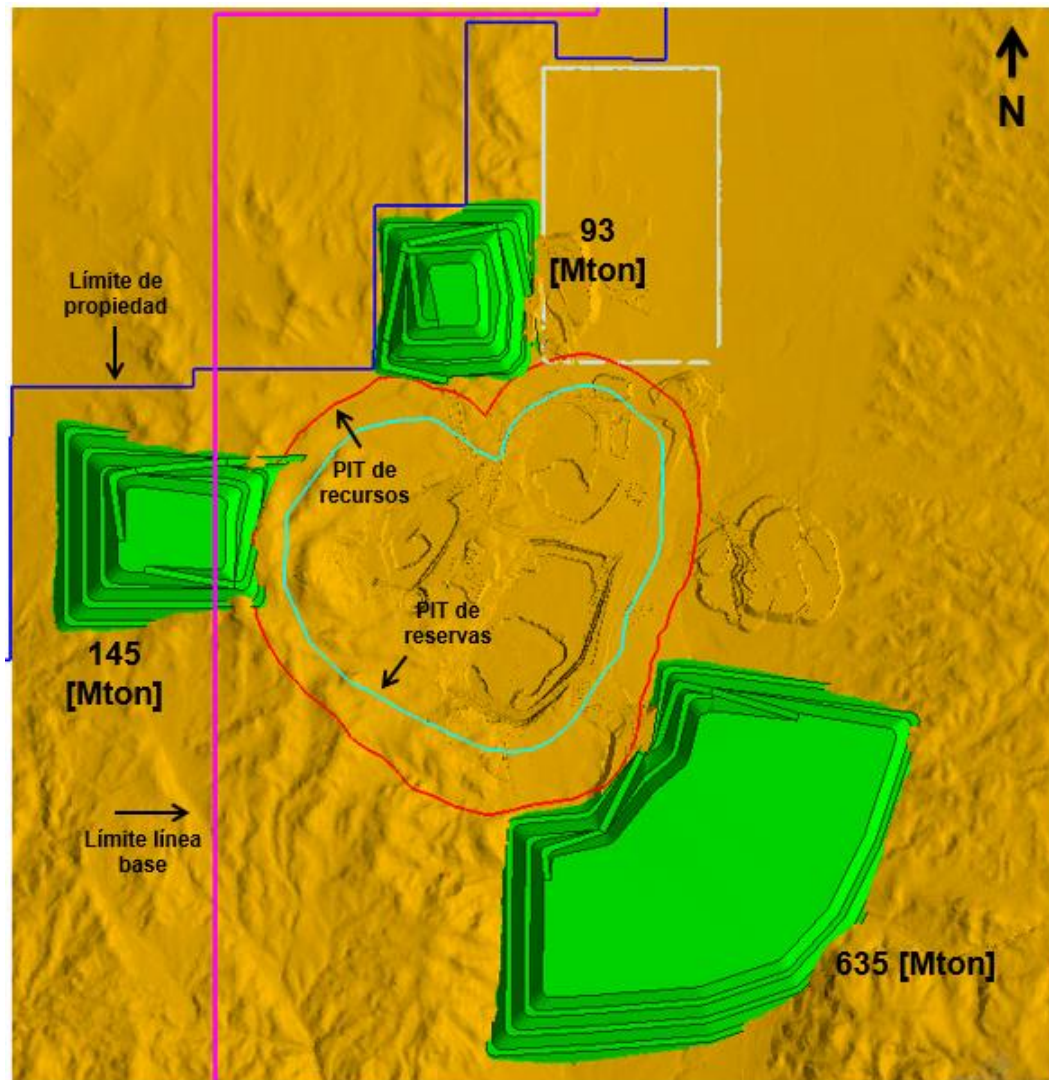


Figura 4.10: Vista en planta alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las características generales del diseño se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Especificaciones alternativa 3.

	Botaderos			
	Norte	Oeste	Sur	Total
Cota inferior (m.s.n.m)	1.650	1.683	1.546	-
Cota superior (m.s.n.m)	1.850	1.883	1.746	-
Altura máxima [m]	190	200	200	-
Área [km ²]	0,80	1,13	3,56	5,49
Capacidad real [Mt]	93	145	635	873
Capacidad utilizada [Mt]	93	135	579	807
Porcentaje extra	0%	7%	10%	8%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Respecto al botadero norte se deben hacer dos aclaraciones. Primero, no se llegó a la altura de 200 [m] porque operacionalmente es complicado un último piso. Segundo, este botadero está ajustado al espacio que tiene disponible, por lo que no da opciones a darle holgura en su capacidad.

4.4. Destino de fases a botaderos por alternativas

Las horas de transporte dependen de las rutas que realicen los camiones desde las distintas fases a su botadero más cercano. Con el programa *Minehaul* al realizar la simulación de ciclos, se puede saber el tonelaje que va desde cada fase a los botaderos, pudiendo detectar si el lastre se está desviando hacia un sector más lejano. Esto se refiere, por ejemplo, que no tendría sentido que desde la fase 2 el mineral se fuese a botar al norte. Estos resultados se encuentran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Destino a botaderos por fase.

	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		
	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Oeste	Sur
	[Mton]		[Mton]		[Mton]		
F01	45,4	-	45,4	-	45,4	-	-
F02	-	13,4	-	13,4	-	-	13,4
F03	2,5	-	2,5	-	2,5	-	-
F04	23,2	29,5	23,2	29,5	14,7	8,4	29,5
F05	24,9	44,9	24,7	45,2	15,1	9,6	45,2
F06	110,1	-	110,1	-	15,6	2,1	92,5
F07	51,3	59,6	44,4	66,5	-	51,3	59,6
F08	3,5	167,9	2,3	169,2	-	3,5	167,9
F09	-	131,1	-	131,1	-	-	131,1
F10	63,6	36,2	59,9	39,9	-	59,9	39,9

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se puede observar que para las primeras cinco fases los tonelajes por destino son prácticamente iguales. En la fase 6, para la tercera alternativa, se nota que el lastre, (que en las otras alternativas va hacia el norte) se va mayoritariamente hacia el sur. Esto ocurre porque el botadero norte es de baja capacidad y ya se está depositando en su última torta, lo que implica un largo camino en rampa. Por otro lado, el camino hacia el botadero oeste es incluso mayor que viajar hacia el botadero sur, por lo que se escoge el sur como destino.

Para las fases siguientes, los tonelajes son bastante similares entre las distintas alternativas, pudiendo concluir que las diferencias en horas se producen por las distancias a las entradas, las rampas y diseño de los botaderos.

4.5. Secuencia de llenado

Los botaderos se construyeron con el área máxima y óptima que se podía utilizar, pero como se vio en las especificaciones no se ocupa su volumen completo, en especial para los últimos pisos de los botaderos norte. A continuación, se muestra el llenado final de los botaderos. La secuencia de llenado por años se detalla en el Anexo 8.6.

4.5.1. Alternativa 1

La configuración final de la alternativa 1 se muestra en la Figura 4.11. En esta se observa que el botadero norte sólo ocupa tres pisos y medio, de los cinco disponibles. Por su parte el botadero sur se llena hasta la última torta que es la cuarta.

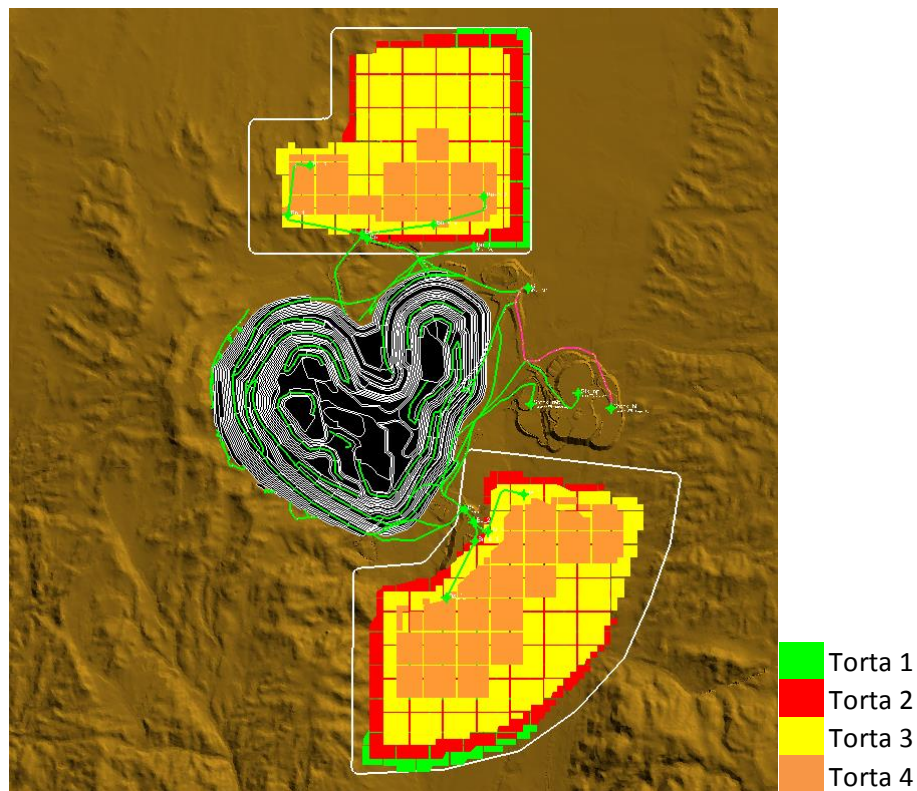


Figura 4.11: Llenado final botaderos alternativa 1.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.2. Alternativa 2

En el llenado final de la Figura 4.12 se ve que el botadero norte sólo ocupa tres de los cinco pisos disponibles, esto por su sobredimensionamiento para respetar la altura máxima de diseño. En el botadero sur se alcanza hasta la cuarta torta.

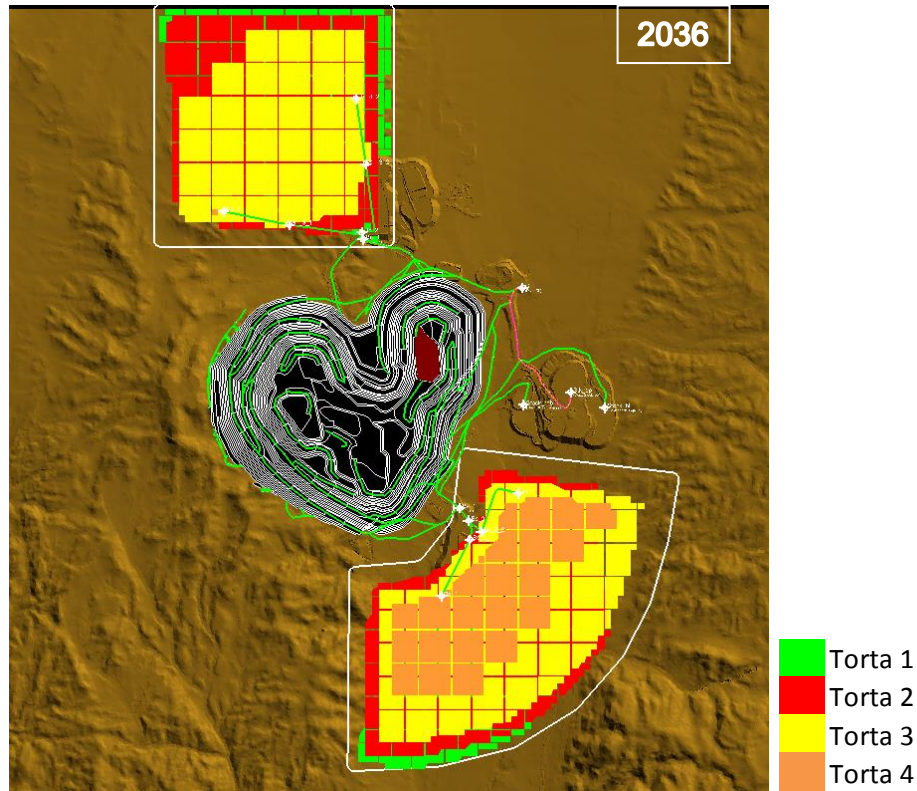


Figura 4.12: Llenado final botaderos alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.3. Alternativa 3

El llenado final de la alternativa 3 se muestra en la Figura 4.3. El botadero norte, por su área ajustada, se llena completo en el 2025. Tanto el botadero oeste como el sur ocupan las cuatro tortas, quedando libre el espacio que se agregó como holgura.

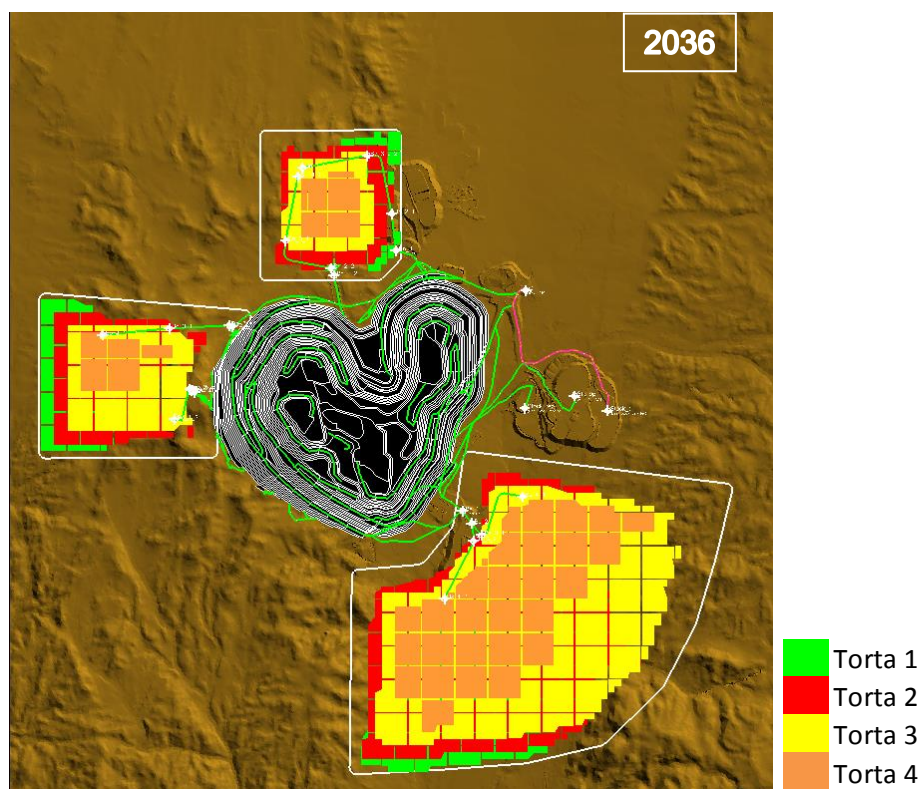


Figura 4.13: Llenado de botaderos alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia, 2017

4.6. Horas de transporte por alternativas

Uno de los resultados que entrega *Minehaul* con la simulación del transporte son las distancias promedio por periodo, divididas estas en subida, plano y bajada. Estas serán las utilizadas para obtener el tiempo de acarreo por período.

Para calcular el tiempo de acarreo, se toman las distancias promedio que entrega el programa, las que están divididas en metros subiendo, horizontal y bajando. Para cada tramo se calcula el tiempo que demora el camión en recorrer ese camino, tal como presenta la Ecuación 4.1.

Ecuación 4.1: Tiempo de viaje.

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

Para cada período, son tres los tramos, tal como sucede en las distancias: subiendo, horizontal y bajando. Para saber el tiempo total de acarreo se suman todos los tramos, lo que se expone en la Ecuación 4.2.

Ecuación 4.2: Tiempo de acarreo.

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

Para el tiempo de ciclo completo, se suman al tiempo de acarreo los tiempos operativos detallados en el capítulo 3.4.4, tal como lo muestra la Ecuación 4.3.

Ecuación 4.3: Tiempo de ciclo

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

Son cinco equipos de carguío en la mina con diferente capacidad de carguío, su producción es diferenciada, y el rendimiento de la flota de camiones estará en función de ellos. La Ecuación 4.4 enseña la forma de calcular el rendimiento de los camiones en función de las producción y tiempo de carga de los equipos de carguío.

Ecuación 4.4: Rendimiento flota.

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

Ya con el rendimiento calculado, se obtienen las horas por período con la Ecuación 4.5. Están se calculan período por período, y se hace la suma de todas para obtener las horas de transporte total.

Ecuación 4.5: Horas de transporte.

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

A continuación, se presentan los resultados de las horas de transporte tanto para el LOM (*Life of mine*), como para el quinquenio y decenio, lo que ayuda a comenzar a discernir que alternativa tiene potencial de convertirse en el diseño final.

4.6.1. LOM (Life of mine)

Las horas de transporte para el CB 2016 y las alternativas, se detalla en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Horas de transporte CB 2016 y alternativas.

	Horas transporte [hr]	Diferencia con CB 2016 [hr]	Diferencia [%]
CB 2016	2.190.221	-	-
Alternativa 1	2.045.678	-144.543	-6,6%
Alternativa 2	2.089.466	-100.755	-4,6%
Alternativa 3	2.111.650	-78.571	-3,6%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El Gráfico 4.1 muestra las horas por año de las alternativas en comparativa con el CB 2016.

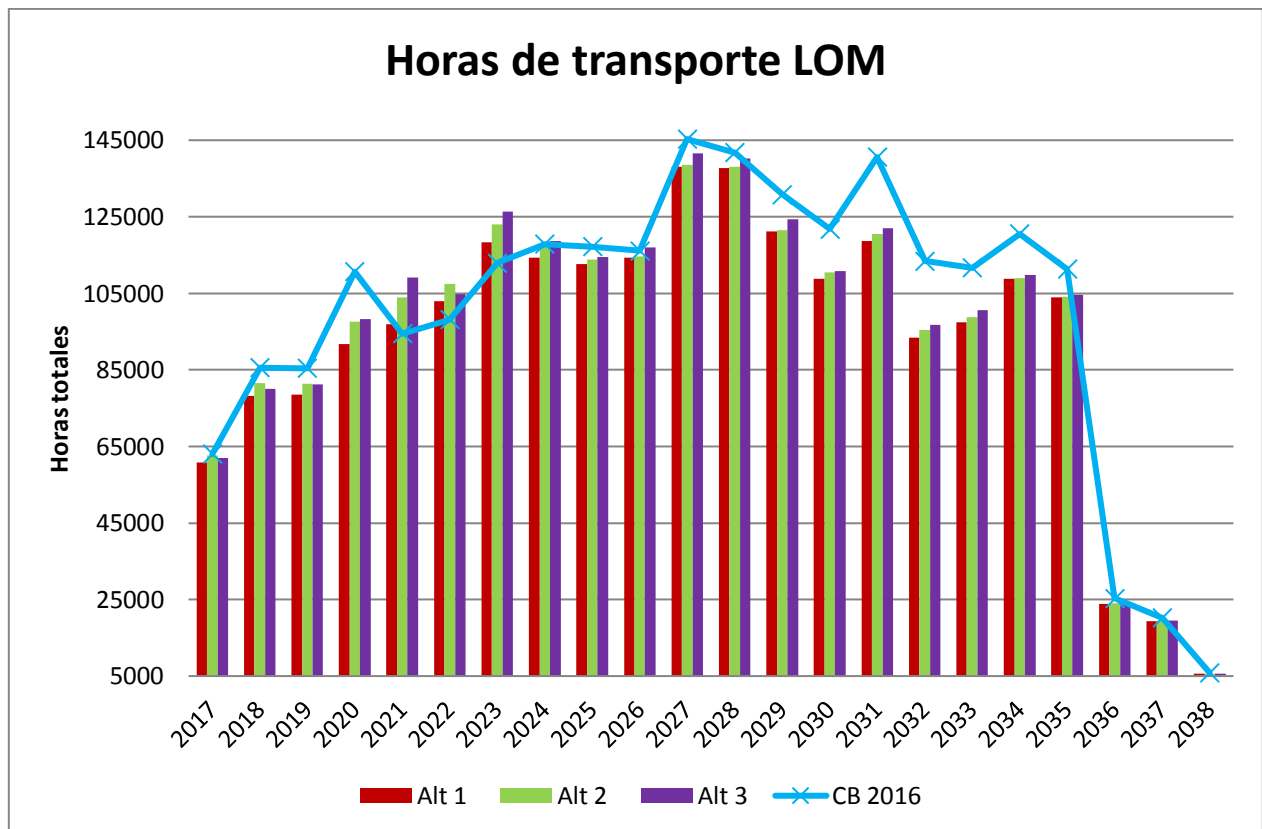


Gráfico 4.1: Horas de transporte LOM, CB 2016 y alternativas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el LOM ya se evidencia que las todas las alternativas generadas presentan una mejora del Caso Base 2016, llegando a prácticamente un 7% para la primera. Las principales causas de los ahorros en tiempo son:

- Los primeros cuatro años se ven favorecidos debido a que los nuevos diseños consideran dos caminos hacia el botadero norte, lo que favorece a las fases 2, 4 y 5 que antes debían hacer un recorrido más largo.
- Al ser el área del botadero norte mayor que el CB 2016, se tarda más tiempo en tener que descargar en otro piso, evitando de esta manera los 500 [m] de rampa, en donde además el camión circula a menor velocidad.
- Entre el 2021 y 2023 son los únicos años en que el CB 2016 presenta menores tiempos de transporte que las alternativas. Esto se debe a que el diseño de la pila ROM se utiliza como botadero, la que tiene tortas de 10 [m], por lo que el recorrido en rampa es más corto que con diseño de tortas de 50 [m].
- Para los años que siguen las bajas en horas de transporte son importantes por el aumento de tonelaje del botadero norte. Con el diseño del CB 2016 una cantidad importante del material que naturalmente debía ir hacia el botadero norte, se veía obligado a ir al botadero sur, que obviamente era un camino más largo.

