

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



OPTIMIZACIÓN EN EL PLANEAMIENTO A LARGO PLAZO, CON LA PROGRAMACION DIRECTA DE BLOQUES FRENTE A LA METODOLOGIA DE PLANEAMIENTO TRADICIONAL, AREQUIPA- PERÚ 2019

Tesis presentada por el Bachiller:

Quispe Zinanyuca, Christian

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero de Minas

Asesor:

Ing. Delgado Ponce, María Azucena

Arequipa- Perú

2019

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

3



**INFORME DICTAMINATORIO
DE BORRADOR DE TESIS**



VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

"OPTIMIZACIÓN EN EL PLANEAMIENTO A LARGO PLAZO, CON
LA PROGRAMACIÓN DIRECTA DE BLOQUES, FRENTE A
LA METODOLOGÍA DE PLANEAMIENTO TRADICIONAL"

PRESENTADO POR (EL) (LOS) BACHILLER (ES):

CHRISTIAN QUISPE ZINANYUCA.

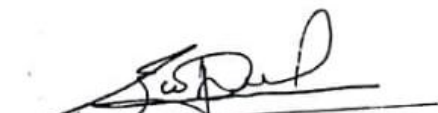
NUESTRO DICTAMEN ES:

Aprobado

OBSERVACIONES:

- Observaciones: Resueltas

Arequipa, 02 Nov 2018

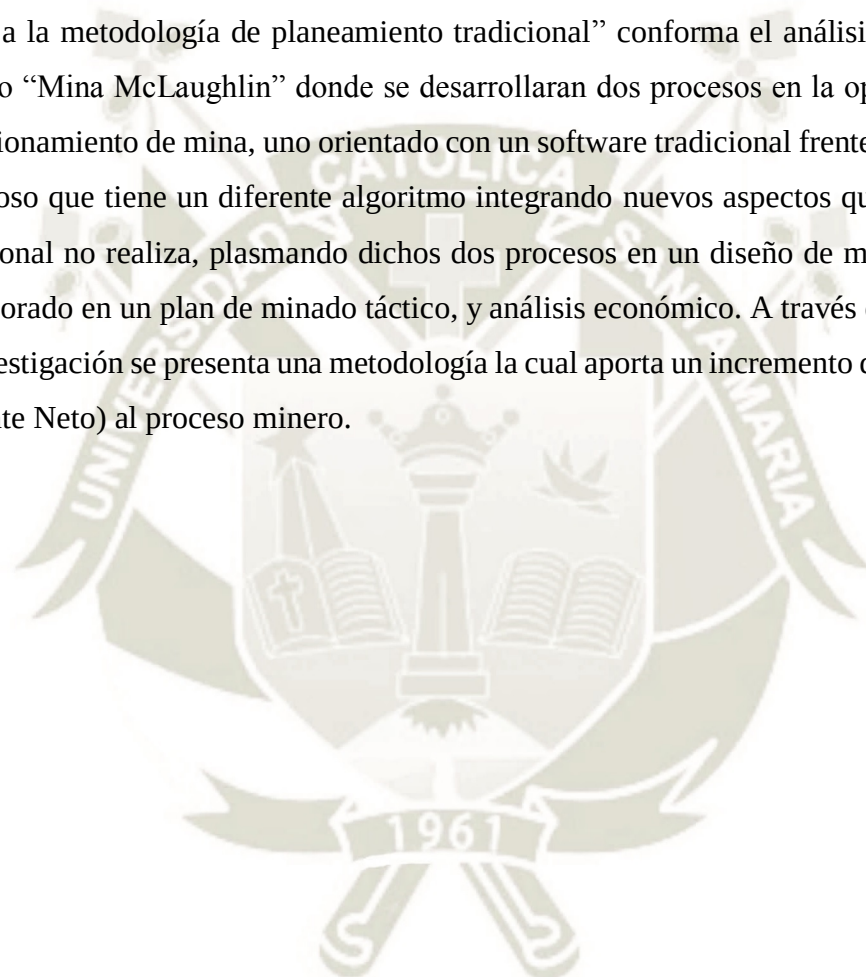

JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Azucena Delsado

Código: 7873


JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Wilbert
Zavallos
Código: 1840

PRESENTACION

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo para el autor optar por el título profesional de Ingeniero de mina, certificación oficial a nombre de la nación que acredita que está formado y preparado para el ejercicio de su profesión es decir busca demostrar, ante un jurado oficial, que reúne las capacidades y requisitos para aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera universitaria. La tesis titulada “Optimización en el planeamiento a largo plazo, con la programación directa de bloques frente a la metodología de planeamiento tradicional” conforma el análisis de una mina modelo “Mina McLaughlin” donde se desarrollaran dos procesos en la optimización de direccionamiento de mina, uno orientado con un software tradicional frente a un software novedoso que tiene un diferente algoritmo integrando nuevos aspectos que una minería tradicional no realiza, plasmando dichos dos procesos en un diseño de mina y a su vez corroborado en un plan de minado táctico, y análisis económico. A través de este trabajo de investigación se presenta una metodología la cual aporta un incremento de VPN (Valor Presente Neto) al proceso minero.



Agradecimientos



En primer lugar quisiera agradecer a mi familia, siendo un pilar fundamental durante los años de carrera. A mi madre Imelda Zinanyuca por el apoyo brindado desde mis primeros años, a mi padre Yovel Quispe por ser la guía durante toda mi vida. A mis hermanos Veiker Quispe, Fernando Quispe y Marcelo Quispe quienes son mis grandes amigos de vida, quienes han puesto en mí la responsabilidad de ser un ejemplo por seguir. Por siempre confiar en mí a todos muchas gracias.

A mi pareja Madeleine Romero, quien me ha acompañado durante toda mi vida universitaria y me ha apoyado y ha vivido conmigo este importante paso. Por el amor entregado, muchas gracias.

A mis profesores, quienes a lo largo de estos años me han aportado para mi formación profesional en las distintas materias, gracias.

A IMMS, empresa de consultoría en Ingeniería de Minas por ser mi segunda escuela en mi carrera, a Christian Osorio, Jhon Cuaresma, Jorge Lozano, muchas gracias siempre estaré agradecido.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo estudiar el proceso de la planificación a largo plazo a través de una metodología que busca maximizar el valor actual neto de un proyecto, conllevando a un análisis desde la optimización hasta un resultado que asegure un valor económico cercano al óptimo matemático, esta metodología está compuesta por la optimización a través de un modelo de bloques, diseño de mina orientado a capturar el mayor valor actual neto en los primeros periodos, desarrollo de un plan a nivel táctico; a su vez comparándolos con los resultados de la metodología tradicional para lo cual se implementan dos casos de estudio: Caso “Base” (aplicando metodología tradicional, realizando soluciones con el algoritmo de Learch & Grossmann, obteniendo una serie de conos anidados con lo cual se realizara la elección y diseño de fases, utilizando el Software MineSight para dicha actividad, como segundo caso se presenta el Caso “UCSM”, direccionado con el Software Simsched, el cual usa la programación directa de bloques permitiendo que una secuencia completa sea ejecutada directamente a partir del modelo de bloques de recursos, sin la necesidad de definir un tajo final, tajos anidados, *pushbacks* o expansiones, optimización de ley de corte unificando todas las etapas citadas y optimizando todos los periodos simultáneamente; a su vez se usara las geometrías del resultado de dicho software como guías de diseño.

Como resultado de esta etapa se poseerá dos sets de diseño, cada uno con una diferente estrategia los cuales se pondrán a prueba en el Software Mineplan, del cual obtendremos dos planes mineros.

Como resultados de las dos diferentes estrategias obtenemos que el Caso “Base” direccionado con la metodología tradicional posee un valor actual neto del orden de 2 794 MUS\$, así como el Caso “UCSM” direccionado con la metodología aplicada por Simsched posee un valor actual neto del orden de 2 884 MUS\$ obteniendo 90 millones de dólares mayor al caso base, cada uno integrando un movimiento mina y total muy parecidos, en efecto los dos casos mantienen restricciones a lo largo del tiempo.

En conclusión, el aplicar la nueva metodología puede dar un valor agregado al proyecto de manera significativa, así llegando a un resultado más próximo al óptimo matemático de forma sostenible, cumpliendo con los diferentes parámetros, en un menor tiempo.

Palabras Clave: Planificación minera, Optimización, Diseño de mina, Plan de minado, Simulación, Software Planeamiento.

ABSTRACT

The main objective of this paper is to study the process of long-term planning through a methodology that seeks to maximize the net present value of a project, leading to an analysis from optimization to a result that ensures an economic value close to optimal mathematical, this methodology is composed of optimization through a block model, mine design aimed at capturing the highest net present value in the first periods, development of a tactical level plan, simulation to obtain the necessary fleet estimate; in turn, comparing them with the results of the traditional methodology for which two case studies are implemented: Case "Base" (applying traditional methodology, making solutions with the algorithm of Learch & Grossman, obtaining a series of nested cones with which perform the choice and phase design, using the MineSight Software for such activity, as a second case the Case "UCSM" is presented, addressed with the Simsched Software, which uses the direct programming of blocks allowing a complete sequence to be executed directly to starting from the resource block model, without the need to define a final cut, nested pits, pushbacks or expansions, optimization of cutting law by unifying all the mentioned stages and optimizing all the periods simultaneously, in turn the result geometries will be used of such software as design guides.

As a result of this stage, we will have two design sets, each with a different strategy which will be tested in the Mineplan Software, from which we will obtain two mining plans. At the end of this second stage, a simulation of mine-facilities will be carried out. Minehaul software to determine which strategy has a better truck profile and visualize the discharge dump plan, download plan to Pad, and Stocks interaction.

As a result of the two different strategies, we obtain that the "Base" case addressed with the traditional methodology has a net present value of the order of MUS \$ 2 794, as well as the Case "UCSM" addressed with the methodology applied by Simsched has a current value net of the order of MUS \$ 2 884, obtaining 90 million dollars higher than the base case, each one integrating a very similar mine and total movement, in fact the two cases maintain restrictions over time.

In conclusion, applying the new methodology can give an added value to the project in a significant way, thus reaching a result closer to the mathematical optimum in a sustainable way, complying with the different parameters, in a shorter time.

Keywords: Mine planning, Optimization, Mine design, Mining plan, Simulation, Software Planning.

INTRODUCCION

La minería es un negocio que posee ciertas características que lo diferencian en gran medida de otros tipos de actividades económicas, ya que presenta una duración de tiempo determinada, con altos riesgos de capital relacionados con la gran incertidumbre geológica presente en los depósitos mineros, con una producción decreciente en el tiempo, limitaciones geográficas, y una gran dependencia de las condiciones de mercado como el precio de los metales.

La planificación minera es uno de los procesos clave del negocio minero, ya que es donde se definen las reservas que se van a extraer. Es definido también como el proceso que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo.

En este proceso se define la capacidad de producción, el cual consiste en la cantidad de material a remover y el mineral que será enviado a proceso, y la duración del proyecto.

La planificación minera estratégica busca seleccionar la mejor alternativa que creará el mayor valor para el nivel de riesgo estudiado. El valor anteriormente descrito, es posible cuantificarlo con el valor presente neto (VPN) del proyecto.

Como tarea fundamental dentro de la planificación minera, se diseñan fases las cuales se definen como zonas geométricas dentro del tajo que permiten la alimentación constante de mineral a proceso. Por lo mismo, estas otorgan un orden de extracción de la mina cuya determinación al ser estimada por las metodologías tradicionales, no consideran el concepto de costo de oportunidad, ni el valor del dinero en el tiempo, lo cual afecta el valor final del activo minero.

El presente trabajo realiza comparaciones entre planes de producción usando como primera opción la metodología tradicional de definición de fases mineras (Planeamiento Tradicional) frente a una metodología que la industria acepta cada día más; debido que actualmente existen aplicaciones computacionales a disposición de empresas y estudiantes, dicha herramienta fue implementada por la empresa Mining Math con su módulo de *Direct Block Scheduling*. De acuerdo con los resultados de ambas metodologías se desarrollarán diseños de mina a línea media, usando el software Qpit, para luego ser corroborados con un plan minero en el software Mineplan.

Como resultado final de ambas metodologías se realizará un análisis comparativo entre ambas opciones, la cual indicará la mejor opción de negocio.

ÍNDICE

PRESENTACION	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	

CAPÍTULO I: INFORMACION GENERAL

1.1. Introducción	1
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.3. Variables.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general:.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos:.....	4
1.5. . Alcances:	4
1.6. Hipótesis	5
1.7. Justificación	5

CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceptos de Planificación Minera:	6
2.2. Nociones Fundamentales	9
2.2.1. Modelo de Bloques:	9
2.3. Proceso de optimización en minería superficial.....	10
2.3.1. Metodología Tradicional:.....	10
2.3.2. Metodología del optimizador innovador	11
2.4. Teoría de diseño de fases mineras	11
2.5. Conceptos de simulación de planes de minado y estimación de equipos de transporte.	13
2.5.1. Secuenciamiento del Plan de Minado	13
2.5.2. Proceso de optimización de leyes de corte para el plan de minado.	14
2.5.3. Planes Operativos (Táctico –Operacional).....	18
2.5.4. Métodos que consideran el valor del dinero en el tiempo.....	20

- Método del valor presente neto (VPN):20
- Tasa interna de retorno (TIR):21

CAPITULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de modelo de bloques.....	22
3.1.1. Modelo de Bloques	22
3.1.2. Variables de Modelo de Bloques	23
3.1.3. Limpieza de modelo de Bloques	23
3.1.4. Adición de Topografía.....	24
3.2. Valorización	24
3.2.1. Calculo de MCAF y Valores por destino	25
3.3. Determinación de envoltente final de escenarios.	25
3.3.1. Envoltente Final mediante el Algoritmo de Lerchs Grossman	26
3.3.2. Secuencia de optimización tradicional	30
3.3.3. Envoltente Final mediante el Algoritmo de Software Simsched.....	31
3.3.4. Secuencia de Optimizador Simsched	35
3.3.5. Comparación de Tajos Finales	39
3.4. Conclusiones	41

CAPITULO IV: DISEÑO DE CASOS

4.1. Criterio de diseño de fases mineras	42
4.2. Diseño de mina “Caso Base”	44
4.3. Secuencia y cubicación de Fases Estratégicas “Caso Base”	49
4.3.1. Cubicación de Fases de “Caso Base”	49
4.3.2. Secuencia de Fases de “Caso Base”.....	50
4.4. Diseño de minas “Caso UCSM”	55
4.5. Secuencia y cubicación de Fases Estratégicas Caso UCSM	60
4.5.1. Cubicación de Fases de Caso UCSM.....	60
4.6. Conclusiones	66

CAPITULO V: SIMULACION DE PLANES MINEROS

5.1. Consideraciones de Plan de minado.....	67
5.1.1. Antecedentes y características del software Mine Plan.	67
5.1.2. Cálculo de la ley de corte equivalente del yacimiento	67

5.1.3. Otros Inputs del Plan Minero.....	69
5.1.4. Curva tonelaje versus ley.....	72
5.2. Plan Minero “Caso Base”	73
5.2.1. Diseño de Fases y cálculo de reservas como Input del Plan Minero.....	73
5.2.2. Resultado plan de minado “Caso Base”	76
5.2.3. Secuencia de extracción de minado “Caso Base”	82
5.2.4. Mineral Expuesto – Serrucho de mineral “Caso Base”	83
5.1. Plan Minero “UCSM”	84
5.1.1. Diseño de Fases y cálculo de reservas como Input del Plan Minero.....	84
5.1.2. Resultado plan de minado “UCSM”	87
5.1.3. Secuencia de extracción de minado “UCSM”	92
5.1.4. Mineral Expuesto – Serrucho de mineral “UCSM”	93
5.2. Conclusiones	94
CAPITULO VI: ANALISIS COMPARATIVO	
6.1. PRODUCCION MINA.....	96
6.1.1. Movimiento total.....	96
6.1.2. Alimentación a planta.....	97
6.1.3. Ley media de oro (ppm)	98
6.2. PERFIL DE ONZAS	99
6.2.1. Onzas producidas y onzas recuperadas (Oz)	99
6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE VALOR.....	100
6.3.1. Flujo de caja anual y acumulado (MU\$)	100
6.3.2. Flujo de caja descontado (MU\$)	101
6.4. COSTOS.....	102
6.4.1. Costo Mina y Costo Planta (MU\$).....	102
6.4.2. Cash Cost (MU\$)	103
6.1. Conclusiones	104
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS	108

ANEXO01: CALCULO DE MCAF Y VALORES POR DESTINO	108
ANEXO02: VALORACIÓN DE BASE DE DATOS ENTREGADA POR SOFTWARE MINESIGHT EN FUNCIÓN DE PIT SHELLS GENERADAS DE <i>ECONOMIC PLANNER</i>	109
ANEXO03: SECUENCIA DE EXTRACCION EN PLAN DE MINADO UCSM. .	110
ANEXO04: SECUENCIA DE EXTRACCION EN PLAN DE MINADO UCSM. .	149



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 Esquema de planificación a Largo Plazo	7
Ilustración 2.2 Esquema de planificación a Mediano Plazo.....	8
Ilustración 2.3 Esquema de planificación a Corto Plazo	9

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Pit Shells entregados por software MS	26
Figura 3-2 Pushback seleccionados en software MS	28
Figura 3-3 Representación gráfica de los pit shells, respecto a su VPN.....	29
Figura 3-4 Ancho mínimo de minado	32
Figura 3-5 Secuenciamiento de periodos obtenido por Software Simsched	33
Figura 3-6 Dirección de minado de optimización en Software Simsched, vista perfil	34
Figura 3-7 Dirección de minado de optimización en Software Simsched, vista planta	34
Figura 3-8 Periodo pre minado	35
Figura 3-9 Periodo 01 de producción mina	35
Figura 3-10 Periodo 02 de producción	36
Figura 3-11 Periodo 03 de producción	36
Figura 3-12 Periodo 04 de producción.	37
Figura 3-13 Periodo 05 de producción.	37
Figura 3-14 Periodo 06 de producción.	38
Figura 3-15 Periodo 06 de producción.	38
Figura 3-16 Comparación de cono RF 0.78 vs RF 1 y Simsched vs RF 1.....	39
Figura 3-17 Comparación de conos obtenidos en optimización.....	40
Figura 4-1 Variables para el diseño de la Rampa de acarreo.....	43
Figura 4-2 Nomenclatura para diseño de rampa de acarreo.....	43
Figura 4-3 Demostración seguimiento del área de valor	45
Figura 4-4 Demostración seguimiento del modelo de bloques.....	45
Figura 4-5 Fases de Caso Base, direccionamiento Economic Planner.....	46
Figura 4-6 Orientación de minado, Caso Base.....	46
Figura 4-7 Pushback seleccionados, direccionamiento Economic Planner.....	47
Figura 4-8 Pit final Caso Base	47
Figura 4-9 Representación de conectividad a principales destinos, Caso Base	48

Figura 4-10 Pre stripping , sub fase A , Caso Base	50
Figura 4-11 Pre stripping , sub fase B , , Caso Base	51
Figura 4-12 Fase 01, Caso Base.....	51
Figura 4-13 Fase 02, Caso Base.....	52
Figura 4-14 Fase 03, Caso Base.....	52
Figura 4-15 Fase 04, Caso Base.....	53
Figura 4-16 Fase 05, Caso Base.....	53
Figura 4-17 Fase 06, Caso Base.....	54
Figura 4-18 Fase 07, sub fase A, Caso Base	54
Figura 4-19 Guía de optimizador Simsched ,junto a fases de diseño	56
<i>Figura 4-20 Demostración seguimiento del modelo de bloques</i>	<i>56</i>
Figura 4-21 Diseño de fases en conjunto, Caso UCSM	57
Figura 4-22 Demostración de orientación de minado de Optimizador Simsched	57
Figura 4-23 Direccionamiento otorgado por Simsched	58
Figura 4-24 Pit Final de Caso UCSM.....	58
Figura 4-25 Conexiones de tajo final Caso UCSM hacia principales destinos	59
Figura 4-26 Pre stripping , sub fase A , Caso UCSM	61
Figura 4-27 Pre stripping , sub fase B , Caso UCSM	61
Figura 4-28 Fase01, Caso UCSM	62
Figura 4-29 Fase02, Caso UCSM	62
Figura 4-30 Fase03, Caso UCSM	63
Figura 4-31 Fase04, Caso UCSM	63
Figura 4-32 Fase05, Caso UCSM	64
Figura 4-33 Fase01, Caso UCSM	64
Figura 4-34 Fase07, sub fase A, Caso UCSM	65
Figura 4-35 Fase07, sub fase B , Caso UCSM	65
Figura 5-1 Metodología de cálculo de ancho de minado	70
Figura 5-2 Curva tonelaje versus ley	73
Figura 5-3 Plan de producción, Caso Base.....	76
Figura 5-4 Producción metálica, Caso Base	77
Figura 5-5 Análisis Económico, Caso Base	78
Figura 5-6 Análisis económico Flujo de Caja vs Cash Cost	78
Figura 5-7 Cantidad de equipos de carguío	79
Figura 5-8 Minado por fase y remanejo	80
Figura 5-9 Alimentación a planta por fase y periodo	81

Figura 5-10 Mineral expuesto al final de cada periodo para el caso base.....	83
Figura 5-11 Plan de producción, Caso UCSM.....	87
Figura 5-12 Producción metálica, Caso UCSM.....	88
Figura 5-13 Análisis Económico, Caso UCSM.....	88
Figura 5-14 Análisis económico Flujo de Caja vs Cash Cost.....	89
Figura 5-15 Cantidad de equipos de carguío.....	90
Figura 5-16 Minado por fase y remanejo.....	91
Figura 5-17 Alimentación a planta por fase y periodo.....	92
Figura 5-18 Mineral expuesto al final de cada periodo para el caso UCSM.....	93
Figura 6-1 Movimiento Mina.....	96
Figura 6-2 Alimentación a planta.....	97
Figura 6-3 Ley media de oro.....	98
Figura 6-4 Perfil de onzas.....	99
Figura 6-5 Flujo de caja y flujo acumulado.....	100
Figura 6-6 Flujo de caja instantáneo y VAN acumulado.....	101
Figura 6-7 COSTO MINA.....	102
Figura 6-8 Cash Cost.....	103
Figura 10-1 Periodo 12_Mes12_Diciembre18.....	121
Figura 10-2 Periodo 13_Quartil01_Marzo19.....	122
Figura 10-3 Periodo 14_Quartil02_Junio19.....	123
Figura 10-4 Periodo 17_Quartil01_Marzo20.....	126
Figura 10-5 Periodo 18_Quartil02_Junio20.....	127
Figura 10-6 Periodo 21_Año2021.....	130
Figura 10-7 Periodo 22_Año2022.....	131
Figura 10-8 Periodo 24_Año2024.....	133
Figura 10-9 Periodo 25_Año2025.....	134
Figura 10-10 Periodo 26_Año2026.....	135
Figura 10-11 Periodo 27_Año2027.....	136
Figura 10-12 Periodo 28_Año2028.....	137
Figura 10-13 Periodo 29_Año2029.....	138
Figura 10-14 Periodo 30_Año2030.....	139
Figura 10-15 Periodo 31_Año2031.....	140
Figura 10-16 Periodo 32_Año2032.....	141
Figura 10-17 Periodo 33_Año2033.....	142
Figura 10-18 Periodo 34_Año2034.....	143

Figura 10-19 Periodo 35_Año2035.....	144
Figura 10-20 Periodo 36_Año2036.....	145
Figura 10-21 Periodo 37_Año2037.....	147
Figura 10-22 Periodo 38_Año2038.....	147
Figura 10-23 Periodo 39_Año2039.....	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 : Definición de siglas de capacidad y costos para formulismo de Lane.....	14
Tabla 3-1 Descripción de parámetros de modelo de bloques	22
Tabla 3-2 Parámetros de Valorización de bloques	24
Tabla 3-3 Revenue Factor elegido , Caso Base	27
Tabla 3-4 Secuencia de Pushback elegidos a partir de software MS, módulo Economic Planner	30
Tabla 3-5 Calculo de ancho de rampa para optimización.....	33
Tabla 4-1 Calculo de ancho de rampa	44
Tabla 4-2 Cubicación por fase del caso base.	49
Tabla 4-3 Cubicación por fase del caso UCSM	60
Tabla 5-1 Parámetros para análisis económico.....	68
Tabla 5-2 Definición de leyes de corte	68
Tabla 5-3 Definición de leyes medias y altas leyes.....	68
Tabla 5-4 Ramp up de capacidad planta	69
Tabla 5-5 Datos de los equipos de carguío.....	70
Tabla 5-6 Dimensión y cálculo de ancho de minado de RH-90C.....	71
Tabla 5-7 Dimensión y cálculo de ancho de minado de Exc-390	71
Tabla 5-8 Datos para Análisis de Curva Tonelaje Vs. Ley	72
Tabla 5-9 Cubicación disgregada en toneladas de mineral y desmonte de Caso Base.....	74
Tabla 5-10 Relación desmonte-mineral, junto a leyes oro en ppm	75
Tabla 5-11 Asignación de equipos de carguío, con detalle de utilización.....	79
Tabla 5-12 Detalle de minado y remanejo por fase y periodo	80
Tabla 5-13 Detalle de envío a planta por fase y periodo.....	81
Tabla 5-14 Cubicación disgregada en toneladas de mineral y desmonte de Caso UCSM	85
Tabla 5-15 Relación desmonte-mineral, junto a leyes oro en ppm , Caso UCSM	86
Tabla 5-16 Asignación de equipos de carguío, con detalle de utilización.....	89
Tabla 5-17 Detalle de minado y remanejo por fase y periodo	90
Tabla 5-18 Detalle de envío a planta por fase y periodo.....	91

CAPÍTULO I: INFORMACION GENERAL

1.1. Introducción

La presente tesis tiene por objetivo estudiar y analizar el efecto que genera el incorporar nuevas tecnologías para direccionar de manera eficiente la etapa de optimización y por consiguiente el diseño de fases mineras, con la misión de generar valor para el activo minero.

El presente trabajo aborda esta etapa de la planificación; el dimensionamiento, diseño de fases mineras, efectuar planes de minado considerando factores operacionales, y con ayuda de simulación siguiendo el direccionamiento de dos metodologías de trabajo diferentes, por un lado, la metodología tradicional usando software MineSight que trabaja bajo el algoritmo de Leach & Grossman, y por otra parte una metodología innovadora mediante el software Simsched que optimiza en base a diversas variables y restricciones. La combinación de todo ello conlleva como resultado pseudo fases, que servirán de guía para determinar el tamaño y orientación de minado con el objetivo primordial de maximizar el valor presente neto del proyecto y por ende crear valor al negocio minero.

Usando el software Simsched (software de optimización mediante una programación directa de bloques buscando maximizar el valor presente neto), QPit (software de diseño de fases mineras a línea media) y MineSight (software usando el módulo de optimizador y modelamiento para determinar Pit final y secuencia de fases mediante el algoritmo de Leach & Grossman). De los cuales se realizó un análisis y comparación de ambas metodologías de trabajo

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La planificación minera es uno de los procesos clave del negocio minero, ya que es donde se determina las reservas que se van a extraer, es definido también como el proceso que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo, dentro de este proceso la optimización a cielo abierto constituye la base del diseño de la mina, así como la planificación, entre otros.

El principal problema al calcular el valor de un pit o tajo final es que se evalúa todas las capacidades periódicas de producción extrayéndose en el momento de análisis, después llevándose al presente, ocasionando una estimación no acertada del valor del tajo y por ende no tan real, asimismo no se consideran parámetros operacionales como ancho de minado, mínimo ancho de fondo y máximo avance vertical, de igual forma no intervienen parámetros directos en dicha etapa como capacidades de mina o planta y consideraciones de stock ni mucho menos el control de mezclas al proceso.

Esto sucede ya que no se proponen nuevos modelos integrales con inclusión de factores importantes los cuales son el momento en el que serán explotados cada bloque y el momento óptimo que cumpla con las restricciones puestas en un escenario de análisis, ya que la minería se desarrolla en un periodo de tiempo significativo.

El planeamiento de mina del presente continúa con estos modelos matemáticos en el que no integra el valor de un bloque en conexión con su futuro precio y no incorporan el concepto de dinero en el tiempo lo que inevitablemente ocasionara un valor aproximado de pit final y no precisamente el óptimo matemático ni operacional.

La alternativa a este problema es el desarrollo de un modelo matemático el cual incorpore factores operacionales en la búsqueda de una envolvente que optimice la secuencia de explotación en búsqueda del mayor Valor Presente Neto (VAN) y así mismo sea flexible para la inclusión de restricciones reales como límites de propiedad, mezclas, entre otros.