4.6.2. Quinquenio

Los resultados para el quinquenio se detallan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Horas de transporte quinquenio, CB 2016 y alternativas.

Horas de transporte	CB 2016	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
2017	63.050	60.863	62.717	62.008
2018	85.576	78.237	81.594	80.054
2019	85.404	78.602	81.387	81.180
2020	110.702	91.706	97.519	98.312
2021	94.442	96.945	103.973	109.092
Total	439.175	406.353	427.189	430.645
Diferencia CB 2016	-	-8,1%	-3,0%	-2,1%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el quinquenio, sólo en el año 2021 las horas de transporte de todas las alternativas sobrepasan el CB 2016, pero en el total hay ahorro. Tal como se explicó en el LOM, la razón del mayor ahorro es por el uso de dos caminos para acceder al botadero norte y la mayor área de este botadero.

Para la alternativa 1 el porcentaje de diferencia con el CB 2016 incluso aumenta respecto al LOM, a diferencia de las otras que disminuye levemente. Esto indica, que el ahorro importante ocurre en estos primeros años, por lo que, si se deja pasar tiempo para su implementación, se tendrá un menor ahorro.

4.6.3. Decenio

El detalle para los primeros diez años se encuentra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Horas de transporte decenio, CB 2016 y alternativas.

Horas de transporte	CB 2016	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
2017 - 2021	439.175	406.353	427.189	430.645
2022	98.156	102.960	107.456	104.785
2023	112.946	118.295	123.014	126.360
2024	117.832	114.380	117.961	118.683
2025	117.203	112.567	113.746	114.497
2026	116.136	114.332	114.730	117.041
Total	1.001.448	968.887	1.004.096	1.012.012
Diferencia CB 2016	-	-3,3%	+0,3%	+1,1%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En el decenio cambian el resultado respecto al quinquenio y LOM, quedando sólo la alternativa 1 mejor que el CB 2016. Tal como se dijo, está vuelta momentánea en los ahorros se debe al diseño de la pila ROM, en la que se trabaja en el segundo quinquenio, la cual tiene tortas de 10 [m] que reducen el camino en rampa a diferencia del diseño utilizado en botaderos que tiene tortas cinco veces más altas y por ende tiene un mayor camino en rampa.

4.6.4. Flota de transporte

En función de las horas de transporte por período, se calculará la flota de camiones K930E-4 requeridos para operar por año. Como ya se saben las horas de transporte total por período, se debe saber cuántos camiones son los necesarios para cubrir esas horas.

Para esto, se deben calcular las horas efectivas que trabajan los camiones en un período, que es función de las horas totales del periodo y depende de la disponibilidad y uso de la disponibilidad de los camiones. Estas horas se obtienen con la Ecuación 4.6.

Ecuación 4.6: Horas efectivas camión por período.

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

Con las horas efectivas por camión, para saber el número de camiones necesarios por períodos se aplica la Ecuación 4.7.

Ecuación 4.7: Número de camiones por período.

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

Ahora bien, el último camión del periodo no utiliza las horas efectivas completas, por lo que debe ajustarse para tener claro las horas que realmente utilizó ese equipo.

Ecuación 4.8: Horas efectivas último camión por período.

$$\begin{aligned} \text{Hrs. efectivas último camión} &= \text{Hrs. total transporte} - \text{Hrs. efectivas camiones} \\ & * (\text{Nro. camiones período} X - 1) \end{aligned}$$

La importancia de este último paso se debe a que se lleva un registro de las horas acumuladas de cada camión (se individualizan con un número), que cobra importancia al momento de saber cuándo un camión se da de baja, cuando se realiza overhaul y su costo, y su valor residual al final de la operación. Además, sirve para saber cuándo es necesaria la compra de nuevos componentes.

El resultado de la flota de camiones para las distintas alternativas se muestra en el Gráfico 4.2 y Tabla 4.12

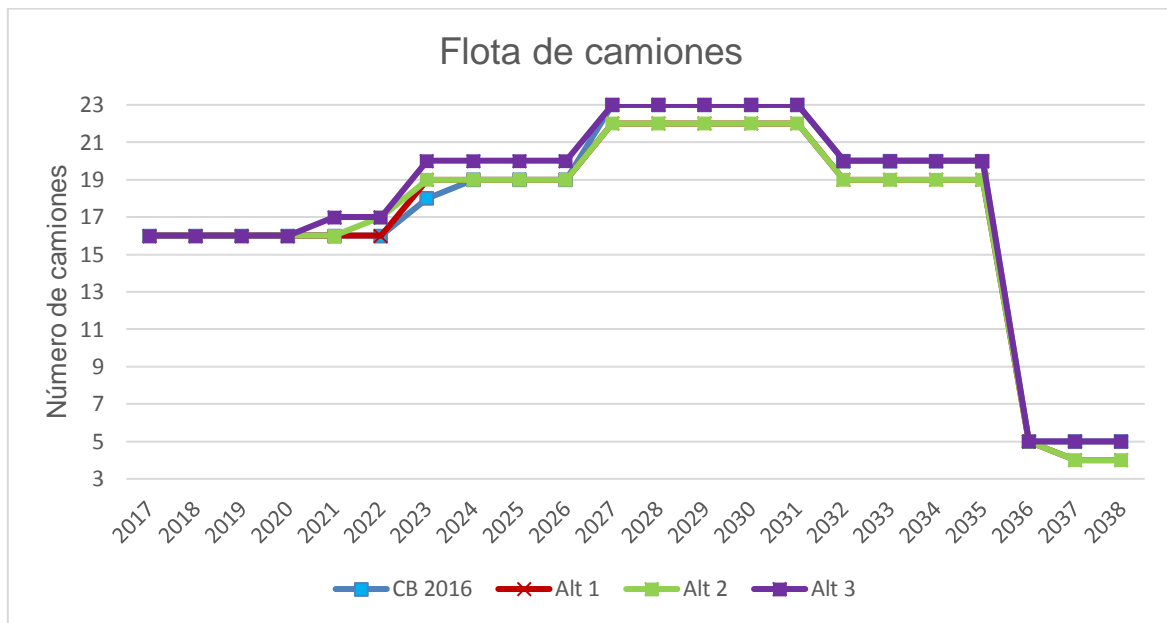


Gráfico 4.2: Flota de camiones por alternativas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.12: Flota de transporte por año para CB 2016 y alternativas.

	CB 2016	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
2017	16	16	16	16
2018	16	16	16	16
2019	16	16	16	16
2020	16	16	16	16
2021	16	16	16	17
2022	16	16	17	17
2023	18	19	19	20
2024	19	19	19	20
2025	19	19	19	20
2026	19	19	19	20
2027	23	22	22	23
2028	23	22	22	23
2029	23	22	22	23
2030	23	22	22	23
2031	23	22	22	23
2032	20	19	19	20
2033	20	19	19	20
2034	20	19	19	20
2035	20	19	19	20
2036	5	5	5	5
2037	5	4	4	5
2038	5	4	4	5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Del gráfico y la tabla se desprende que hay ciertas características de la flota que son una mejora respecto al CB2016 o bien no presenta cambio:

- En las dos primeras alternativas la flota total requiere un camión menos, que significa un ahorro un importante en la inversión.
- En la tercera alternativa la flota total es la misma que el CB 2016.

En relación a aspectos en que las alternativas empeoran respecto al CB 2016 son:

- Para el CB 2016 los primeros dos camiones extra a la flota inicial de 16 se requiere para el 2023. En cambio, para la alternativa 1 ese mismo año se requiere que ingresen 3.
- Para la alternativa 2 el primer camión extra se requiere el 2022, y luego dos más para el 2023, lo que es un adelanto en la inversión. Sin embargo, este gasto anticipado se ve amortiguado por el camión menos que se requiere en relación a la flota total.
- En la alternativa 3 el primer camión extra se requiere el 2021, luego el 2023 se requieren 3 más, lo que es un adelanto significativo comparando con el CB 2016.

4.7. Evaluación técnica de alternativas

De las alternativas definidas y con los resultados anteriores, se evalúan las ventajas y debilidades de cada una de ellas. Si los resultados así lo evidencian, se descartarán alternativas.

Para la evaluación técnica de alternativas se realiza una tabla de puntajes que evalúa los aspectos geotécnicos, operacionales y de planificación de cada diseño. A cada aspecto se le otorga un porcentaje según su relevancia en la decisión y a las distintas características dentro de este aspecto un porcentaje individual. La distribución queda como muestra la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Distribución de puntajes evaluación técnica.

Aspecto	Porcentaje global	Característica	Porcentaje individual
Geotécnico	20%	Estabilidad general botaderos	20%
Operacional	20%	Acceso a botaderos y caminos segregados	10%
		Geometría de rampas	10%
Planificación	60%	Capacidad	10%
		Horas de transporte	30%
		Límites	10%
		Utilización espacio autorizado pila ROM	10%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Cada característica otorga una clasificación desde excelente a mala, y esta está asociada a un puntaje de 0 – 40. El puntaje según la clasificación se detalla en la Tabla 4.14:

Tabla 4.14: Puntaje por clasificación.

Clasificación	Puntuación
Excelente	40
Bueno	30
Satisfactoria	20
Regular	10
Mala	0

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para realizar la descripción de las características se consultó con el área de geotecnia, planificación corto plazo y planificación largo plazo para saber qué características son las más importantes según su ámbito de trabajo y que serán las consideradas al momento de la evaluación. Las clasificaciones y descripción de características se detallan en las siete tablas que siguen.

Tabla 4.15: Evaluación estabilidad general de botaderos.

Estabilidad general de botaderos	
Excelente	Los botaderos cumplen los parámetros de diseño actuales. Se puede afirmar que no presentará problemas de inestabilidad y/o pérdidas de ancho.
Bueno	Los botaderos cumplen los parámetros de diseño actuales. Preliminarmente no se observan potenciales desconfinamientos ni pérdida de ancho.
Satisfactoria	Los botaderos cumplen los parámetros de diseño actuales. Preliminarmente se observan potenciales inestabilidades en rampas y/o pérdida de ancho que deben ser revisados en el diseño final.
Regular	Los botaderos cumplen los parámetros de diseño actuales. Preliminarmente se observan potenciales inestabilidades en rampas y/o pérdida de ancho que deben ser necesariamente modificados.
Mala	Los botaderos no cumplen los parámetros de diseño actuales.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.16: Evaluación accesos y caminos segregados.

Acceso a botaderos y caminos segregados	
Excelente	Los botaderos utilizan sólo caminos actuales de la mina y no interrumpen caminos segregados.
Bueno	Los botaderos utilizan sólo caminos actuales de la mina. Interrumpe parcialmente caminos segregados pero que de ser los botaderos definitivos ya no serían necesarios.
Satisfactoria	Los botaderos requieren 1 camino extra al actual e no interrumpe caminos segregados de la mina.
Regular	Los botaderos requieren más de 1 camino extra al actual e interrumpe caminos segregados de la mina pero que puede modificarse sin grandes problemas.
Mala	Los botaderos requieren más de 1 camino extra a los actuales e interrumpen caminos segregados de forma crítica.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.17: Evaluación construcción de rampas.

Geometría de rampas	
Excelente	Se requiere construir 3 o menos tramos de rampa en botaderos.
Bueno	Se requiere construir entre 4 y 6 tramos de rampa en botaderos.
Satisfactoria	Se requiere construir entre 7 y 9 tramos de rampa en botaderos.
Regular	Se requiere construir entre 10 y 12 tramos de rampa en botaderos.
Mala	Se requiere construir 13 o más tramos de rampa en botaderos.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.18: Evaluación capacidad.

Capacidad	
Excelente	Cumple con la capacidad requerida en el CB 2016, con holgura igual o mayor al 10% en cada botadero.
Bueno	Cumple con la capacidad requerida en el CB2016, con holgura total igual o mayor al 10%.
Satisfactoria	Cumple con la capacidad requerida en el CB2016, sin holguras.
Regular	No cumple con la capacidad requerida, pero tiene al menos 95% de lo requerido.
Mala	No cumple con la capacidad requerida, pero tiene al menos 85% de lo requerido.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.19: Evaluación horas de transporte.

Horas de transporte	
Excelente	Las horas de transporte se redujeron en un 6% o más respecto al CB 2016.
Bueno	Las horas totales de transporte se redujeron en un 4% o más respecto al CB2016.
Satisfactoria	Las horas totales de transporte se redujeron en un 2% o más respecto al CB2016.
Regular	Las horas totales de transporte son las mismas o menores al CB 2016.
Mala	Las horas totales de transporte aumentaron un 3% o más respecto al CB 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la Tabla 4.20 no se considera el bueno porque no tiene lugar dentro de este ítem.

Tabla 4.20: Evaluación límites.

Límites	
Excelente	Respeta los límites tanto de propiedad como la línea base del proyecto.
Satisfactoria	Respeta la línea base del proyecto, pero no el límite de propiedad.
Regular	Respeta el límite de propiedad, pero no la línea base del proyecto.
Mala	No respeta el límite de propiedad ni la línea base de proyecto.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el ítem siguientes sólo hay dos estados, por lo que sólo se considera excelente y malo, que obtienen el puntaje máximo o nada de puntaje.

Tabla 4.21: Utilización espacio autorizado pila ROM

Límites	
Excelente	No se utiliza el espacio autorizado para pila ROM como botaderos.
Mala	Se utiliza el espacio autorizado para pila ROM como botaderos.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los resultados de la evaluación técnica se detallan en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22: Resultados evaluación técnica.

		Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Geotecnia	Estabilidad general botaderos	20	20	20
Operacional	Acceso a botaderos y caminos segregados	40	40	30
	Construcción de rampas	20	20	10
Planificación	Capacidad	40	40	20
	Horas de transporte	40	30	20
	Límites	40	20	10
	Utilización espacio autorizado pila ROM	0	40	40
Resultado		30	29	21

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En base a los resultados de la evaluación técnica se decide descartar a la alternativa 3 como opción y no seguir con ella para los pasos posteriores, por las siguientes razones:

- El puntaje de la alternativa 3 esta considerablemente por debajo de las otras dos, que prácticamente se encuentran empatadas.
- No respeta la línea base del proyecto. Para aprobar el diseño se necesitaría un estudio y permiso de la autoridad pertinente, que en vista de los otros resultados sería innecesaria.
- Para acceder al botadero oeste se necesita un camino que no existe actualmente en la mina. Este camino además es sinuoso y debe tomar bastantes curvas para mantener la pendiente.
- La topografía del botadero oeste es dispareja y con fuertes pendientes, lo que haría complicado el relleno de las primeras tortas.
- La ganancia en horas respecto al CB 2016 es baja, comparada con las demás alternativas.

Respecto a las otras alternativas, su puntaje no presenta una diferencia significativa como para elegir a una por sobre la otra. Para esto, se realiza la evaluación económica.

4.8. Evaluación económica de alternativas

4.8.1. OPEX

Como se detalló en el capítulo 3.7.1 el OPEX utiliza como base las planillas del Plan de Negocios 2017-2022 realizadas por el área de finanzas de Antucoya. Se considera sólo los costos asociados a transporte mina. Esta planilla se emplea tanto para calcular los costos del CB 2016, como de las alternativas y así poder compararlas realmente.

Los resultados del OPEX se dividirán en LOM (vida mina), quinquenio (2017-2022) y decenio (2017-2026). Todos los valores corresponden al VAN (Valor actual Neto) con una tasa de descuento 8%.

Los resultados finales para el LOM, tanto su costo total como los costos de operación y mantenimiento, se muestran en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23: Resultados OPEX por alternativas para LOM.

	Costo [KUS\$]		Diferencia con CB 2016 [KUS\$]	Diferencia [%]
CB 2016	Total	383.439	-	-
	Operación	167.943	-	-
	Mantención	215.487	-	-
Alternativa 1	Total	363.814	-19.616	-5,1%
	Operación	159.802	-8.141	-4,8%
	Mantención	204.012	-11.476	-5,3%
Alternativa 2	Total	371.144	-12.286	-3,2%
	Operación	162.920	-5.023	-3,0%
	Mantención	208.224	-7.263	-3,4%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El Gráfico 4.3 muestra el costo de OPEX de Operación y el Gráfico 4.4 los costos de OPEX por mantenimiento por año y alternativas para el ítem de transporte.

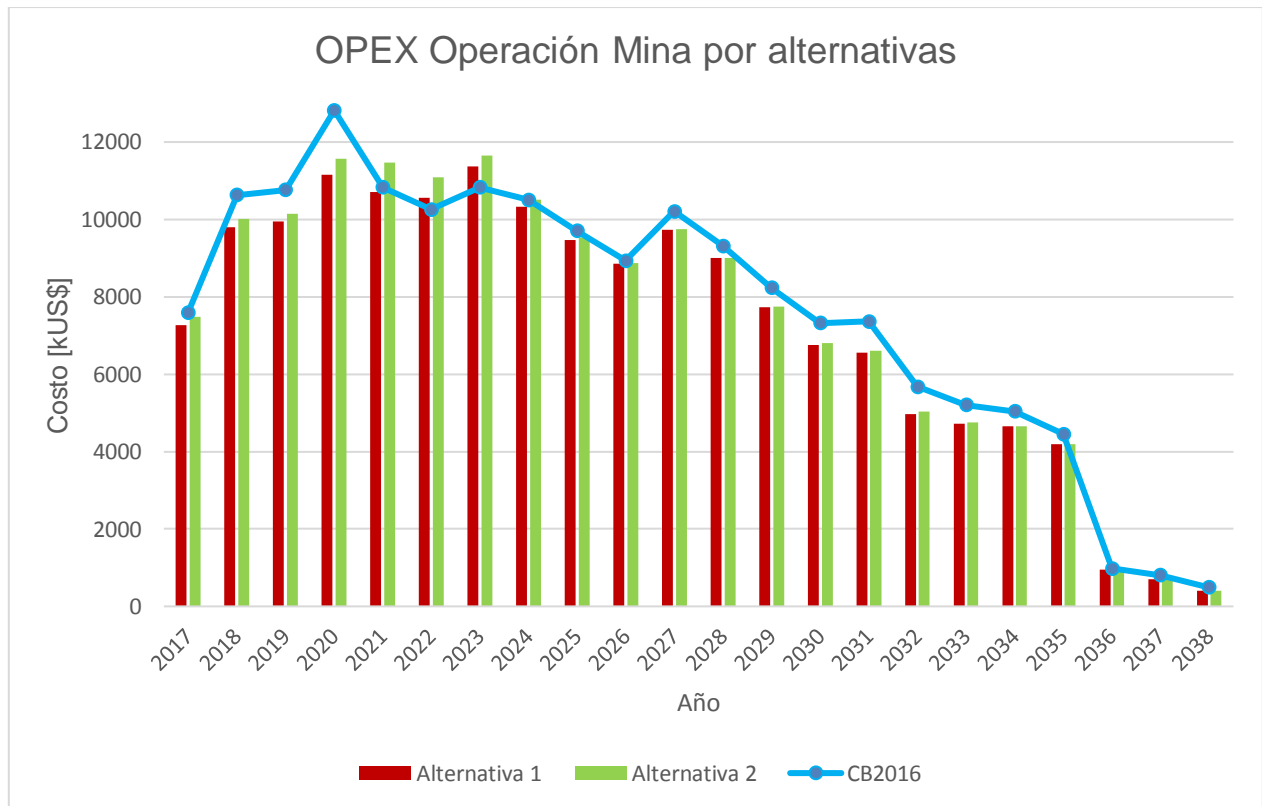


Gráfico 4.3: Costos OPEX Operación transporte mina para LOM por alternativas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

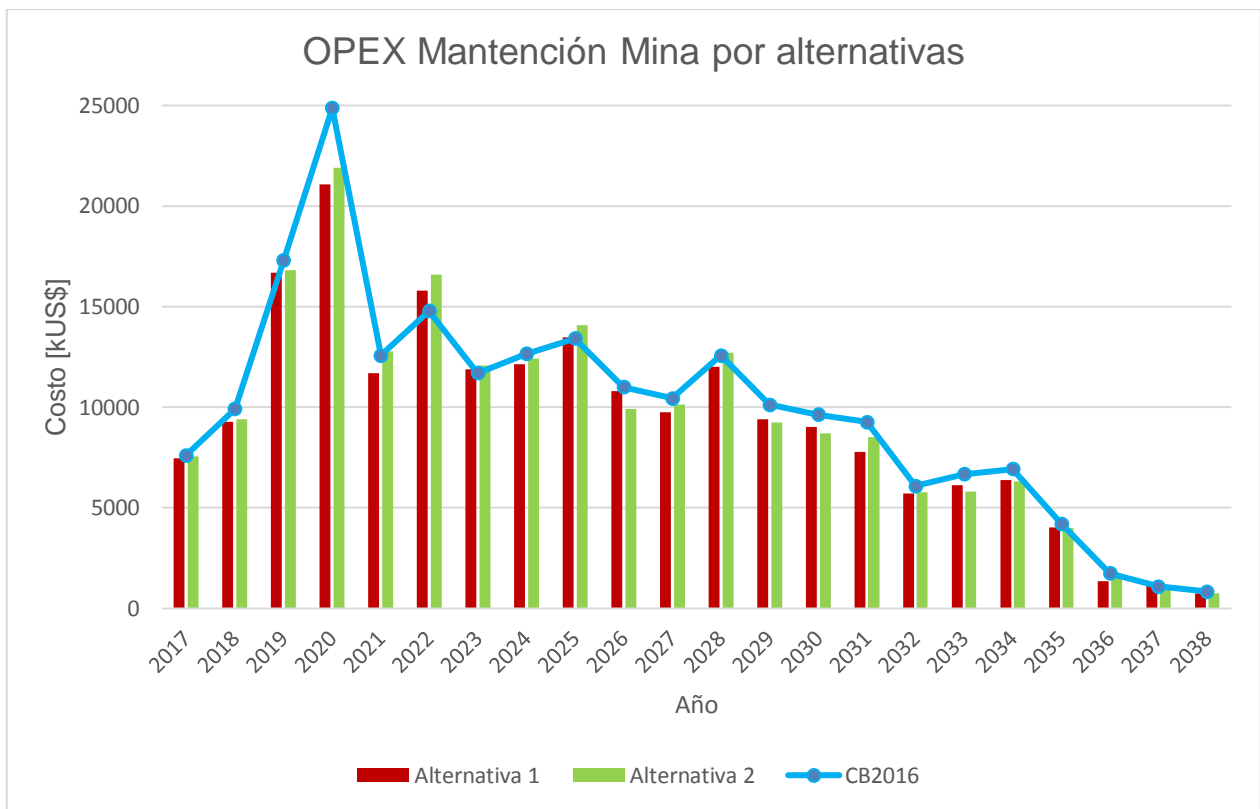


Gráfico 4.4: Costos OPEX Mantenimiento transporte mina para LOM por alternativas.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

De la tabla y gráficos anteriores se pueden sacar las siguientes conclusiones respecto a los costos:

- Ambas alternativas representan una mejora respecto al CB 2016, siendo mejor la alternativa 1 respecto a la 2, por 8 [MUS\$].
- En ambas alternativas los ahorros son mayores en mantenimiento que en operaciones. Esto se debe, principalmente, a que la flota para ambas alternativas es menor, y los costos de mantenimiento están directamente relacionados a los camiones.
- Al igual que las horas, los costos son menores para prácticamente todos los años, exceptuando el período 2021-2023, que es cuando las horas de transporte son mayores para las alternativas que para el CB 2016. Como se explicó para las horas, se debe a que en esos años se opera en la pila ROM que tiene torta de menor tamaño que los botaderos y esto implica un menor camino en rampa.