La solución está cada vez más cerca, debido a que se desarrolló nuevos algoritmos que nos aseguren una correcta valorización del tajo final, el cual también nos ayudara a darle un direccionamiento óptimo a nuestro tajo minero. Software SimSched utiliza un algoritmo propio que incorpora una tecnología innovadora la cual es más recomendada en la práctica por los centros de investigación, siendo lo que está más avanzado, disponible y probado en materia de optimización, es software implementa en su solución técnicas y algoritmos de programación entera mixtas y heurísticas propias. Su modelo matemático es más realista, por considerar parámetros operacionales y utilizar superficies para generar soluciones sin errores geotécnicos; lo que en la práctica es minado son superficies y no bloques. La programación directa de bloques que una secuencia completa sea ejecutada directamente a partir del modelo de bloques de recursos, sin la necesidad de definir un tajo final, pits anidados, pushbacks o expansiones, optimización de ley de corte y stockpiles, como una secuencia tradicional completa lo exige.”

1.3. Variables

Independientes

- Leyes de mineral
- Tipo de roca y geotecnia
- Costos de minado y procesamiento
- Zonas geotécnicas
- Tonelaje
- Parámetros operacionales
- Precio de los metales

Dependientes

- Valor Presente Neto (VPN)
- Tajo final óptimo
- Direccionamiento de fases
- Diseño de fases
- Plan Minero
- Perfil de producción
- Perfil de finos

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

- Determinar un caso de negocio, comparando dos metodologías diferentes; una metodología tradicional frente a una metodología que aplica una optimización con direccionamiento de bloques

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Generar un plan de minado que supere el valor presente neto de un plan de minado resultado de la metodología tradicional de pitshells.
- Obtener un plan de minado el cual exponga suficiente mineral para no generar riesgo.
- Identificar los factores incluidos en la nueva metodología propuesta, frente a la metodología tradicional.

1.5. . Alcances:

- Difundir el uso de herramientas innovadoras las cuales sea de un fácil acceso tanto para una unidad minera, como para estudiantes relacionados a minería.
- Desarrollar una metodología sencilla la cual permita obtener un plan de minado óptimo.
- Formar un Ingeniero de Minas especialista en planeamiento de mina, capaz de dominar e instruir las herramientas computacionales actuales, las cuales son de vital importancia bajo las constantes actualizaciones que sufre el mundo minero.
- Que el especialista domine conceptos técnicos y teóricos llevados a la práctica.
- Que el Ingeniero especialista desarrolle habilidades que le permitan insertarse al mundo laboral de manera más eficiente.

1.6. Hipótesis

El método innovador de la secuencia de extracción óptima que incorpora valor en el tiempo y parámetros operacionales; proporcionará una solución realista, y una dirección de minado que supere en valor y rentabilidad a la metodología tradicional de planeamiento.

1.7. Justificación

La intención de este estudio es investigar si la planificación que integra nuevos algoritmos a causa de exigencias reales de mina , como variables de tiempo y parámetros operaciones, logran obtener un valor de tajo final más real y con ello se pretende conocer cuánto es la variabilidad de beneficios entre un modelo tradicional y el nuevo modelo integrado para poseer una mejor toma de decisiones, con ayuda del algoritmo de optimización de Lerchs-Grossmann , y la programación directa de bloques, así contribuyendo a la obtención de una planificación óptima y asegurar la excelencia de los procesos que se derivan de estos resultados.

CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceptos de Planificación Minera:

Debido a la incertidumbre que existe en un proyecto minero dado que es difícil conocer las dimensiones reales de los recursos minerales y la necesidad de justificar las grandes inversiones por las cuales apuestan diversos accionistas, es necesario establecer un control por los altos mandos de la empresa. El proceso de Ingeniería de Minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo tiene como fin:

- Maximizar el NPV (Valor presente neto)
- Maximizar la vida útil de la mina.
- Minimizar el riesgo de la inversión.

De acuerdo al nivel de las decisiones:

A. Estratégica:

Sincroniza el mercado, recursos disponibles y misión de la compañía. Es la gestión del cambio necesaria para maximizar los activos de una compañía a través del tiempo. Sus 5 funciones principales son:

- Reconocimiento constante del recurso minero.
- Métodos de explotación.
- Ritmos de explotación.
- Secuencia de producción.
- Política de Leyes de corte.

B. Táctica:

Su objetivo es determinar lo que ocurre durante la vida de la mina como son los planes de producción de largo plazo, determinación de equipos, capacidad planta, entre otros.

C. Operacional:

Procesos e índices operativos que son resultados de un plan minero. Esta retroalimenta la planificación táctica.

De acuerdo al nivel de precisión de datos y escala espacial, que según Vargas se puede definir de la siguiente forma:

A. Planificación de Largo Plazo:

La planificación de Largo Plazo define la envolvente económica en función de las reservas mineras, para luego establecer el tamaño de la mina, el método de explotación, capacidad de minado, producción, estableciendo la secuencia de explotación, inversiones, costos del proyecto y perfiles de leyes de corte.

Los Planes que realiza la Planificación de largo plazo son los que muestra la ilustración 2.1.:



Ilustración 2.1 Esquema de planificación a Largo Plazo

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- **RDP** (Proyecto Desarrollo de Recursos): Este plan de recursos realiza un completo análisis de todas las alternativas de negocios desde el presente año hasta el agotamiento de los recursos de la mina. El fuerte de este proceso es que tiene una visión sin restricciones y permite analizar múltiples opciones de valor, que podrían gatillar diferentes planes de acciones necesarios para capturar el valor en el futuro. Luego con esta guía se procede a realizar un LOM (*Life Of Mine*).
- **LOM**: Es una planificación que se realiza a lo largo de la vida útil de la mina (su medida de temporalidad es el año), el cual utiliza como entrada el RDP. Su objetivo es obtener el caso más rentable y factible para lograr optimizar la producción de metal fino a lo largo de la vida útil de la mina.
- **Budget**: Es un Plan de revisión del LOM. En este se realizan todos los cambios, ajustes y mejoras del LOM. Posee una extensión no mayor a 5 años, estando

cargo el equipo de Mediano Plazo, con especial énfasis en los 2 primeros años los cuales se planifican a nivel mensual.

B. Planificación de Mediano Plazo:

Trabaja con periodos desde mensuales, hasta anuales, estableciendo los planes de producción para ayudar a los planes de corto plazo a cumplir con las metas establecidas en la planificación de largo plazo. Asegura el presupuesto para la planificación de corto plazo y a la vez asegura el cumplimiento guía de Largo plazo. Permite determinar de forma anual las leyes, tonelajes y velocidad de extracción asociados a los sectores productivos.

En el Área de mediano plazo se realizan los planes indicados en la ilustración 2.



Ilustración 2.2 Esquema de planificación a Mediano Plazo

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- **Plan Minero Budget:** Es un plan anual, el cual corresponde al primer año del LOM (en algunas empresas toman hasta el segundo año también), desde enero a diciembre. Este plan realiza una proyección mensual con las fases destinadas a explotar y comienza a realizar la programación mes a mes para disminuir la incertidumbre que se pueda producir.
- **Plan Minero Trimestral:** Es un Plan que se realiza de forma mensual con proyección de 3 meses. Programa la extracción de los recursos a partir de la información operacional.

C. Planificación de Corto Plazo:

Su horizonte de tiempo es diario, mensual, trimestral y como máximo anual. Esta debe recopilar la información operacional de modo de retroalimentar la planificación de mediano plazo y consecuentemente permitir que se ejecuten los planes de Largo Plazo.

En el área de Corto Plazo, se realizan los planes señalados en la ilustración 3.



Ilustración 2.3 Esquema de planificación a Corto Plazo

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- **Short Term:** Se realiza todos los meses del año y tienen un horizonte de un mes. Programa la extracción de los recursos.
- **Plan Semanal:** Planifica las semanas, con las auditorias y ajustes necesarios para cumplir con las leyes y tonelajes planificadas en el Short Term.
- **Plan Diario:** Abarca la producción diaria para cumplir con el Plan Semanal.

De acuerdo con el horizonte de la planificación, Winter plantea lo siguiente:

“La planificación estratégica se encuentra dentro del largo plazo y define el producto y mercado donde se quiere orientar la empresa, como los recursos productivos que esta pretende utilizar.”

La planificación táctica también la define como presupuestaria, la cual está enmarcada dentro del corto plazo y se enfoca en que la empresa logre sus objetivos con eficiencia y eficacia.

2.2. Nociones Fundamentales

2.2.1. Modelo de Bloques:

Es la representación de un yacimiento en forma tridimensional mediante el cual el recurso es seccionado en cubos.

El modelo de bloques puede representar las siguientes variables:

- Posición
- Densidad
- Tipo de Roca
- Mineralización
- Leyes
- Impurezas
- Recuperación Metalúrgica

El modelo de bloques se hace a partir de un conjunto de sondajes que entregan la información que permite realizar un modelo geológico del yacimiento para luego establecer un modelo de bloques de este mismo.

2.3. Proceso de optimización en minería superficial.

Es la búsqueda de la solución de mayor valor económico para el proyecto con ayuda de algoritmos para obtener una guía de direccionamiento de mina.

2.3.1. Metodología Tradicional:

Determinación de la envolvente Final mediante algoritmos convencionales (cono flotante). Una vez que se establecen los recursos, el siguiente paso es determinar la envolvente final para posteriormente realizar el Diseño de fases a pit final y el Plan de Producción.

Diseño del Pit final (envolvente económica): Consiste en obtener el pit, que entregue el mayor beneficio al proyecto. Los inputs que se requieren para la determinación del pit final son:

- Angulo de talud y roseta geotécnica.
- Ley de corte crítica o económica del modelo.
- Variables económicas de precios y costos.
- Modelo de Bloques para la etapa de planificación.
- Consideraciones técnicas y restricciones.

Estas variables son ingresadas bajo un algoritmo de optimización, el cual entrega el volumen de reservas potencialmente extraíbles para el proyecto.

El Algoritmo más utilizado actualmente es el de Lerch y Grossman (el cual es utilizado en softwares como Gemcom con la herramienta Whittle, Datamine con NPV Scheduler, Pit optimiser de Maptek, Blasor de Bhp Billiton y Economic Planner de Minesight) todas estas herramientas tienen como función objetivo maximizar el beneficio total de un pit, basado en el beneficio neto de cada bloque y de su ubicación física en la mina, que no comprende el tonelaje de cada bloque.

La ubicación del bloque toma un papel relevante dado que los bloques bajo el nivel de la mina no pueden ser extraídos hasta que su sobrecarga sea removida.

2.3.2. Metodología del optimizador innovador

Es una herramienta de optimización de pit que busca la solución de mayor valor económico descontado para el proyecto, considerando el valor de dinero en el tiempo respetando un ancho mínimo en el fondo del rajo durante el proceso de optimización. Una de las ventajas del método utilizado es poder definir áreas de valor propias de la optimización que respete las necesidades operacionales de la mina.

El software no trabaja bajo las metodologías tradicionales como Lerch y Grossman o cono flotante, si no que bajo un algoritmo matemático de programación entera-mixta y dinámica.

A partir de un modelo de bloques previamente valorizado, el pit es generado definiendo el mejor destino para cada bloque, considerando el concepto de costo de oportunidad. Es posible definir, a partir de los valores económicos de cada bloque, si este será minado y procesado, o si será minado y enviado para un botadero de estéril, o si no será minado.

Así mismo considera varios procesos como destino, e incluye factores operacionales como ancho de minado, ancho mínimo de fondo, avance vertical de minado preferente y máximo e incluso el manejo de restricciones por periodo.

2.4. Teoría de diseño de fases mineras

La Planificación Minera Estratégica o de Largo Plazo es una de las etapas más complejas, donde se define la factibilidad de un Proyecto Minero, dentro de esta Etapa, tenemos el Diseño de Fases Mineras que sin lugar a duda es una de las labores principales de la planificación de Largo Plazo y que puede influir de manera sustantiva en la creación de valor de un activo minero.

En Minería a rajo abierto el Diseño de Fases Mineras juega un papel fundamental, sin embargo, es un proceso bastante complejo y que requiere un dominio absoluto de las variables y conceptos principales que tiene esta labor.

Quizás sea la etapa del diseño de fases mineras una de las tareas que consume más tiempo a los departamentos de Ingeniería de Largo Plazo y que en la medida que este proceso se optimice, quedará más tiempo para análisis de las diferentes problemáticas que tienen los planes de minado de largo plazo.

Gracias a la tecnología actual el diseño de fases hoy en día se realiza mediante herramientas computacionales (software) adecuados y especializados que permiten hacer tareas que antes eran muy complejas, ahora de manera algo más simple.

Dentro de las actividades que se realizan permanentemente en la explotación minera a cielo abierto, se pueden encontrar diversos parámetros que deben ser considerados al momento de diseñar un pit final. Estos parámetros no solo toman en cuenta el Pit Final económicamente rentable, sino que además se debe diseñar en base a la estabilidad geotécnica necesaria en toda labor minera, dado que se requiere una coordinación en la ejecución de las actividades productivas diarias con la ejecución de las actividades que dicen relación con esta construcción de accesos, las cuales tendrán que satisfacer las siguientes restricciones:

- Debe permitir el acceso libre y seguro a la zona determinada.
- Debe permitir el acceso a tiempo a la zona determinada, de acuerdo al programa de producción.
- Debe cumplir con las restricciones geométricas de los equipos y las actividades.
- Debe cumplir con las restricciones geomecánicas del sector.
- Debe permitir la extracción de todo el material relacionado con el sector.
- Debe permitir la realización de actividades paralelas en completa seguridad.
- Debe cumplir con la legislación Minera de cada País en forma particular y estricta.

En la explotación de un rajo abierto uno busca extraer y procesar las reservas que nos entreguen el mayor margen de beneficio (Ingresos - Costos), por lo que la explotación de fases dentro de la mina es un camino que permite lograr este objetivo.

En resumen, podemos decir que hay más de una forma de explotar una mina, lo importante es realizar un buen análisis de cada alternativa, para llegar al mejor resultado posible.

2.5. Conceptos de simulación de planes de minado y estimación de equipos de transporte.

2.5.1. Secuenciamiento del Plan de Minado

Este consiste en la discretización de la envolvente económica. Se aplican los mismos algoritmos que para la envolvente económica variando parámetros de valorización. Básicamente consiste en definir fases como un subconjunto de pits anidados obtenidos por el algoritmo de Lerch y Grossman.

La extracción de mineral se agenda de la siguiente manera:

Primero se define la intersección Fase-Banco. Para programar la forma primaria de extracción del rajo existen dos metodologías:

- **Best Case:** Consiste en realizar la extracción pit a pit o fase a fase, por lo cual desde arriba hacia abajo cada fase será más grande como también su valor económico. Asegura que los mayores flujos serán percibidos al origen del proyecto dado que los pits mediante Lerch y Grossman fueron definidos para generar la mejor conveniencia económica.
- **Worst Case:** Consiste en la extracción del pit mediante banco a banco, por lo cual no se puede realizar la extracción del siguiente banco sin antes haber realizado la extracción completa del anterior, por lo cual se retrasan las entradas de flujos de caja debido a la extracción tardía de la Porción más beneficiosa en la profundidad.

Luego de tener la evaluación anterior, se utiliza el módulo Milawa, el cual es un algoritmo utilizado para realizar el secuenciamiento que se basa en la definición fase-banco y en la evaluación económica de los bloques, definiendo si son mineral o estéril, realiza el cálculo de las porciones de fase-banco que corresponden a mineral y estéril. Luego se agendan las porciones de acuerdo a uno de estos dos objetivos:

2.5.2. Proceso de optimización de leyes de corte para el plan de minado.

La ley de corte en minería es el criterio para discriminar entre mineral y estéril. Se utiliza el algoritmo de Kenneth Lane, el cual busca determinar la ley de corte que maximiza el valor presente de los flujos de caja de la operación del modelo: Mina, Planta y Refinería, obteniéndose tres leyes de cortes económicas. Luego se obtienen tres leyes de equilibrio al generar la intersección equilibrando las capacidades de cada par de etapas.

Una de las seis leyes mencionadas anteriormente es la ley óptima.

Tabla 2-1 : Definición de siglas de capacidad y costos para formulismo de Lane

Etapas del Proceso	Material	Capacidad Máxima	Costos Unitarios
Mina	Mineral	M	m
Proceso	Concentrado	C	c
Refinería	Producto	R	r

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Donde:

Capacidades máximas:

M: es la máxima cantidad de material (desmonte, mineral) que la mina produce en un determinado.

C: es la cantidad máxima de mineral el cual será destinado a la planta concentradora en un periodo de tiempo.

R: es la cantidad máxima del producto final producida en un periodo de tiempo.

Lo máximo puede estar en función a la restricción de la performance de la refinería o a límites de mercado.

Costos:

m: son los costos mina expresados en \$/ton de material movido. Estos costos son asumidos sin diferenciar desmonte de mineral. Los costos unitarios de minado incluyen perforación, voladura, carguío y transporte, etc.

c: son los costos de procesamiento expresados en \$/ton de material molido. El costo unitario c incluye costos de chancado, molienda, flotación, lixiviación, etc. También incluye transporte, si el mineral es transportado por camiones más lejos de lo que es transportado el desmonte.

r: involucra todos los costos incurridos en el producto y etapas de venta como fundición, refinación, empaquetado, mercancías, seguros, etc.

Estos son expresados en términos de \$ por unidad de producto. Para casos como el cobre este puede ser expresado en \$/lb.

f: el costo fijo, incluye todos los costos tales como alquileres, administración, mantenimiento de vías y construcciones, etc. Los cuales son independientes de los niveles de producción (dentro de los límites normales de variación) pero los cuales podrían parar, si la mina fuera cerrada. Esto es expresado en términos de costos fijos sobre un periodo de producción considerado (Por ejemplo 1 año). Otros costos tales como cargos de oficina, depreciación, etc., no son incluidos.

s: es el precio de venta el cual esta expresado en términos de precio de venta por unidad de producto. Este valor es un valor bruto, todas las cargas de ventas están Incluidas en r. Si no, ellos deben ser sustraídos de s.

y: la recuperación, es un valor general de la concentradora y la refinería. Este es la proporción de mineral contenido en el alimento original de mineral retenido en el producto final.

T: es el periodo de producción considerado (Por ejemplo 1 año), Q_m es la cantidad de material a ser minado, Q_c es la cantidad de mineral enviado a la concentradora, Q_r es la cantidad de producto realmente producido en el periodo de producción.

- **Ecuación de Utilidad (Ingreso- Costos)**

$$P = (s - r)Qr - cQc - mQm - fT$$

- **Cálculo de las tres leyes de equilibrio:**

Se utiliza la ecuación de utilidad reemplazando cada uno de los valores para las diferentes leyes obtenidas de la curva tonelaje vs ley.

Se obtienen las utilidades para cada rango de ley (Utilidad mina-Utilidad Planta-Utilidad Refino). Luego se procede a realizar un gráfico de ley de corte vs utilidad para obtener las leyes: mina-planta; planta-refino; mina-refino.

- **Cálculo de las tres leyes económicas:**

- **Capacidad de Mina Limita la Operación**

$$g = c / (s - r) * y$$

- **Capacidad de Proceso Limita la Operación**

$$g = (c + f/C) / ((s - r) * y)$$

- **Capacidad de Marketing Limita la Operación**

$$g = c / ((s - r - f/R) * y)$$

- **La ley de corte óptima global se obtiene de:**

Gmc =	gm gc gmc	{	si gmc <= gm si gmc >= gc otra opcion
-------	-----------------	---	---

Grc =	gr gc grc	{	si grc <= gr si grc >= gc otra opcion
-------	-----------------	---	---

Gmr =	gm grc gmr	{	si gmr <= gm si gmr >= gr otra opcion
-------	------------------	---	---

Concepto del costo de oportunidad- Lane:

La propuesta, presentada por Lane, supone que la ley de corte óptima se obtiene como resultado de la optimización que maximiza el valor de cada fracción de material extraído de la mina o v^* .

Este valor, se calcula como el flujo de caja menos el costo de oportunidad, de tal manera que

$$v^* = \frac{dV}{dR} = \text{Max} (C - Ft)$$

Donde:

V^* : Valor óptimo del depósito.

v^* : Valor óptimo de cada fracción del depósito.

$\frac{dV}{dR}$: Cambio en el valor de todo el recurso con su agotamiento.

t : Corresponde al periodo en que fue necesario extraer la unidad del recurso.

C : Corresponde al Flujo de Caja.

F : Corresponde al costo de oportunidad.

En el libro “la definición económica del mineral” menciona que el costo de oportunidad se compone de dos partes. El primero corresponde al costo que debe pagarse por ser el propietario del recurso, representado por dV donde d es la tasa de descuento y V es el valor óptimo del depósito. Este valor cambia con el agotamiento del depósito porque el tamaño de la sección restante fue disminuyendo por la explotación.

El segundo corresponde al costo que se asocia con cambios en la condición del mercado. Si el precio del producto final aumenta, entonces el recurso aumentó su valor. Alternativamente, una disminución en el precio del producto final supone una disminución en el valor de los recursos.

Cualquier decisión de inversión trae consigo un costo de oportunidad. Esto representa el dinero que se habría obtenido por invertir la misma cantidad de dinero en otras alternativas.

Razón estéril mineral

La razón estéril mineral es la razón de toneladas de estéril (E) que deben ser removidas para descubrir una tonelada de mineral (M).

Principalmente, este cálculo está en función de la forma y la profundidad del yacimiento y de los ángulos de talud. También otro factor que puede influir es la superficie topográfica en donde está emplazado el yacimiento. Desde luego, los resultados del diseño del rajo determinarán las toneladas de mineral y de estéril que el pit contiene. La razón de estéril mineral dada por el diseño dará la razón E/M promedio para el rajo.

2.5.3. Planes Operativos (Táctico –Operacional)

Existe una manera de describir de agotamiento de mineral, mineral expuesto o simplemente grafico de “Serrucho”, como una forma de representar el movimiento de materiales de una mina periodo a periodo, lo cual permite asegurar la extracción continua del mineral desde el rajo. Es el desarrollo parcial de la secuencia de explotación según las expansiones definidas por algún método de optimización del diseño de fases. Otro tema relevante en el “serrucho” que se muestra en este trabajo tiene relación al Mineral Expuesto, con el que se obtiene la gráfica final, este es un concepto no estricto en su cálculo ya que cada faena tiene sus criterios para determinarlo.

Para su construcción, se requiere de los siguientes datos:

- Secuencia de explotación por mineral.
- Evaluación o cubicación de todas las expansiones a la topografía del rajo y sus entornos definida como situación inicial.
- Ley de corte por periodos.
- Definición de exposición.
- Requerimiento de meses de mineral expuesto.
- Perfil de alimentación a planta.
- Ritmo de producción de los distintos equipos de carguío.

- Restricciones dadas por ubicación de instalaciones dentro del rajo, por ejemplo, chancadores, correas; y las fechas definidas para su movimiento.

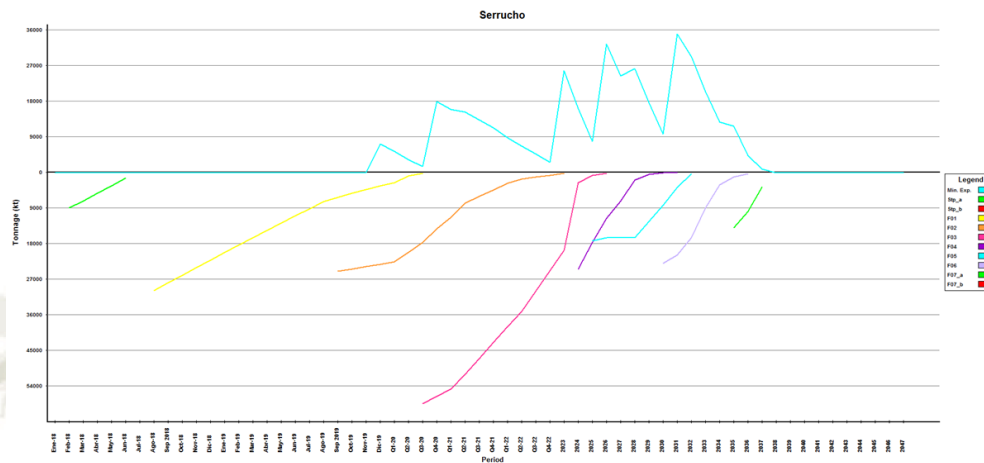


Diagrama 2-1 Diagrama de serrucho o exposición de mineral

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Software Mineplan

Los resultados que entrega el Serrucho son los siguientes:

- La fecha de llegada a mineral de cada expansión.
- Meses de mineral expuesto.
- Los ritmos de movimientos de cada expansión por periodos.
- Los requerimientos de equipos por expansión y total mina, periodo a periodo.
- La fecha de apertura de cada expansión.
- Los ritmos de movimientos anuales.

Mineral expuesto: Es un factor de seguridad con un criterio de definición específico (Razón Estéril/Mineral), que permite tener una alimentación constante de mineral a la planta. Por ejemplo, trabajando banco a banco, se define como mineral expuesto cuando el mineral llega a tener una cierta sobrecarga definida por un criterio.

2.5.4. Métodos que consideran el valor del dinero en el tiempo

Existen 2 métodos fundamentales: El valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

- Método del valor presente neto (VPN):

Es el valor obtenido actualizando separadamente de forma anual, la diferencia entre todas las entradas y todas las salidas de efectivos que se suceden durante la vida de un proyecto a una tasa de interés fija predeterminada. Estos flujos se actualizan a valor presente, en el momento donde se ha de iniciar el proyecto.

Para el cálculo del VPN se necesita una tasa de actualización o descuento que exprese la garantía de rendimiento mínimo, es decir, una tasa equivalente a la que se obtendría en cualquier otra alternativa de inversión. En términos generales, el VPN es el valor adquirido por el depósito (incremento inmediato del valor que resulta de una inversión inicial del capital a una tasa de interés anual dada).

$$VAN(NPV) = -I + \frac{\sum CF_i}{(1+i)^n}$$

Donde:

CF_i: flujos netos de efectivo anual.

i: tasa de descuento apropiada

I: Inversión del proyecto

n: Vida esperada del proyecto

Si se tienen varios proyectos, se deberá optar por el proyecto con el VPN mayor.

Se pueden presentar los siguientes casos:

- Si el VPN > 0 el proyecto debe realizarse pues se incrementa el valor de la compañía
- Si el VPN = 0 el proyecto no genera utilidades.
- Si el VPN < 0 el proyecto genera pérdidas

Cuando el VPN es positivo se garantiza que la inversión inicial se recupera como también el retorno financiero de la inversión a la tasa de descuento señalada.

- Tasa interna de retorno (TIR):

Es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a 0. Es la tasa máxima de interés que puede pagarse por el capital empleado en el transcurso de la vida de una inversión sin perder dinero en el proyecto. La TIR se determina de forma gráfica o de forma iterativa (tanteo y error).

$$VAN(NPV) = 0 = -I + \frac{\sum CFi}{(1+i)^n}$$

TIR se define como un método de decisión, ya que permite determinar si la inversión interesa o no llevarla a cabo.

El criterio de aceptación con el que se debe medir el TIR es i_k (costo de oportunidad) corresponde a la tasa mínima que debe conseguir una compañía sobre sus activos para cumplir las expectativas de sus proveedores de capital (acreedores y accionistas).

- Si $TIR > i_k$, factible se incrementa el valor.
- Si $TIR < i_k$, no factible, es preferible otra alternativa
- Si $TIR = i_k$, neutra.

CAPÍTULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la metodología de trabajo, una parte fundamental en la etapa de Planificación Minera es determinar el límite de tajo final, el cual delimita lo económicamente explotable, se realizó dos procedimientos, el primero usa la metodología convencional guiada por pit shells de un optimizador que utiliza un algoritmo basado en Lerchs Grossmann frente a una nueva tecnología de software que considera una optimización cuyo algoritmo de optimización es propio e innovador. A continuación, se detallan los diferentes escenarios, el primero “CasoBase” el cual incorpora el primer algoritmo mencionado frente a un escenario denominado “CasoUCSM” el cual incorpora un algoritmo usador por el Software “Simsched”.

3.1. Análisis de modelo de bloques.

El modelo de bloques posee dimensiones de 8x8x6 metros, lo cual concuerda con la altura de banco de diseño de 06 metros. Adicionalmente se considera productos y límites de modelo de bloques los cuales detallan a continuación:

3.1.1. Modelo de Bloques

Los recursos son entregados con respecto a la variable de Ley oro equivalente, por lo cual se diseñará y planificará considerando esta variable. Dentro de la ubicación espacial tiene las siguientes características.

Tabla 3-1 Descripción de parámetros de modelo de bloques

LÍMITES MODELO MINE SIGHT		
Indices	Coord_Min	Coord_Max
X	0	1184
Y	0	2488
Z	0	450

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

Coordenada de origen en X = 0,00 m.

Coordenada de origen en Y = 0,00 m.