Quinquenio

En la Tabla 4.24 se detallan los costos operacionales para los primeros cinco años.

Tabla 4.24: Costos OPEX transporte quinquenio por alternativas.

OPEX total transporte mina	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017	15.213	14.744	15.047
2018	20.550	19.085	19.434
2019	28.066	26.622	26.946
2020	37.684	32.227	33.473
2021	23.401	22.397	24.227
Total	124.913	115.075	119.127
Diferencia CB 2016	-	-7,9%	-4,6%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tal como ocurría en el caso de las horas de transporte, para el primer quinquenio el porcentaje de ahorro en costos es mayor que el LOM, pasando de -5,1% a -7,9% en caso de la alternativa 1 y de -3,2% a -4,6% en caso de la 2.

Para explicar mejor lo anterior, en la alternativa 1 los primeros cinco años se ahorran 10 [MUS\$] de los 20 [MUS\$] que se ahorran en los 22 años de operación. Por otro lado para la alternativa 2, también se ahorra la mitad sólo en el quinquenio correspondiendo a 6 [MUS\$] de los 12 [MUS\$] totales.

En las Tabla 4.26 y Tabla 4.27 se resumen los costos de transporte divididos en operación y mantención.

Tabla 4.25: Costos OPEX operación transporte mina, quinquenio por alternativas.

OPEX operación transporte mina	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017	7.594	7.272	7.478
2018	10.633	9.793	10.014
2019	10.761	9.943	10.142
2020	12.817	11.150	11.567
2021	10.828	10.712	11.465
Total	52.634	48.870	50.667
Diferencia CB 2016	-	-7,2%	3,7%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.26: Costos OPEX mantención transporte mina, quinquenio por alternativas.

OPEX mantención transporte mina	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017	7.618	7.472	7.569
2018	9.917	9.293	9.420
2019	17.305	16.679	16.804
2020	24.867	21.077	21.906
2021	12.573	11.685	12.762
Total	72.280	66.205	68.460
Diferencia CB 2016	-	-8,4%	-5,3%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Al igual como ocurre en el LOM, se ve que el ahorro es mayor en mantención de los camiones que en la operación de los mismos. Esto se debe a que la flota operativa de las alternativas en estos años es menor que la del caso base, lo que produce ahorro en costos importantes en la mantención, como es la compra de componentes mayores y el contrato de Marc variable.

Decenio

Por su parte, el detalle para el decenio se muestra en la Tabla 4.27.

Tabla 4.27: Costos OPEX transporte decenio por alternativas.

Costos operacionales	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017 - 2021	124.913	115.075	119.127
2022	25.036	26.359	27.698
2023	22.522	23.265	23.719
2024	23.164	22.473	22.943
2025	23.117	22.948	23.617
2026	19.929	19.661	18.775
Total	241.547	230.331	238.492
Diferencia CB 2016	-	-3,7%	-1,2%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el decenio pasa lo contrario que el quinquenio respecto al LOM, ya que la diferencia se hace menor. Esto, al igual que ocurría con las horas de transporte, sucede porque las distancias de transporte son mayores entre el 2022 y 2024 para las alternativas.

Tabla 4.28: Costos OPEX operación transporte mina, decenio por alternativas.

Costos operacionales	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017 - 2021	52.634	48.870	50.667
2022	10.256	10.552	11.093
2023	10.827	11.376	11.646
2024	10.509	10.326	10.516
2025	9.699	9.471	9.530
2026	8.932	8.850	8.869
Total	102.858	99.445	102.319
Diferencia CB 2016	-	3,3%	0,5%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.29: Costos OPEX mantención transporte mina, decenio por alternativas.

Costos operacionales	CB 2016 [KUS\$]	Alternativa 1 [KUS\$]	Alternativa 2 [KUS\$]
2017 - 2021	72.280	66.205	68.460
2022	14.780	15.808	16.606
2023	11.695	11.889	12.073
2024	12.655	12.147	12.428
2025	13.418	13.477	14.087
2026	10.996	10.811	9.906
Total	241.547	230.331	238.492
Diferencia CB 2016	-	-3,7%	-1,2%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Al igual que ocurre en el LOM y quinquenio, las diferencias en costos son mayores para la mantención que para la operación, y se debe principalmente a la disminución de la flota total.

Se observa que para el 2022 y 2023 tanto los costos de operación como de mantención para las dos alternativas superan al CB 2016; no así para el 2024 que sólo el costo de operación de la segunda alternativa lo hace. A su vez, para el 2025 el costo de mantención mantención de ambas alternativas supera levemente al CB 2016. Las diferencias más significativas, y como sucedía para las horas, es para el 2023.

4.8.2. CAPEX

Si bien anteriormente se mostró la flota completa por alternativa, en la Tabla 4.30 se detalla cuando ingresa un camión nuevo, se le realiza overhaul o se vende, donde el número del recuadro especifica el número de camiones para lo que ocurre ello.

Tabla 4.30: Entrada de camiones nuevos.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CB 2016							2	1			4											
Alternativa 1							3				3											
Alternativa 2						1	2				3											

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.31: Overhaul de flota de camiones.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CB 2016													10	3	1		1					
Alternativa 1													10	2	1	1	1					
Alternativa 2													11	1	1	2	1					

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.32: Venta de flota de camiones.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CB 2016																						4
Alternativa 1																						4
Alternativa 2																						4

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como ya se mencionó anteriormente, en ambas alternativas se ahorra un camión. Si bien el tercer camión que ingresa para ambas alternativas lo hace antes que el caso base, el ahorro en la compra del último camión da una ventaja.

En relación al overhaul se realiza la misma cantidad para la alternativa 1 que para el CB 2016, y uno extra para la alternativa 2. Las horas finales de los camiones es menor para ambas alternativas que para el CB 2016, lo que también significa un menor costo en este ítem.

En función de lo anterior se obtiene un costo de CAPEX para el LOM cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 4.33.

Tabla 4.33: Resultados CAPEX por alternativas para LOM.

	Costo [KUS\$]	Diferencia con CB 2016 [KUS\$]	Diferencia [%]
CB 2016	22.840	-	-
Alternativa 1	20.578	-2.262	-9,9%
Alternativa 2	21.397	-1.443	-6,3%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La ganancia importante que se da en el LOM y que se muestra en la tabla anterior, se debe, principalmente, al camión menos en la flota total, lo que se ve ligeramente desfavorecida por la entrada temprana de los primeros camiones.

Para el quinquenio no hay inversión ni para el CB 2016 ni para las alternativas, lo que se mencionó como uno de los alcances, específicamente, no modificar la flota ya proyectada hasta el 2021.

Para el decenio, los resultados se observan en la **Tabla 4.34**:

Tabla 4.34: Resultados CAPEX por alternativas para decenio.

	Costo [KUS\$]	Diferencia con CB 2016 [KUS\$]	Diferencia [%]
CB 2016	7.413	-	-
Alternativa 1	7.601	+188	+2,5%
Alternativa 2	7.803	+390	+5,3%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el decenio, en vez de ganar se pierde y ocurre principalmente porque hasta el año 2026 la flota es la misma tanto para el CB 2016 como para las alternativas, pero en esta última la entrada de los camiones fue más temprana. Recién desde el 2027, la flota del CB 2016 llega a los 23 camiones y se da vuelta el resultado.

4.9. Decisión diseño final

Basado en todos los resultados ya presentados, se decide recomendar la alternativa 1 como la opción a implementar. Los resultados que la respaldan sobre la alternativa 2 son:

- Las horas de transporte total para la alternativa 1 representan un ahorro de 144.543 horas correspondiente a un 6,6% respecto al CB 2016. Por su parte la alternativa 2 tiene un ahorro de 100.755 horas y el porcentaje es de 4,6%. Para el quinquenio el ahorro incluso aumenta para la alternativa 1 llegando a 8,1%, en cambio, para la 2 baja al 3%. Finalmente, para los diez primeros años para la alternativa 1 las horas siguen siendo favorable, pero para la 2 se vuelve una pérdida, que se compensa recién en los años siguientes.
- En relación a la flota, ambas alternativas tienen una flota total de 22 camiones, uno menos que el CB 2016. La leve ventaja que tiene la alternativa 1, es que en ella ingresan los tres primeros camiones el 2023, en cambio, para la alternativa 2 ingresa 1 el 2022 y 2 el 2023, lo que significa un adelanto en la inversión.
- Respecto a los costos operacionales de transporte mina, la alternativa 1 tiene un ahorro total de 20 [MUS\$], versus los 12 [MUS\$] que ahorra la alternativa 2. Al igual que pasa con las horas, para el quinquenio el ahorro se agudiza y para el decenio disminuye, pero siempre se mantiene positiva.

- Finalmente, en relación al CAPEX de camiones, para el LOM se registra un ahorro de 2 [MUS\$] para la alternativa 1 y 1,5 [MUS\$] para la 2. Si bien para el decenio no hay ahorro, sino que pérdida, está situación se da vuelta inmediatamente para el año 2027.

4.10. Diseño de stocks

Se presentarán propuestas para diseño de stocks dado que los stocks que actualmente se tiene diseñados ya están prácticamente hasta el tope de su capacidad y la proyección de tonelaje para los años siguientes es importante.

Lo primero que se hace es diseñar en el espacio que actualmente se está depositando el material de stock y la idea es aprovecharlo al máximo, por su posición ideal respecto al chancador. En este sector, debe tenerse en cuenta que existe mineral ya depositado, por lo que sólo se podrá descargar sobre su mismo tipo. En la Figura 4.14 se muestran las zonas donde se encuentra el mineral de alta y baja ley en el stock actualmente.



Figura 4.14: Vista en plata de los stocks mina.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En los espacios marcados en la figura se crece tanto en la vertical como en área, mientras esta no interrumpa caminos, al rajo o el diseño del botadero sur que es el que se encuentra cercano. Si con lo anterior no se logra el tonelaje necesario se debe buscar otro sector que sirva para este propósito.

El lugar del nuevo(s) stock(s) puede(n) quedar dentro del rajo de recursos e incluso sobre una fase futura, si se tiene la precaución que saldrá antes que comience la explotación de ella.

Una vez se tiene el diseño listo, se recalculan nuevamente los tiempos de transporte, esto porque la evaluación de los diseños se hace con stocks infinitos cuyos caminos llegan a un punto medio del primer piso de ellos, pero ya con el diseño las distancias

variaron, probablemente mejorando para los primeros años y subiendo para los últimos (por las rampas).

Lo primero que se realiza, es crear diseños en el sector donde ya se están depositando los stocks, en dónde al utilizar el máximo espacio disponible se obtienen los resultados de la Figura 4.15.

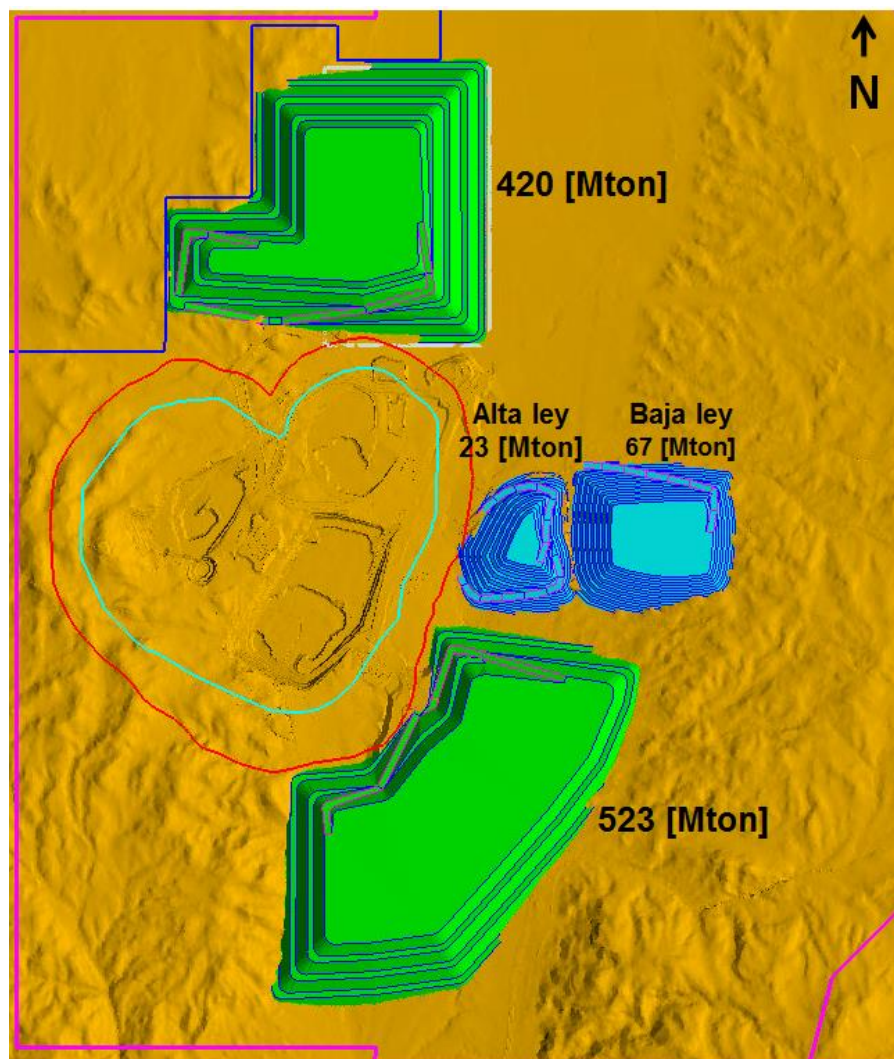


Figura 4.15: Diseño de stocks en sector actual.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las características de estos diseños se muestran en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35: Características stocks sector actual.

	Alta ley	Baja ley
Cota inferior	1.615	1.647
Cota superior	1.732	1.766
Altura total [m]	104	119
Área [m ²]	435.714	748.725
Capacidad [Mton]	23	67

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como se vio en los antecedentes, con el stock de alta ley se debía llegar a los **39 [Mton]** pero sólo se alcanzaron las **26 [Mton]**. Para las 13 [Mton] restantes se proponen dos formas de alcánzalo, las que se muestran en la Figura 4.16.

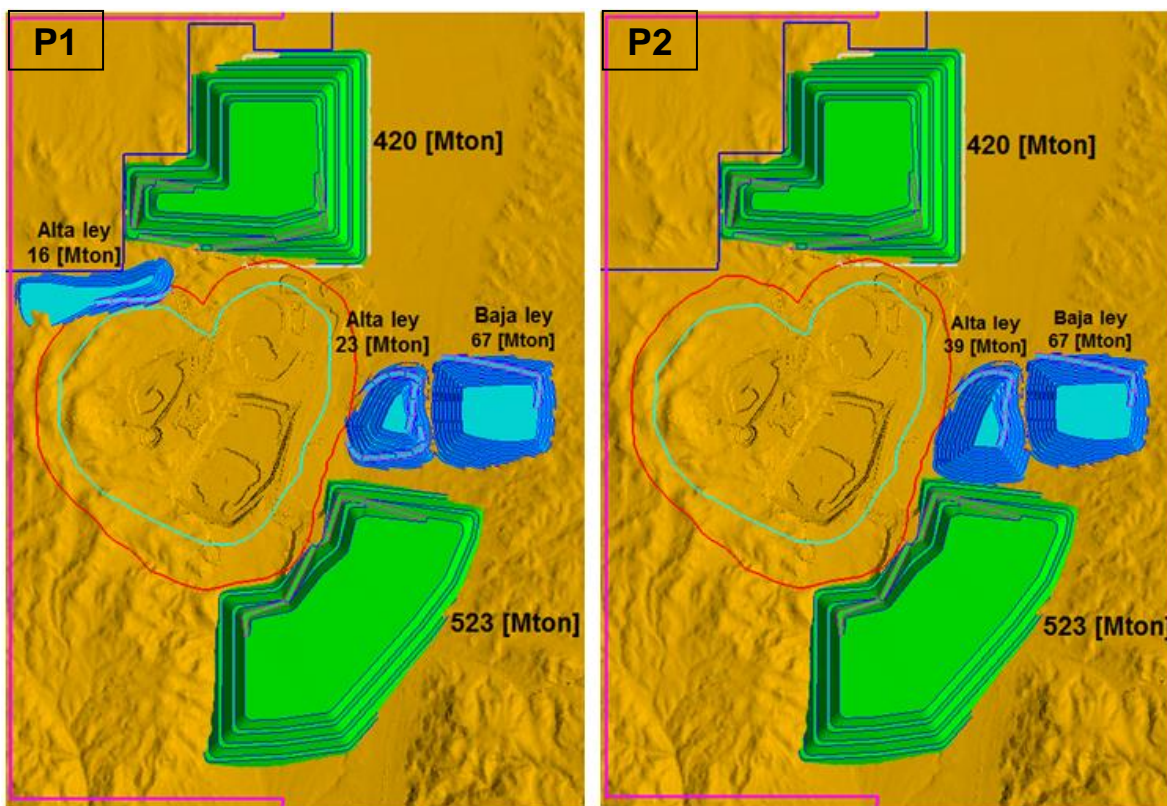


Figura 4.16: Propuestas para stocks.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la primera propuesta consiste en un tercer botadero de 13 [Mton] en el sector noroeste del rajo. Este se ubica dentro del pit de recursos pero como son lugares de depósito temporal se acordó que no habría problema con ello.

La segunda propuesta no considera un tercer botadero sino que se extiende el área del stock de alta ley ya propuesto hasta lograr las 39 [Mton]. Si bien se ve que este stock queda junto al botadero sur, su diseño se pensó como prueba para saber si se obtenían menores horas que la propuesta 1 y de ser así, se replantearía el diseño del botadero sur para moverlo a una distancia de seguridad si se considera necesario.

Las características de estos diseños se muestran en la Tabla 4.36.

Tabla 4.36: Características propuestas stocks alta ley.

	Propuesta 1	Propuesta 2
Cota inferior	1.695	1.615
Cota superior	1.760	1.745
Altura total [m]	65	130
Área [m ²]	327.539	542.828
Capacidad [Kton]	16	39
Capacidad total Stock Alta Ley [Kton]	39	39

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con estos nuevos diseños, indudablemente las horas de transporte cambiaron ya que el camión debe recorrer rampas que antes no estaban consideradas, siendo estos resultados mostrados en la Tabla 4.37.

Tabla 4.37: Horas de transporte de propuestas de stocks.

	Horas transporte [hr]	Diferencia con Alternativa 1 [hr]
Alternativa 1	2.046.176	-
A1- Propuesta 1	2.088.064	+41.334
A1- Propuesta 2	2.095.953	+49.777

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En el Gráfico 4.5 se hace una comparativa de las horas de transporte entre la alternativa 1 sin diseño de stocks y las propuestas recién vistas.