Elevación = 0,00 m

Número de Bloques: 148 en dirección Este

311 en dirección Norte

75 en elevación

3.1.2. Variables de Modelo de Bloques

El modelo de bloques poseía las siguientes variables:

- AU: Ley principal del depósito, expresada en Gr/ton
- SG : Densidad por bloque
- OTYM: Tipo de mineral
- AURE: Recuperación de oro.
- ZONE: Zonas geotécnicas (utilizadas para diseño de mina).
- CLASS: Clasificación de recursos.
- PAG: Si existe presencia de aguas acidas.
- LITHO: Litología de yacimiento por bloques.
- F1,F2,F3: Fracción de Fases (Cubicación)
- P1,P2,P3: Porcentaje de Fases (Cubicación)

Se crearon variables las cuales eran necesarias para futuros procedimientos, dichas variables se crearon a través de un *script* en software MineSight:

- PTOPO: Porcentaje de topografía.
- FTOPO: Codificación si contiene topografía.
- SLOPE: *Overall* para optimización.
- MCAFO: Costo incremental por hundimiento de mineral
- MCAFW: Costo incremental por hundimiento desmonte
- OTYMS: Tipo de mineral económico.
- EBVO: Valor económico de mineral(*Economic Block Value Ore*)
- EBVW: Valor económico desmonte(*EconomicBlockValue Waste*)

3.1.3. Limpieza de modelo de Bloques

El proceso de preparación del modelo de bloques geológico consiste en la revisión, chequeos y (en algunos casos) limpieza de la información errónea del modelo de bloques original entregado por el cliente, este proceso se realiza mediante estadística descriptiva de las variables base tales como:

- ❖ Leyes negativas y aviso de leyes extremas que afecten los procesos geoestadísticos.

- ❖ Codificación de Tipos de Roca, Litologías, Códigos de Clasificación fuera del rango esperado.
- ❖ Densidades de bloques con topografía que son inconsistentes.

3.1.4. Adición de Topografía.

El campo PTOPO, ha sido agregado al modelo, esta variable PTOPO representa el porcentaje del volumen sólido, de cada bloque, que está debajo la superficie natural, y tiene un valor entre 0% y 100%. Para bloques totalmente en el aire, el valor es de 0%, para bloques completamente debajo de la superficie, el valor asignado es de 100%, y para bloques parcialmente en el aire y parcialmente debajo de la superficie natural, el valor asignado representa el volumen expresado en porcentaje del bloque debajo de la superficie. Para este proceso de cálculo, se utilizó el software MS.

3.2. Valorización

El valor de un bloque será calculado en base a los siguientes datos:

Tabla 3-2 Parámetros de Valorización de bloques

Elemento	Precio/Costo	Unidad
Costo de Minado	1.32	\$/tn
Costo de Proceso	4.06	\$/tn
Precio de Oro	28.94	\$/gr
Costo de Venta	0.47	\$/gr
Incremental por banco	0.021	\$/tn

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El Costo de minado tiene un parámetro el cual varía en el banco que se ubique, debido al incremento de costo por profundización, el procedimiento para hallar este MCAF fue a través de un Script en Minesight, el cual indica si un bloque se encuentra debajo del banco referencial (elevación de facilities) el costo aumentará debido a un mayor recorrido y en caso un bloque se encuentre por encima del banco referencial el costo de transporte disminuye debido a un ahorro en transporte por transporte en pendiente a favor, este procedimiento lo calcula el software Minesight al realizar el seteo para estimar tajo final o conos anidados, pero para conocimiento y valorizar por fuera se desarrolló el procedimiento.

3.2.1. Calculo de MCAF y Valores por destino

if \$(level)> 354:

$$$(MCAFO) = 1.32 + (\$(elev) - 354) * 0.021 / 6$$

$$$(MCAFO) = 1.40 + (\$(elev) - 354) * 0.03 / 6$$

else:

$$$(MCAFW) = 1.32 + (354 - \$(elev)) * 0.021 / 6$$

$$$(MCAFW) = 1.40 + (354 - \$(elev)) * 0.03 / 6$$

La valorización por bloques se realizó con el concepto que un bloque pueda tener dos posibles destinos en el cual el optimizador decidiera cuál de estos destinos (*crusher* o *dump*) es más económico.

if \$(CLASS)==1 OR \$(CLASS)==2 :

$$$(EBVO) = (\$(SG) * 8 * 8 * 6 * \$(AUOZ) * \$(AURE)) * (\$(AUPR) - \$(SC)) - \$(SG) * 8 * 8 * 6 * (\$(MC) + \$(PC))$$

else:

$$$(EBCW) = -\$(SG) * 8 * 8 * 6 * \$(MC)$$

3.3. Determinación de envoltente final de escenarios.

Tradicionalmente se realiza el cálculo del pit final haciendo la valorización del modelo de bloques utilizando el algoritmo de Lerch & Grossman. La forma convencional de cálculo que utilizan algoritmos tradicionales no trabaja por lo general considerando el valor del dinero en el tiempo, es decir, no trabajan con tasa de descuento, entregando la envoltente económica sujeto a los parámetros económicos y geométricos del yacimiento. La dificultad de no incorporar el valor del dinero en el tiempo genera una gran incertidumbre sobre si realmente se ha encontrado el mayor valor de direccionamiento para el yacimiento. Hay ciertos factores que direccionan el yacimiento como son principalmente la geometría del yacimiento, los costos (de capital y operacionales) y los precios. También hay restricciones como la capacidad de planta, capacidad de mina los cuales involucran la variable tiempo que con el algoritmo de Lerch & Grossman y cono flotante no es posible optimizar una dirección correcta para determinar la mejor capacidad de planta, mina, etc.

3.3.1. Envolverte Final mediante el Algoritmo de Lerchs Grossman

La optimización de “Caso Base” es a partir del direccionamiento de *Economic Planner* que es un módulo de optimización del software Minesight, el cual otorga como resultado una secuencia de *pit shells*, en función del precio y variables de costos, obteniendo finalmente un tajo final que optimiza el valor de la envolverte económica, mediante el algoritmo de Lerchs Grossman.

Estas *pit shells*, permitirán diseñar las diferentes fases de explotación y con ello construir el Caso Base, en la Figura 1, se presentan la serie de *pit shells* entregados por el software MS, de acuerdo a los inputs usados.

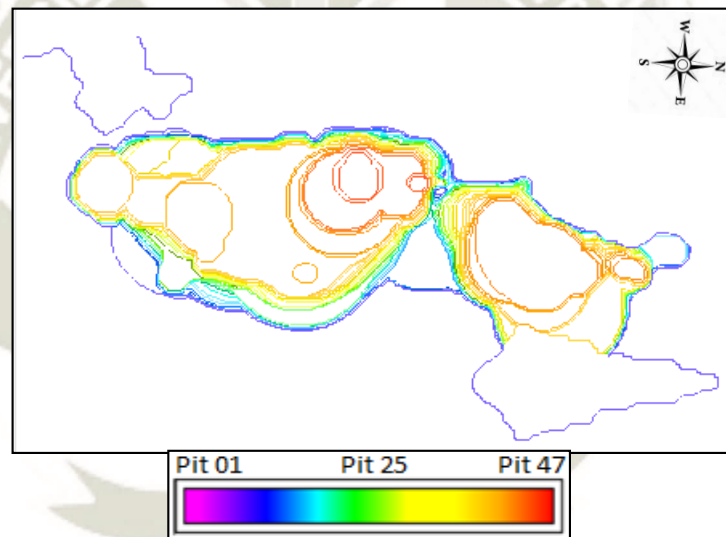


Figura 3-1 Pit Shells entregados por software MS

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Software Minesight

Tabla 3-3 Revenue Factor elegido , Caso Base

VARIABLES	PRICE	PIT	RF
Unid	\$/gr	Unid	Unid
1	28.94	Pit2	0.00
2	28.37	Pit3	0.02
3	27.81	Pit4	0.04
4	27.25	Pit5	0.07
5	26.69	Pit6	0.09
6	26.13	Pit7	0.11
7	25.57	Pit8	0.13
8	25.01	Pit9	0.16
9	24.45	Pit10	0.18
10	23.89	Pit11	0.20
11	23.32	Pit12	0.22
12	22.76	Pit13	0.24
13	22.20	Pit14	0.27
14	21.64	Pit15	0.29
15	21.08	Pit16	0.31
16	20.52	Pit17	0.33
17	19.96	Pit18	0.36
18	19.40	Pit19	0.38
19	18.83	Pit20	0.40
20	18.27	Pit21	0.42
21	17.71	Pit22	0.44
22	17.15	Pit23	0.47
23	16.59	Pit24	0.49
24	16.03	Pit25	0.51
25	15.47	Pit26	0.53
26	14.91	Pit27	0.56
27	14.35	Pit28	0.58
28	13.78	Pit29	0.60
29	13.22	Pit30	0.62
30	12.66	Pit31	0.64
31	12.10	Pit32	0.67
32	11.54	Pit33	0.69
33	10.98	Pit34	0.71
34	10.42	Pit35	0.73
35	9.86	Pit36	0.76
36	9.30	Pit37	0.78
37	8.73	Pit38	0.80
38	8.17	Pit39	0.82
39	7.61	Pit40	0.84
40	7.05	Pit41	0.87
41	6.49	Pit42	0.89
42	5.93	Pit43	0.91
43	5.37	Pit44	0.93
44	4.81	Pit45	0.96
45	4.24	Pit46	0.98
46	3.68	Pit47	1.00

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

El programa Minesight entrega como resultado la Tabla 3-3 , en las cuales se pretende decidir en base a un ancho de minado mínimo de fase, que no tan solo contemple un ancho creciente considerable, de igual forma que contenga una cantidad de tonelaje que contenga un excedente de la capacidad planta, de esta selección se obtuvo los pit shells 04,06, 09,10,16,29,36 para la construcción de crecimiento del pit final del proyecto y como orientación para el diseño de fases de “Caso Base”.

Una de las variables más importantes que hay que tener en cuenta para la elección de Pit Óptimo es el VPN y cómo se puede corroborar a partir del Pit Shell 36 donde el valor incrementa de manera marginal, por lo que extender la vida del depósito no se justifica dado los riesgos asociados al crecimiento lo cual no es compensado por la ganancia producida por este evento. Para el cálculo se usó referencialmente una capacidad de planta de 08 Mt/año y una tasa de descuento de 15%, en donde los datos se representan en la Tabla de Anexo02 -01. Cabe destacar que se usó para este ejercicio una tasa de descuento fija, dado que el análisis radicaba en la comparación de los métodos guía para una óptima orientación para la etapa de diseños de fases, pero un parámetro importante es la tasa de descuento la cual juega un papel interesante en el análisis.

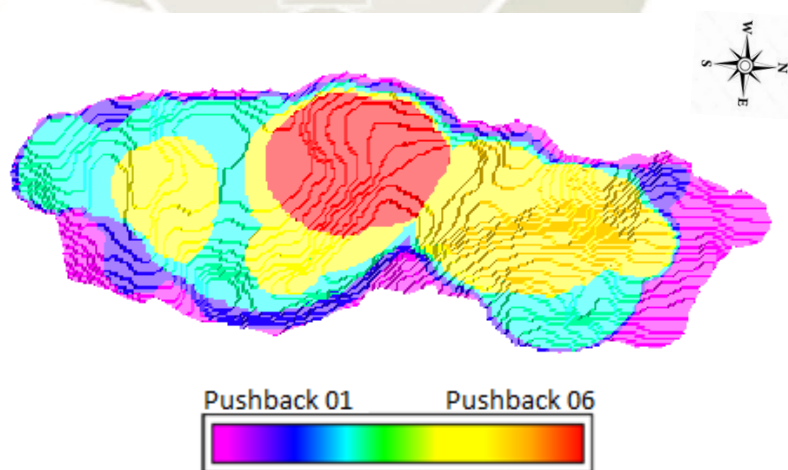


Figura 3-2 Pushback seleccionados en software MS

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Software Minesight

Continuando con el análisis, a simple vista, el direccionamiento de mina indica que primero se mine la parte central del tajo , continuándose por los extremos de la

envolvente, el pit más interesante a examinar será el primer Pushback debido que la mineralización se encuentra más cerca de la superficie, pero para este ejercicio se nos pide hallar un pre stripping optimo, Software Minesight no permite hallar el desbroce optimo, así mismo se mostró en la tabla 3-3 que el orden de los pit shells es de acuerdo al valor de estos.

De igual forma los siguientes Pit Shells, también muestran un valor presente neto interesante, proporcional al tonelaje extraído, debido a que se buscó encontrar un Pit shell que no involucre una extracción excesiva de desmonte y un valor presente neto lo más favorable posible.

También se concluye del análisis, que desde el Pit Shell 36 hacia adelante, el resultado de valor presente neto es marginal, es decir que a partir de ahí los VPN son despreciables o casi similares, por lo que no se justificaría o no resultaría tan atractivo remover tanto desmonte para recuperar tan poco mineral.

A continuación, se muestra la evolución de manera acumulativa, de las variables Esteril – Mineral y su valor económico asociado y representado en el eje Y por el NPV referencial de cada Pit Shell.

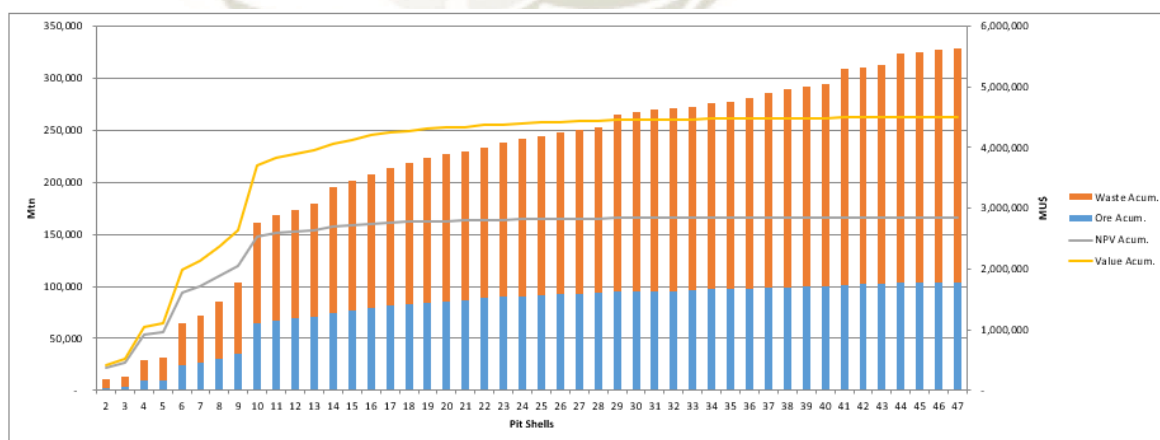


Figura 3-3 Representación gráfica de los pit shells, respecto a su VPN

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

3.3.2. Secuencia de optimización tradicional

Dentro del análisis del valor presente neto (VPN) y las toneladas de mineral versus las toneladas de desmonte, se aprecia que los pit shells seleccionados poseen las características explicadas en la siguiente tabla 3-4:

Tabla 3-4 Secuencia de Pushback elegidos a partir de software MS, módulo Economic Planner

Pit Shell	Ore	Waste	SR	Total Mat.	Value	Ore Acum.	Waste Acum.	Tot.Mat.Acum	Value Acum.	Time	Rate	NPV	NPV Acum.
Código	Ktons	Ktons	W/O	Ktons	KUS\$	Ktons	Ktons	Ktons	KUS\$	Years	%	MUS\$	MUS\$
4	5,798	10,491	2.0	16,289	541,679	9,364	20,219	29,583	1,054,657	2	0.8	447,669	914,012
6	13,666	19,813	2.0	33,479	875,058	23,851	41,137	64,988	1,984,840	3	0.8	657,444	1,617,014
9	4,544	12,774	3.0	17,318	265,613	35,360	67,914	103,274	2,631,131	5	0.6	164,925	2,041,947
10	28,696	28,763	2.0	57,458	1,069,368	64,056	96,677	160,733	3,700,499	8	0.5	498,868	2,540,815
16	2,932	4,006	2.0	6,938	71,741	79,723	128,312	208,035	4,201,260	10	0.4	27,659	2,748,000
29	1,077	11,093	11.0	12,170	22,066	94,612	170,248	264,860	4,460,920	12	0.3	7,031	2,838,927
36	687	2,684	4.0	3,371	3,766	98,223	182,819	281,041	4,481,881	12	0.3	1,200	2,845,606

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel

- **Pit Shell N°04**

Su VPN esta del orden de 447 669 \$ aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 09 Mton, que corresponde al 32% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback. Es decir que en este caso no se incurrirá en gastos tan elevados debido a que se realizara una sub fase la cual será en su mayoría de desmonte, para el movimiento de material no económico está en el orden de 20 millones de toneladas aproximadamente.

- **Pit Shell N°06**

Su VPN acumulado esta del orden de 1 617 034 \$ aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 14,487 Mton, que corresponde al 41% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback, además posee una relación estéril mineral de 1.4.

- **Pit Shell N°09**

Su VPN esta del orden de 2 041 947 \$ aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 11 Mton, que corresponde al 30% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback. Asimismo se posee una relación E/M de 2.3.

- **Pit Shell N°10**

Su VPN esta del orden de 2 540 815 \$aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 28 Mton, que corresponde al 50% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback, con una relación E/M de 1.

- **Pit Shell N°16**

Su VPN esta del orden de 2 748 000 \$aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 15 Mton, que corresponde al 33% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback, con una relación E/M de 2.

- **Pit Shell N°29**

Su VPN esta del orden de 2 838 927 \$aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 15 Mton, que corresponde al 26% aproximadamente del mineral total que contiene este pushback, con una relación E/M de 2.8.

- **Pit Shell N°36**

Su VPN esta del orden de 2 845 605 \$aproximadamente, con un tonelaje de mineral de 3 Mton, que corresponde al 22% aproximadamente del mineral total que contiene este Pushback, con una relación E/M de 3.5.

3.3.3. Envoltente Final mediante el Algoritmo de Software Simsched

Simsched es un software que cuenta con tecnología innovadora para determinar la programación directa de bloques. SimSched DBS busca maximizar el VPN (Valor Presente Neto) del proyecto, decidiendo cuáles bloques serán explotados, cuándo y cuál será el destino de cada uno, a partir de un modelo de bloques importado.

Es posible definir múltiples plantas de proceso, stockpiles y acopios de estéril, respetando sus respectivas capacidades. También es posible definir límites físicos o forzar la explotación en determinadas regiones, a partir de la importación de superficies.

3.3.3.1. Inputs para optimización en Simsched

Los parámetros que se utilizaron para la construcción del “Caso UCSM” fueron las mismas características que fueron utilizadas para el Caso Base, donde también

se determinó mantener las fases número uno con fin de obtener un óptimo pre stripping, tratando de buscar mayor valor descontado.

El direccionamiento de minado o secuencia de explotación está sujeta a las siguientes restricciones:

- Capacidad de Mina (CM) = Año 2018 y 2019 - 23.29 Mt/año
Año 2020 y 2023 – 30.50 Mt/año
Año 2024 – 21.72 Mt/año
Año 2025-final – 14.60 Mt/año
- Capacidad de Planta (CP) = 8.3 Mt/año
- Sinking Rate = 08 bancos/año preferente
18 bancos/año máximo
- Ancho de Minado = 50 m.
- Ancho de Minado en el fondo = 50 m.
- Costo de Remanejo = 1.2 \$/t costo fijo.
0.3 \$/t costo de re manejo.
- Capacidad máxima de Stock = 500 000 tn
- Factor de descuento = 15%

Para el cálculo de ancho mínimo de minado se estableció en base al cálculo operativo como muestra la figura 3-4 establecido en la tabla 3-5:

$$\text{Ancho mínimo de Carguio} = BS + DS + 0.5 \times AC + 2 \times RGC + 0.5 \times AC + DS + DD$$

$$\text{Ancho mínimo de Carguio} = BS + 2 \times DS + AC + 2 \times RGC + DD$$

- BS = Baranda de seguridad.
AC = Ancho del camión.
DS = Distancia de Seguridad.
RGC = Radio de Giro del equipo de carguio o radio mínimo de operación.
DD = Derrames.

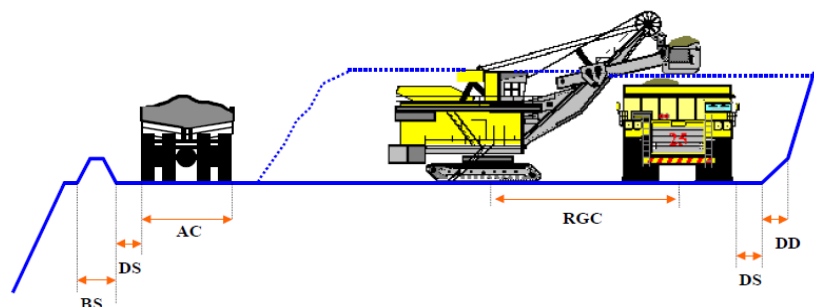


Figura 3-4 Ancho mínimo de minado

Nota. Fuente: Consultora IMSS, Microsoft Excel ancho de minado, 2016

Tabla 3-5 Calculo de ancho de rampa para optimización

ANCHO MINIMO DE OPERACIÓN		
Ancho Berma	Ab	5.4
Ancho Camión	Ac	6.70
Distancia de Seguridad	Ds	3.57
Radio de Giro de Equip. Carguío	Rg	7.2
Derrames	De	3.57
Ancho Mínimo de Carguío	Amc	38
Área Extra	Ap	6.7
Ancho Mínimo de Operación	Amo	44.7
Ancho Mínimo de Fondo de Tajo	Amf + margen	50

Nota. Fuente: Fuente IMSS, Software Excel ancho de minado,2016

Obteniendo como resultado un secuenciamiento como se muestra en la siguiente figura 3-5.

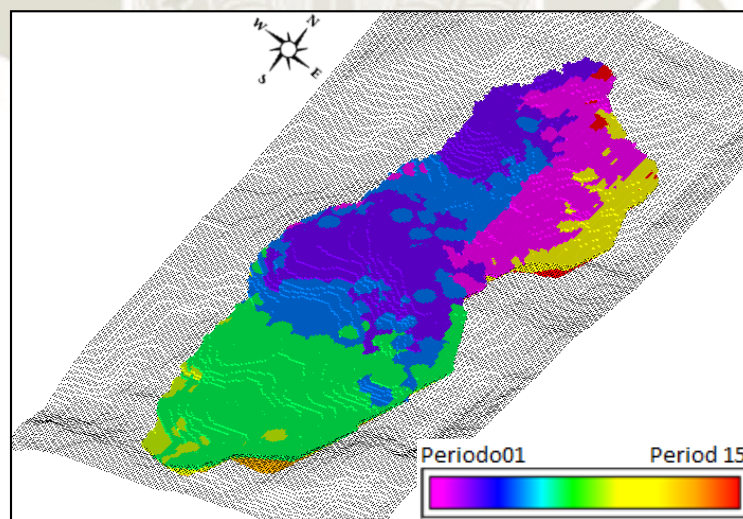


Figura 3-5 Secuenciamiento de periodos obtenido por Software Simsched

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

En el presente estudio se muestra una dirección de minado en dos sectores, considerando uno como principal, una orientación hacia el Noreste del tajo y considerando dos direcciones secundarias, una ubicada hacia el Noroeste y el Sureste. Figura 3-5 y 3-6.

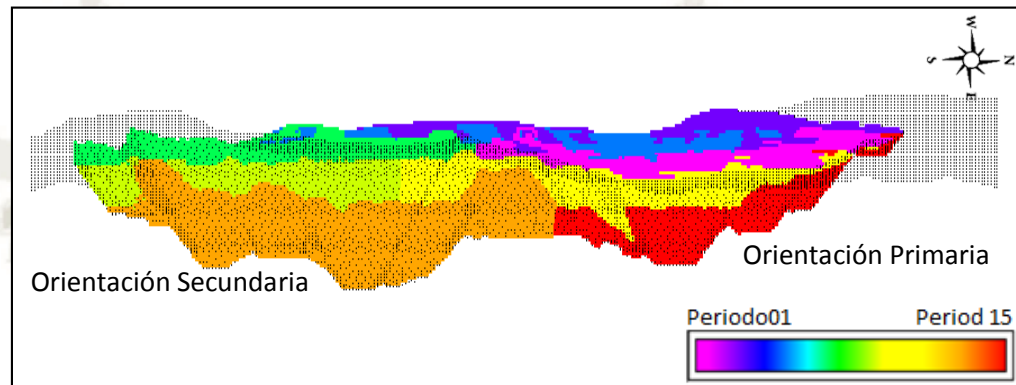


Figura 3-6 Dirección de minado de optimización en Software Simsched, vista perfil

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

Como resultado de direccionamiento de minado se tiene los siguientes periodos de minado.

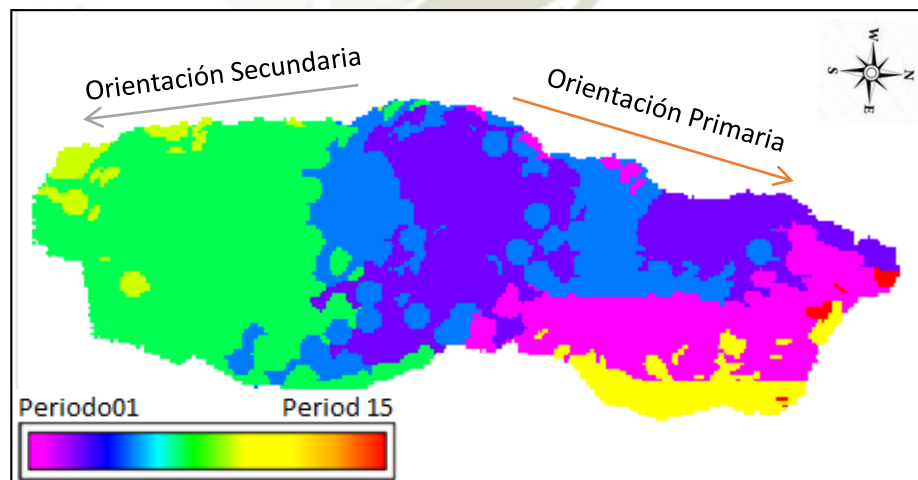


Figura 3-7 Dirección de minado de optimización en Software Simsched, vista planta

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

3.3.4. Secuencia de Optimizador Simsched

A continuación, se muestra el direccionamiento de minado incluyendo parámetros operaciones y objetivos de capacidad mina y planta otorgada por el software Simsched:

Con estas restricciones podemos observar que el pre stripping debe direccionarse en la zona del tajo central y norte del tajo, como se muestra en la Figura 3-8, la superficie mostrada en puntos corresponde al tajo final óptimo y de color violeta el periodo 01(año 01).

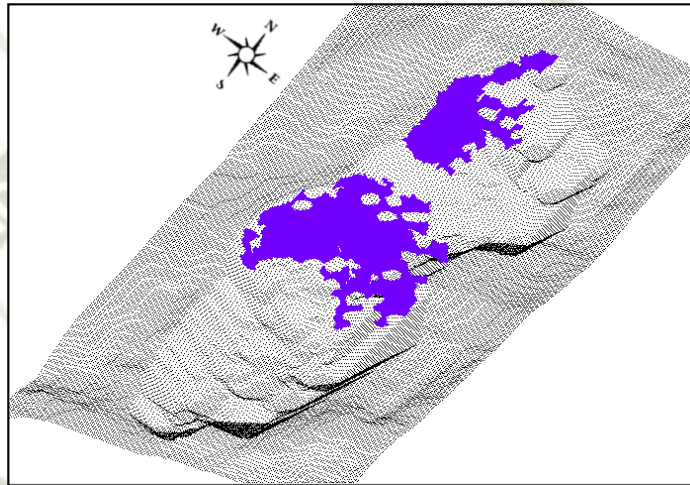


Figura 3-8 Periodo pre minado

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

El direccionamiento de minado es seguido por el centro del tajo (periodos 02 y 03) que podría corresponder a una pseudo-fase 01 como se muestra en la Figura 3-9 llegando así a suplir las demandas de los *facilities* y no infringiendo ninguna restricción asumida.

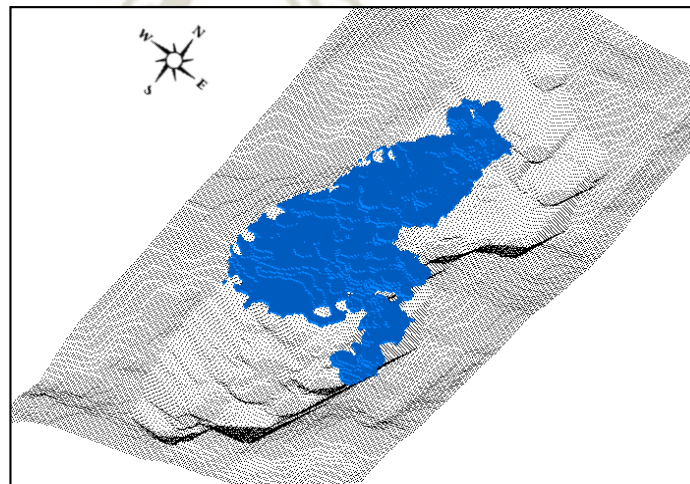


Figura 3-9 Periodo 01 de producción mina

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

La pseudo-fase dos corresponde al agrupamiento de periodos 04 y 05 de producción, la planta llega a su régimen de acuerdo al input asumido. La Figura 3-10 muestra que el minado del tajo Norte tiene que profundizar su desarrollo. Mientras tanto en la zona del tajo sur se posterga.