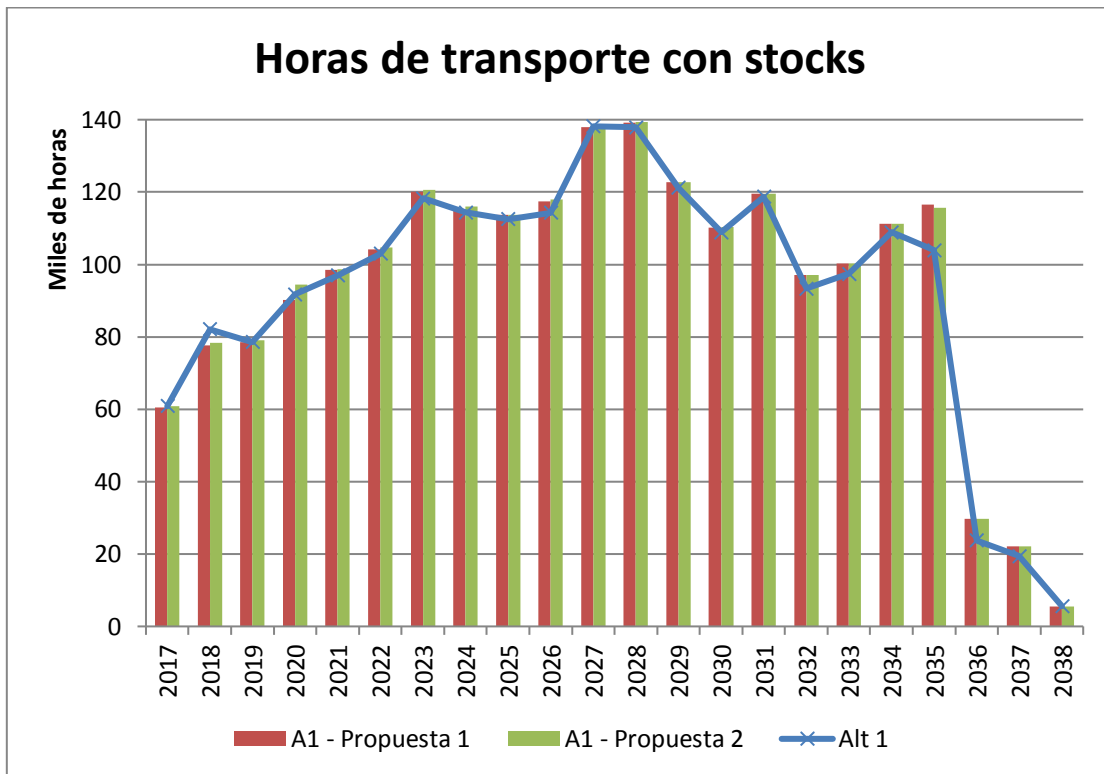


Gráfico 4.5: Horas de transporte con stocks.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En el gráfico anterior, se comprueba lo que se presumía al principio:

- Los primeros años disminuyen levemente los tiempos. Esto ocurre porque antes se iba a un punto medio del botadero actual, por su parte ahora, los primeros años se va a sectores más cercano a la entrada de ellos.
- Entre el 2035 al 2037 aumentan considerablemente las horas, ya que se comienzan a vaciar los stocks, por tanto, se llega al punto más alto de ellos. Desde el punto de vista operativo, el camión debe recorrer todo el camino en rampa hasta la cima, ida y vuelta, lo que hace que las distancias sean más largas.

También se calculan los costos operacionales del diseño con stocks, dando los resultados mostrados en la Tabla 4.38. En ella se muestra la comparativa con la alternativa 1 ya calculada:

Tabla 4.38: Costos operacionales con stocks.

	Costo [KUS\$]		Diferencia con Alternativa 1 [KUS\$]	Diferencia [%]
Alternativa 1	Total	363.814	-	-
	Operación	159.802	-	-
	Mantención	204.012	-	-
Alternativa 1 + Stock P1	Total	367.618	+3.804	+1,0%
	Operación	161.567	+1.765	+1,1%
	Mantención	206.618	+2.039	+1,0%
Alternativa 2 + Stock P2	Total	369.369	+5.555	+1,5%
	Operación	162.104	+2.302	+1,4%
	Mantención	207.265	+3.253	+1,6%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

De los resultados de OPEX recién expuestos se pueden sacar las siguientes acotaciones:

- En vista de que el aumentó en horas no es despreciable, llama la atención que el aumentó en OPEX sea tan bajo. La razón principal de esto es porque el aumentó más importante en horas ocurre los últimos años, por lo que al traerlo al valor actual se hace bajo. Además, en los primeros años se ahorra horas por tanto costos, lo que ayuda a contrarrestar el aumento de este.
- La diferencia entre ambos no es significativa como para decidir entre ellas, por lo que se revisaran los demás antecedentes para dar una recomendación.

Por otra parte, las variaciones en la flota se detallan en las tablas siguiente, siendo la Tabla 4.39 de compra y Tabla 4.40 de overhaul. La de venta final no se adjunta ya que no sufrió variación.

Tabla 4.39: Entrada de camiones nuevos para alternativa 1 y propuestas de stocks.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Alternativa 1							3				3											
Alt 1+Stock 1						1	2				3											
Alt 1+Stock 2						1	2				3											

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.40: Overhaul camiones para alternativa 1 y propuestas de stocks.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Alternativa 1													10	2	1	1	1					
Alt 1+Stock 1													12	2	1		2					
Alt 1+Stock 2													12	2	1	2						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los costos asociados a la variación en la flota y su diferencia con la alternativa 1 se muestran en la Tabla 4.41.

Tabla 4.41: Resultados CAPEX para alternativa 1 y propuestas de stocks para LOM.

	Costo [KUS\$]	Diferencia con CB 2016 [KUS\$]	Diferencia [%]
CB 2016	20.578	-	-
Alternativa 1	20.890	+312	+1,5%
Alternativa 2	20.946	+368	+1,8%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

De la flota y sus resultados se nota que:

- La flota se mantiene en relación a la original de la alternativa 1. En la entrada de equipos la diferencia que ocurre es que el primer camión entra el 2022 para ambas alternativas, lo que antes lo hacía un año después.
- Se realiza la misma cantidad de overhaul, aunque en la propuesta 1 uno de ellos se pospone un año respecto a la alternativa 1, lo que ocurre por el ahorro de horas de los primeros años.

Si bien los resultados no son del todo concluyentes respecto a que alternativa es la mejor ya que las diferencias no son significativas, se recomienda la propuesta 1 por las siguientes razones:

- Las horas de transporte son menores para la propuesta 1, con una diferencia de 8.000 horas respecto a la 2.
- Los costos operacionales tienen un aumento en ambas opciones, pero en la propuesta 1 es poco menos de 2 [MUS\$] menor que la propuesta 1.
- El tener dos stocks operativos de mineral de alta ley, da mayor flexibilidad y menos interferencia a la hora de asignar camiones a sus destinos.
- Para implementar la propuesta 2 habría que mover el botadero sur, lo que aumentaría aún más la brecha entre propuestas.

4.11. Sensibilización de resultados parámetros PN 2017-2021

Como último paso, se realizará una sensibilización de los resultados ya obtenidos, modificando a sus parámetros a los del PN 2017-2021, detallados en el capítulo 3.4.5. Los resultados se muestran de forma ordenada en los párrafos que siguen. Esta sensibilización se hará sobre la alternativa 1 que se recomendó, pero sin stocks, ya que estos requieren un estudio más profundo tal como se hizo en el caso de los botaderos.

4.11.1. Horas de transporte

Las horas de transporte con estas nuevas velocidades y en comparación con el mismo diseño, pero con las velocidades antiguas, se muestran en la Tabla 4.42 y el Gráfico 4.6.

Tabla 4.42: Horas de transporte actualizada a velocidad PN 2017.

	Horas transporte [hr]
Diseño recomendado – v CB 2016	2.046.179
Diseño recomendado – v PN 2017	1.879.707

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tan sólo con modificar las velocidades y los tiempos de espera, se logra una diferencia de -166.472 horas totales. De estas horas, 73.225, es decir, el 44% de la diferencia es por no considerar el tiempo de espera para descargar. Las otras 93.247 de ahorro se deben al cambio de velocidad.

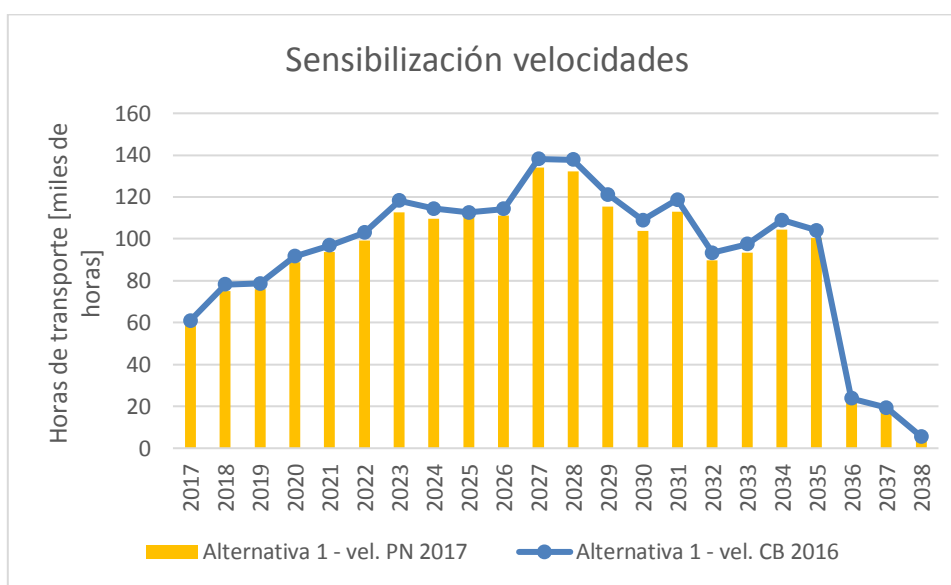


Gráfico 4.6: Horas de transporte diseño recomendado con velocidades actualizadas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Comparativamente sólo se aumentan las horas para los últimos tres años y para los demás sólo disminuye. Esto se explica porque estos tres años los caminos son mayoritariamente en la horizontal, para los cuales las velocidades disminuyeron levemente en el PN 2017-2021 respecto al CB 2016.

Respecto a que velocidades son las más adecuadas para utilizar, sería conveniente analizar los datos del despacho mina de las velocidades reales de los camiones, y en base a ello calcular los resultados. Se realizó este análisis, pero los datos que se tenían de los camiones Komatsu K930E-4 eran pocos para obtener una conclusión, pero todas maneras se adjuntaron en el anexo 8.8.

4.11.2. OPEX

Los resultados económicos se detallan en la Tabla 4.43.

Tabla 4.43: OPEX diseño recomendado con velocidades PN 2017.

	Costo [KUS\$]		Diferencia con vel. Original [KUS\$]	Diferencia [%]
Alternativa 1 – vel. CB 2016	Total	363.814	-	-
	Operación	159.802	-	-
	Mantención	204.012	-	-
Alternativa 1 – vel. PN 2017	Total	336.605	-27.209	-8,1%
	Operación	146.096	-13.706	-9,4%
	Mantención	190.508	-13.504	-7,1%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se desprende de la tabla anterior que el cambio de parámetros da un ahorro en costos de operación para un mismo diseño, siendo en este caso cercano a los 27 [MUS\$]. El mayor porcentaje de ahorros se da para la operación, y esto se debe a que donde más influye el horómetro del camión es en los servicios Marc y el consumo de combustible.

4.11.3. CAPEX

Respecto a la inversión en camiones, en la Tabla 4.44 y Tabla 4.45 se observa su evolución en el tiempo así como en la Tabla 4.46 se muestra la flota total.

Tabla 4.44: Entrada de camiones alternativa 1 actualizada para velocidades de PN 2017.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Alternativa 1 - vel. CB 2016							3				3											
Alternativa 1 - vel. PN 2017							1				4											

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.45: Overhaul camiones alternativa 1 actualizada para velocidades de PN 2017.

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Alternativa 1 - vel. CB 2016													10	2	1	1	1					
Alternativa 1 - vel. PN 2017													9	1	1	2	1					

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4.46: Flota final de transporte diseño recomendado para velocidades del PN 2017.

Flota máxima de transporte	Alternativa 1 – vel. CB 2016	Alternativa 1 – vel. PN 2017
N° de camiones	22	21

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La flota total para transporte será de 21 camiones, uno menos que el último diseño evaluado con parámetros del CB 2016, lo que afectará los costos de CAPEX detallados en la tabla que sigue:

Tabla 4.47: CAPEX actualizado a velocidades PN 2017.

	Costo [KUS\$]	Diferencia con CB 2016 [KUS\$]	Diferencia [%]
Alternativa 1 – vel. CB 2016	20.578	-	-
Alternativa 1 – vel. CB 2016	15.966	-4.612	-22,4%

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se concluye de los resultados anteriores que deben estudiarse con cuidado las velocidades que se utilicen para estimar los tiempos de ciclo, dado que cualquier cambio, por pequeño que parezca puede resultar importante.

Por ejemplo, en el PN 2017-2021 se cambió la espera de descarga del camión de 1 minuto a 0 minuto, lo que llevo a reducir en 3,5% las horas totales de transporte, lo que es importante. Además, no tiene sentido no considerar al menos unos segundos para esta espera dado que en la realidad no será 0.

Tal como se dijo antes, se deben obtener datos reales del sistema de despacho mina para ser lo más certeros posible en la estimación de los resultados.

5. Conclusiones y recomendaciones

Del trabajo desarrollado a lo largo de esta memoria y en función de los objetivos expuestos al principio, las conclusiones son las siguientes:

1. Se generaron tres alternativas factibles para diseño de botaderos, obteniendo con los tres diseños mejoras respecto a los resultados del CB 2016, que era el punto de comparación para diseñar. Las principales características de estos diseños se señalan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Características alternativas diseño de botaderos.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Número de botaderos	2	2	3
Capacidad total [Mton]	950	982	873
¿Respeto el límite de propiedad?	Si	No	Si
¿Respeto el límite de línea base?	Si	Si	No
¿Utiliza el espacio autorizado para pila ROM?	Si	No	No

Fuente: Elaboración propia, 2017

Para poder generar estas alternativas fue importante la flexibilización de los límites, junto a la idea de respetarlos de forma separada en cada alternativa.

2. Al evaluar los diseños, se obtuvieron las horas y flota de transporte para todas las alternativas, las que se detallan en la Tabla 5.2 para la vida mina:

Tabla 5.2: Horas y flota de transporte alternativas diseño de botaderos.

	CB 2016	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Horas de transporte	2.190.221	2.045.678	2.089.466	2.111.650
Flota de camiones	23	22	22	23

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como se observa en la tabla, la alternativa 1 es la que presenta mayores ahorros en cuanto horas de transporte, prácticamente de un 7% en comparación al CB 2016. Por su parte, la alternativa 2 y 3 tienen una disminución de horas en un 5% y 4%, respectivamente. En relación a la flota, la alternativa 1 y 2 requieren un camión menos que el CB 2016, lo que reflejará un ahorro en el CAPEX de transporte mina.

3. Luego de evaluar técnicamente las alternativas generadas, se decide dejar fuera la alternativa 3, principalmente por las razones siguientes:
 - No respeta el límite de línea base, por lo de que si se quiere implementar se requerirían permisos adicionales a los actuales.
 - El ahorro en horas y flota de transporte está por debajo de las demás alternativas, por lo que en vista del punto anterior no es una buena opción.

4. A las alternativas 1 y 2 en función de dilucidar la opción más conveniente, se le hace un cálculo del OPEX y CAPEX para transporte mina, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.3: Resultados económicos alternativas de botaderos.

	CB 2016	Alternativa 1	Alternativa 2
OPEX transporte mina [KUS\$]	383.439	363.814	371.144
CAPEX camiones [KUS\$]	22.840	20.578	21.397

Fuente: Elaboración propia, 2017

En relación al OPEX, se ve que el ahorro es importante en relación al CB 2016, alcanzado un 10% de ahorro, lo que se debe en mayor parte a ahorro en operación de los camiones. Respecto al CAPEX, con la alternativa 1 se refleja un ahorro de 2 [MUS\$] y con la 2 un ahorro de 1,5 [MUS\$]. Lo que mayor incidencia tiene en estos resultados es el camión menos en la flota de total de transporte.

5. En función de los resultados recién expuestos se recomienda como el diseño más adecuado la alternativa 1, que se muestra en la Figura 5.1.

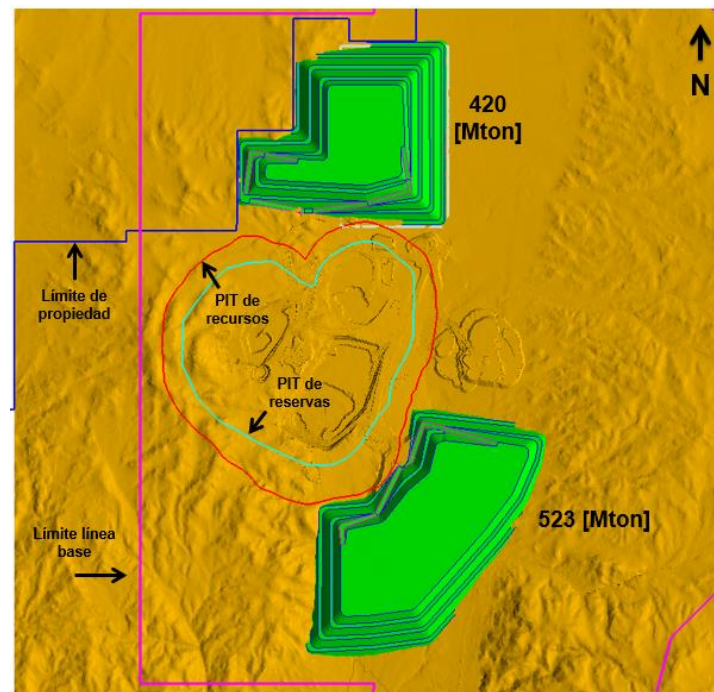


Figura 5.1: Diseño de botaderos alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Esta alternativa, además de presentar los resultados más favorables, como se muestra en los puntos anteriores, se recomienda porque su implementación no modifica prácticamente la forma en que se opera actualmente, al no requerir caminos extras.

Es importante señalar que los principales ahorros de horas, y por tanto, de costos operacionales, ocurren en el primer quinquenio. Si bien, luego hay ahorros, en estos años es donde se obtendrán los mayores beneficios.

6. Se generaron dos propuestas para stocks, en función del diseño recomendado para los botaderos, es decir, la alternativa 1. Ambas alternativas cumplen con los tonelajes requeridos para los stocks de alta y baja ley, y sus resultados en relación a las horas, flota, OPEX y CAPEX son detallados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Resultados propuestas stocks mina.

	Alternativa 1	Alternativa 1 + Stock 1	Alternativa 1 + Stock 2
Horas de transporte	2.046.176	2.088.064	2.095.953
Flota total	22	22	22
OPEX transporte mina [KUS\$]	363.814	367.618	369.369
CAPEX camiones [KUS\$]	20.578	20.890	20.946

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como era de esperar, las horas de transporte aumentan, lo que ocurre porque en el diseño original se tomaba un punto medio de los botaderos actuales como llegada fija porque los diseños que se manejan se encuentran copados. El aumento en horas no presenta gran diferencia entre propuestas, siendo levemente menor para la propuesta 1. Ambas mantienen la flota de transporte, por lo que no requiere una inversión en camiones.

El OPEX y CAPEX de transporte mina no varía de forma considerable, considerando las proporciones, y tampoco existe una diferencia considerable entre propuestas.

En vista de los resultados, se recomienda estudiar de forma más profunda la propuesta 1, que se observa en la Figura 5.2, ya que al contar con un tercer stock podría aportar a tener menor interferencia en la operación. Además, no sería necesario modificar el botadero sur en vista de la cercanía que tiene la segunda propuesta al botadero sur.



Figura 5.2: Propuestas para stocks.
Fuente: Elaboración propia, 2017

7. Como último punto a evaluar, se realiza una sensibilización de los resultados, modificando las velocidades de los camiones y el tiempo de espera de descarga, de los utilizados en el CB 2016 a los del PN 2017-2021. Estas velocidades, se cambian para saber cómo se modifican los resultados de la alternativa 1, los que se ven en la tabla siguiente:

Tabla 5.5: Resultados sensibilización de parámetros de velocidad y maniobra de camiones.

	Alternativa 1 – vel. CB 2016	Alternativa 1 – vel. PN 2017-2021
Horas de transporte	2.046.179	1.879.707
Flota de camiones	22	21
OPEX transporte mina [KUS\$]	363.814	336.605
CAPEX camiones [KUS\$]	20.578	15.966

Fuente: Elaboración propia, 2017

Los resultados arrojan que al modificar las velocidades y la espera de descarga se produce un cambio de horas importante para un mismo diseño, siendo la primera modificación la más importante. Se rebajan en un 9% los costos de operación sólo cambiando ese parámetro y el ahorro en un camión para la flota se refleja en un ahorro de 5 [MUS\$]. Por lo anterior, es importante determinar cuáles son las velocidades correctas para realizar el Caso Base, y eso se puede lograr con las velocidades reales de los camiones una vez que estos lleven un tiempo considerable en la operación.

8. Para trabajos futuros del se recomienda incorporar los equipos de carguío como variable a modificar dado que para este caso se mantuvieron fijos. Esto es, incorporar a las variables horas y costos los equipos de carguío, para de esta manera saber si una menor o mayor flota de carguío entrega mejores resultados que los que se tiene actualmente.

9. Se ve a lo largo de la investigación que se cumplieron los objetivos planteados al inicio de esta y se entregaron a minera Antucoya las recomendaciones para la modificación de los diseños de los botaderos.

6. Glosario

Superintendencia de P&D: “Superintendencia de Planificación y Desarrollo”. Área en dónde se desarrolló la memoria de título.

LOM: “Life of mine”. Años de operación de la mina.

ROM: “Run of mine”. Mineral en bruto de la mina. Para esta memoria se utiliza en el contexto de lixiviación en pila en estática de mineral depositado directamente desde la mina.

CB: “Caso Base”. Estimación de recursos, producción y económica de la minera para el LOM.

PN: “Plan de Negocios”. Estimación de recursos, producción y económica de la minera para el quinquenio.