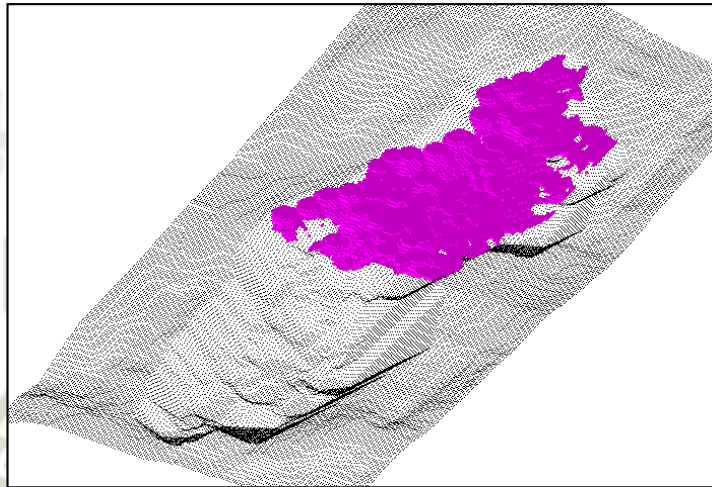


Figura 3-10 Periodo 02 de producción

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

La pseudo-fase tres corresponde a los periodos 06 y 07 de producción el minado comienza a expandirse en la zona del tajo sur. Por otra parte, como se muestra la siguiente Figura 3-11.

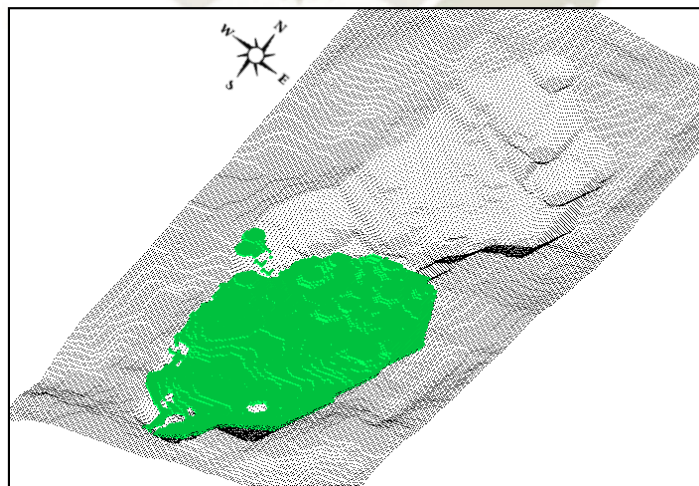


Figura 3-11 Periodo 03 de producción

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

Los periodos 08 y 09 se agrupan para conformar una pseudo-fase cuatro de minado como se muestra en la Figura 3-12, se profundiza el sur del tajo y la zona central y norte se detiene debido a que se posee un mejor mineral al sur.

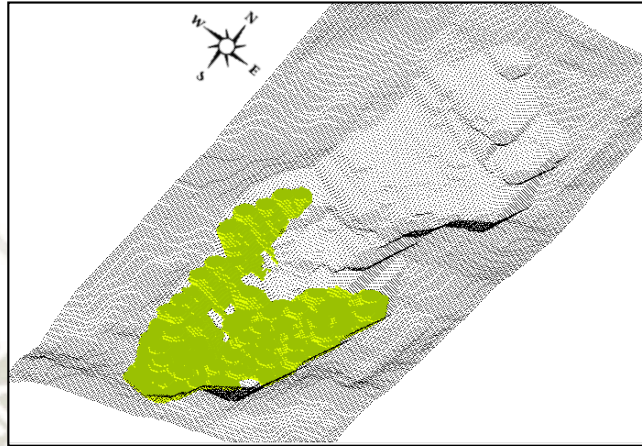


Figura 3-12 Periodo 04 de producción.

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

Como se muestran en las Figura 3-13 los periodos 10 y 11 centran su explotación en el minado de la zona del tajo norte y central con fin de profundizar dichas zonas aun no llegando a pared final, se ve un direccionamiento para una pseudo-fase cinco.

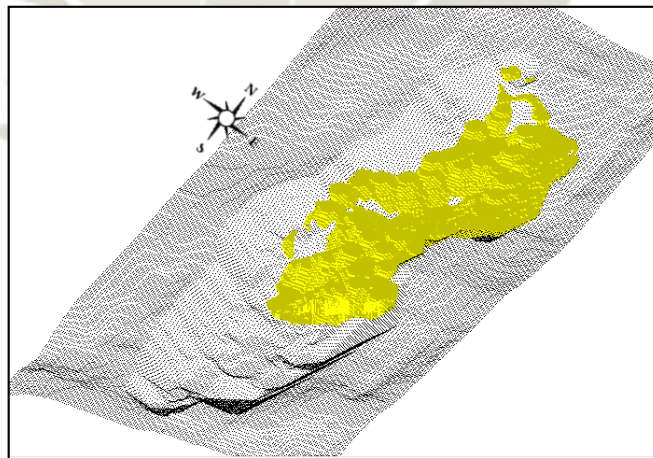


Figura 3-13 Periodo 05 de producción.

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

En el periodo 12 y 13 se llega a pared final en la zona sur del tajo, el minado está enfocado exclusivamente en el sur, como se puede observar en las Figuras 3-14 , se ve claramente una pseudo-fase seis.

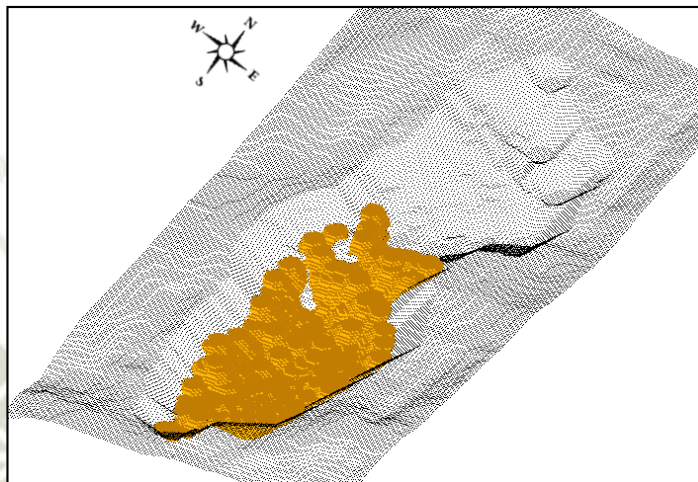


Figura 3-14 Periodo 06 de producción.

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

Para el periodo 14 y 15 como muestra en la Figura 3-15 el minado termina con la zona noreste, profundizando y llegando a pared final en dicho sector, terminando con el direccionamiento de una pseudo-fase siete.

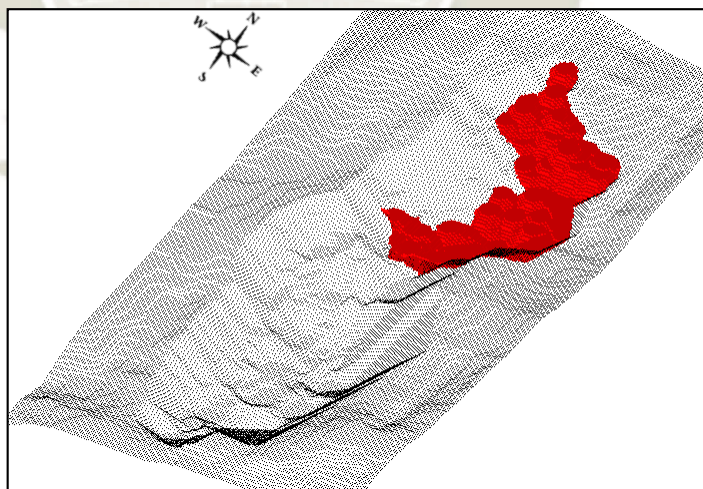


Figura 3-15 Periodo 06 de producción.

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

Como parte de los resultados, con el optimizador SimSched, se obtuvo un plan de producción de alto nivel, a través de los resultados de la programación de las áreas de valor mostradas anteriormente, periodo a periodo. Si bien este plan de producción no se elaboró en base a fases de minado propiamente tal, sino más bien a agrupaciones de

bloques, que tratan de representar pseudo-fases de minado. Las conclusiones que se pueden desprender de éste permitirán orientar el secuenciamiento de minado optimizado.

Asimismo, se confirma que, en orden de prioridad, la secuencia por tajo es orientado primero por el centro y norte del tajo siguiéndose por la dirección primaria de minado la cual es el norte continuándose con el sur del tajo para después profundizarse y llegar a tajo final.

3.3.5. Comparación de Tajos Finales

En el proceso de escoger un pit optimo por el método tradicional, se toma en cuenta un “revenue factor” equivalente a uno el cual indica que este no es el pit optimo, debido a que en un ponderado entre el *Best Case* y *Wost Case* se obtiene una ganancia optima y hace al proyecto más rentable. Simsched incorpora en su algoritmo encontrar un pit económico con valores descontados al presente, el cual también nos indica una envolvente final matemática muy cercana al óptimo. En las siguientes imágenes podemos observar diferentes comparaciones entre los pits resultantes.

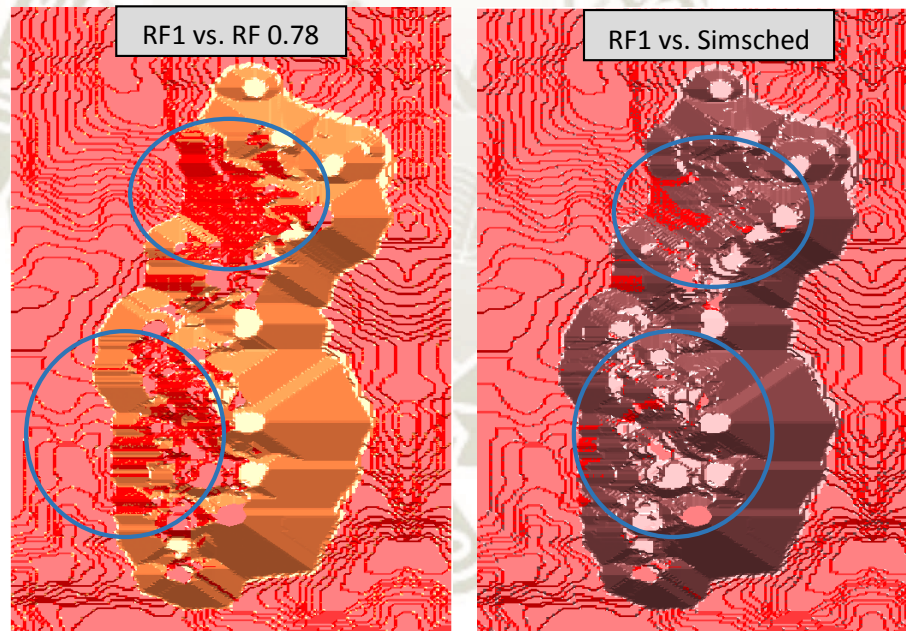


Figura 3-16 Comparación de cono RF 0.78 vs RF 1 y Simsched vs RF 1

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

En las siguientes figuras podemos observar la comparación entre el cono RF 1 frente a los pit finales de Economic Planner y Simsched en diferentes vistas planta. en resumen, en los tres niveles se observa que respecto al tajo final del Caso Base frente al tajo final del Caso UCSM tienen diferencia mínimas, por lo cual son muy similares, pero respecto al tajo de revenue factor uno si hay una diferencia en la zonas Norte y Este del tajo , esto es debido a que los tajo de los casos Base y UCSM son optimizados, es decir extraen los bloques que son rentables para el proyecto.

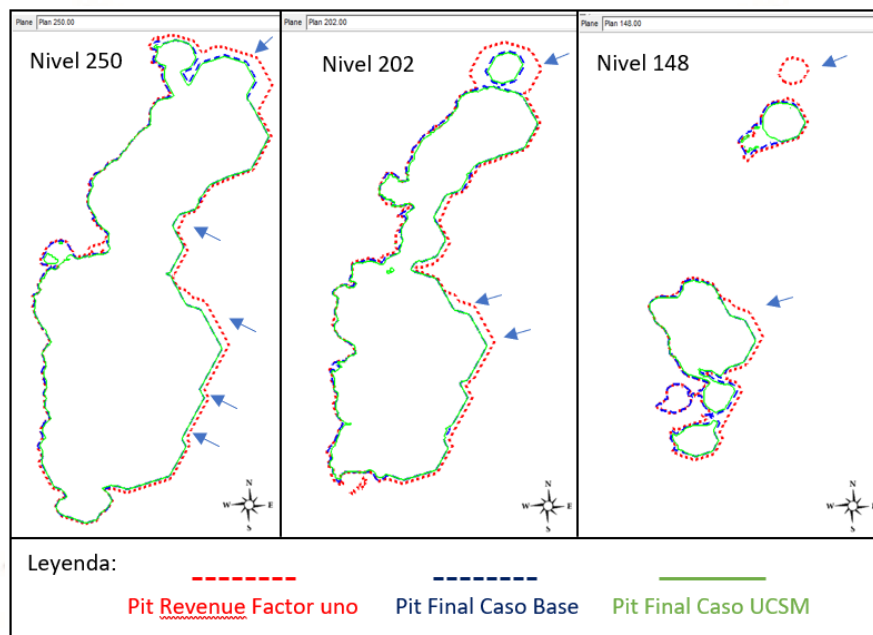


Figura 3-17 Comparación de conos obtenidos en optimización

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

3.4. Conclusiones

- La orientación de minado del Caso Base posee una dirección de minado con una orientación primaria que parte desde el centro del tajo hacia el noroeste y con una dirección secundaria hacia el sureste, pero incrementándose de manera cónica.
- La orientación de minado del Caso UCSM posee una dirección de minado con una orientación primaria que parte desde el centro del tajo hacia el noroeste y con una dirección secundaria hacia el sureste, respetando anchos mínimos de fase, por lo que se consideraría una mejor y más real guía de diseño.
- El tajo final optimizado del Caso Base y Caso UCSM son muy similares, pero se muestra una disminución respecto al revenue factor uno, de 5% de mineral, 19% en desmonte y en material total un 14%.
- Las pseudo-fases formadas por cada optimizador son diferentes debido a que cada algoritmo cuenta con diferentes métodos geométricos para conformar el tajo final.

CAPITULO IV: DISEÑO DE CASOS

4.1. Criterio de diseño de fases mineras

Para los dos casos, una vez obtenido el Pit Final, resultado del módulo Economic planner de software Minesight o Software Simsched, se procede al diseño de fases mineras a línea media utilizando el software Qpit.

Dentro de las características, el diseño está construido en base a fases con las siguientes características:

- Altura de banco: 06 m.
- Ancho de rampa: 27 m.
- Longitud de la rampa: 60 m.
- Pendiente de la rampa: 10 %
- Ángulo inter-rampa: Zona03 - 44°
Zona02, Zona05 - 45°
Zona01, Zona04 - 46°
- Ángulo de cara de banco: Zona03 - 70°
Zona02, Zona05 - 65°
Zona01, Zona04 - 70°
- Ancho de Berma: Zona03 – 4.0
Zona02, Zona05 – 3.2
Zona01, Zona04 – 3.6
- Cota máxima de último banco: 426
- Cota mínima del primer banco: 84
- Numero de bancos: 58

Para el cálculo del ancho de rampa se consideró la metodología descrita en la Figura 4-1, los parámetros marcados en la figura 4-2 en conjunto con sus valores determinados en la tabla 4-1:

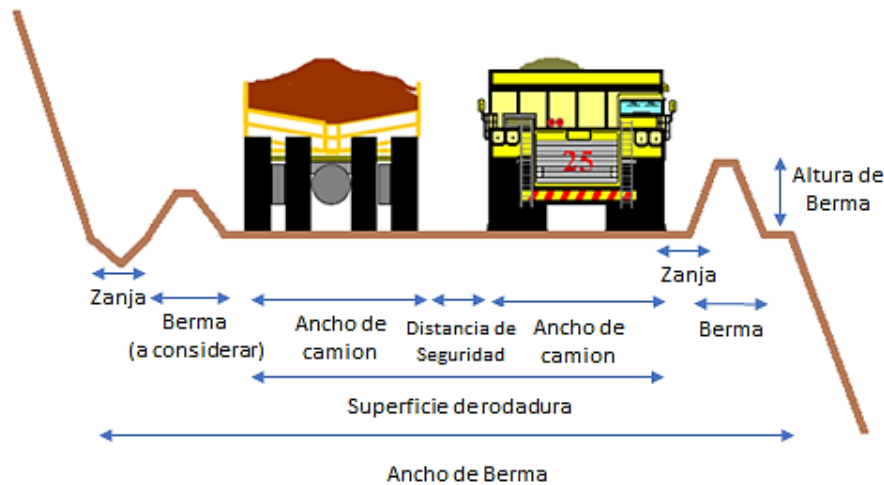


Figura 4-1 Variables para el diseño de la Rampa de acarreo

Nota. Fuente: Consultora IMSS, Microsoft Excel, Dimensionamiento de rampa, 2016

Para los variables usadas para el cálculo en la tabla 4-1 se utilizó la siguiente imagen.

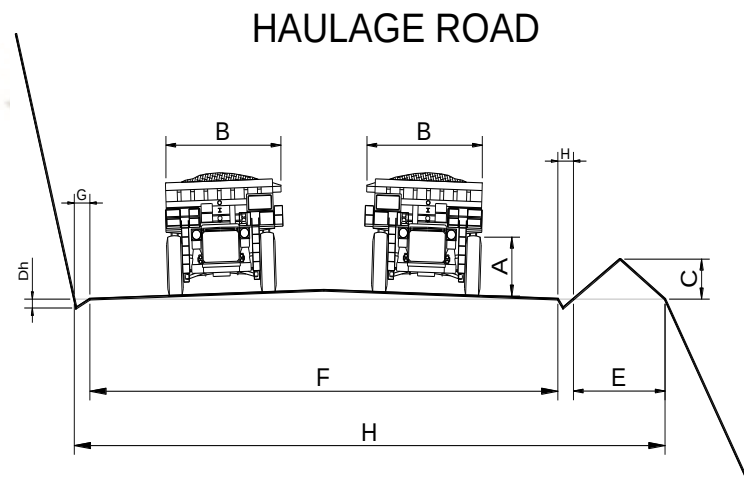


Figura 4-2 Nomenclatura para diseño de rampa de acarreo

Nota. Fuente: Consultora IMSS, Microsoft Excel, Dimensionamiento de rampa, 2016

Tabla 4-1 Cálculo de ancho de rampa

Dimensionamiento de Rampa		
Dimensiones	Operación	CAT 777
Carga Nominal (t)		91.0
Modelo de Neumáticos		27.00 R49
Altura de Neumático (m)	A	2.69
Ancho del Camión (m)	B	6.70
Altura de Berma (m)	$C = 3/4 * A$	2.02
Angulo de Berma		37
Ancho de Berma (m)	$E = C / \tan(D) * 2$	5.4
Superficie de Rodadura (m)	$F = B * 3.0$	20.1
Zanja (m)	G	0.6
Ancho de Rampa - Teor. (m)	$H = F + E + 2 * G$	26.7
Ancho de Rampa - Diseño (m)	$I = \text{round}(H)$	27.0

Nota. Fuente: Consultora IMSS, Microsoft Excel, Dimensionamiento de rampa ,2016

4.2. Diseño de mina “Caso Base”

Para el desarrollo de las fases, estas se construyeron bajo la guía de los Pit Shell entregados por el software Minesigt, con el fin de otorgar el mejor valor, dentro del criterio utilizado para la construcción de las rampas de acceso, se consideró evitar que estas pasaran por el cuerpo mineralizado, para así minimizar las pérdidas de mineral, además todas las fases fueron desarrolladas con el objetivo de siempre estar conectadas dentro de la mina , hacia botadero y planta de beneficio.

En la Figura 4-3 se muestra en línea color blanco el pit shell 10 o pushback04 y de color rojo se muestra la Fase04 Caso Base, la figura muestra que se diseñó con la guía de optimizador del software Minesight, todo el set de fases se diseñó a línea media en el software Qpit.

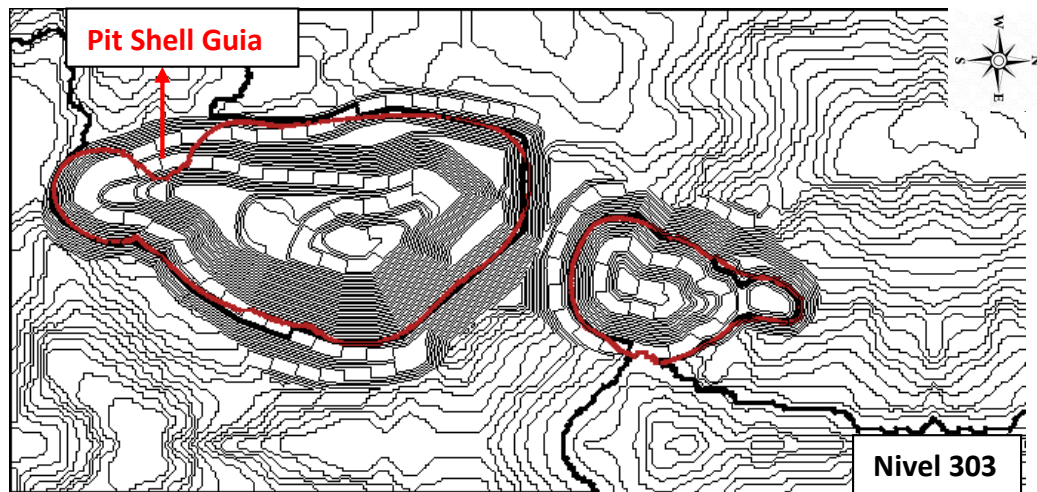


Figura 4-3 Demostración seguimiento del área de valor

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Qpit

En la Figura 4-4, se observa que las construcciones de las rampas están diseñadas de tal forma que el diseño de las comunicaciones no transite por el cuerpo mineralizado.

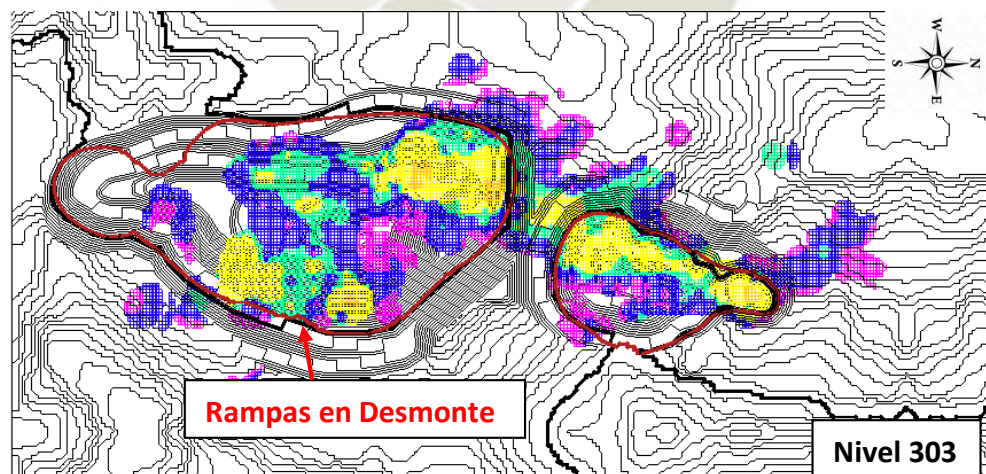


Figura 4-4 Demostración seguimiento del modelo de bloques

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Qpit

En la figura se muestra las fases de caso base la cual consta de FaseA_CB (pre stripping subfase01), FaseB_CB (pre stripping subfase02) , Fase01_CB, Fase02_CB, Fase03_CB, Fase04_CB, Fase05_CB, Fase06_CB, Fase07_CB. En la imagen se muestran los cortes que conforman en conjunto el tajo final, asimismo en la figura 4-5 se muestra la dirección del optimizador de Minesight para corroborar que el diseño de fases se orientó en base a esta guía del optimizador EP en la figura 4-6.

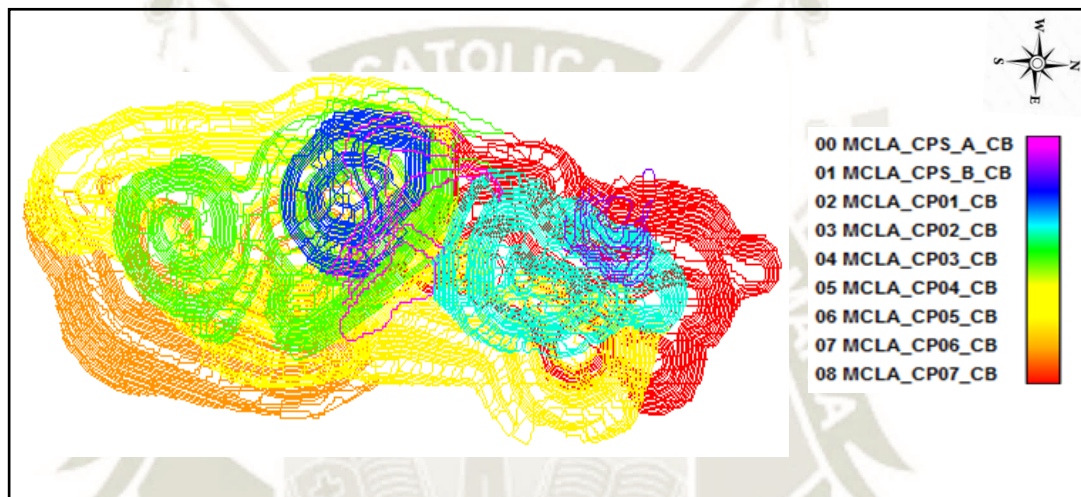


Figura 4-5 Fases de Caso Base, direccionamiento Economic Planner

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

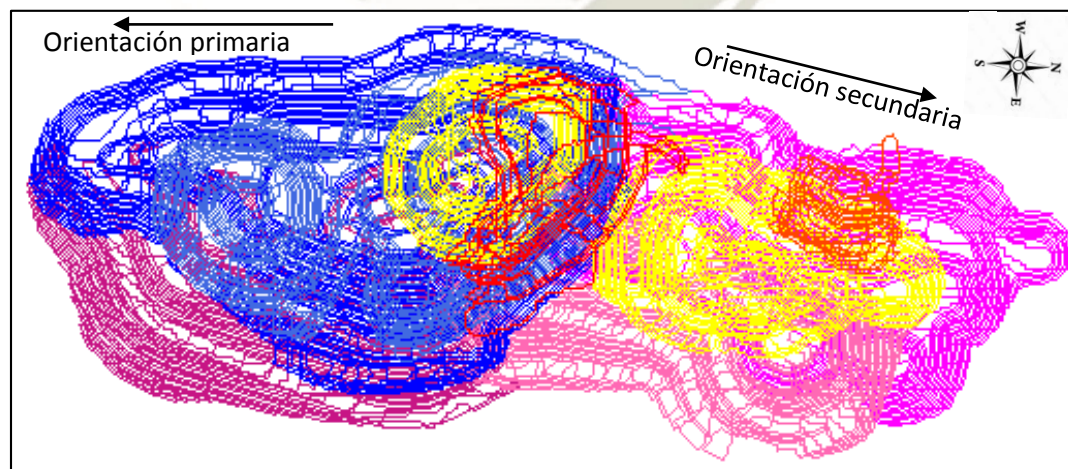


Figura 4-6 Orientación de minado, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

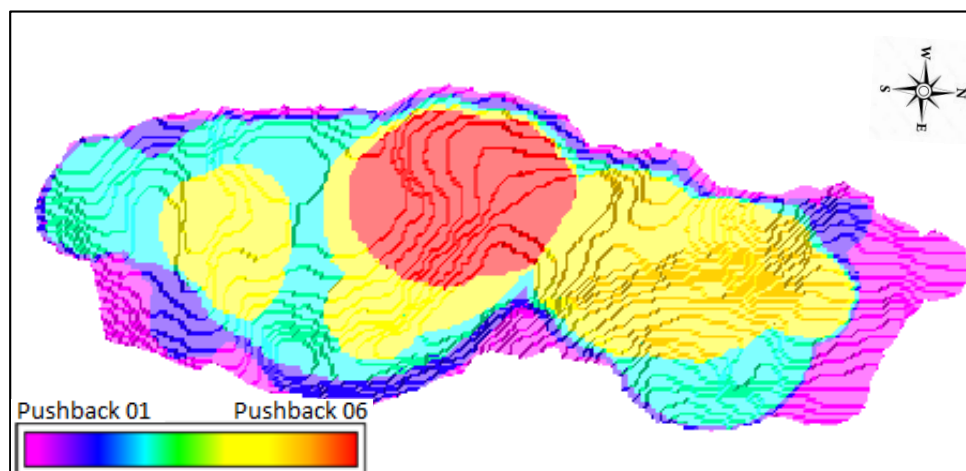


Figura 4-7 Pushback seleccionados, direccionamiento Economic Planner

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

En la figura 4-8 se muestra el tajo final diseñado con la guía de módulo *Economic Planner* en software Qpit, el cual es muy parecido al tajo final otorgado por Simsched, para el diseño de la envolvente final se desarrolló diferentes salidas que mantengan un comunicación constante con todos los *facilities*.

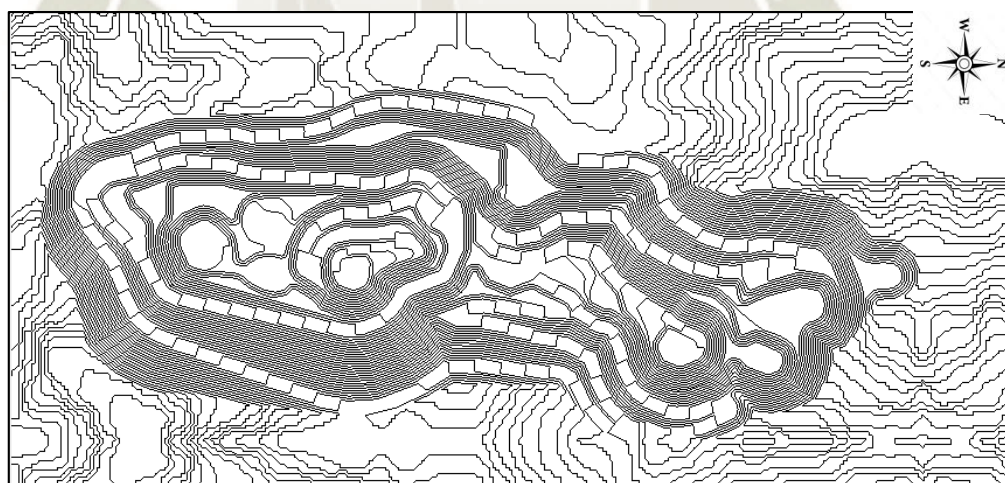


Figura 4-8 Pit final Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

En la Figura 4-9 se observa que el tajo final posee conexión a planta, botaderos, stocks y pad de lixiviado en donde está representado por el recorrido de la línea de color verde (*inpit*) y líneas color rojo (*expit*).

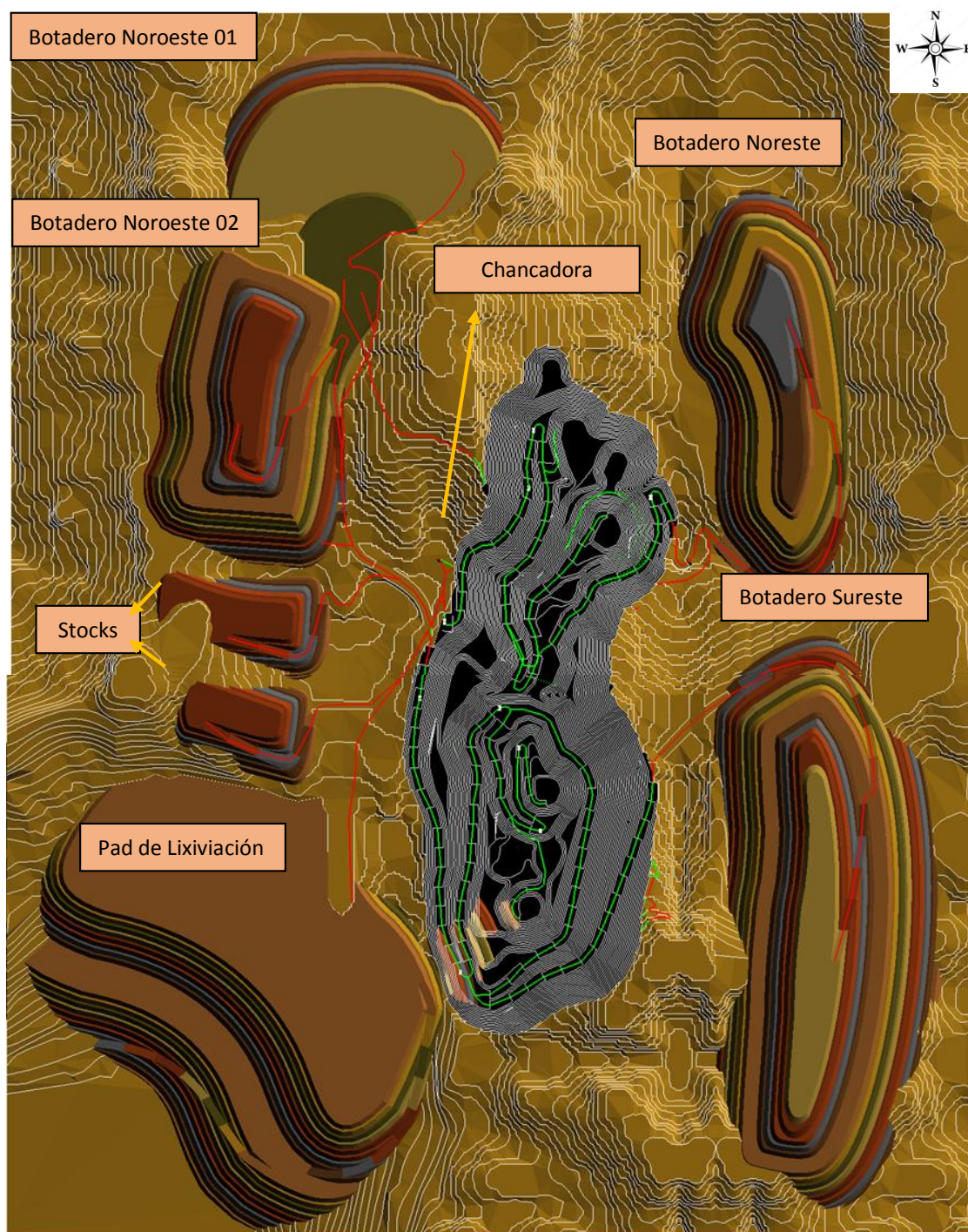


Figura 4-9 Representación de conectividad a principales destinos, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minehaul

4.3. Secuencia y cubicación de Fases Estratégicas “Caso Base”

4.3.1. Cubicación de Fases de “Caso Base”

A continuación, en la Tabla 4-2, se detalla la cubicación del set del “Caso UCSM”, donde se muestra el tonelaje por material de Mineral de alta ley y mediana ley junto a sus leyes promedio, asimismo el material estéril por clasificación de presencia de aguas acidas medido en toneladas.

Tabla 4-2 Cubicación por fase del caso base.

FASE	Ton_Mineral_hg	Au_ppm	Ton_Mineral_mg	Au_ppm	Ton_Mineral_Lg	Au	Ton_Desmonte	Relacion E/M
codigo	Kton	ppm	Kton	ppm	Kton	ppm	Kton	
Stp_a	-	0.00	-	0.00	-	0.00	9,512	PRE-STRIPPING
Stp_b	-	0.00	12	2.00	16	1.06	2,707	PRE-STRIPPING
F01	842	4.58	2,542	2.09	1,770	1.00	12,472	4.21
F02	4,922	4.99	4,439	1.88	1,726	1.04	21,010	2.43
F03	4,981	6.34	2,602	1.81	1,740	1.06	32,422	4.51
F04	14,210	4.52	15,422	1.82	14,652	1.06	57,217	2.43
F05	1,718	6.12	1,187	1.80	1,320	1.06	50,622	17.88
F06	2,065	4.16	3,390	1.77	4,227	1.06	58,805	11.55
F07	4,963	4.81	5,866	1.79	5,454	1.06	40,170	4.21
TOTAL	33,701	4.96	35,458	1.83	30,905	1.06	378,815	4.57

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del análisis de los resultados de la tabla anterior, se concluye que la fase número 04 es una de las más grandes, asimismo es la fase que aporta mayor mineral, dado que la fase número uno es la que comienza a exponer mineral luego del pre stripping, de igual forma posee una ley muy alta la que permite que esta posea mayor fino. También se observa que a medida que la explotación se profundiza el tonelaje de mineral aumenta hasta fase 04 continuándose con una disminución gradual.

4.3.2. Secuencia de Fases de “Caso Base”

Como se menciona al principio del análisis, se busco realizar un secuenciamiento buscando un pre stripping optimo, por lo que para este determinado caso el Pre stripping se dividió en dos subfases, una por el norte y otra por la parte central del tajo.

La Figura 4-10 muestra la fase pre stripping A en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al *Haul Road* donde se contempla un tonelaje de esteril sin presencia de aguas acidas de 9,871 Kton con un minimo de 2 Kton de mineral la direccion de minado se orienta hacia el centro del tajo.

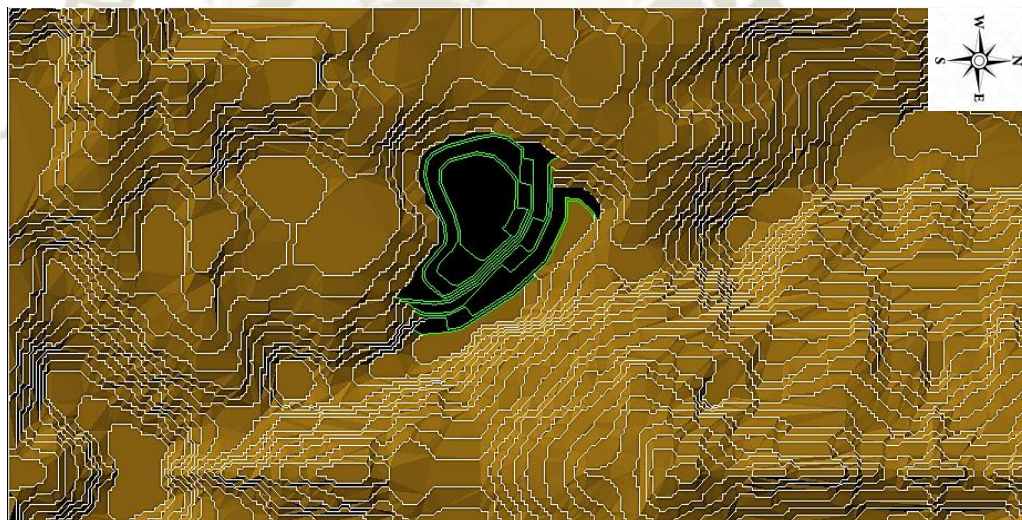


Figura 4-10 Pre stripping , sub fase A , Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-11 muestra la fase pre stripping B en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril sin presencia de aguas acidas de 2,675 Kton con un mínimo de 31 Kton de mineral, la dirección de minado se orienta al norte.



Figura 4-11 Pre stripping , sub fase B , , Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-12 muestra la fase 01 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 11,574 Kton con tonelaje de mineral de 6,045 Kton, teniéndose una relación E/M de 1.92, la dirección de minado profundiza el centro del tajo.

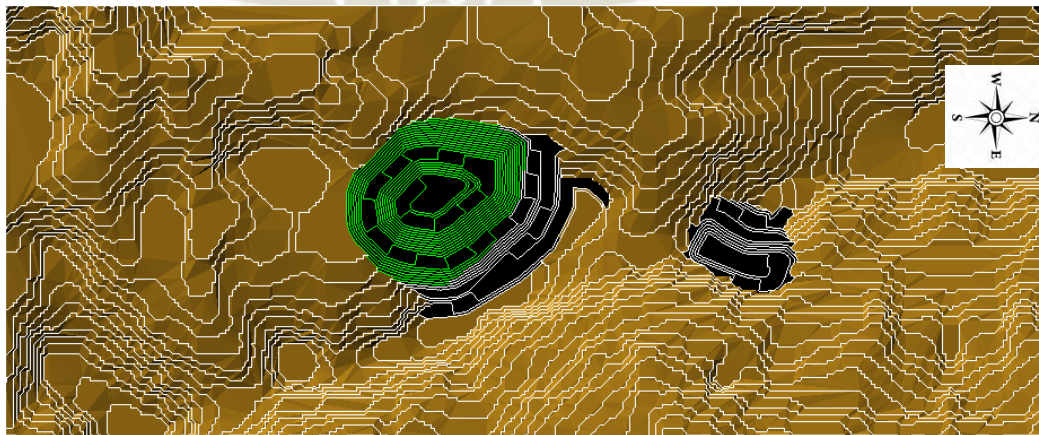


Figura 4-12 Fase 01, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-13 muestra la fase 02 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 20,522 Kton con tonelaje demineral de 11,574 Kton teniéndose una relacion E/M de 1.77, la direccion de minado es al norte del tajo.

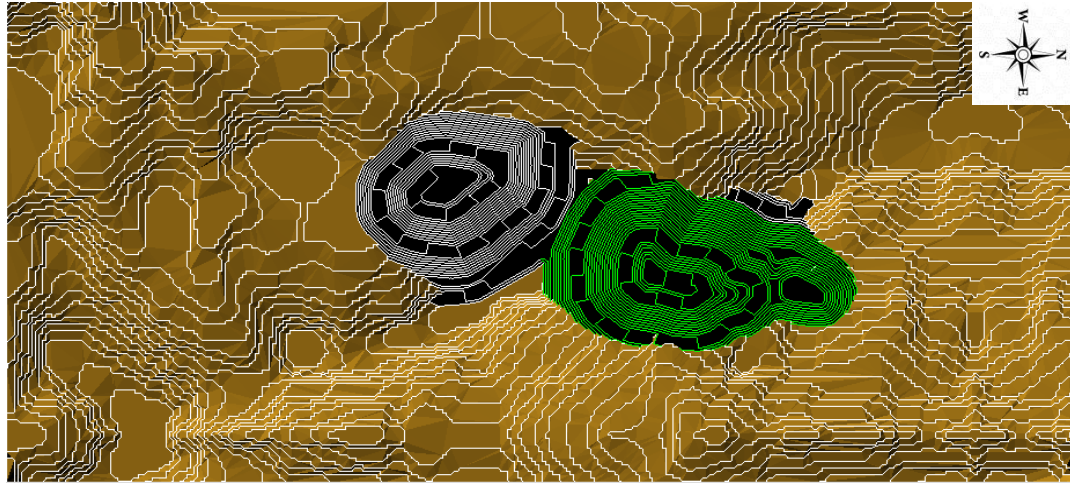


Figura 4-13 Fase 02, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-14 muestra la fase 03 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 32,422 Kton con tonelaje demineral de 9,322 Kton teniéndose una relacion E/M de 3.48, la direccion de minado se orienta a profundizar al sur y centro del tajo.



Figura 4-14 Fase 03, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-15 muestra la fase 04 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 57,217 Kton con tonelaje de mineral de 44,284 Kton teniéndose una relación E/M de 1.29, la dirección de minado se orienta a profundizar el sur y centro del tajo.

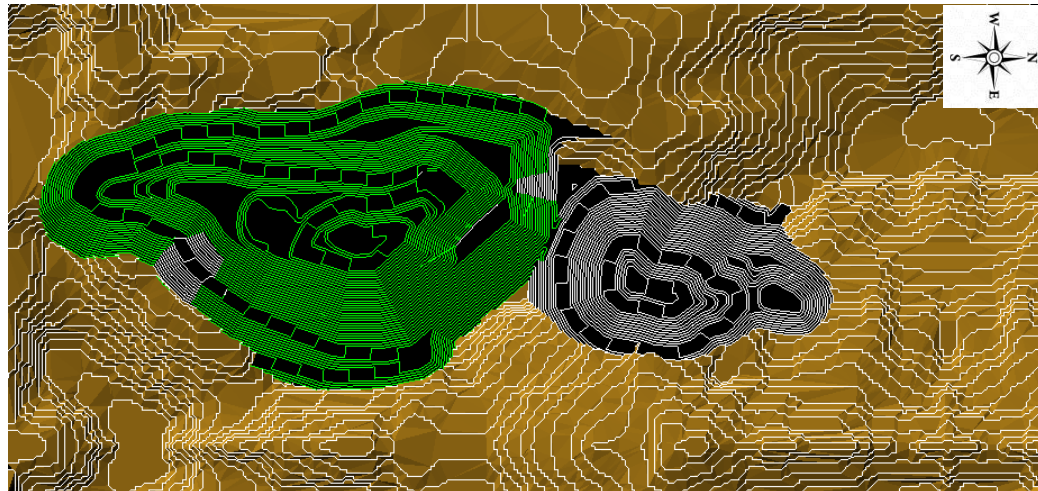


Figura 4-15 Fase 04, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-16 muestra la fase 05 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 50,622 Kton con tonelaje de mineral de 4,226 Kton teniéndose una relación E/M de 11, la dirección de minado se orienta al noreste del tajo.

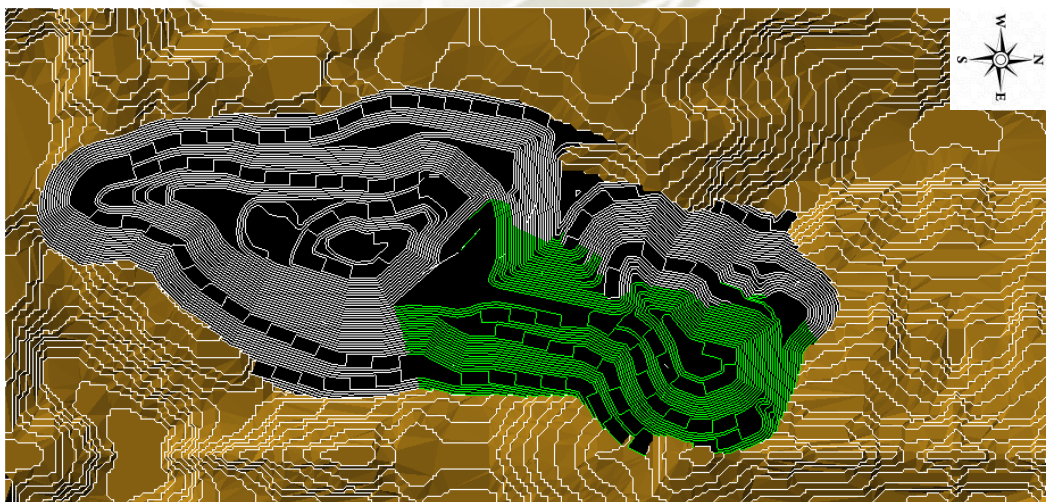


Figura 4-16 Fase 05, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-17 muestra la fase 06 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 58,805 Kton con tonelaje demineral de 9,682 Kton teniéndose una relación E/M de 6.07, la dirección de minado se orienta al sur del tajo llegando a pared final y manteniendo conexiones.

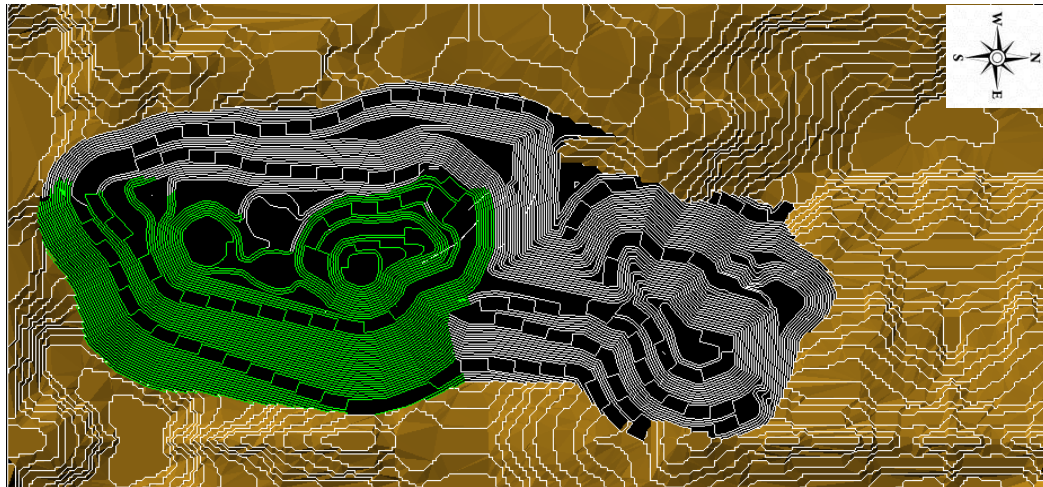


Figura 4-17 Fase 06, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-18 muestra la fase 07 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 40,170 Kton con tonelaje demineral de 16,282 Kton, la dirección de minado se orienta al noroeste del tajo.

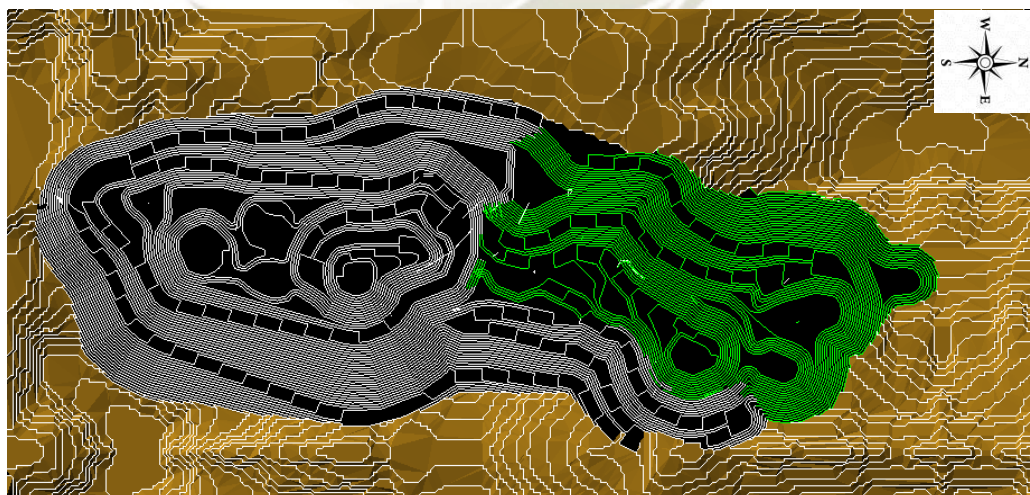


Figura 4-18 Fase 07, sub fase A, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

4.4. Diseño de minas “Caso UCSM”

Debido a los avances en los algoritmos de optimización, se plantea desafiar el Caso Base el cual utiliza algoritmos tradicionales como los mencionados anteriormente con el “Caso UCSM” se utilizó la aplicación computacional llamada “Simched”, el cual usa un algoritmo matemático que involucra el valor del dinero en el tiempo y optimiza desde el modelo de bloques considerando restricciones operativas y parámetros técnicos -económicos. Además, considera en su optimización una política de leyes de cortes variable en el tiempo y un costo de oportunidad asociado al plan de minado. Del mismo modo Simsched entrega un pit final, al cual se le asocia un plan de producción y una orientación de pseudo fases (no operativas), las cuales servirán como guía para diseñar la fases del “Caso UCSM”.

Este programa cuenta con una interesante tecnología de optimización para determinar mediante programación directa de bloques, decidiendo cuales bloques serán explotados, cuando y cuál será el destino de cada uno de ellos, a partir de un modelo de bloques importado, donde el resultado final será una simulación en 3D.

Las variables que se importan a este programa son la densidad del mineral, ángulo de talud, recuperación del mineral y valores económicos tales como la tasa de descuento y costo de remanejo que influyen significativamente dentro de un proyecto minero, además brinda numerosas posibilidades al usuario, ya que, este es el que determina las restricciones del depósito y los valores que se pretenden simular. Además, uno de los principales objetivos de esta simulación es incrementar el VPN del proyecto dado por el Caso Base, el cual se está evaluando y desafiando.

Los parámetros que se utilizaron para la construcción del “Caso UCSM” fueron los mismos parámetros utilizados para el Caso Base, donde también se buscó un óptimo pre stripping y direccionamiento de minado de áreas de valor, el set de diseño que se muestra a continuación está sustentada en los resultados obtenidos por SimSched.

En la Figura 4-19 se muestra en línea color blanco el área de minado hasta el periodo 09 y de color rojo se muestra la Fase04 “Caso UCSM”, la figura muestra que se diseñó con la guía de optimizador del software Simsched, todo el set de fases se diseñó a línea media en el software Qpit.

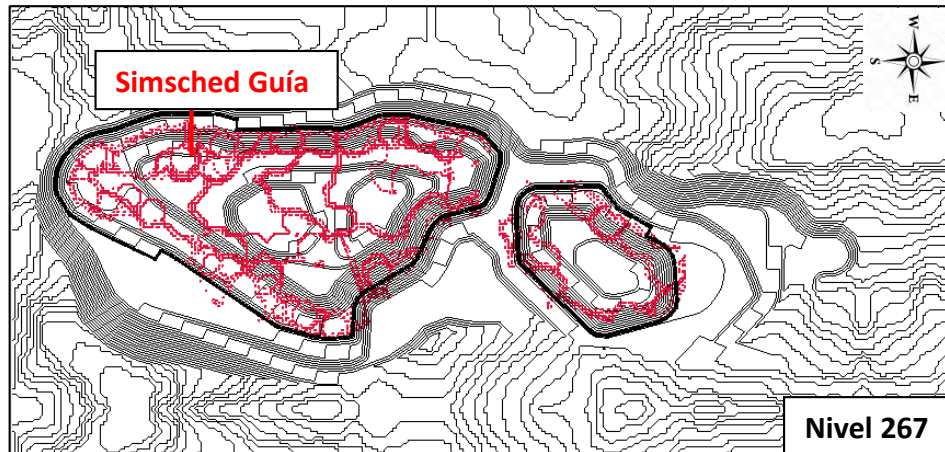


Figura 4-19 Guía de optimizador Simsched ,junto a fases de diseño

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Qpit

En la Figura 4-20,se observa que las construcciones de las rampas están diseñadas de tal forma que el diseño de las comunicaciones no transiten por el cuerpo mineralizado.

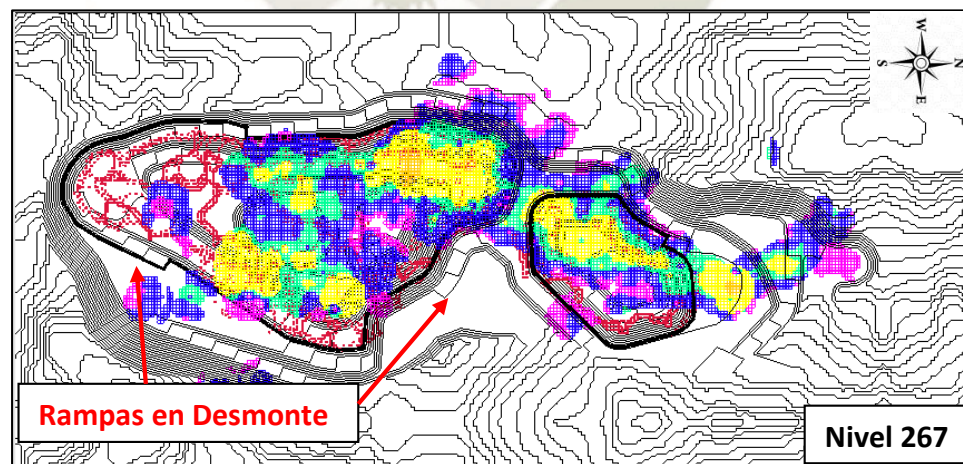


Figura 4-20 Demostración seguimiento del modelo de bloques

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Qpit

En la figura 4-21 se muestra las fases de caso UCSM la cual consta de FaseA_UCSM (pre stripping subfase01), FaseB_UCSM (pre stripping subfase02) , Fase01_UCSM, Fase02_UCSM, Fase03_UCSM, Fase04_UCSM, Fase05_UCSM, Fase06_UCSM, Fase07A_UCSM, Fase07B_UCSM. En la imagen se muestran los cortes que conforman en conjunto el tajo final , asimismo en la figura 4-23 se muestra la dirección del optimizador de Simsched para corroborar que el diseño de fases se orientó en base a esta guía del optimizador en la figura 4-24.