EIA: “Estudio de Impacto Ambiental”. Es un documento que describe detalladamente las características de un proyecto o actividad a realizarse o modificarse. En este, se deben proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación, e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

Sernageomin: “Servicio Nacional de Geología y Minería”. Organismo técnico a cargo de generar y disponer de información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional, para el bienestar de la ciudadanía y el servicio de los requerimientos del país, y de regular y fiscalizar el cumplimiento de estándares y normativas en materia de seguridad y propiedad minera, para contribuir al desarrollo de una actividad minera sustentable y socialmente responsable.

OPEX: “Operating Expenses”. Es el costo continuo para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema. Entran en este costo el mantenimiento de equipos y maquinarias, los consumos y arriendos.

CAPEX: “Capital Expenditures”. O gastos de capital, es la cantidad que se gasta para adquirir o mejorar los activos productivos, tales como equipos, medios de transporte, maquinaria e instalaciones.

Contrato MARC: “Maintenance and Repair Contract”. Consiste en un servicio de mantenimiento y reparación integral. Este servicio incluye repuestos, mano de obra, reparación de componentes y todo el equipo necesario para respaldar el servicio.

7. Bibliografía

- SUPERINTENDENCIA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. [2016]. Plan Minero CB 2016. [planilla Excel].
- SUPERINTENDENCIA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. [2016]. Plan Minero CB 2016. [planilla Excel].
- SUPERINTENDENCIA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. [2016]. Plan de producción Caso Base 2016. [diapositiva] . p52.
- SUPERINTENDENCIA DE GEOTÉCNICA, MINERA ANTUCOYA. 2016. Bases de diseño geotécnico Antucoya, Caso Base 2016. Antofagasta. 34p.
- DISEÑO Y OPERACIONES de minas a cielo abierto. Por Alejandro Vásquez “et al”. pp.110-125.
- KOMATSU. 2009. Specifications & Application Handbook. 30th ed. Japón. 4A-41p.
- MEDINA M., F.A. 2015. Estudio técnico – económico en diseño, ubicación de botaderos y acopio de mineral, proyecto desarrollo minera Centinela. Memoria de Ingeniero Civil en Minas. Santiago, Universidad de Santiago, Facultad de Ingeniería.

8. Anexos

8.1. Minehaul

Minehaul es un software de planificación minera, que basado en un plan minero y con todos los elementos de la mina, **optimiza los tiempos de ciclo de transporte** en base a rutas entregadas,

El programa, para comenzar, requiere de un plan minero. Este plan debe contener el calendario, el tipo de materiales, las minas y fases. Estas últimas se cargan de forma gráfica, dado que el programa va utilizando su avance para que el usuario cree las rutas por períodos.

Se carga además la topografía de la mina y los destinos del material, tales como planta, stocks y botaderos. Estos últimos, se diseñan y cargan gráficamente al programa, para luego trazan los caminos. Además, se entregan los parámetros de transporte y carguío para ser utilizados en la optimización.

Los resultados que se obtienen del software son:

- Distancias medias de transporte, divididas en subida, bajada y horizontal por períodos.
- El tiempo medio de ciclo dividido en subida, bajada y horizontal por períodos.
- El costo de transporte por período.
- El número de camiones necesarios por períodos para cumplir el plan minero.
- El gasto por kilómetro de petróleo por periodo.

Es importante tener en cuenta que este software no considera demoras en sus parámetros de cálculo, tales como congestión o tiempo de espera en colas.

8.2. Fases

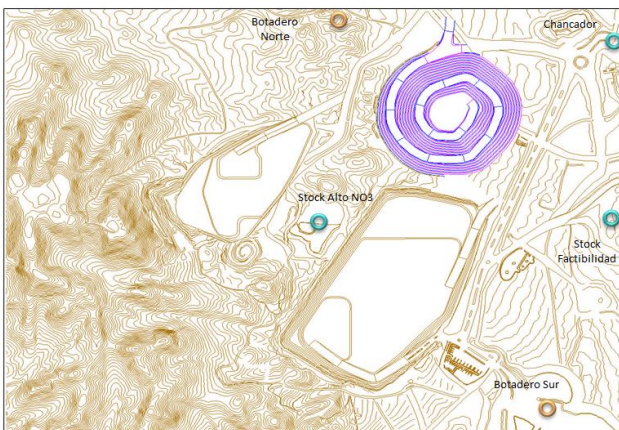


Figura 8.1: Fase 1.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

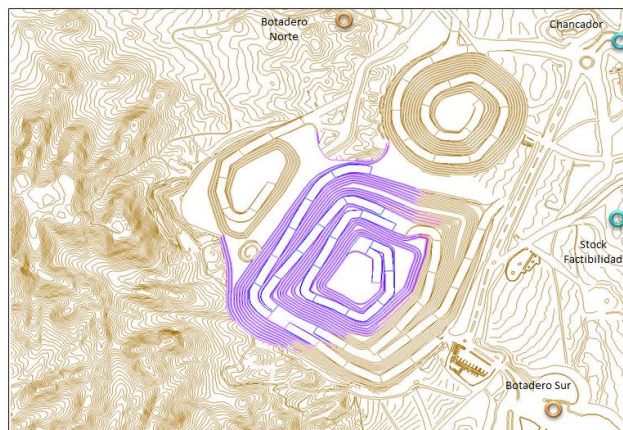


Figura 8.4: Fase 4.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.



Figura 8.2: Fase 2.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

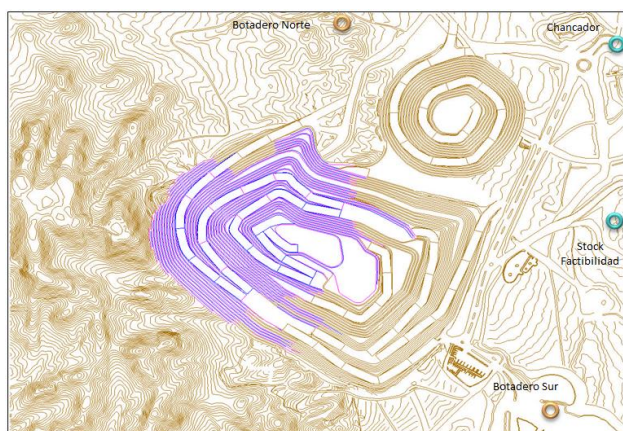


Figura 8.5: Fase 5.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

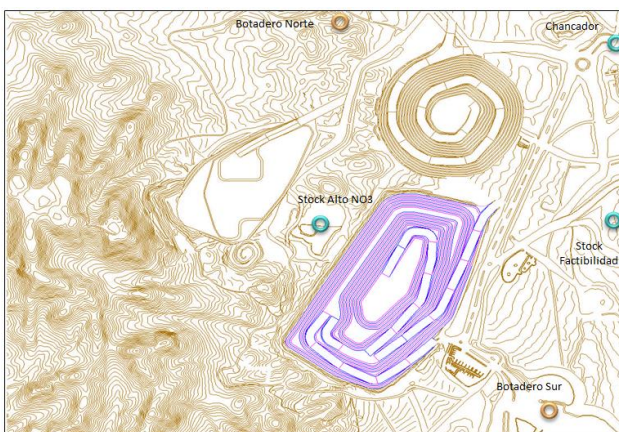


Figura 8.3: Fase 3.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

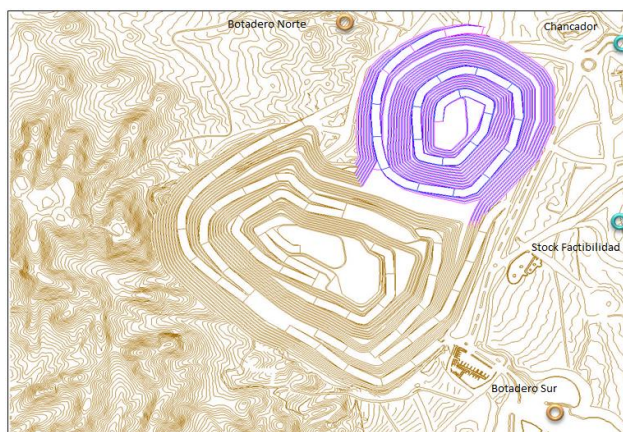


Figura 8.6: Fase 6.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.



Figura 8.7: Fase 7.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

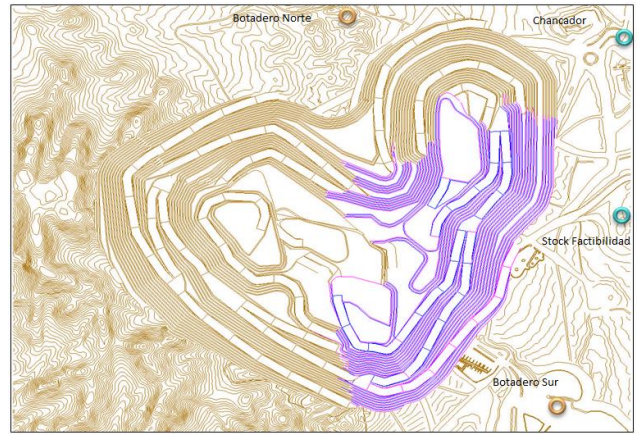


Figura 8.9: Fase 9.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

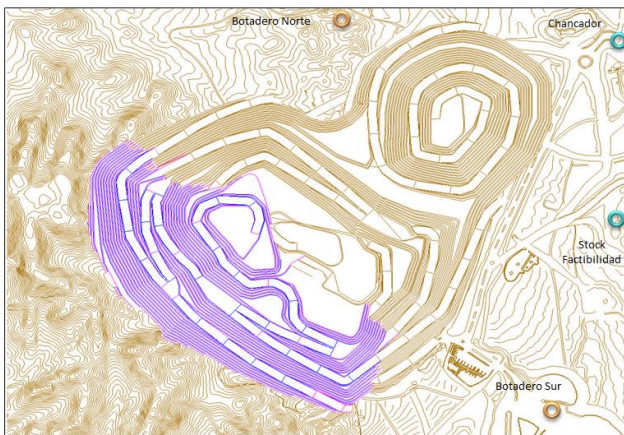


Figura 8.8: Fase 8.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016

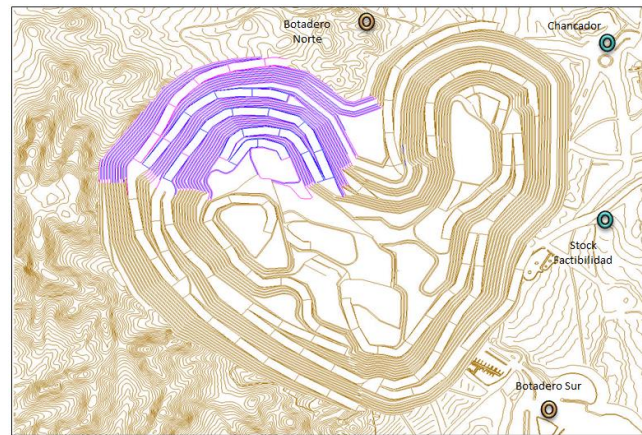


Figura 8.10: Fase 10.

Fuente: Superintendencia de P&D, Minera Antucoya. 2016.

8.3. Características camión Komatsu K930E-4

El camión Komatsu es un equipo rígido del tipo eléctrico. Tiene una capacidad nominal de 171 [m³]

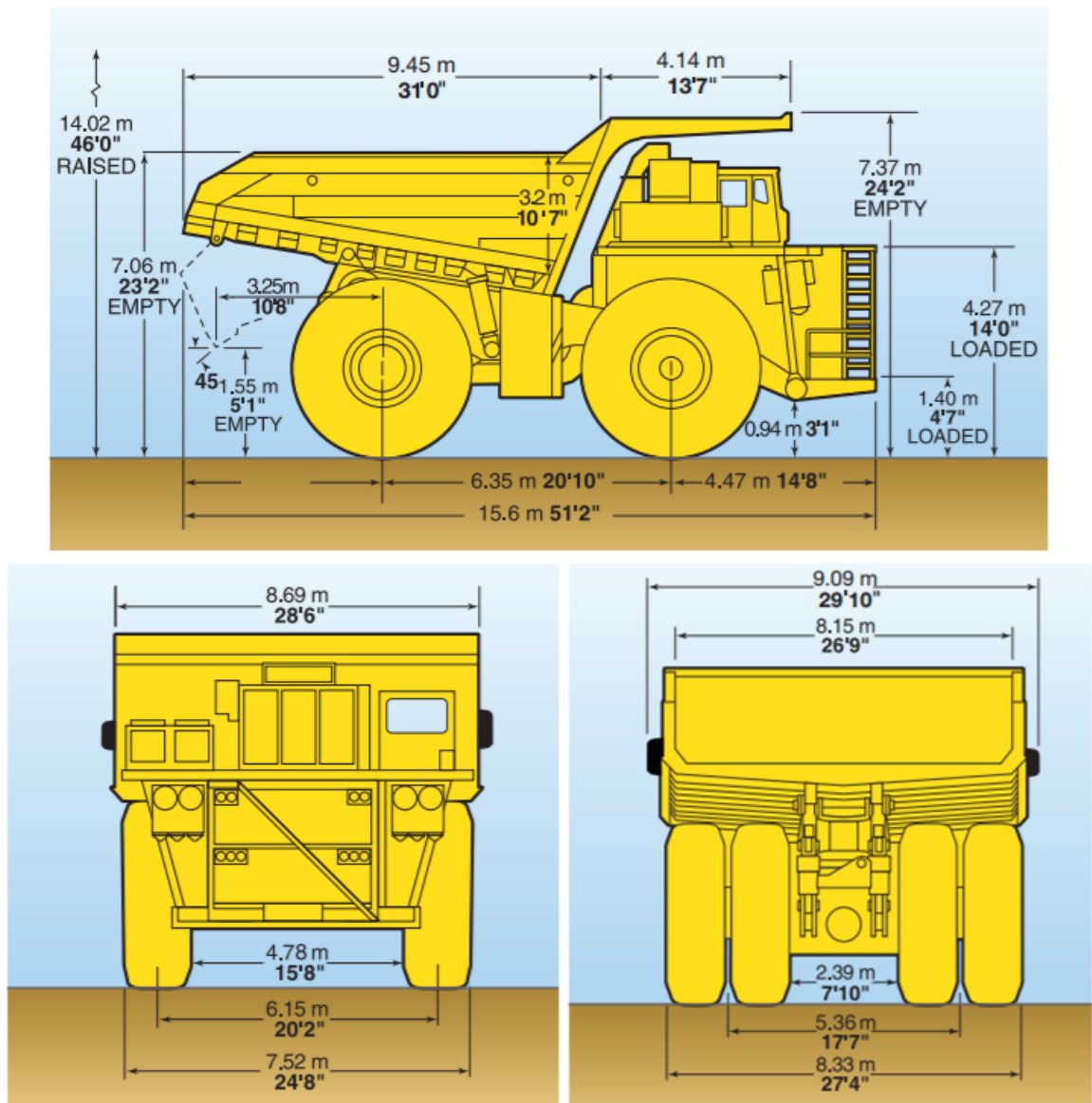


Figura 8.11: Medidas camión K930-E.

Fuente: Komatsu, 2009, p.4.

En la Figura 1.1 se muestran las curvas de Rimpull para el camión Komatsu utilizado en Antucoya.

Travel performance

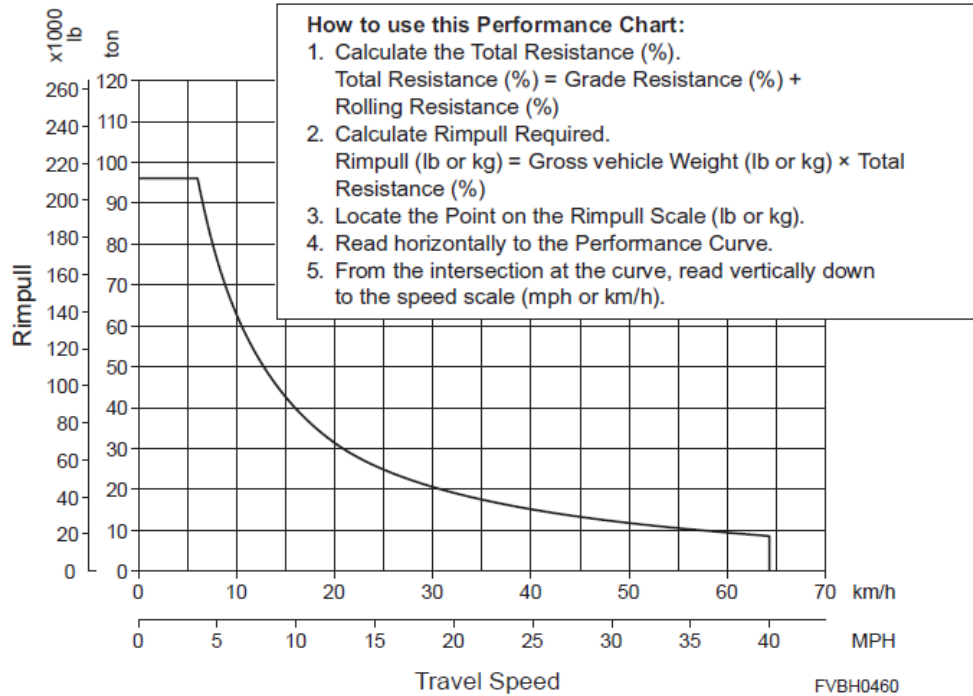


Figura 8.12: Curvas de rimpull para K930E-4, subiendo.

Brake performance

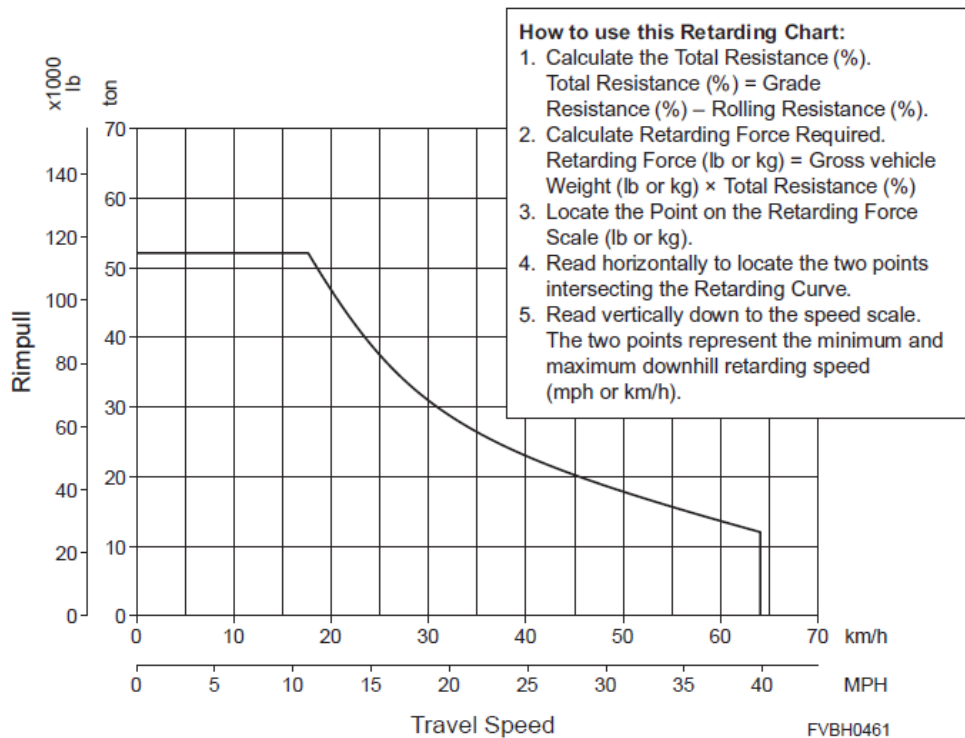


Figura 8.13: Curvas de rimpull para K930E-4, bajando.

8.4. Definición de pendiente

En contexto del CB 2016 se definió que la rampa óptima para los camiones K930E-4 es de 10% de pendiente, lo que se quiso corroborar para este trabajo antes de comenzar a diseñar.

Para realizar este ejercicio, se considera el botadero sur del CB 2016, que está diseñada a un 8%, y se modifica en su rampa a pendientes desde 5% a 10%. Luego, cada torta del botadero se divide en tres secciones, donde se fija un punto de llegada y se traza el camino desde la base del botadero hasta cada punto, tal como se gráfica en la Figura 8.14.

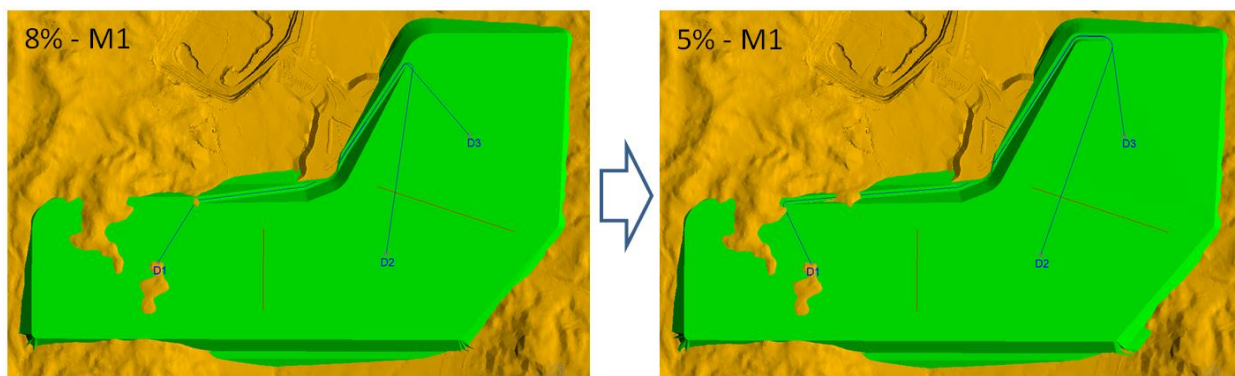


Figura 8.14: Botadero sur CB 2016 y modificado al 5%, módulo 1.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Con los caminos ya trazados, se calculan las distancias y tiempos de transporte desde el punto inferior de la ruta hasta cada punto de llegada. Para este cálculo, se utilizan las velocidades recomendadas por el fabricante según pendiente. Estas velocidades se obtienen de las curvas de Rimpull de Komatsu (Anexo 8.3) que se resumen en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1: Velocidades recomendadas por el fabricante K930-E.

Pendiente	Cargado, peso 502 [kton]			Vacío, peso 210 [kton]		
	Rimpull	Vel. Subida (km/hr)	Vel. Bajada (km/hr)	Rimpull	Vel. Subida (km/hr)	Vel. Bajada (km/hr)
5%	25,1	25,0	37,0	10,5	55,0	64,5
6%	30,1	20,8	30,5	12,6	50,0	64,5
7%	35,1	18,0	27,0	14,7	41,0	57,5
8%	40,2	15,5	23,0	16,8	37,0	52,5
9%	45,2	14,0	21,0	18,9	32,0	48,0
10%	50,2	12,5	18,0	21,0	30,0	43,5

Fuente: Komatsu, manual de equipos, 2009, p.675.

Si bien el fabricante recomienda las velocidades anteriores, se debe considerar que minera Antucoya tiene una restricción de velocidad de 50 [km/h]. A raíz de esto, todas las velocidades que sean mayores a 50 [km/hr] se restringen a esta velocidad, por lo que las velocidades utilizadas son las de la Tabla 8.2.

Tabla 8.2: Velocidades recomendadas por el fabricante K930-E restringidas por velocidad máxima.

Pendiente	Cargado, peso 502 [kton]			Vacío, peso 210 [kton]		
	Rimpull	Vel. Subida (km/hr)	Vel. Bajada (km/hr)	Rimpull	Vel. Subida (km/hr)	Vel. Bajada (km/hr)
5%	25,1	25,0	37,0	10,5	50,0	50,0
6%	30,1	20,8	30,5	12,6	50,0	50,0
7%	35,1	18,0	27,0	14,7	41,0	50,0
8%	40,2	15,5	23,0	16,8	37,0	50,0
9%	45,2	14,0	21,0	18,9	32,0	48,0
10%	50,2	12,5	18,0	21,0	30,0	43,5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los resultados del ejercicio recién descrito se detallan en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3: Tiempos de viaje en distintas pendientes.

Tiempos de viaje ida y vuelta (min)		
Torta	Pendiente	Rimpull y velocidad máx. mina
1M	5%	5.22
	6%	5.44
	7%	5.15
	8%	5.07
	9%	4.93
	10%	5.00
2M	5%	7.92
	6%	8.71
	7%	8.59
	8%	8.33
	9%	8.01
	10%	7.88
3M	5%	8.29
	6%	9.12
	7%	9.07
	8%	9.35
	9%	8.81
	10%	8.67

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Si se analizan los tiempos de con las velocidades obtenidas de las curvas de Rimpull, se observa lo siguiente:

- Para el primer módulo el menor tiempo es para 9% seguido por 10%.
- Para el segundo, es 10% seguido de 5%.
- Para el último es 5% seguido de 10%.

En vista de lo anterior, se decide mantener la **pendiente del 10%** por las siguientes razones:

- Es una pendiente que se mantiene constante dentro de las dos primeras en las tres tortas, siendo primera una vez y segunda dos veces. Por su parte, 9% sólo sale primera una vez y 5% sale primera y segunda una vez.

- De esta manera no se modifica lo que se está utilizando actualmente, lo que se ve respaldado por el punto anterior.

8.5. Diseño de botaderos

Este anexo contiene las líneas de diseño de los botaderos para las tres alternativas. Las rampas están de color fucsia.

8.5.1. Alternativa 1

Botadero norte – Alternativa 1

En la Figura 8.15 está la vista en planta del botadero norte y en la Figura 8.16 una vista de perfil.

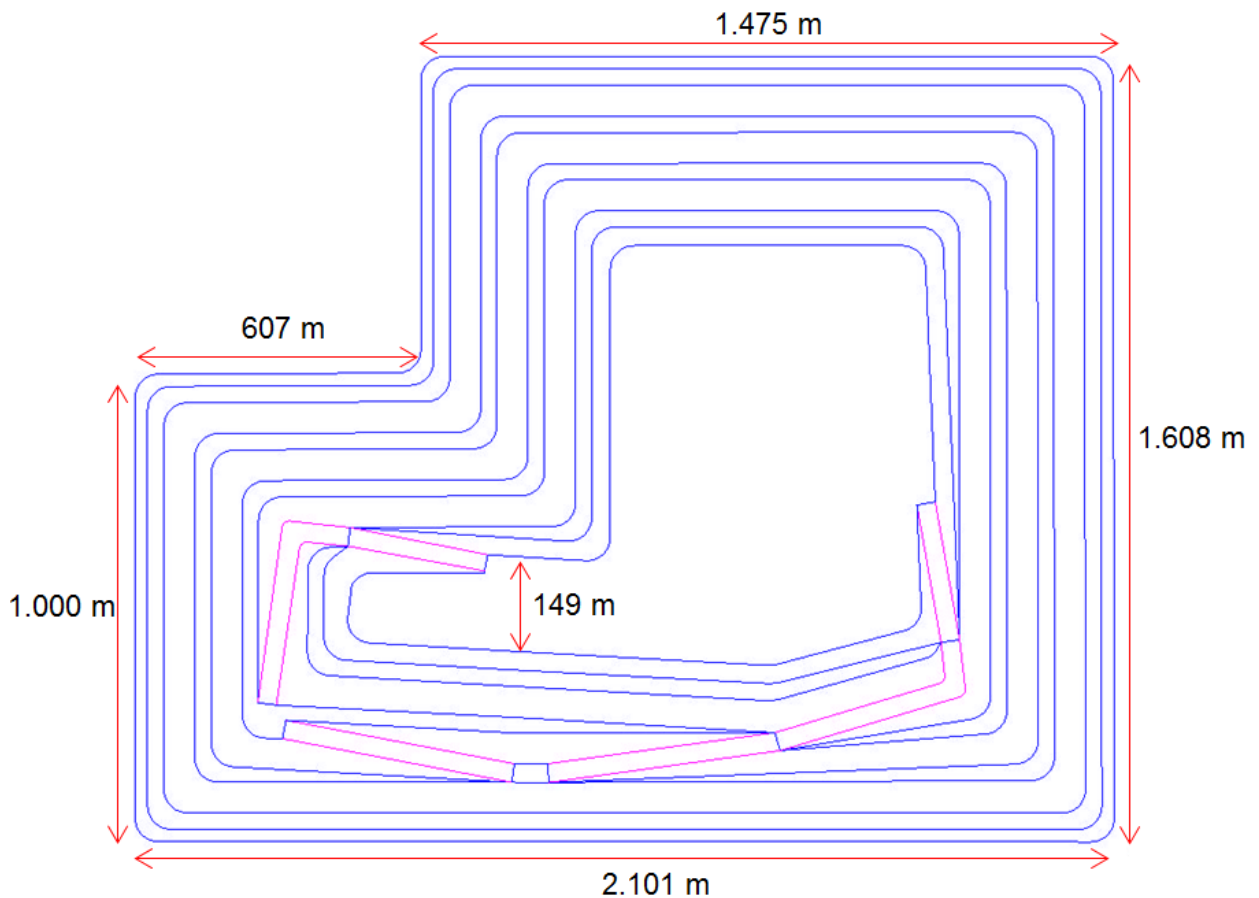


Figura 8.15: Vista en planta botadero norte alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

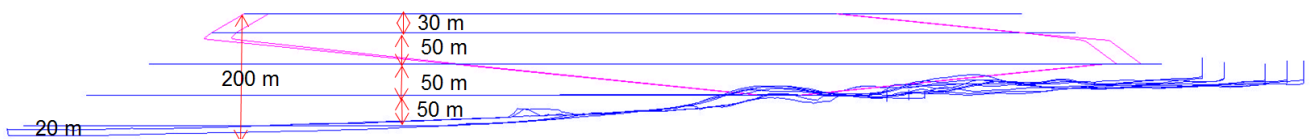


Figura 8.16: Vista de perfil botadero norte alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Botadero sur – Alternativa 1

La Figura 8.17 muestra una vista en planta del botadero sur para la alternativa 1 y la Figura 8.18 es una vista de perfil.

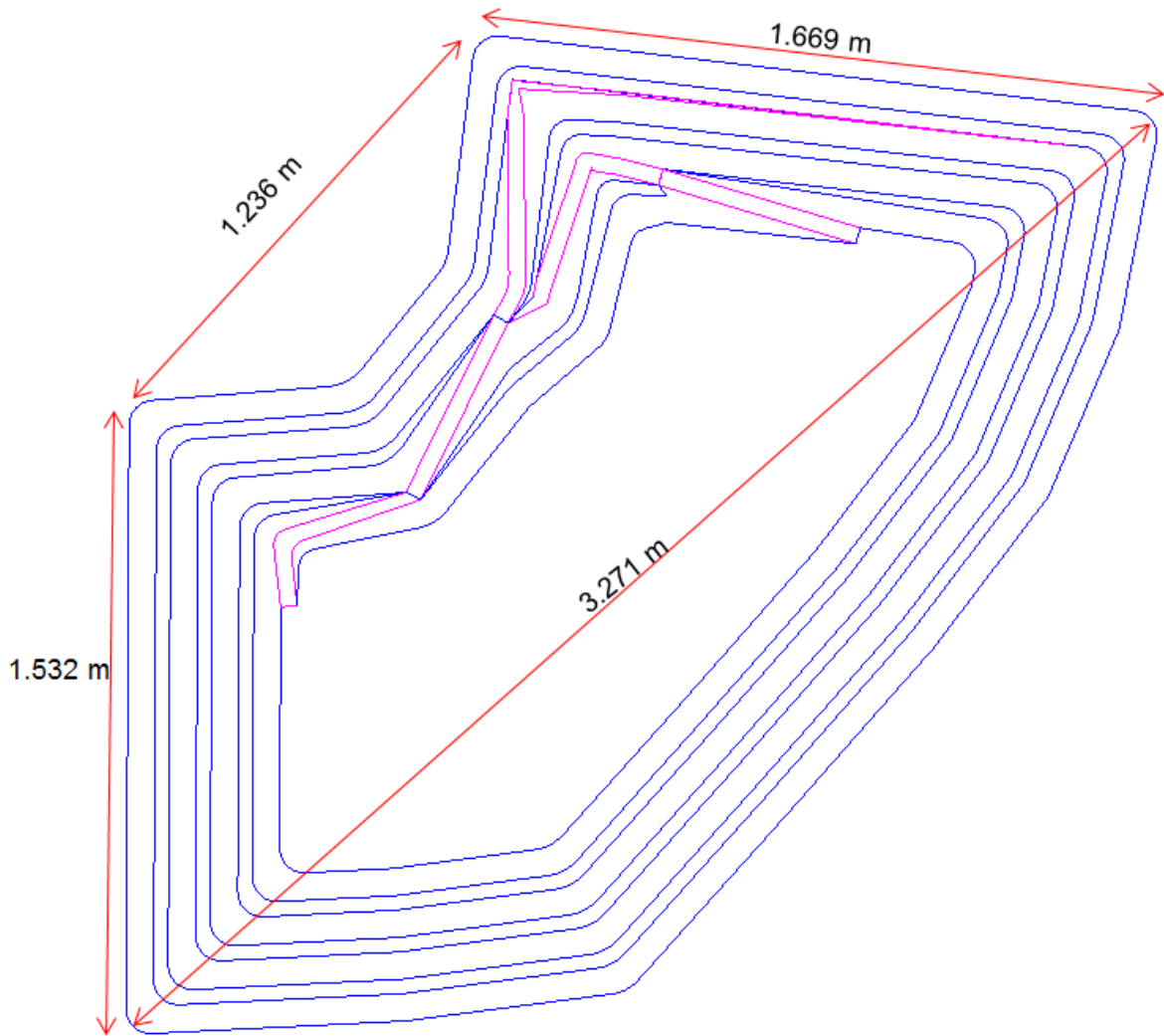


Figura 8.17: Vista en planta botadero sur alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

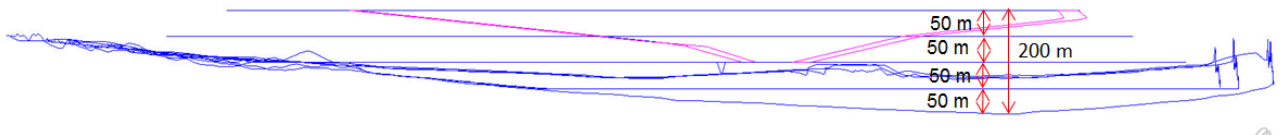


Figura 8.18: Vista de perfil botadero sur alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.5.2. Alternativa 2

Botadero norte – Alternativa 2

A continuación se muestra una vista en planta del botadero norte de la alternativa 2, en las Figura 8.19y Figura 8.20, respetivamente.

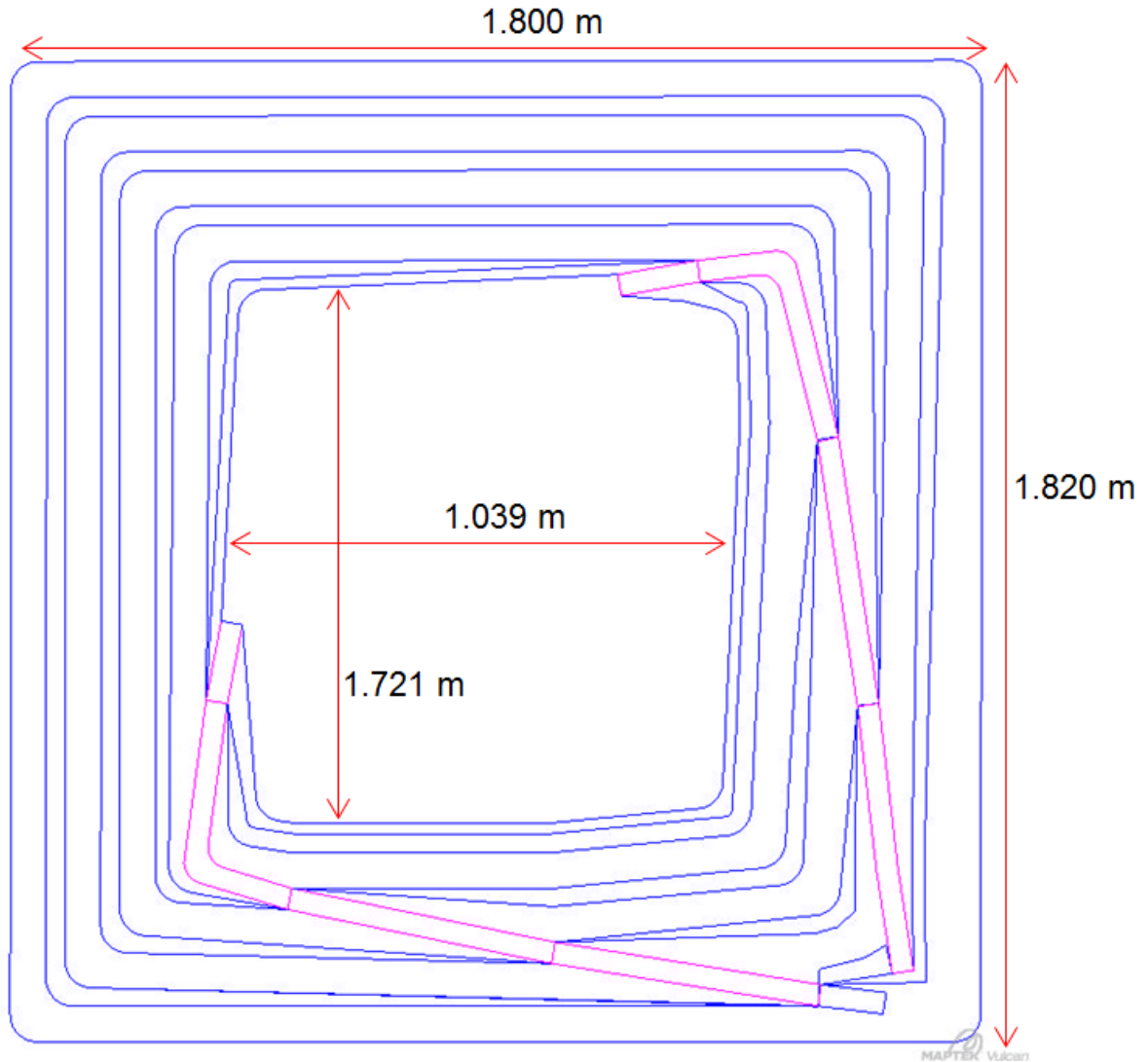


Figura 8.19: Vista en planta botadero norte alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

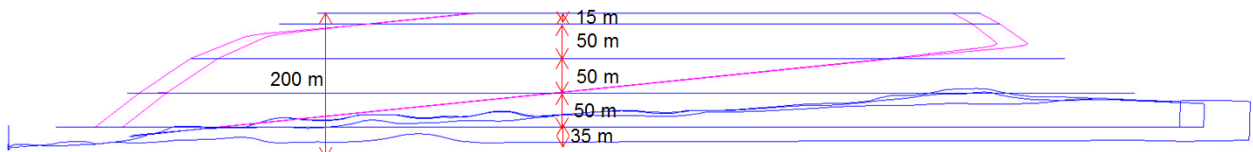


Figura 8.20: Vista de perfil botadero norte alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Botadero sur – Alternativa 2

La Figura 8.21 presenta una vista en planta y la Figura 8.22 una de perfil del botadero sur de la alternativa 2.

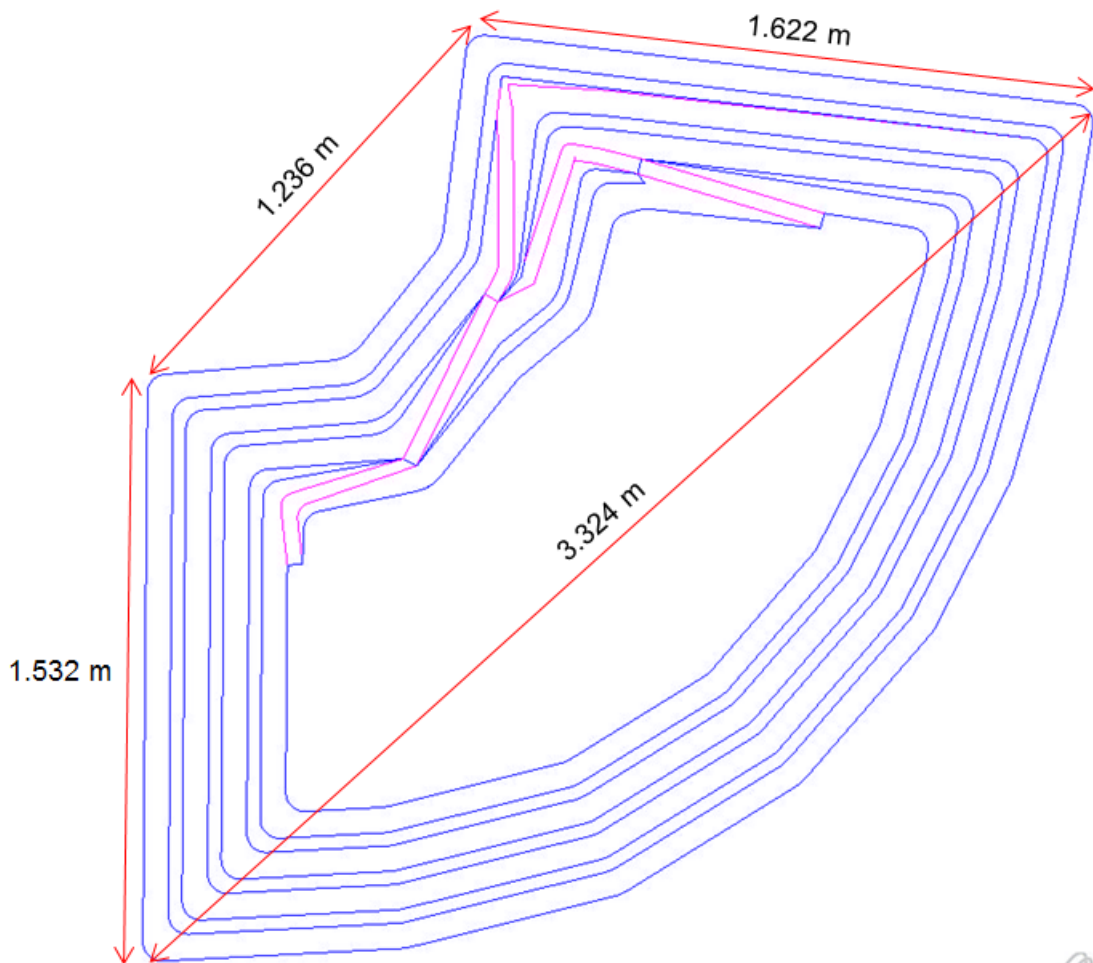


Figura 8.21: Vista en planta botadero sur alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

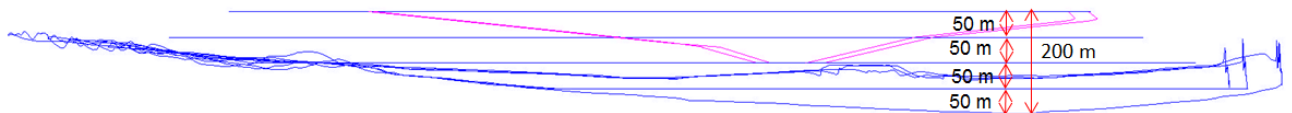


Figura 8.22: Vista de perfil botadero sur alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.5.3. Alternativa 3

Botadero norte – Alternativa 3

Las Figura 8.23 y Figura 8.24 muestran, respectivamente, una vista en planta y perfil del botadero norte para la alternativa 3.