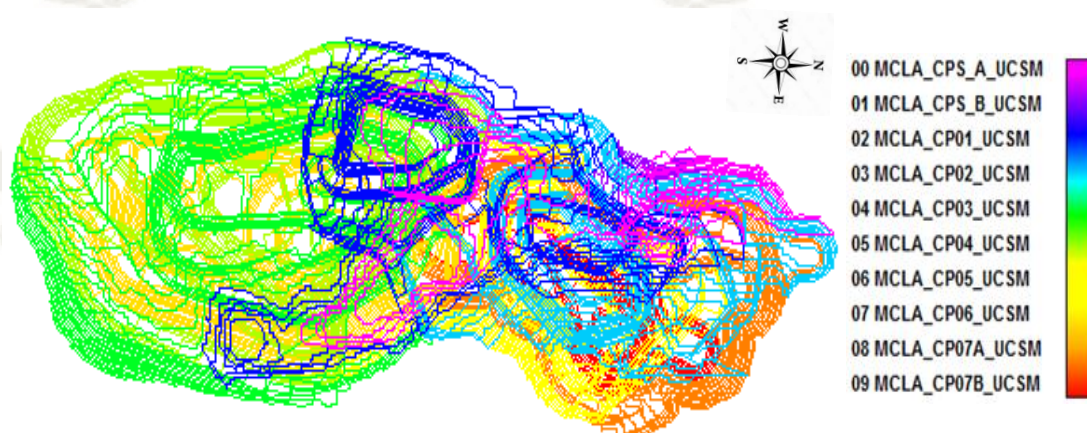


Figura 4-21 Diseño de fases en conjunto, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

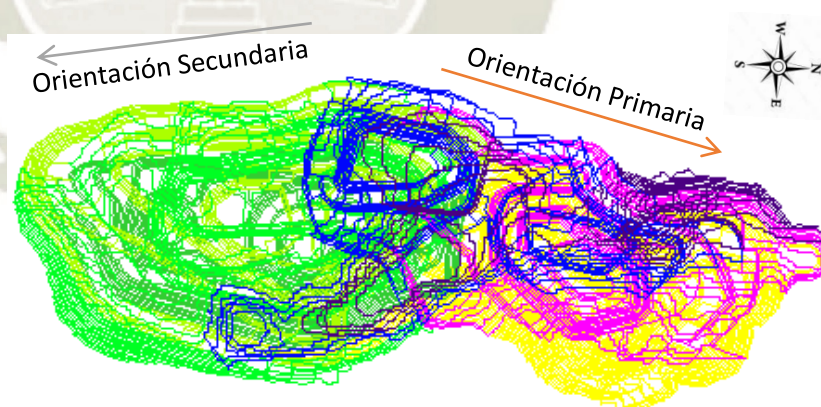


Figura 4-22 Demostración de orientación de minado de Optimizador Simsched

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minesight

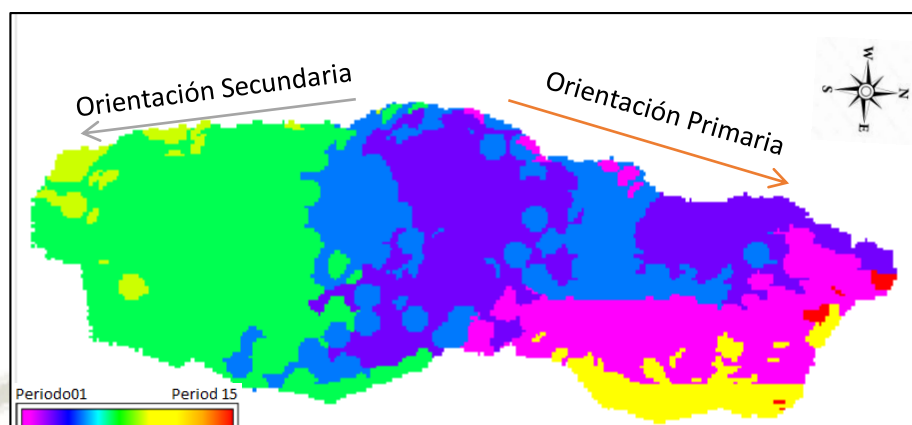


Figura 4-23 Direccionamiento otorgado por Simsched

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Simsched

En la figura 4-24 se muestra el tajo final diseñado con la guía de solución Simsched en software Mineplan, el cual es muy parecido al tajo final otorgado por Economic Planner de Minesight, para el diseño de la envolvente final se desarrolló diferentes salidas que mantengan una comunicación constante con todos los *facilities*.

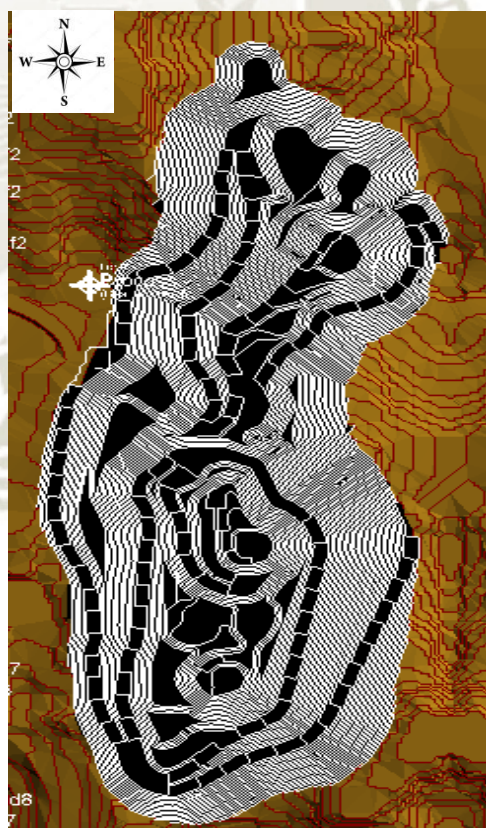


Figura 4-24 Pit Final de Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

En la Figura 4-25 se observa que el tajo final posee conexión a planta, botaderos, stocks y pad de lixiviado en donde está representado por el recorrido de la línea de color verde (inpit) y líneas color rojo (expit).

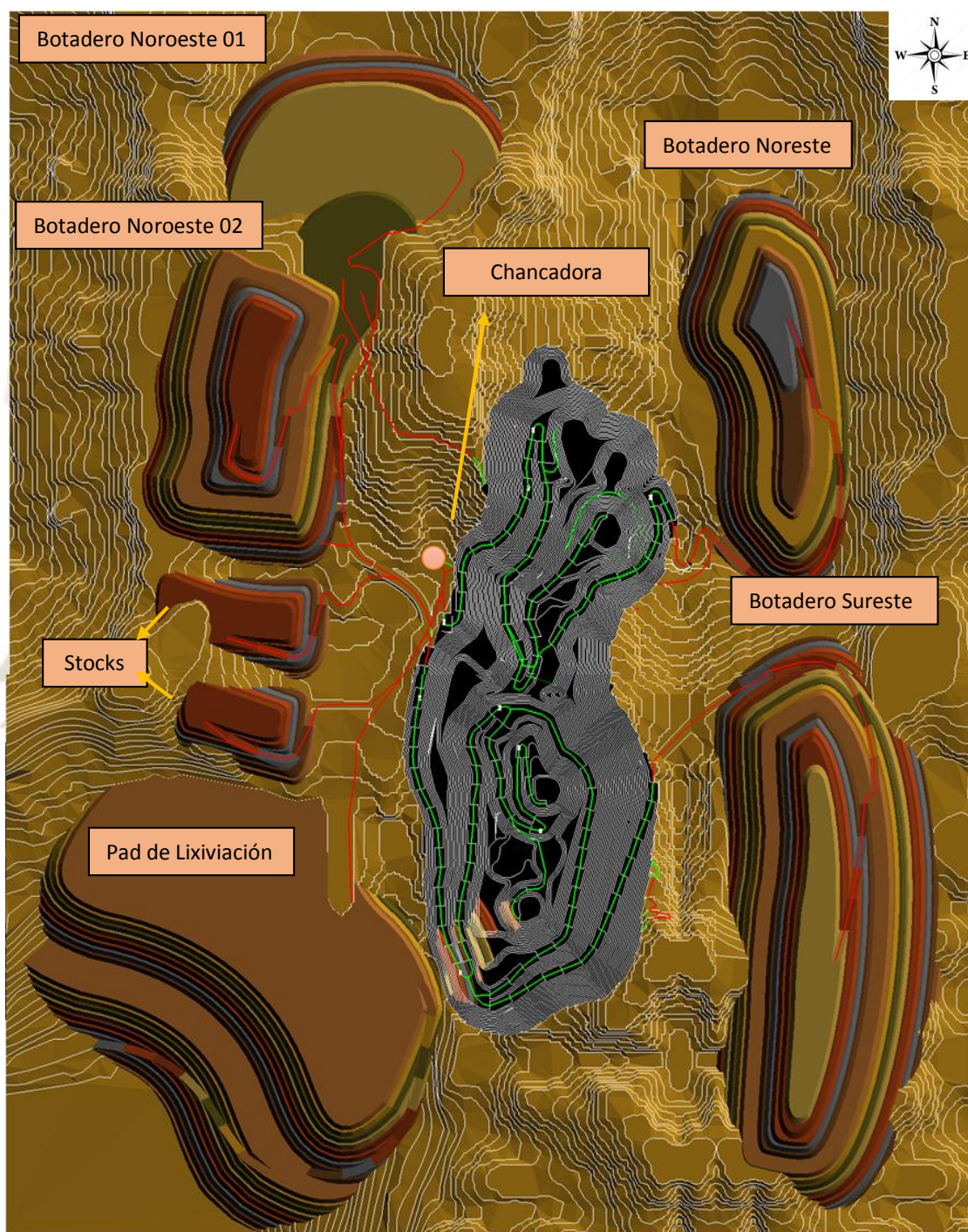


Figura 4-25 Conexiones de tajo final Caso UCSM hacia principales destinos

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Minehaul

4.5. Secuencia y cubicación de Fases Estratégicas Caso UCSM

4.5.1. Cubicación de Fases de Caso UCSM

A continuación, en la Tabla 4-3 se detalla la cubicación del set del “Caso UCSM”, donde se muestra el tonelaje por material de Mineral de alta ley y mediana ley junto a sus leyes promedio, asimismo el material estéril por clasificación de presencia de aguas acidas medido en toneladas.

Tabla 4-3 Cubicación por fase del caso UCSM

FASE	Ton_Mineral_hg	Au_ppm	Ton_Mineral_mg	Au_ppm	Ton_Mineral_Lg	Au	Ton_Waste	Relacion E/M
codigo	Kton	ppm	Kton	ppm	Kton	ppm	Kton	
Stp_a	0.01	2.64	54.27	1.83	4.87	1.00	10,870.91	PRE-STRIPPING
Stp_b	-	0.00	0.53	1.59	0.37	1.01	1,445.99	PRE-STRIPPING
F01	4,921.56	6.18	2,373.16	1.84	1,072.94	1.06	32,036.11	4.54
F02	6,857.99	5.01	5,888.66	1.84	3,186.30	1.07	30,183.66	2.62
F03	9,525.75	5.15	7,802.59	1.82	5,409.74	1.05	67,686.48	4.22
F04	8,048.93	4.71	8,515.73	1.78	7,922.63	1.07	39,454.63	2.86
F05	2,868.65	5.49	2,133.89	1.79	1,922.16	1.07	24,435.18	5.27
F06	5,000.81	4.52	6,423.75	1.78	6,409.65	1.06	40,990.38	4.15
F07_a	389.83	3.29	1,072.82	1.75	1,445.64	1.05	24,380.10	17.66
F07_b	950.53	6.12	647.37	1.79	730.05	1.04	5,750.16	4.06
TOTAL	38,564	5.12	34,913	1.80	28,104	1.06	277,234	4.16

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Excel

Del análisis de los resultados de la tabla anterior, se concluye que la fase número 03 es una de las más grandes, asimismo es la fase que aporta mayor mineral, dado que la fase número uno es la que comienza a exponer mineral luego del pre stripping, de igual forma posee una ley muy alta la que permite que esta posea mayor fino. También se observa que a medida que la explotación se profundiza el tonelaje de mineral aumenta hasta fase 04 continuándose con una disminución gradual.

4.5.1.1. Secuencia de Fases de Caso UCSM

Como se menciono al principio del analisis, se busco realizar un secuenciamiento buscando un pre stripping optimo, por lo que para este determinado caso el Pre stripping se dividio en dos subfases, una por el norte y otra por la parte central del tajo.

La Figura 4-26 muestra la fase pre stripping A en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al *Haul Road* donde se contempla un tonelaje de esteril sin presencia de aguas acidas de 10,871 Kton con un mínimo de 59 Kton de mineral la dirección de minado se orienta hacia el centro y norte del tajo, como mejor opción de pre stripping, en el norte se deja rampas con un mayor ancho para que se minen con minado en reversa.

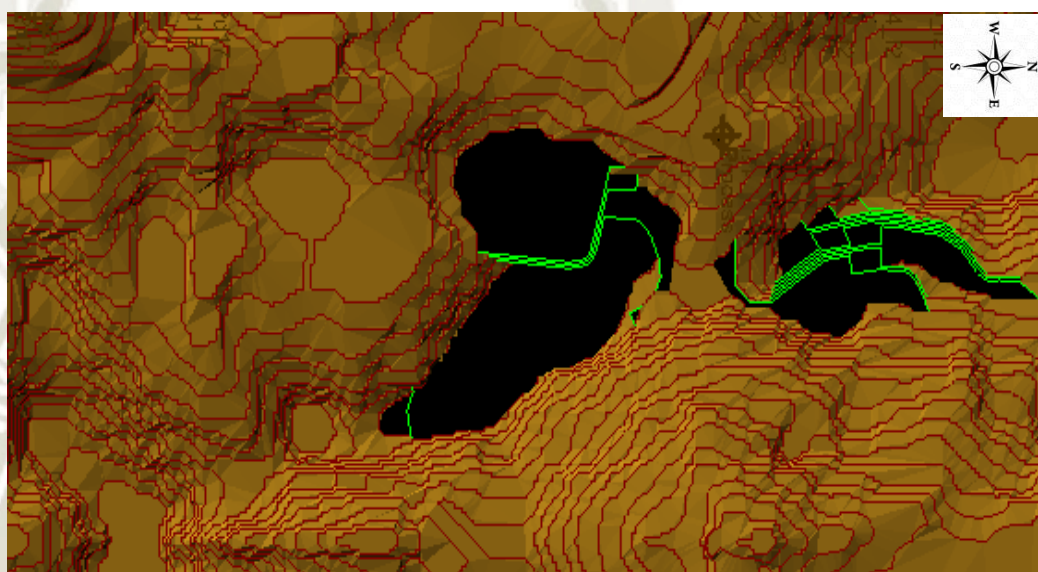


Figura 4-26 Pre stripping , sub fase A , Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-27 muestra la fase pre stripping B en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al *Haul Road* donde se contempla un tonelaje de esteril sin presencia de aguas acidas de 1,445 Kton con un mínimo de 1 Kton de mineral, la dirección de minado se orienta al norte con minado en reversa.

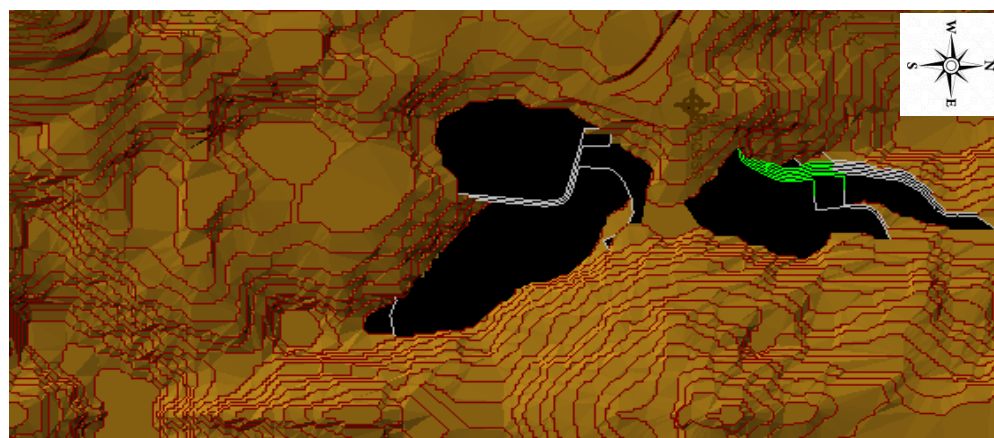


Figura 4-27 Pre stripping , sub fase B , Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-28 muestra la fase 01 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 32,036 Kton con tonelaje de mineral de 8,367 Kton, teniéndose una relación E/M de 3.8, la dirección de minado profundiza el centro y norte del norte del tajo.

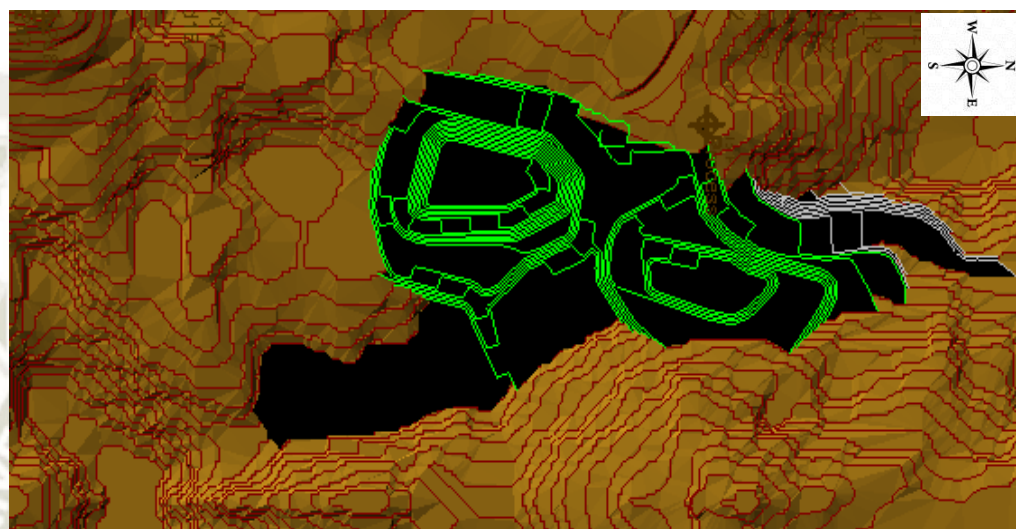


Figura 4-28 Fase01, Caso UCSM

La Figura 4-29 muestra la fase 02 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 30,183 Kton con tonelaje de mineral de 15,932 Kton teniéndose una relación E/M de 1.9, la dirección de minado es al norte del tajo.



Figura 4-29 Fase02, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-30 muestra la fase 03 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 67,686 Kton con tonelaje de mineral de 22,738 Kton teniendo una relación E/M de 2.9, la dirección de minado se orienta a profundizar al sur de tajo discriminando el desmante.

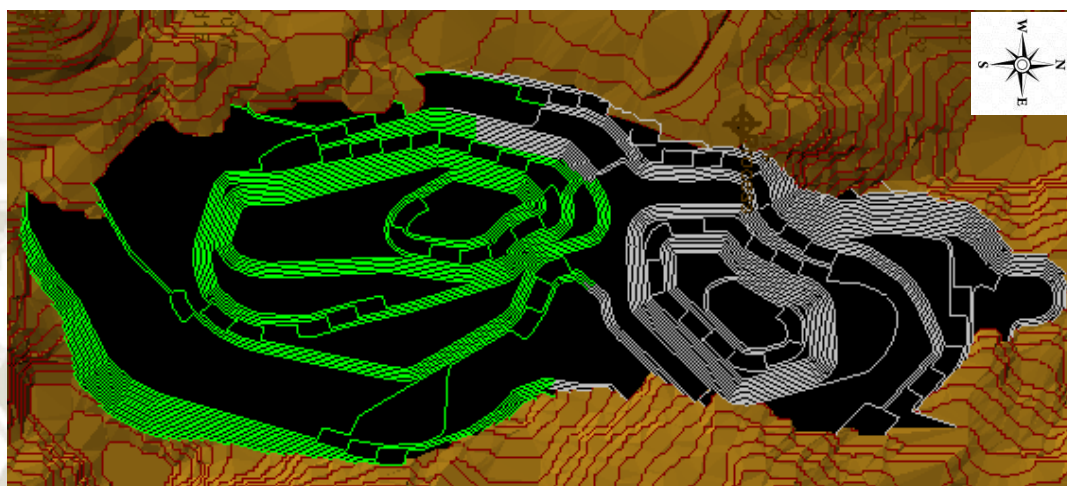


Figura 4-30 Fase03, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-31 muestra la fase 04 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 39,454 Kton con tonelaje de mineral de 24,487 Kton teniendo una relación E/M de 1.6, la dirección de minado se orienta a profundizar el sur del tajo y parte del centro.

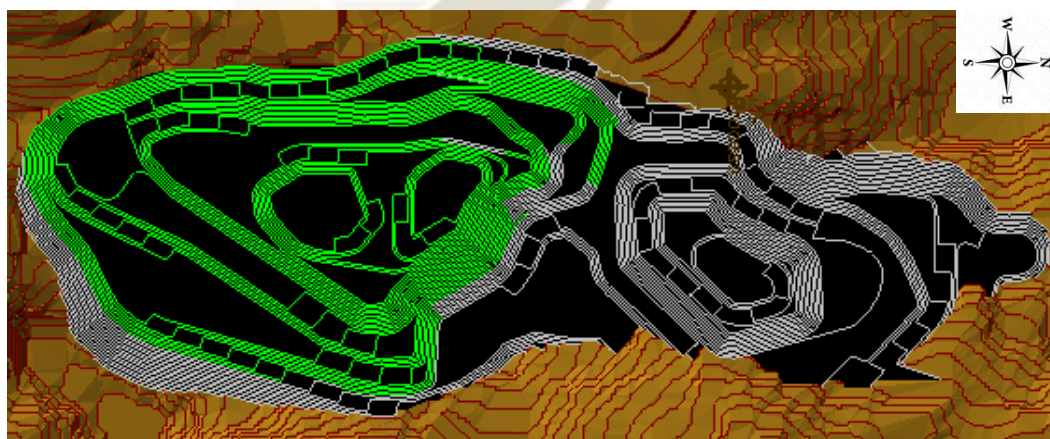


Figura 4-31 Fase04, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-32 muestra la fase 05 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 24,435 Kton con tonelaje de mineral de 6,924 Kton teniéndose una relación E/M de 3.5, la dirección de minado se orienta

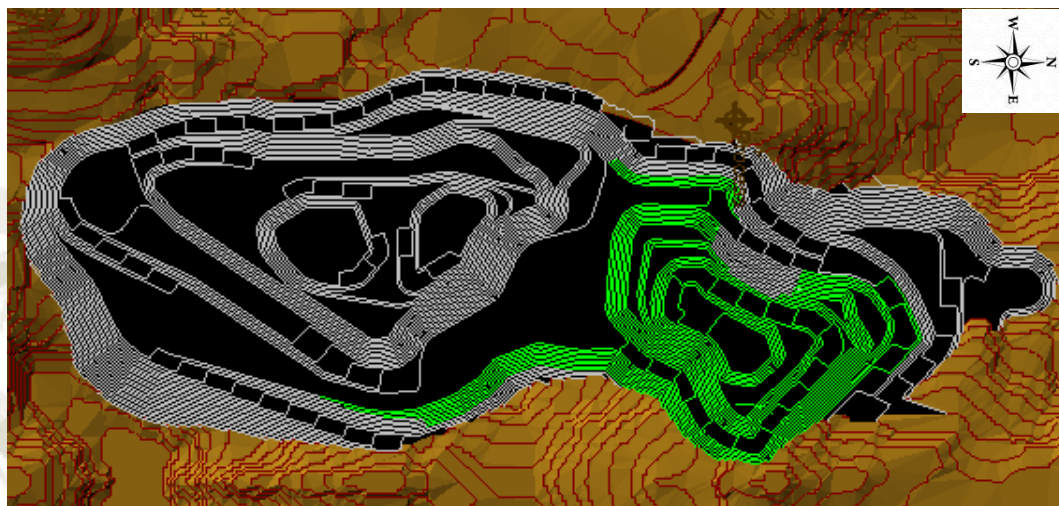


Figura 4-32 Fase05, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-33 muestra la fase 06 en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 40,990 Kton con tonelaje de mineral de 17,834 Kton teniéndose una relación E/M de 2.3, la dirección de minado se orienta al sur del tajo llegando a pared final y manteniendo conexiones.

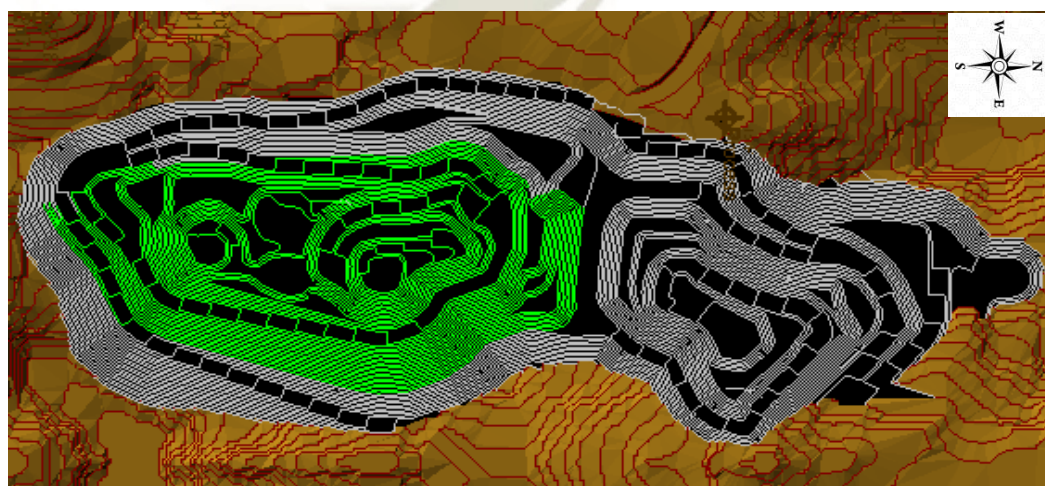


Figura 4-33 Fase01, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-34 muestra la fase 07A en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 24,380 Kton con tonelaje de mineral de 2,908 Kton, la dirección de minado se orienta al noreste del tajo, dejando rampas de mayor ancho para un futuro minado en reversa.

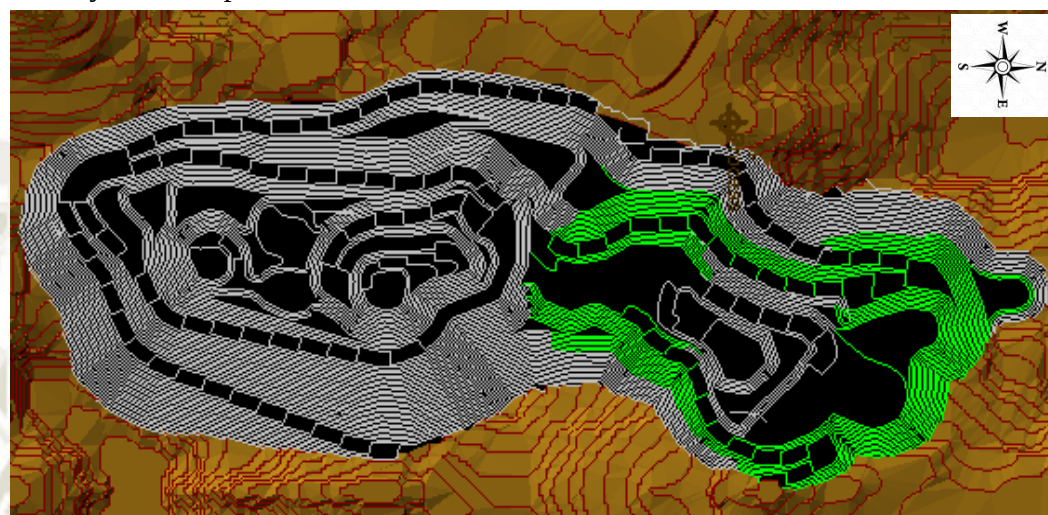


Figura 4-34 Fase07, sub fase A, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

La Figura 4-35 muestra la fase 07B en color verde; esta contempla un pit con sus respectivas rampas enlazadas al Haul Road donde se contempla un tonelaje de esteril total de 5,750 Kton con tonelaje de mineral de 2,327 Kton teniendo una relación E/M de 2.47, al norte del tajo se llega pared final, primero con minado en reversa y luego profundizando el minado.

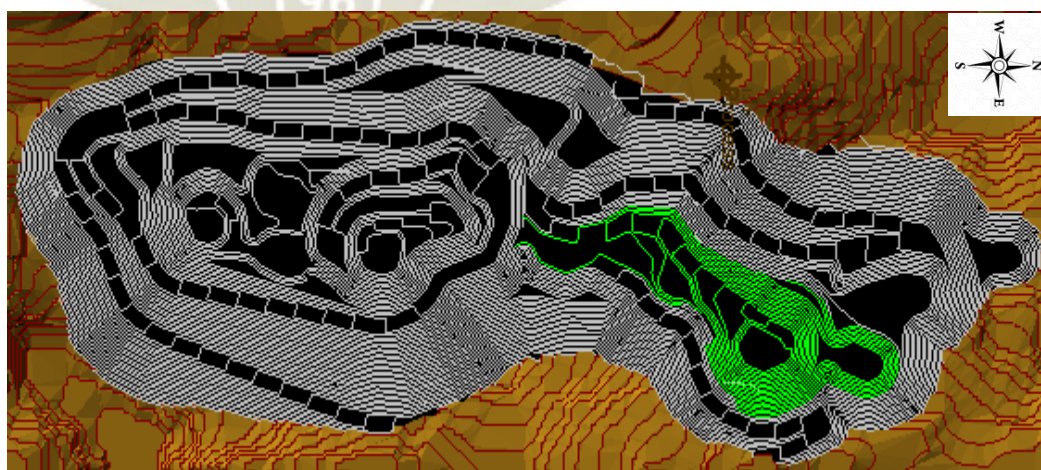
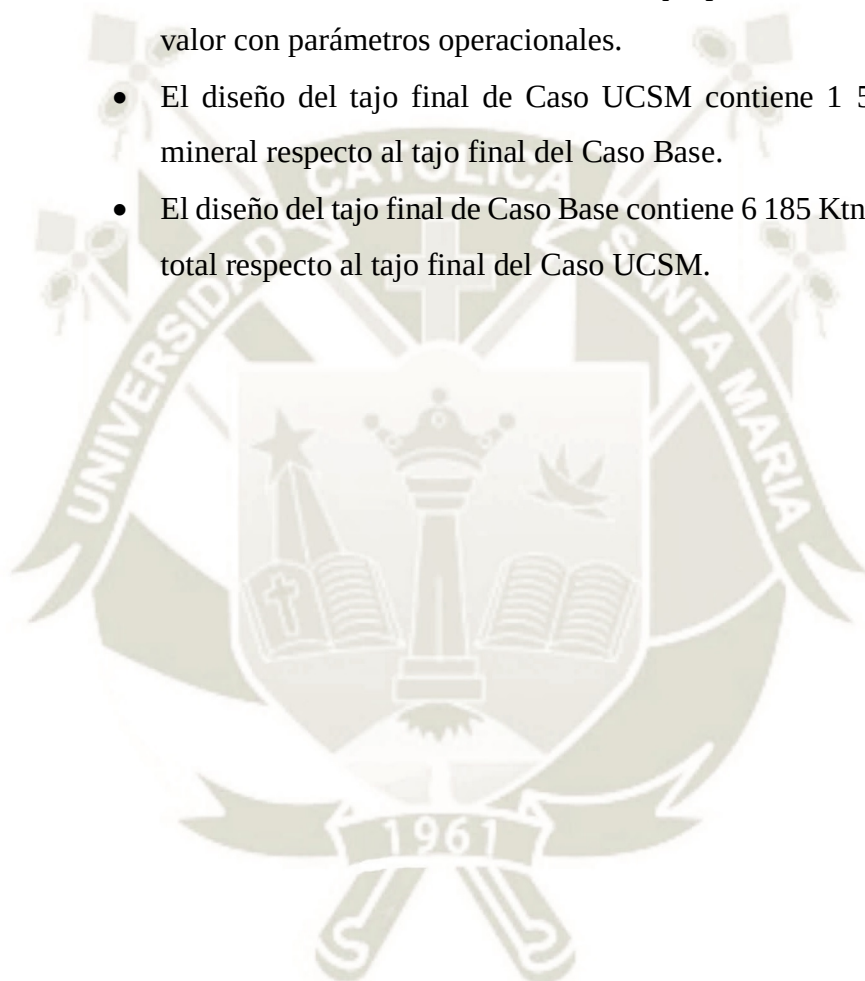


Figura 4-35 Fase07, sub fase B, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

4.6. Conclusiones

- Las primeras fases del Caso UCSM contienen mayor tonelaje de mineral con mayores leyes de oro, lo que conlleva a obtener mayor metal fino en los primeros periodos.
- La secuencia de diseño del optimizador Simsched posee un mejor direccionamiento de minado, debido a que prioriza las mejores zonas de valor con parámetros operacionales.
- El diseño del tajo final de Caso UCSM contiene 1 518 Ktn más de mineral respecto al tajo final del Caso Base.
- El diseño del tajo final de Caso Base contiene 6 185 Ktn más de material total respecto al tajo final del Caso UCSM.



CAPITULO V: SIMULACION DE PLANES MINEROS

5.1. Consideraciones de Plan de minado

5.1.1. Antecedentes y características del software Mine Plan.

Mine Plan, es una herramienta computacional desarrollado por el Ingeniero Informático Mr. Dave Carkeet, el cual permite:

- Realizar planes mineros operativos (tomando en consideración la experiencia del planificador).
- Controlar las restricciones de un plan minero permitiendo realizar modificaciones y reportar en tiempo real.
- Visualizar periodo a periodo el plan minero, detectando rápidamente los problemas operativos.
- Generar reportabilidad de acuerdo a las necesidades del cliente, ya que se pueden generar varios tipos de reportes para diferentes procesos de planificación.

Los resultados que se obtienen del software Mine Plan son:

- Diagrama del Serrucho (Mineral expuesto periodo por periodo).
- Secuencia gráfica del Plan Minero.
- Reportabilidad.

5.1.2. Cálculo de la ley de corte equivalente del yacimiento

A continuación, la tabla 5-1 indica los precios , recuperaciones de los metales y los costos entregados por la empresa sponsor junto con las leyes de corte por material en tabla 5-2.

Tabla 5-1 Parámetros para análisis económico

Elemento	Precio/Costo	Unidad
Costo de Minado	1.32 \$/tn	
Costo de Proceso	4.06 \$/tn	
Precio de Oro	28.94 \$/gr	
Costo de Venta	0.47 \$/gr	
Incremental por banco	0.021 \$/tn	

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Tabla 5-2 Definición de leyes de corte

MINER 4		MINER 6		MINER 8	
MC	1.32 \$/tn	MC	1.32 \$/tn	MC	1.32 \$/tn
Pc	4.06 \$/tn	Pc	4.06 \$/tn	Pc	4.06 \$/tn
Precio	28.94 \$/gr	Precio	28.94 \$/gr	Precio	28.94 \$/gr
Sc	0.47 \$/gr	Sc	0.47 \$/gr	Sc	0.47 \$/gr
Recc	88%	Recc	87%	Recc	89%
Ley de Co	0.215 ppm	Ley de Corte	0.217 ppm	Ley de Corte	0.212 ppm

MINER 10		MINER 12		MINER 14	
MC	1.32 \$/tn	MC	1.32 \$/tn	MC	1.32 \$/tn
Pc	4.06 \$/tn	Pc	4.06 \$/tn	Pc	4.06 \$/tn
Precio	28.94 \$/gr	Precio	28.94 \$/gr	Precio	28.94 \$/gr
Sc	0.47 \$/gr	Sc	0.47 \$/gr	Sc	0.47 \$/gr
Recc	90%	Recc	89%	Recc	90%
Ley de Corte	0.210 ppm	Ley de Corte	0.212 ppm	Ley de Corte	0.210 ppm

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Tabla 5-3 Definición de leyes medias y altas leyes

*SEGÚN EL ANALISIS DE LEYES

TIPO DE MINERAL	Ley de Corte	Mediana Ley	Alta ley
MINER4	0.215	0.800	1.2
MINER6	0.217	0.800	1.2
MINER8	0.212	0.800	1.2
MINER10	0.210	0.800	1.2
MINER12	0.212	0.800	1.2
MINER14,0	0.210	0.800	1.2

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.1.3. Otros Inputs del Plan Minero.

- Vida útil del proyecto: 36 – 38 años
- Capacidad planta: En la tabla 5-4 se detalla la capacidad de planta que demanda cada periodo

Tabla 5-4 Ramp up de capacidad planta

Periodo	Capacidad Planta
Enero18 - Abril 19	-
may-19	220,000
jun-19	220,000
jul-19	220,000
ago-19	220,000
Sep 2019	360,000
oct-19	360,000
nov-19	360,000
dic-19	600,000
Q1-20	2,075,000
Q2-20	2,075,000
Q3-20	2,075,000
Q4-20	2,075,000
Q1-21	2,075,000
Q2-21	2,075,000
Q3-21	2,075,000
Q4-21	2,075,000
Q1-22	2,075,000
Q2-22	2,075,000
Q3-22	2,075,000
Q4-22	2,075,000
2023-final	8,300,000

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

- Sinking rate preferente: 12 (bancos/año).
 - Sinking rate máximo: 16 (bancos/año).

- Los datos de los equipos de carguío se detallan en las tablas 5-5.

Tabla 5-5 Datos de los equipos de carguío

EQUIPOS	MODELO	DIAS	TPD	TPA
Pala	Rh-90C	365	23506.7	8,579,946
Cargador	Ex390	365	20117.3	7,342,815

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Para realizar un plan operativo se toma en cuenta que el equipo de carguío pueda ingresar a las áreas propuestas en el diseño de fases y plan de minado, debido que hay zonas en las que un equipo puede operar y otros no, el siguiente calculo responde a la siguiente metodología, figura 5-1 y tablas 5-6 y 5-7.

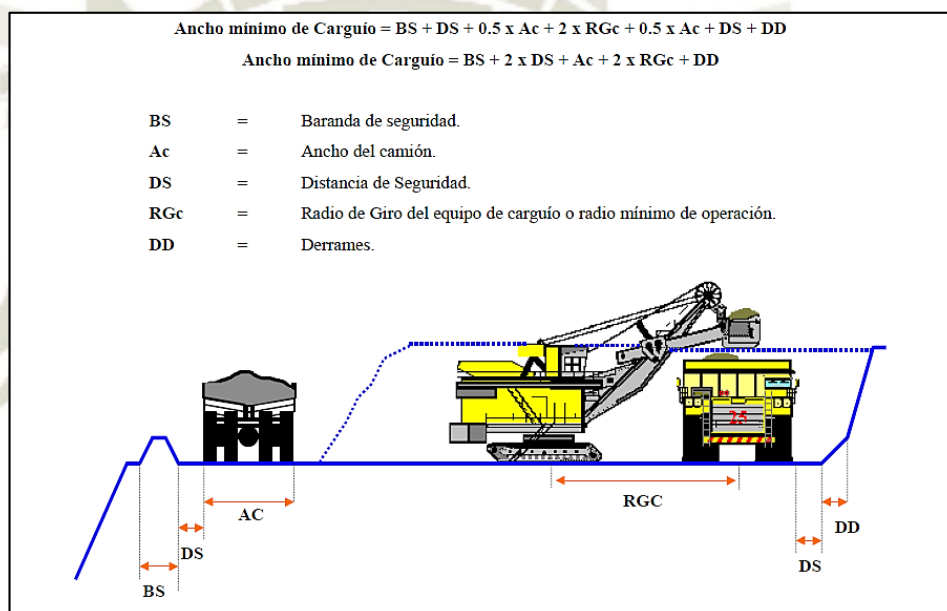


Figura 5-1 Metodología de cálculo de ancho de minado

Nota. Fuente: Consultora IMSS, Microsoft Excel, Dimensionamiento de ancho de rampa, 2016

Tabla 5-6 Dimensión y cálculo de ancho de minado de RH-90C

ANCHO MINIMO DE OPERACIÓN - Rh 90C		
Parametro	Nomenclatura	Valor (m)
Ancho Berma	Ab	5.4
Ancho Camion	Ac	6.70
Distancia de Seguridad	Ds	3.57
Radio de Giro de Equip. Carguio	Rg	4.9
Derrames	De	3.57
Ancho Minimo de Carguio	Amc	33.0
Area de Perforacion	Ap	6.6
Ancho Minimo de Operación	Amo	40.0
Ancho Minimo de Fondo de Tajo	Amf	40.0

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Tabla 5-7 Dimensión y cálculo de ancho de minado de Exc-390

ANCHO MINIMO DE OPERACIÓN - EX - 390		
Parametro	Nomenclatura	Valor (m)
Ancho Berma	Ab	5.4
Ancho Camion	Ac	6.70
Distancia de Seguridad	Ds	3.57
Radio de Giro de Equip. Carguio	Rg	4.68
Derrames	De	3.57
Ancho Minimo de Carguio	Amc	33
Area de Perforacion	Ap	6.6
Ancho Minimo de Operación	Amo	40
Ancho Minimo de Fondo de Tajo	Amf	40

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Al realizar un plan minero es fundamental evaluar:

- Analisis Serrucho
- Avance Vertical o profundidad de minado
- Anchos de Minado
- Cantidad de equipos por fase
- Desfase en el minado (*undercut*)
- Capacidad de planta
- Movimiento maximo total de movimiento mina
- Estrategia de leyes de corte con un software guia
- Operatividad del plan

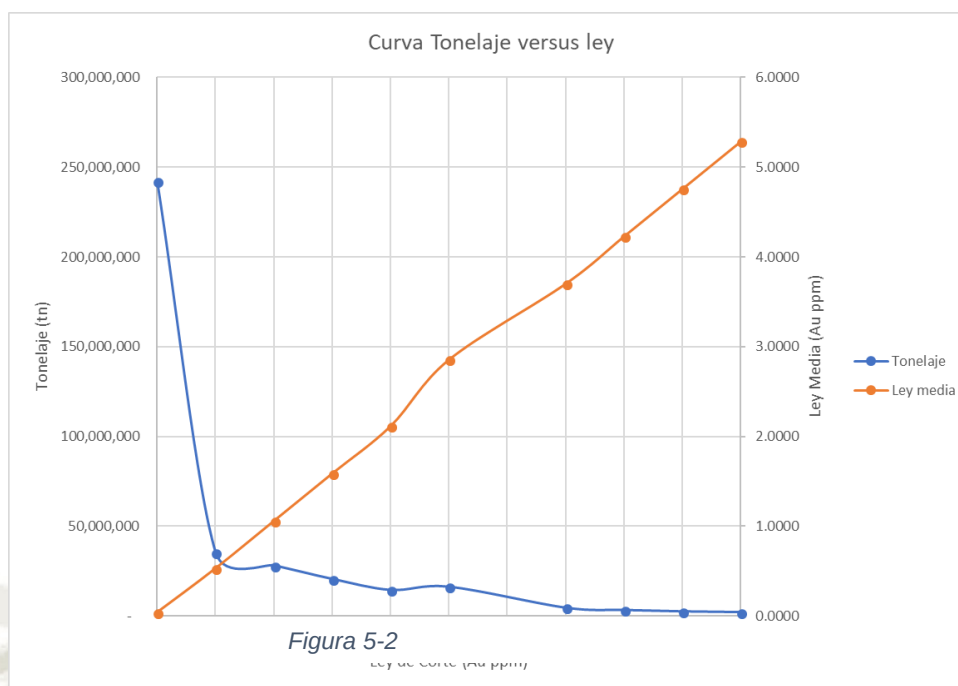
5.1.4. Curva tonelaje versus ley.

Como se usó un diseño similar de tajo final debido a que Simsched escoge la envolvente económica, que en este escenario de análisis coincide con el revenue factor = 0.78 dentro de un cono que abarca la mayor parte de reservas (revenue factor = 1) , se tiene una curva tonelaje versus ley muy similar , la cual está representada en la siguiente figura 5-2 , la cual muestra que la mayoría de tonelaje se encuentra en el orden de una ley de corte de 0.1 ppm a 2.5 ppm , disminuyéndose paulatinamente la concentración de tonelaje de mayor ley.

Tabla 5-8 Datos para Análisis de Curva Tonelaje Vs. Ley

Ley de Corte	Tonelaje	Ley media
ppm	tn	ppm
0	242,006,225	0.0387
0.5	35,227,358	0.5288
1	28,104,349	1.0575
1.5	20,532,944	1.5863
2	14,379,838	2.1150
2.5	16,164,977	2.8549
3.5	4,477,933	3.7013
4	3,181,473	4.2301
4.5	2,420,313	4.7588
5	2,008,658	5.2876
5.5	1,540,560	5.8163
6	1,231,697	6.3451

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.



Curva tonelaje versus ley

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.2. Plan Minero “Caso Base”

5.2.1. Diseño de Fases y cálculo de reservas como Input del Plan Minero

Como input para el Plan minero, se tiene un set de Diseño, el cual consiste en siete Fases y una fase de pre minado dividida en dos sub-fases diseñadas en Qpit con el direccionamiento del módulo EconomicPlanner de software MineSight como se mencionó anteriormente. En la tabla 5-9 se muestra la cubicacion disgregada en tonelajes de mineral y desmonte, el cual posee el detalle de la exposicion de mineral con un criterio de relacion esteril-desmonte de 2.5 aproximadamente y con relacion a cantidad de tonelaje de mineral presente en el banco a exponer, se muestran por fase y banco, en la tabla 5-10 se muestra asimismo la relacion desmonte-mineral junto a las leyes de oro en ppm.

Tabla 5-9 Cubicación disgregada en toneladas de mineral y desmonte de Caso Base

Fases Bancos	Stp_a		Stp_b		F01		F02		F03		F04		F05		F06		F07		TOTALS	
	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)	Mineral_total Ton (ton)	Desmonte_total Ton (ton)
423				58,916															58,916	
417				158,803															233,485	
411				195,877															334,595	
405				232,107															448,297	
399		464,306		259,867										20,571					1,089,087	
393		433,953		294,695					131,929		310,300		35,786						1,773,170	
387		789,674		276,929					222,665		476,871		91,462						2,834,100	
381		943,030	643	294,675			1,750	480,765	285,232		693,074		164,971		267,598	32,416	624,170	34,810	3,753,515	
375		929,990	1,563	317,343			4,879	921,871	540,969		814,797		252,903		479,103	98,146	716,652	104,587	4,973,629	
369		1,189,313	15,680	281,611			7,727	1,208,273	579,413		1,000,813		349,345		660,656	151,938	923,804	175,345	6,193,228	
363		1,446,792	31,370	190,661			21,852	1,404,252	721,290		1,070,236		487,399		946,510	186,972	1,083,614	240,194	7,350,752	
357		1,137,482	9,510	113,903		398,854	61,697	1,520,284	1,047,928		1,133,466		645,145		1,246,154	217,418	1,276,892	288,624	8,520,107	
351		1,015,052				597,178	102,534	1,633,528	1,455,087		1,199,696		814,053		1,551,436	241,330	1,419,418	343,864	9,685,449	
345						981,758	391,412	1,414,676	1,716,322		1,705,719	1,644	956,125	6,417	1,844,258	357,503	1,324,802	756,977	10,616,773	
339		488,902				1,437,446	443,169	1,481,922	27,790	2,641,790	3,008	1,946,381	4,800	1,103,106	1,967,528	333,479	1,424,228	812,246	12,491,303	
333							629,596	1,327,867	94,969	2,841,516	13,888	2,259,079	10,501	1,286,474	1,895,016	488,964	1,247,317	1,286,118	12,611,007	
327						239,397	1,424,742	916,307	1,035,041	131,606	2,936,787	30,991	2,599,865	6,237	1,405,662	748,257	1,075,869	2,072,795	12,398,581	
321						370,781	1,155,926	1,003,651	953,114	149,432	2,793,324	60,290	2,996,813	7,377	1,630,725	910,165	978,097	2,501,696	12,419,928	
315						519,669	873,123	1,053,202	877,572	169,458	2,454,267	128,865	3,392,196	12,241	1,784,342	1,902,003	1,058,930	2,790,131	12,342,433	
309						619,863	644,936	1,020,569	801,005	291,941	2,162,629	381,808	3,411,160	18,361	1,915,781	1,896,398	854,180	1,183,213	3,186,722	12,015,122
303						632,594	506,864	971,885	731,954	428,712	1,823,784	1,015,620	3,069,141	27,933	2,105,463	9,280	1,876,805	849,774	3,935,799	11,324,304
297						651,456	363,888	905,006	627,430	563,403	1,446,848	1,667,313	2,562,797	55,447	2,313,338	44,133	1,831,119	963,902	4,850,660	10,247,612
291						737,164	161,763	847,788	505,280	882,393	988,900	1,937,273	2,231,039	110,561	2,490,756	145,179	1,719,751	1,109,845	5,770,204	9,031,305
285						668,492	122,662	788,173	410,978	950,432	720,811	2,256,179	1,906,255	173,932	2,634,509	190,448	1,663,758	1,035,145	6,062,802	8,440,098
279						617,825	63,979	627,398	373,157	1,127,212	417,770	2,498,488	1,593,332	216,254	2,639,925	220,000	1,623,072	997,640	6,304,817	7,744,648
273						576,075	7,857	615,233	265,904	1,149,107	267,668	2,682,150	1,329,887	260,236	2,645,364	222,949	1,608,194	790,889	6,296,639	7,135,727
267						453,746	730	585,945	182,328	1,067,273	200,226	2,902,407	973,692	148,873	2,647,112	239,510	1,579,196	800,541	6,198,295	6,589,253
261						368,245	4,614	515,278	139,809	958,994	183,688	3,059,102	718,139	163,059	2,513,866	194,124	1,618,782	815,758	6,074,560	6,148,883
255						283,038	5,132	460,519	94,910	854,048	171,543	3,066,404	617,660	169,008	2,368,581	174,741	1,628,019	849,629	5,857,385	5,799,259
249						207,449		382,331	58,387	756,292	161,185	2,800,522	491,915	258,291	2,218,763	285,154	1,517,912	1,006,706	5,756,745	5,199,646
243						126,880		336,343	17,052	651,774	141,405	2,843,621	331,612	289,820	2,035,080	373,969	1,430,053	988,557	5,610,964	4,700,135
237								265,574	288	640,513	117,776	2,805,052	293,226	359,694	1,841,938	399,530	1,359,732	908,131	5,378,494	4,377,347
231								190,690		533,445	79,151	2,776,589	231,554	459,300	1,578,915	457,703	1,271,864	737,453	5,155,181	3,805,995
225								440,299		2,678,322	33,735	2,03,157		523,095	1,388,759	440,210	1,182,431	695,197	4,883,946	3,438,944
219								38,254		298,127	3,150	2,633,430	203,362	539,809	1,234,009	469,486	1,107,422	778,990	4,758,097	3,058,463
213										2,452,415	288,200	565,198	1,038,595	492,328	1,041,112	804,669	451,877	4,492,063	2,821,114	
207										2,289,503	316,227	403,687	459,617	709,499	1,225,640	714,091	502,636	4,225,944	2,504,120	
201										2,224,460	271,313	380,476	349,709	957,560	860,193	796,301	341,838	4,358,797	1,823,053	
195										2,061,653	241,212	353,982	268,056	1,039,908	722,542	664,287	343,467	4,119,831	1,575,277	
189										1,914,181	198,281	304,442	219,545	1,101,644	605,843	602,844	192,201	3,923,111	1,215,871	
183										1,673,835	254,109	232,523	189,517	1,108,033	544,983	298,874	242,639	3,313,265	1,231,248	
177										1,360,723	218,417	258,484	64,663	1,101,739	508,320	289,813	184,614	3,010,759	976,014	
171										1,223,654	129,500	185,115	40,342	1,084,355	510,299	189,302	207,237	2,682,426	887,378	
165										1,051,812	85,623			94,764	37,770	1,111,528	417,336	2,487,631	690,544	
159										902,314	46,589					982,548	196,949	2,019,018	527,391	
153										619,674	32,039					966,730	127,274	1,751,512	313,042	
147										507,222	36,337					842,208	161,389	1,515,732	249,251	
141										367,204	28,185					648,843	172,994	1,161,510	219,862	
135										272,454	36,960					532,368	76,571	906,858	122,033	
129										189,589	24,601					506,827	82,542	696,417	107,143	
123											96,731	15,408				501,625	77,203	598,357	92,612	
117																528,562	33,443	528,562	33,443	
111																355,043	40,148	355,043	40,148	
105																235,880	65,104	235,880	65,104	
99																111,979	108,726	111,979	108,726	
93																110,378	26,586	110,378	26,586	
87																86,390	4,409	86,390	4,409	
Totals		9,511,606	58,766	2,675,387	7,120,873	10,505,192	13,295,583	18,800,666	12,453,838	29,290,116	57,510,392	43,990,233	6,599,915	48,247,476	18,982,393	49,505,185	24,158,395	32,293,605	140,180,155	244,819,465

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Tabla 5-10 Relación desmonte-mineral, junto a leyes oro en ppm

Fases Bancos	Stp_a		Stp_b		F01		F02		F03		F04		F05		F06		F07	
	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm
423	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
417	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
411	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
405	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
399	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
393	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
387	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
381	-		458	1.6	-		274.7	1.6	-		-		-		-		19.3	1.6
375	-		203	2.1	-		188.9	2.1	-		-		-		-		7.3	1.3
369	-		18	0.9	-		156.4	1.0	-		-		-		-		6.1	1.0
363	-		6	0.6	-		64.3	0.7	-		-		-		-		5.8	1.0
357	-		12	2.0	-		24.6	1.2	-		-		-		-		5.9	1.4
351	-		-		-		15.9	4.1	-		-		-		-		5.9	1.4
345	-		-		-		3.6	2.5	-		1,037.5	0.5	149.0	0.5	-		3.7	1.2
339	-		-		-		3.3	2.5	95.1	0.7	647.1	0.5	229.8	0.5	-		4.3	1.6
333	-		-		36.4	1.2	2.1	1.8	29.9	1.1	162.7	0.6	122.5	0.6	-		2.6	1.6
327	-		-		6.0	1.5	1.1	1.7	22.3	1.5	83.9	1.0	225.4	0.6	-		1.4	1.4
321	-		-		3.1	1.9	0.9	2.0	18.7	1.8	49.7	1.0	221.1	0.6	-		1.1	1.4
315	-		-		1.7	3.2	0.8	2.3	14.5	2.9	26.3	0.8	145.8	0.6	-		1.2	1.3
309	-		-		1.0	4.0	0.8	2.3	7.4	4.9	8.9	0.7	104.3	0.6	-		1.4	1.4
303	-		-		0.8	4.5	0.8	2.3	4.3	6.1	3.0	1.2	75.4	0.7	202.2	0.5	1.4	1.6
297	-		-		0.6	4.4	0.7	2.6	2.6	4.0	1.5	1.7	41.7	2.0	41.5	0.6	1.1	1.4
291	-		-		0.2	4.7	0.6	2.5	1.1	2.0	1.2	1.7	22.5	1.5	11.8	0.7	0.8	1.4
285	-		-		0.2	4.9	0.5	2.4	0.8	2.0	0.8	1.4	15.1	1.1	8.7	1.8	0.9	1.5
279	-		-		0.1	5.4	0.6	2.5	0.4	1.7	0.6	1.4	12.2	0.7	7.4	2.1	1.0	1.3
273	-		-		0.0	5.2	0.4	2.5	0.2	1.5	0.5	1.4	10.2	1.1	7.2	1.9	1.3	1.2
267	-		-		0.0	5.3	0.3	2.3	0.2	2.4	0.3	1.6	17.8	1.6	6.6	1.0	1.3	1.3
261	-		-		0.0	4.4	0.3	2.3	0.2	2.9	0.2	1.6	15.4	1.8	8.3	0.8	1.2	1.5
255	-		-		0.0	4.9	0.2	4.7	0.2	2.9	0.2	1.8	14.0	2.3	9.3	0.9	1.1	2.0
249	-		-		-	6.3	0.2	6.2	0.2	2.4	0.2	2.0	8.6	2.0	5.3	1.1	0.7	2.6
243	-		-		-	9.7	0.1	6.8	0.2	2.9	0.1	2.1	7.0	1.6	3.8	1.4	0.8	2.9
237	-		-		-	-	0.0	6.5	0.2	4.4	0.1	2.1	5.1	1.1	3.4	1.4	0.8	2.2
231	-		-		-	-	-	7.5	0.1	5.9	0.1	1.8	3.4	1.3	2.8	1.2	0.9	2.0
225	-		-		-	-	-	9.5	0.1	6.9	0.1	1.7	2.7	2.2	2.7	0.7	0.9	2.0
219	-		-		-	-	-	8.0	0.0	7.8	0.1	1.9	2.3	3.7	2.4	1.2	0.7	1.9
213	-		-		-	-	-	-	0.0	6.8	0.1	2.4	1.8	3.7	2.1	1.5	0.6	1.3
207	-		-		-	-	-	-	-	8.5	0.1	2.6	1.1	3.8	1.7	1.4	0.7	1.3
201	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.9	0.9	2.7	0.9	1.0	0.4	1.3
195	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.7	0.8	2.0	0.7	1.1	0.5	2.4
189	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.9	0.7	2.2	0.5	1.2	0.3	3.3
183	-		-		-	-	-	-	-	-	0.2	2.7	0.8	3.1	0.5	1.2	0.8	3.9
177	-		-		-	-	-	-	-	-	0.2	2.6	0.3	3.3	0.5	1.1	0.6	2.2
171	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.8	0.2	3.1	0.5	1.1	1.1	2.2
165	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	3.2	0.4	1.9	0.4	1.2	0.7	1.6
159	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.8	-	-	0.2	1.4	2.1	1.0
153	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	1.7	-	-	0.1	1.0	0.9	5.2
147	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	1.3	-	-	0.2	1.0	0.3	7.9
141	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	2.5	-	-	0.3	1.2	0.1	8.3
135	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	3.9	-	-	0.1	1.2	0.1	1.8
129	-		-		-	-	-	-	-	-	0.1	4.2	-	-	0.2	2.0	-	-
123	-		-		-	-	-	-	-	-	0.2	1.5	-	-	0.2	1.8	-	-
117	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.3	-	-
111	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.9	-	-
105	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.7	-	-
99	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.7	-	-
93	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	5.0	-	-
87	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	8.2	-	-

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.2.2. Resultado plan de minado “Caso Base”

El plan de producción de Mina Mc Laughlin muestra el pre stripping en el primer año, al igual que se muestra el *ramp up* de planta, con el incremento de capacidad mina durante los años 2020 hasta 2024, se llegará a un total movido promedio 23 Mt/año los años 2018 y 2019, los años 2020 hasta 2023 se llegará a un máximo de 30 Mt/año reduciendo su minado total a 15 Mt/año. La vida de la mina se extenderá hasta el 2039. Esto incluye algunos años con una baja producción de mineral, como se muestra en la figura 5-3.