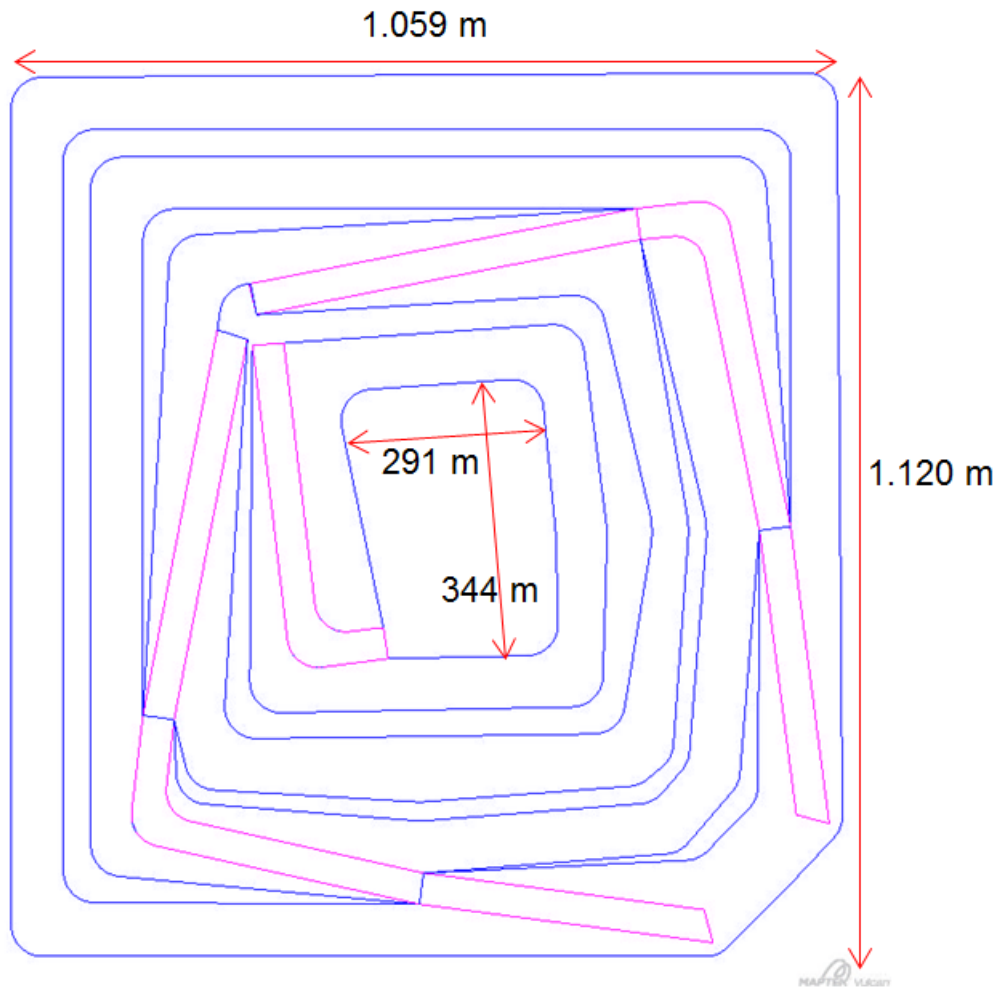


Figura 8.23: Vista en planta botadero norte alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

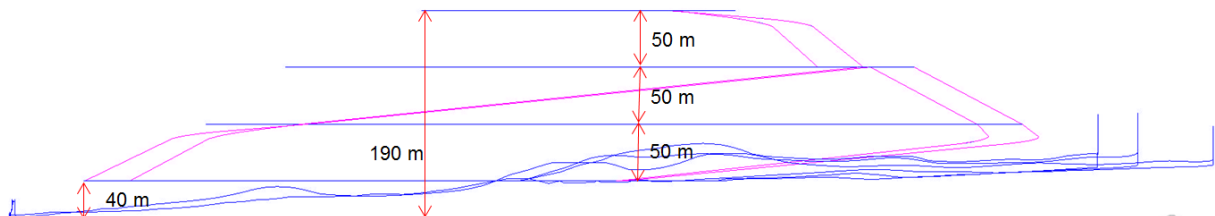


Figura 8.24: Vista en planta botadero norte alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Botadero oeste – Alternativa 3

La Figura 8.25 es una vista en planta para el botadero oeste de la tercera alternativa. Por su parte, la Figura 8.26 es una vista de perfil del mismo.

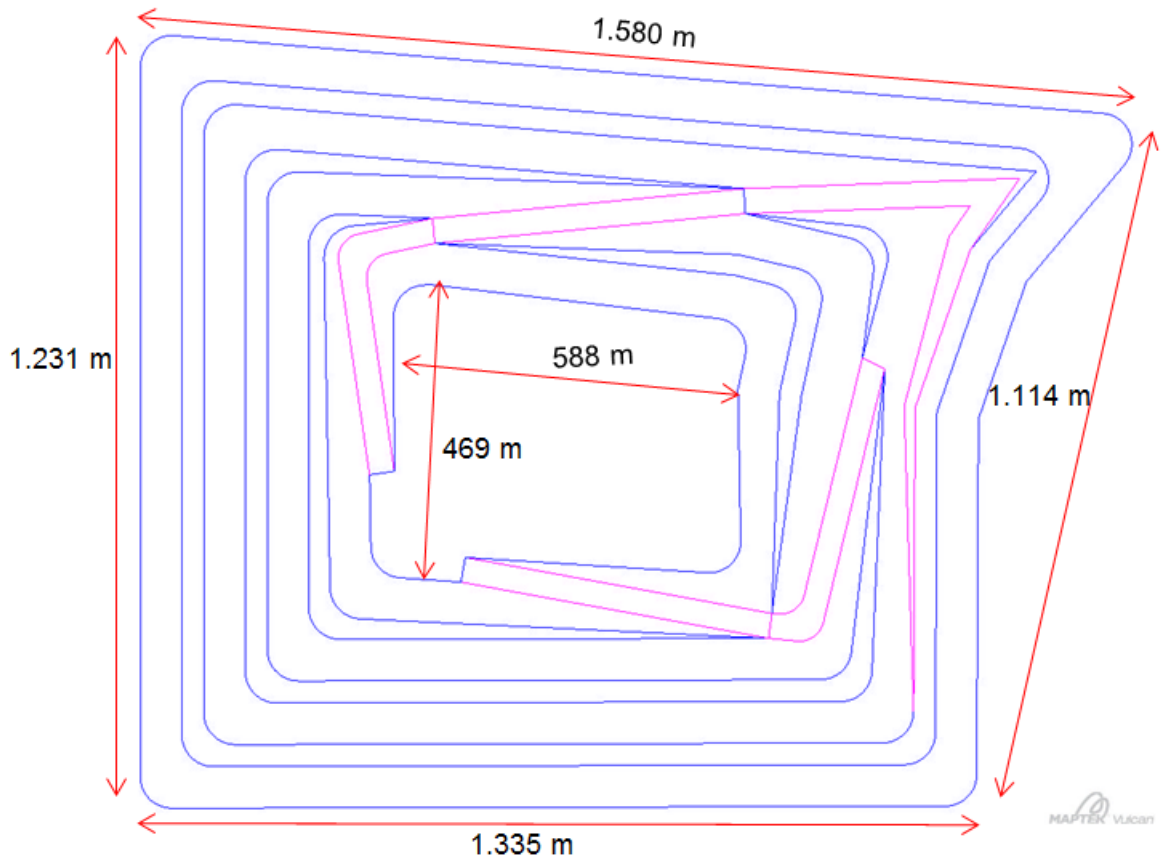


Figura 8.25: Vista en planta botadero oeste alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

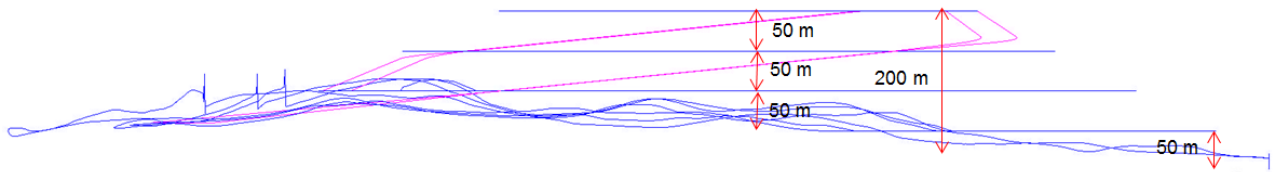


Figura 8.26: Vista de perfil botadero oeste alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Botadero sur – Alternativa 3

El botadero sur para la tercera alternativa se detalla en la Figura 8.27. Su vista de perfil está en la Figura 8.28.

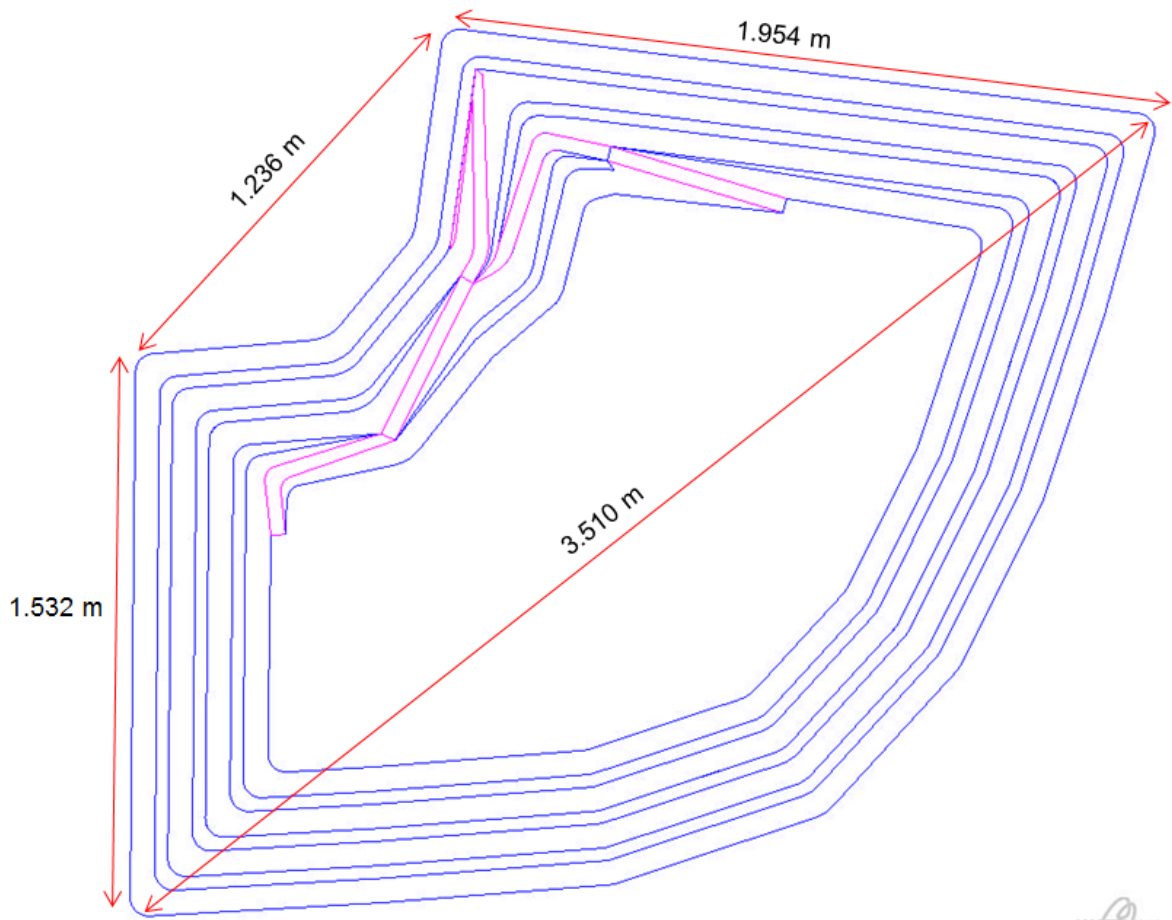


Figura 8.27: Vista en planta botadero sur alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

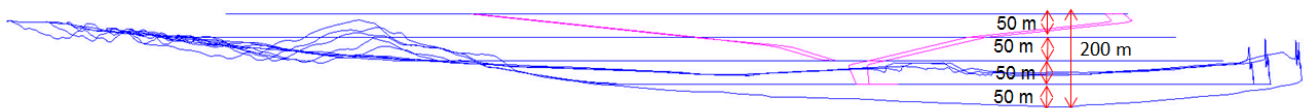


Figura 8.28: Vista de perfil botadero sur alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.6. Secuencia de llenado

En el capítulo 4.5 se muestra el llenado final de los botaderos para cada alternativa pero se consideró importante mostrar la secuencia de este llenado, lo que se muestra por alternativa en este anexo.

Las figuras que se muestran fueron tomadas desde Minehaul y se muestra por año el llenado final de los botaderos. Cada color representa una torta, tal como se muestra en la Figura 8.29.

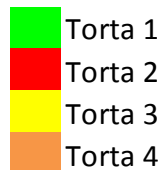


Figura 8.29: Leyenda secuencia de llenado botaderos.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.6.1. Alternativa 1

La secuencia de llenado de la alternativa 1 se muestra a continuación:

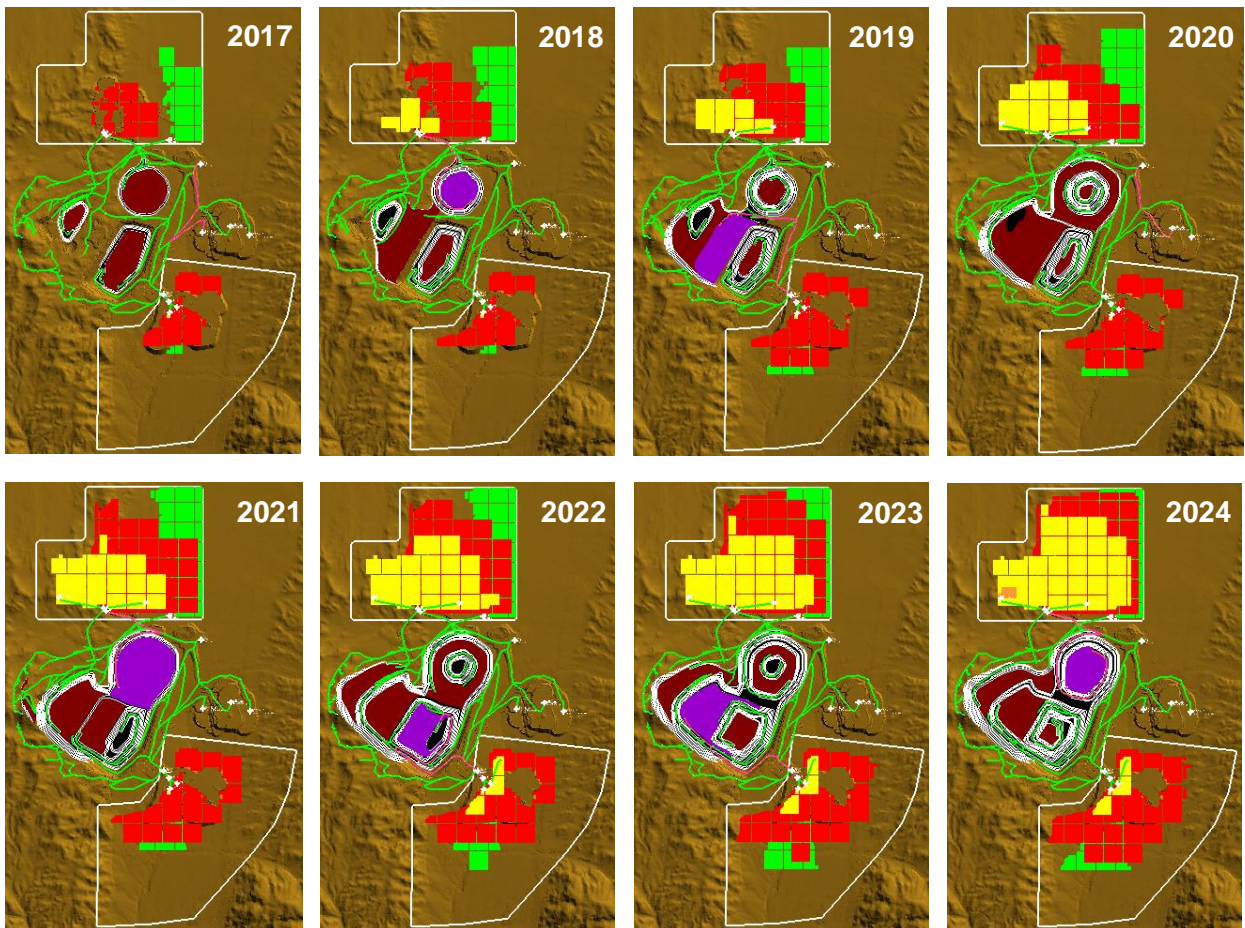


Figura 8.30: Secuencia de llenado alternativa 1 (1).
Fuente: Elaboración propia, 2017.

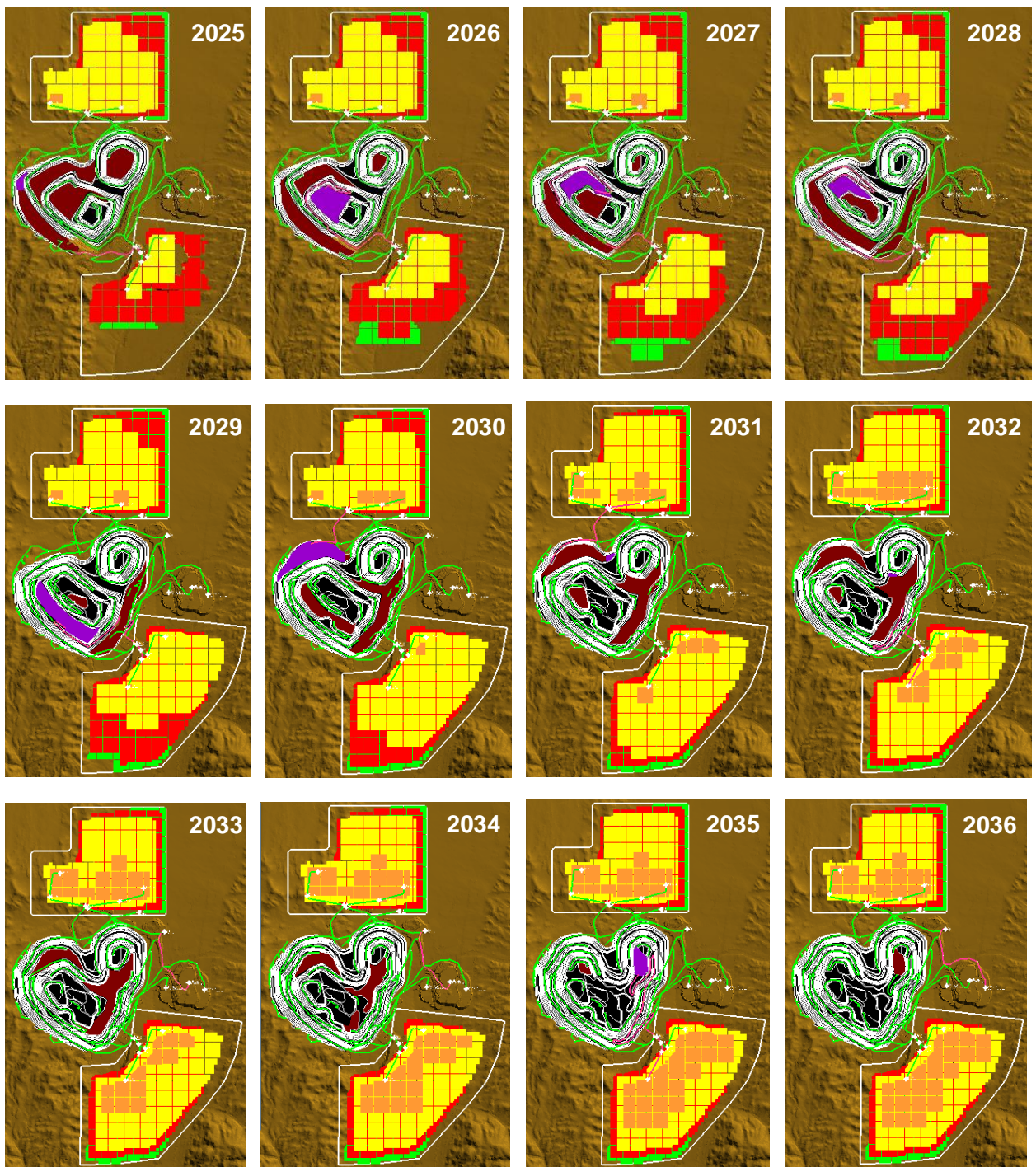


Figura 8.31: Secuencia de llenado alternativa 1 (2).
 Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.6.2. Alternativa 2

La secuencia de llenado por año de la segunda alternativa se observa a continuación:

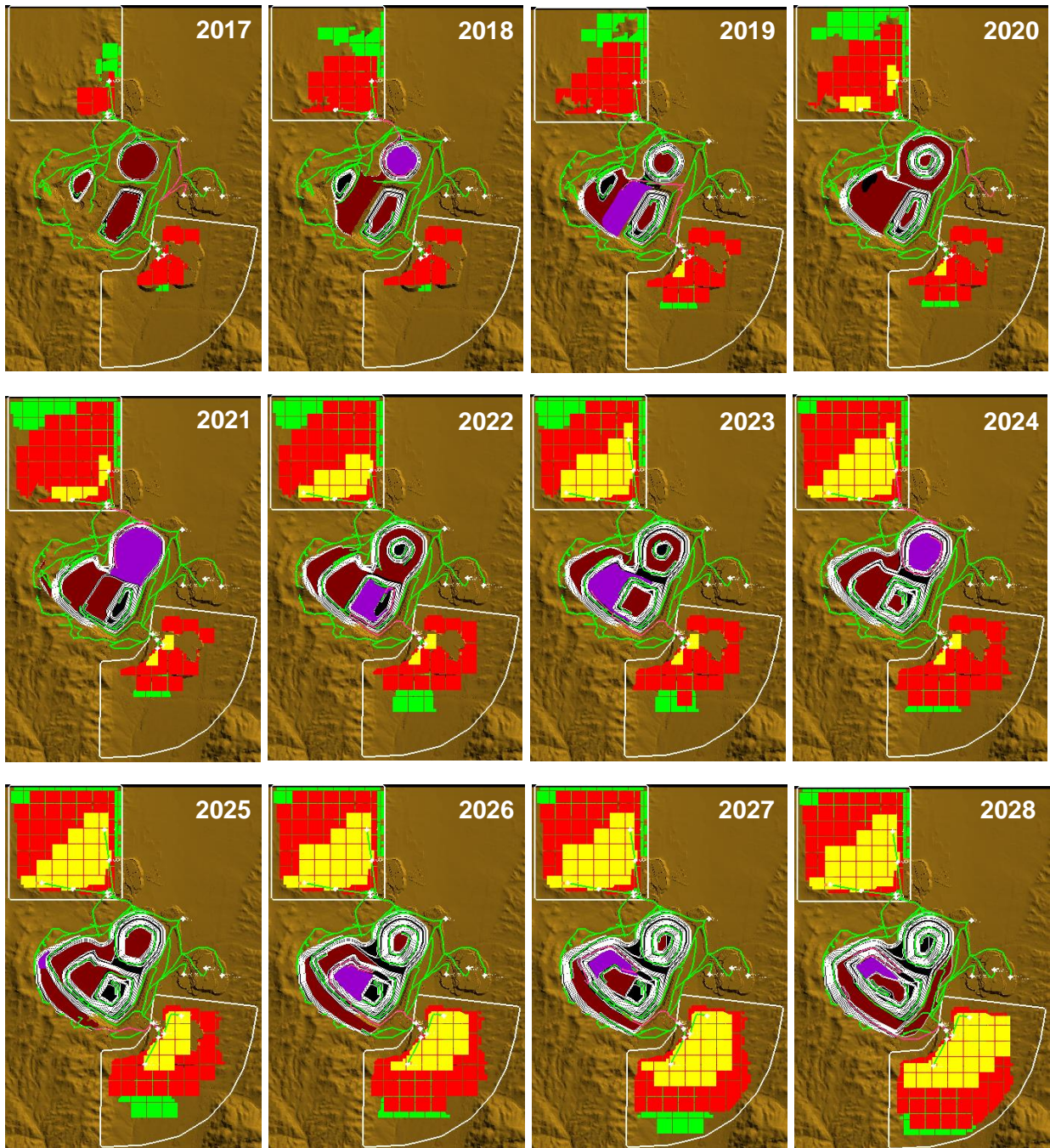


Figura 8.32: Secuencia de llenado alternativa 2 (1).
Fuente: Elaboración propia, 2017.

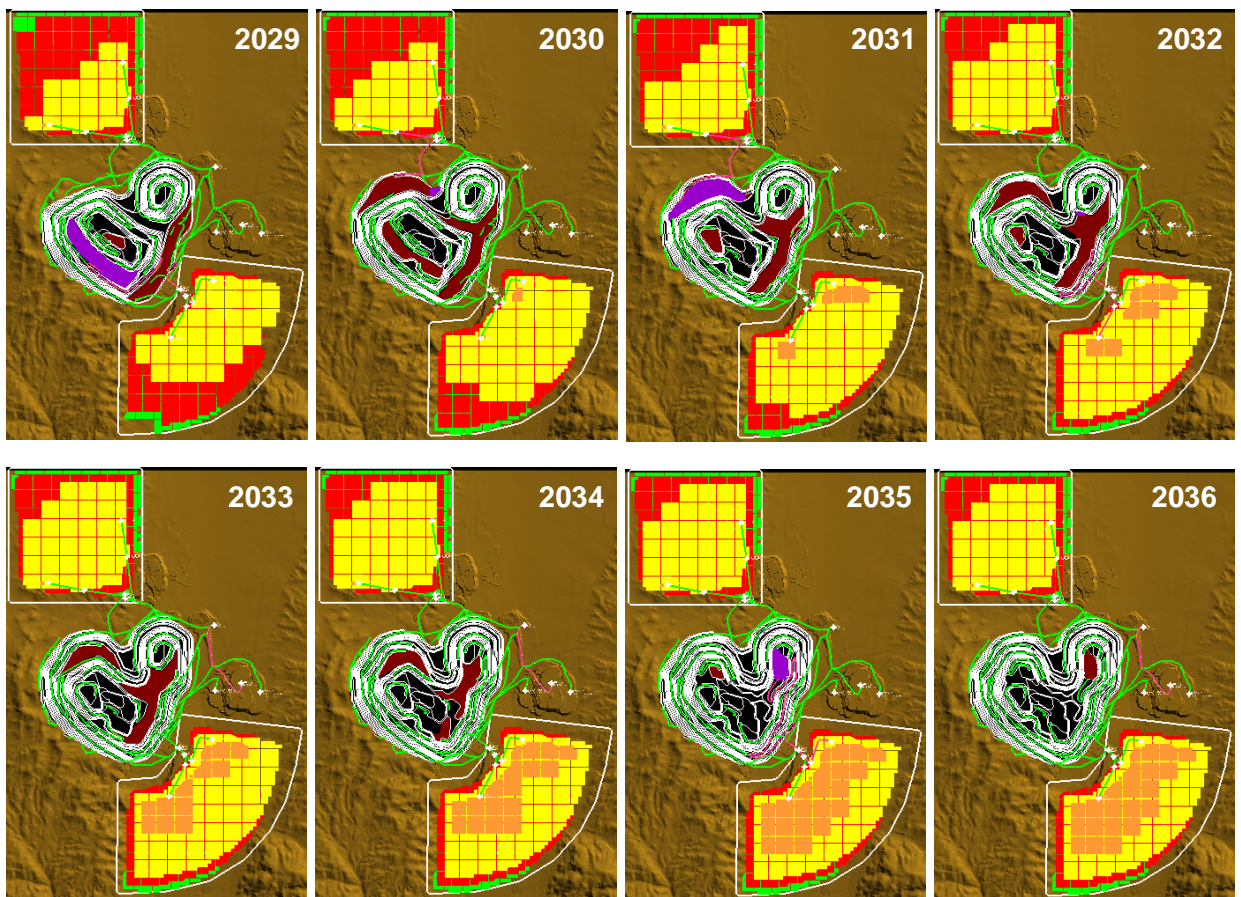


Figura 8.33: Secuencia de llenado alternativa 2 (2).
 Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.6.3. Alternativa 3

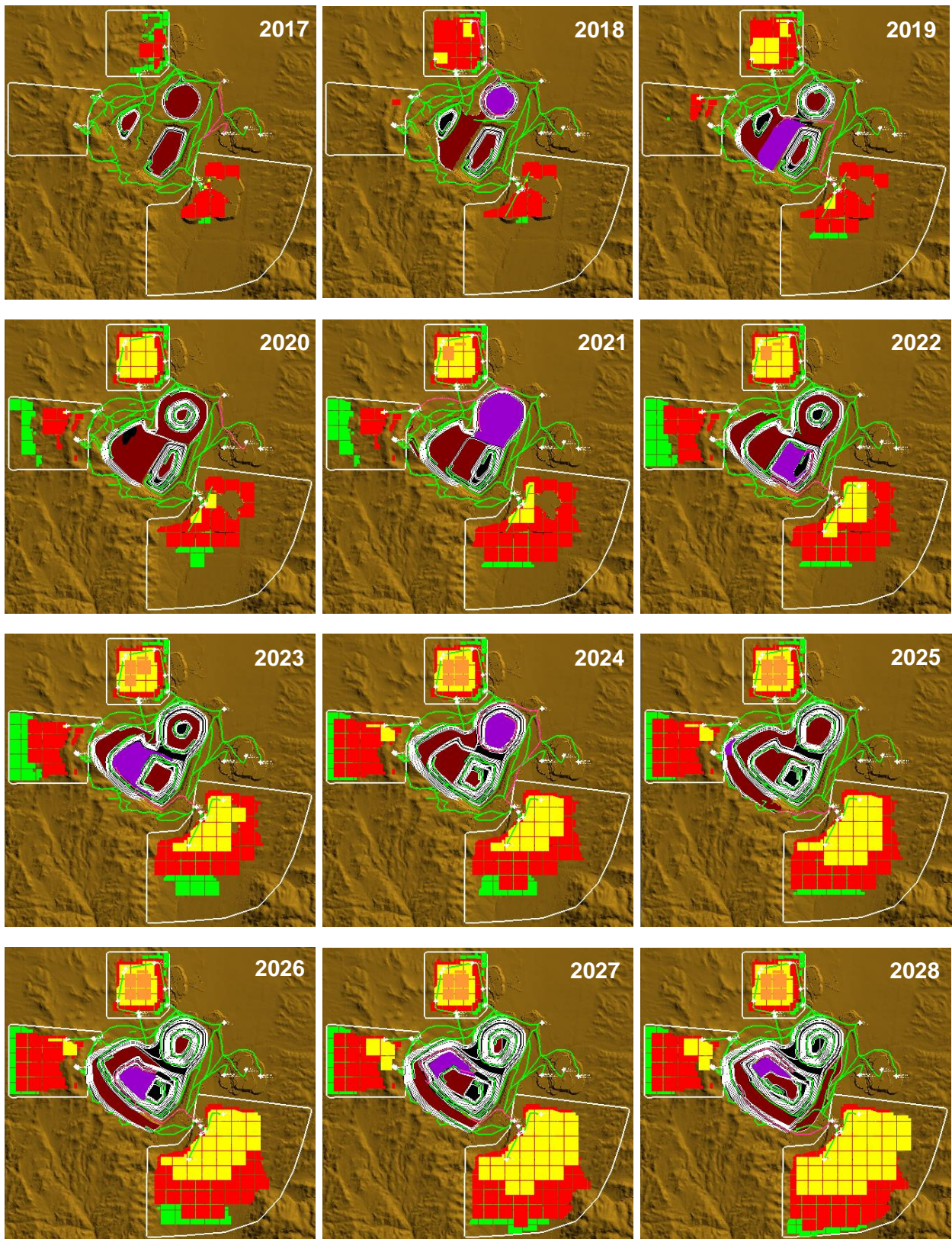


Figura 8.34: Secuencia de llenado alternativa 3 (1).
Fuente: Elaboración propia, 2017.

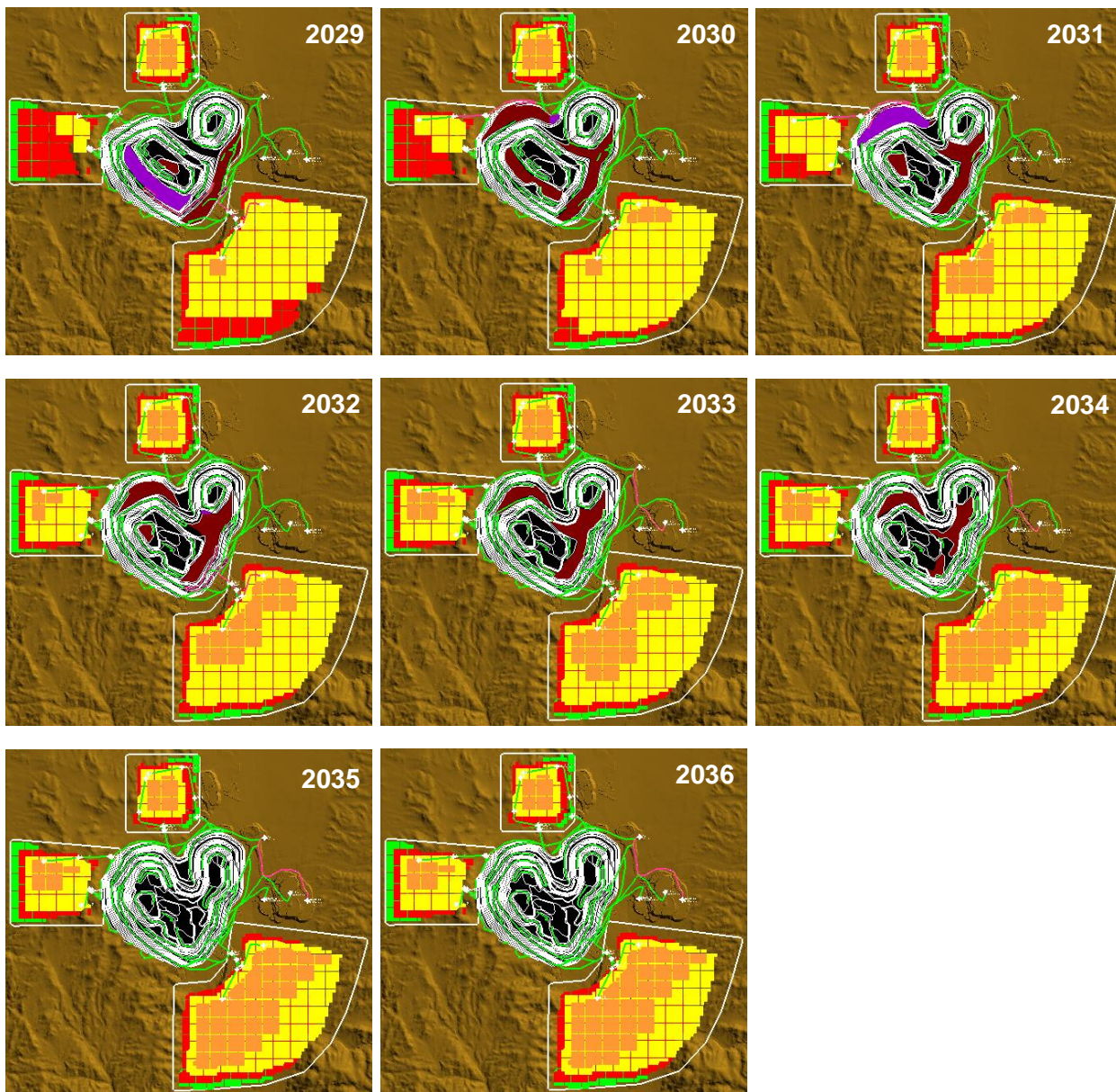


Figura 8.35: Secuencia de llenado alternativa 3 (2).
 Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.7. Horas de transporte

En la Tabla 8.4 se detallan las horas de transporte para las distintas alternativas. Marcadas se encuentran aquellas que son mayores que el CB 2016.

Tabla 8.4: Horas de transporte detalladas por alternativa.

	Alternativa 1 [hrs]	Alternativa 2 [hrs]	Alternativa 3 [hrs]
2017	60,863	62,717	62,008
2018	78,237	81,594	80,054
2019	78,602	81,387	81,180
2020	91,706	97,519	98,312
2021	96,945	103,973	109,092
2022	102,960	107,456	104,785
2023	118,295	123,014	126,360
2024	114,380	117,961	118,683
2025	112,567	113,746	114,497
2026	114,332	114,730	117,041
2027	138,110	138,483	141,538
2028	137,766	137,995	140,237
2029	121,247	121,512	124,281
2030	108,760	110,538	110,857
2031	118,604	120,511	121,964
2032	93,463	95,420	96,786
2033	97,364	98,708	100,574
2034	108,783	108,959	109,856
2035	103,908	104,050	104,591
2036	23,786	23,961	23,881
2037	19,387	19,569	19,444
2038	5,612	5,664	5,628
	2,045,678	2,089,466	2,111,650

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se detallan en las tablas siguientes las distancias de transporte promedio anuales con que se calcularon las horas de transporte. Estas corresponden a la distancia promedio ponderada de un viaje (solo ida).

Tabla 8.5: Distancia de transporte alternativa 1.

	Subida [m]	Bajada [m]	Plano [m]	Total [m]
2017	761	160	1311	2232
2018	1064	105	1313	2482
2019	775	190	1744	2709
2020	1128	232	1645	3005
2021	1116	205	1640	2961
2022	1299	200	1709	3208
2023	1772	118	1747	3637
2024	1741	171	1779	3691
2025	1518	459	1455	3432
2026	1495	304	1718	3517
2027	1977	343	1843	4163

2028	2020	254	2177	4451
2029	1845	115	1682	3642
2030	1567	85	1608	3260
2031	2073	72	1450	3595
2032	1901	142	1112	3155
2033	2304	136	1074	3514
2034	2753	195	1216	4164
2035	3056	308	1211	4575
2036	459	342	1062	1863
2037	172	364	1050	1586
2038	172	364	1050	1586

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 8.6: Distancias de transporte alternativa 2.

	Subida [m]	Bajada [m]	Plano [m]	Total [m]
2017	893	151	1187	2231
2018	1197	104	1256	2557
2019	787	199	1885	2871
2020	1275	238	1689	3202
2021	1281	204	1711	3196
2022	1489	206	1571	3266
2023	2030	121	1484	3635
2024	1800	231	1794	3825
2025	1565	464	1422	3451
2026	1509	306	1710	3525
2027	1980	348	1849	4177
2028	2057	280	2079	4416
2029	1837	116	1712	3665
2030	1616	88	1606	3310
2031	2130	76	1442	3648
2032	1876	146	1295	3317
2033	2294	159	1167	3620
2034	2755	198	1223	4176
2035	3060	309	1215	4584
2036	476	358	1033	1867
2037	190	383	1016	1589
2038	190	383	1016	1589

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 8.7: Distancias de transporte alternativa 3.

	Subida [m]	Bajada [m]	Plano [m]	Total [m]
2017	893	149	1133	2175
2018	1236	101	1078	2415
2019	886	190	1679	2755
2020	1203	283	1835	3321
2021	1114	356	2145	3615
2022	1406	198	1597	3201
2023	1898	209	1834	3941

2024	1914	202	1641	3757
2025	1470	461	1667	3598
2026	1458	314	1941	3713
2027	1964	338	2070	4372
2028	2105	258	2143	4506
2029	1924	117	1691	3732
2030	1746	63	1388	3197
2031	2324	66	1142	3532
2032	2039	136	1068	3243
2033	2414	151	1071	3636
2034	2756	196	1294	4246
2035	3039	307	1311	4657
2036	463	344	1067	1874
2037	175	367	1049	1591
2038	175	367	1049	1591

Fuente: Elaboración propia, 2017.

8.8. Sensibilización de velocidades

Tal como se mencionó en el capítulo 4.11, los resultados de tiempo se sensibilizaron modificando sus velocidades a las utilizadas en el PN 2017-2021. Al ser éstas considerablemente diferentes a las del CB 2016, se quiso saber cuáles son las velocidades reales a las que trabajan los camiones en la operación.

Para saber las velocidades reales, se obtuvieron los datos del despacho mina para el tiempo en que los Komatsu 930E-4 han estado en operación, que es de enero a marzo del 2017. Las velocidades por pendiente y carga son las mostradas en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8: Velocidades promedio camiones enero-marzo 2017.

Velocidades promedio Enero – Marzo 2017			
Velocidad [km/hr]	Subiendo	Horizontal	Bajando
Cargado	14,1	32,5	27,0
Vacío	27,5	36,9	30,9

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para poder hacer la comparación, en las dos tablas que siguen se detallan tanto las velocidades del CB 2016 y las del PN 2017-2021.

Tabla 8.9: Velocidades promedio camiones CB 2016.

Velocidades promedio Enero – Marzo 2017			
Velocidad [km/hr]	Subiendo	Horizontal	Bajando
Cargado	12,5	30,0	20,8
Vacío	28,0	45,0	33,0

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 8.10: Velocidades promedio camiones PN 2017-2021.

Velocidades promedio Enero – Marzo 2017			
Velocidad [km/hr]	Subiendo	Horizontal	Bajando
Cargado	14,5	40,0	14,5
Vacío	25,0	40,0	25,0

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como se puede ver en las velocidades son más cercanas a las del Plan de Negocios que las del Caso Base pero de todas maneras se hace necesario revisar bien las velocidades porque hacen un cambio importante en las horas totales. Un ejemplo de lo anterior, es que si sólo se modifican las velocidades en el diseño de la alternativa 1 los resultados dan los siguientes:

Tabla 8.11: Horas de transporte según velocidades.

	Velocidades promedio	Velocidades CB 2016	Velocidades PN 2017-2021
Horas totales	1.980.281	2.046.179	1.972.954
Diferencia respecto a velocidad promedio	-	+65.898	-7.327

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como se ve en la tabla anterior, las velocidades utilizadas en el CB 2016 sobrestiman las horas si se comparan con las horas utilizando la velocidad promedio, dando una

diferencia importante de horas. Por su parte, si se comparan con las horas usando las velocidades del PN 2017-2021 las horas están ligeramente subestimadas pero por una cantidad menor de horas.