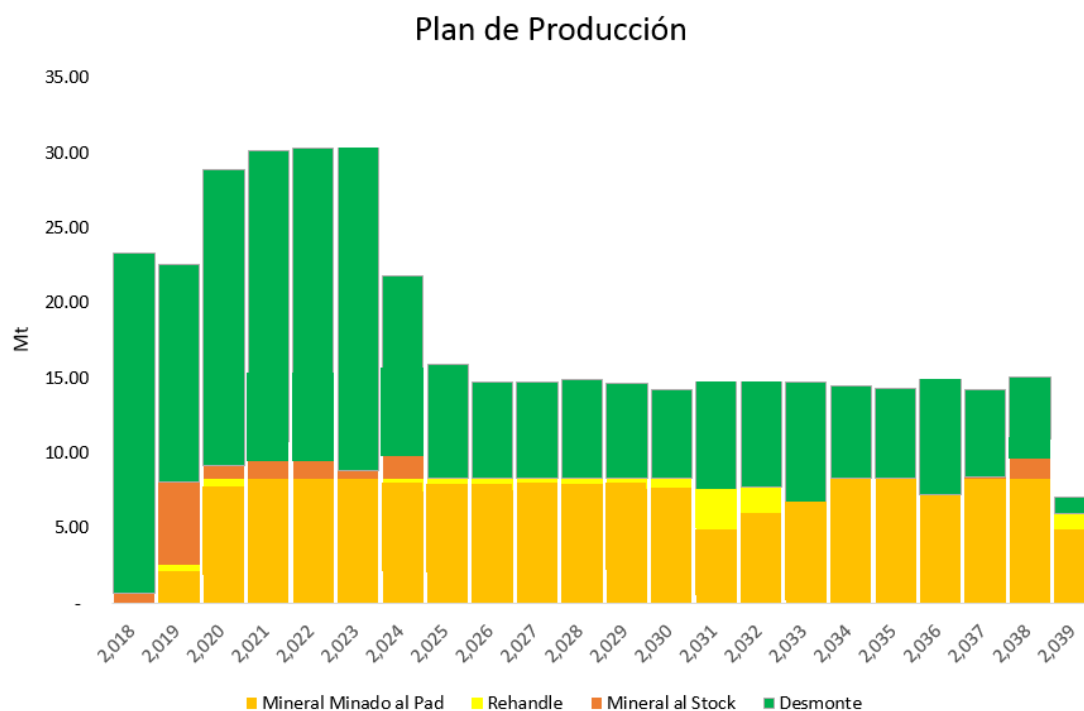


Figura 5-3 Plan de producción, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Si hacemos una revisión de la alimentación a la planta por periodo, podemos ver que los años 2031 ,2032 , 2033 y 2036 tendremos problemas de alimentación a la planta, de los cuales el año 2031 y 2033 se tendrá el perfil más bajo de onzas ,asimismo se muestra que los primeros años se logra la máxima obtención de onzas en comparación a los siguientes periodos.

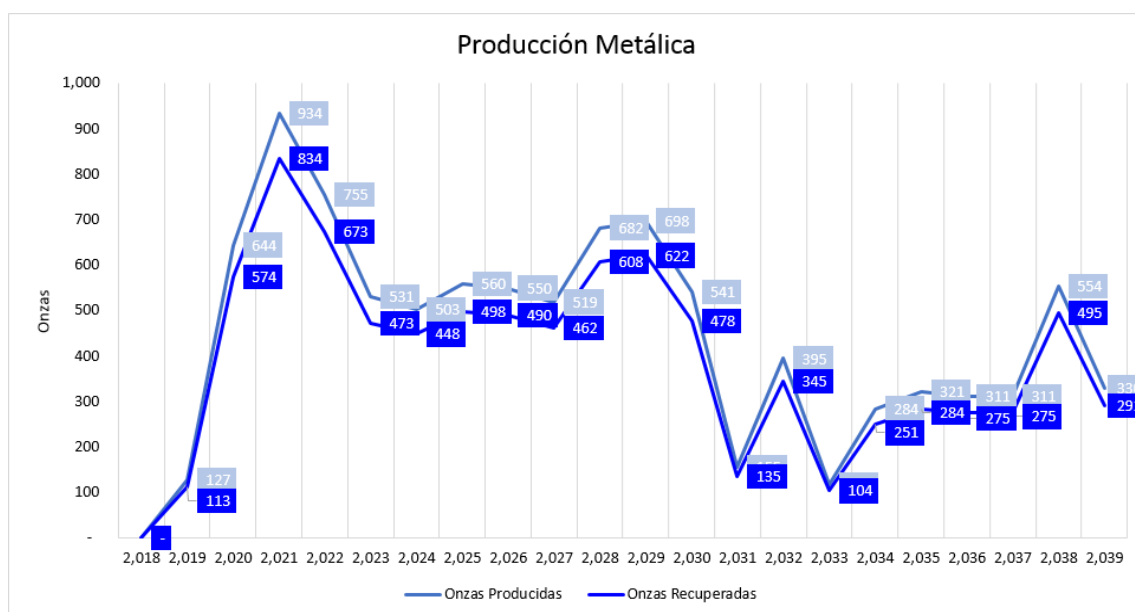


Figura 5-4 Producción metálica, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

La evaluación económica del caso base nos indica que el VAN de McLaughlin es de 2 794 MUSD. El flujo de caja de los años 2021 y 2022 es de 735 MUSD y 593 MUSD, respectivamente, con un mínimo de *cash cost* de 118 \$/oz y 149 \$/oz, como se muestra en las figuras 5-5 y 5-6. Cabe señalar que esta evaluación económica es preliminar y solo considera las ratios de costos del modelo de optimización.

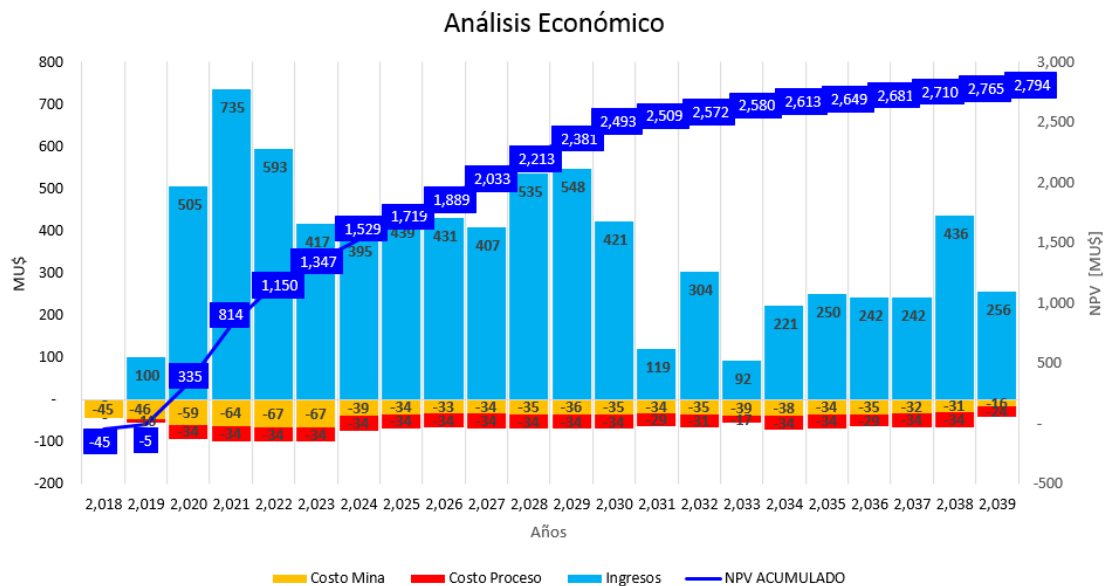


Figura 5-5 Análisis Económico, Caso Base

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

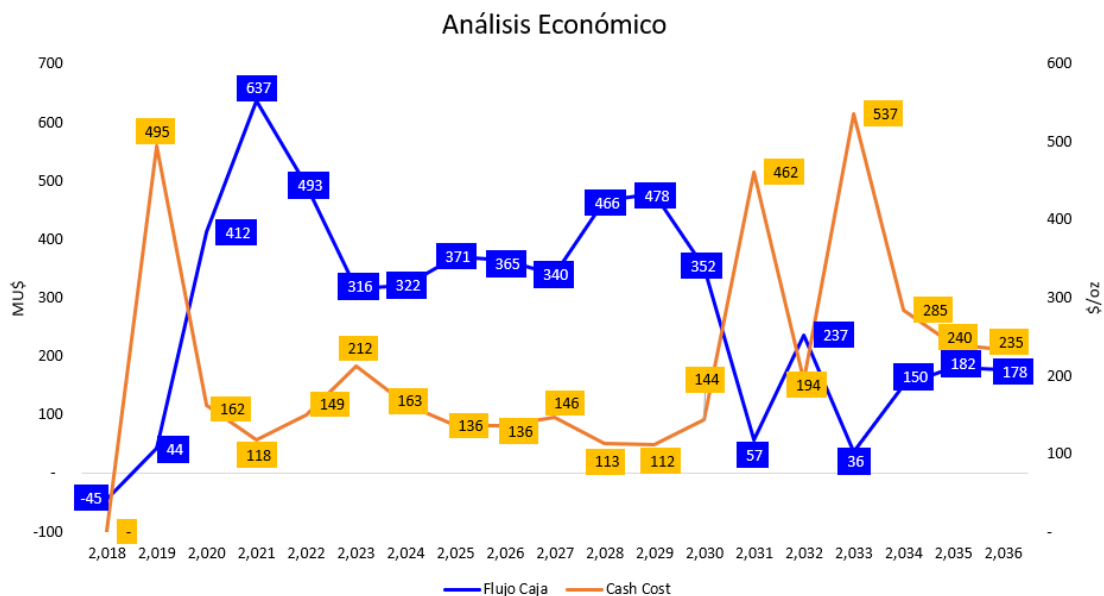


Figura 5-6 Análisis económico Flujo de Caja vs Cash Cost

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-11 se muestra la cantidad de equipos de carguío de los equipos Ex390 y Rh-90c, asimismo la utilización productiva de cada equipo. En la figura 5-7 se muestra la cantidad de equipos por año.

Tabla 5-11 Asignación de equipos de carguío, con detalle de utilización

Año	Total Minado por Palas		# Equipos de Carguío(Real)		# Equipos de Carguío(Estimado)		Utilización Productiva	
	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c
	Mt	Mt	Unid	Unid	Unid	Unid	%	%
2,018	17.18	7.34	2.00	1.00	2.0	1	100%	100%
2,019	17.18	7.35	2.00	1.00	2.0	1	100%	100%
2,020	23.71	7.36	2.75	1.00	3.0	1	92%	100%
2,021	25.42	7.16	2.96	0.98	3.0	1	99%	98%
2,022	25.36	7.34	2.96	1.00	3.0	1	99%	100%
2,023	25.69	7.28	2.99	0.99	3.0	1	100%	99%
2,024	25.42	-	2.96	-	3.0	-	99%	0%
2,025	18.61	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,026	17.22	-	2.01	-	2.0	-	100%	0%
2,027	17.21	-	2.01	-	2.0	-	100%	0%
2,028	17.35	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,029	17.14	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,030	17.94	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,031	18.88	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,032	17.75	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,033	17.16	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,034	16.94	-	1.97	-	2.0	-	99%	0%
2,035	16.71	-	1.95	-	2.0	-	97%	0%
2,036	19.38	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,037	16.64	-	1.94	-	2.0	-	97%	0%
2,038	17.61	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,039	8.27	-	0.96	-	1.0	-	96%	0%

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

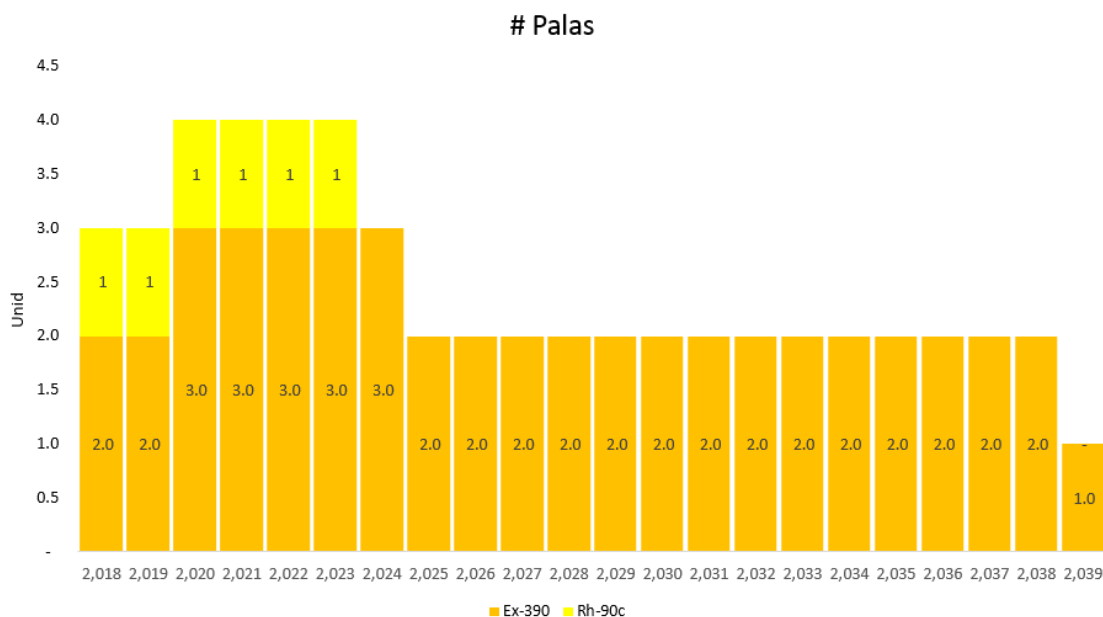


Figura 5-7 Cantidad de equipos de carguío

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-12 se muestra el minado y remanejo por fase del secuenciamiento de caso base, al igual que en la figura 5-8 se muestra la interacción de dichas fases por periodo.

Tabla 5-12 Detalle de minado y remanejo por fase y periodo

	Stp_a	Stp_b	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	REHANDLE
Año	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
2,018	9.51	2.73	7.95	3.09	-	-	-	-	-	-
2,019	-	-	9.67	8.59	3.91	-	-	-	-	0.41
2,020	-	-	-	13.27	14.31	-	-	-	-	1.31
2,021	-	-	-	7.15	13.37	9.61	-	-	-	-
2,022	-	-	-	-	9.45	19.16	1.67	-	-	0.00
2,023	-	-	-	-	0.70	15.15	14.61	-	-	0.03
2,024	-	-	-	-	-	14.63	6.26	-	-	0.87
2,025	-	-	-	-	-	7.34	3.67	3.67	-	1.24
2,026	-	-	-	-	-	7.34	3.67	2.94	-	0.78
2,027	-	-	-	-	-	7.34	3.67	2.94	-	0.77
2,028	-	-	-	-	-	7.36	3.68	2.95	-	0.86
2,029	-	-	-	-	-	7.34	3.67	2.94	-	0.71
2,030	-	-	-	-	-	6.22	3.67	2.94	-	1.40
2,031	-	-	-	-	-	-	3.67	7.34	-	5.14
2,032	-	-	-	-	-	-	6.60	5.52	-	3.07
2,033	-	-	-	-	-	-	-	14.69	-	-
2,034	-	-	-	-	-	-	-	13.02	1.47	-
2,035	-	-	-	-	-	-	-	8.42	5.87	-
2,036	-	-	-	-	-	-	-	1.12	15.46	-
2,037	-	-	-	-	-	-	-	-	14.24	-
2,038	-	-	-	-	-	-	-	-	15.07	-
2,039	-	-	-	-	-	-	-	-	4.34	2.73

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

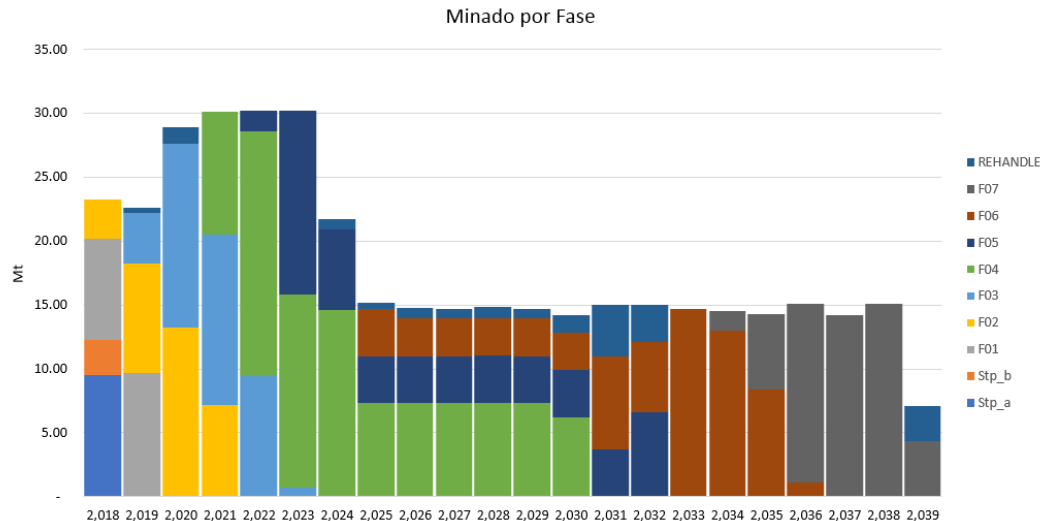


Figura 5-8 Minado por fase y remanejo

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-13 se muestra la alimentación a planta por fase y año, del cual se observa que en el año 2018 se encontraba en pre stripping del plan minero de caso base, al igual que en la figura 5-9 se muestra la interacción de dichas fases por periodo.

Tabla 5-13 Detalle de envió a planta por fase y periodo

Año	Stp_a	Stp_b	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	REHANDLE
	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
2,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,019	-	-	1.67	0.48	-	-	-	-	-	0.41
2,020	-	-	-	6.60	0.39	-	-	-	-	1.31
2,021	-	-	-	4.98	3.32	0.00	-	-	-	-
2,022	-	-	-	-	7.33	0.97	-	-	-	0.00
2,023	-	-	-	-	0.69	7.41	0.16	-	-	0.03
2,024	-	-	-	-	-	7.30	0.12	-	-	0.87
2,025	-	-	-	-	-	6.59	0.46	-	-	1.24
2,026	-	-	-	-	-	7.01	0.51	-	-	0.78
2,027	-	-	-	-	-	7.11	0.42	-	-	0.77
2,028	-	-	-	-	-	7.03	0.41	0.00	-	0.86
2,029	-	-	-	-	-	6.93	0.63	0.02	-	0.71
2,030	-	-	-	-	-	5.97	0.89	0.05	-	1.40
2,031	-	-	-	-	-	-	1.22	0.73	-	5.14
2,032	-	-	-	-	-	-	3.79	0.87	-	3.07
2,033	-	-	-	-	-	-	-	4.28	-	-
2,034	-	-	-	-	-	-	-	8.30	-	-
2,035	-	-	-	-	-	-	-	7.53	0.77	-
2,036	-	-	-	-	-	-	-	1.06	6.16	-
2,037	-	-	-	-	-	-	-	-	8.30	-
2,038	-	-	-	-	-	-	-	-	8.30	-
2,039	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	2.73

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Alimentación a planta por fase

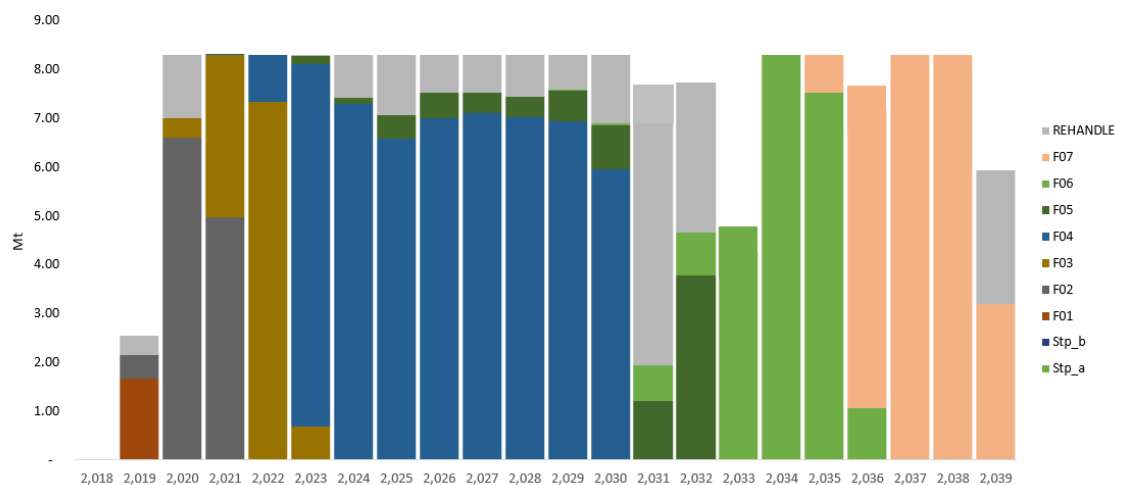


Figura 5-9 Alimentación a planta por fase y periodo

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.2.3. Secuencia de extracción de minado “Caso Base”

Mine Plan permite obtener un resultado rápido y dinámico, es un software amigable con el usuario, en el cual se puede revisar de manera gráfica lo cual es muy importante, ya que es aquí donde los planes se construyen de manera operativa.

La secuencia periodo a periodo del plan minero se resumio el primer año de manera mensual, el segundo y tercer año de manera trimestral y en adelante de manera anual (*Para observar secuencia de plan minero por periodo ver Anexo03*).



5.2.4. Mineral Expuesto – Serrucho de mineral “Caso Base”

Respecto al serrucho, es importante analizar que se esté cumpliendo con una cantidad de mineral expuesto (meses), esto cabe mencionar que es una política de cada empresa y que para este ejercicio se tomó 2.5 Mtpa.

Una fase se considera expuesta si la razón estéril mineral del banco en explotación es menor o igual a 2.5 aproximadamente o la concentración de mineral es considerable, en este caso el minado del plan intenta conseguir una exposicion de mineral equivalente a 3 meses aproximadamente.

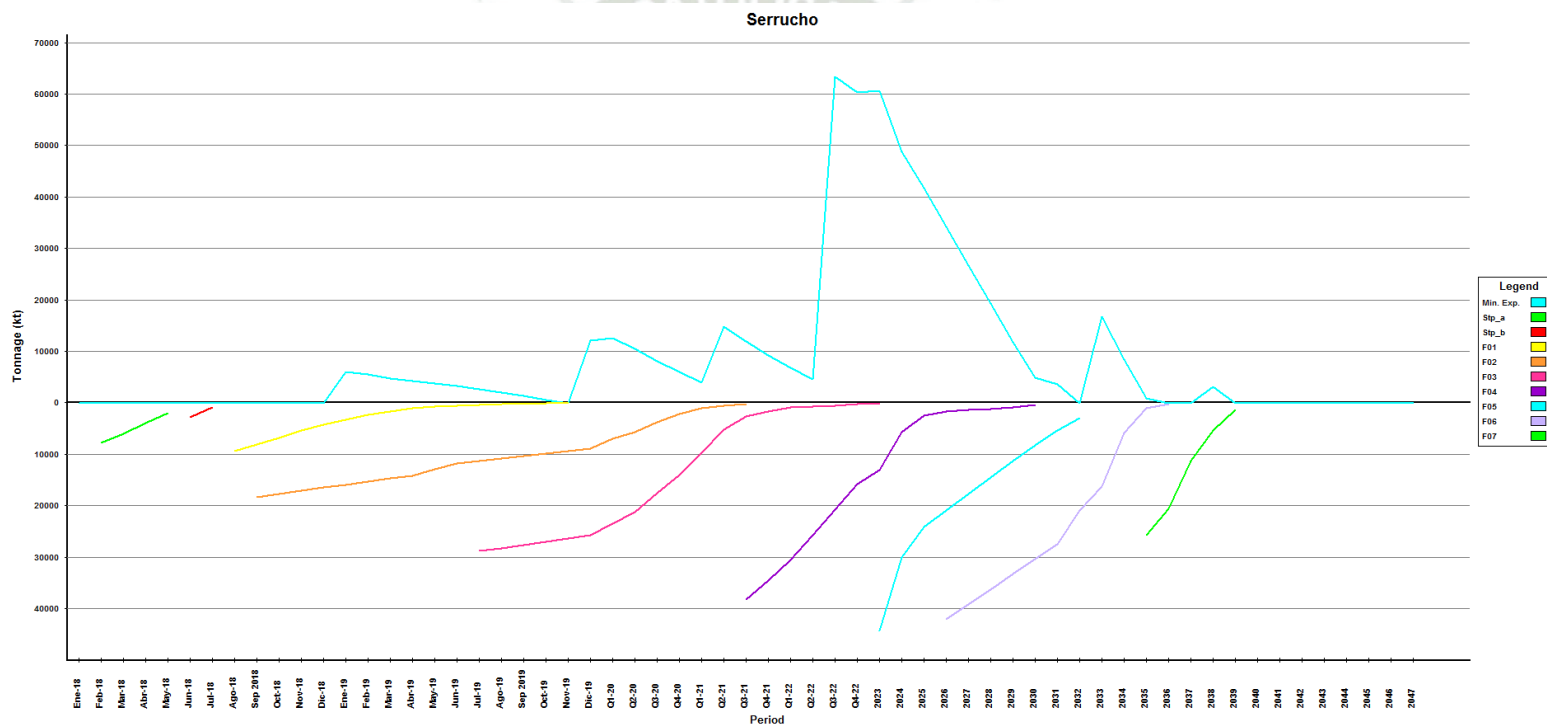


Figura 5-10 Mineral expuesto al final de cada periodo para el caso base

Nota. Fuente: Elaboración Propia, Software Mineplan

5.1. Plan Minero “UCSM”

5.1.1. Diseño de Fases y cálculo de reservas como Input del Plan Minero

Como input para el Plan minero, se tiene un set de Diseño, el cual consiste en siete Fases y una fase de pre minado dividida en dos sub-fases diseñadas en Qpit con el direccionamiento del módulo EconomicPlanner de software MineSight como se mencionó anteriormente. En la tabla 5-14 se muestra la cubicacion disgregada en tonelajes de mineral y desmonte, el cual posee el detalle de la exposicion de mineral con un criterio de relacion esteril-desmonte de 2.5 aproximadamente y con relacion a cantidad de tonelaje de mineral presente en el banco a exponer se muestran por fase y banco, estos datos se muestran en la tabla 5-15 junto a las leyes de oro en ppm.



Tabla 5-14 Cubicación disgregada en toneladas de mineral y desmonte de Caso UCSM

Fases	Stp_a		Stp_b		F01		F02		F03		F04		F05		F06		F07_a		F07_b		TOTAL	
	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Mineral_total	Desmonte_total	Ore_total	Waste_total
447																						
441																						
436																						
429																						
423		58,916																				58,916
417		229,423																				229,423
411		327,851																				327,851
405		403,074																				403,074
399		890,332																				890,332
393		1,330,849																				1,330,849
387		2,125,608																				2,125,608
381	33,906	2,273,098	904																		34,810	2,273,098
375	25,237	1,203,515																				25,237
369		855,796																				855,796
363		1,083,455																				1,083,455
357																						
351																						
345																						
339																						
333																						
327																						
321																						
315																						
309																						
303																						
297																						
291																						
285																						
279																						
273																						
267																						
261																						
255																						
249																						
243																						
237																						
231																						
225																						
219																						
213																						
207																						
201																						
195																						
189																						
183																						
177																						
171																						
165																						
159																						
153																						
147																						
141																						
135																						
129																						
123																						
117																						
111																						
105																						
99																						
93																						
87																						
Totals	59,142	10,870,909	904	1,445,994	9,454,040	30,949,738	20,603,717	25,512,885	29,797,400	60,627,160	35,234,300	28,707,616	10,051,473	21,308,411	31,355,060	27,469,524	7,064,722	20,223,666	4,104,139	3,973,975	147,724,898	231,089,878

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Tabla 5-15 Relación desmonte-mineral, junto a leyes oro en ppm , Caso UCSM

Fases	Stp_a		Stp_b		F01		F02		F03		F04		F05		F06		F07_a		F07_b	
Bancos	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm	Relacion D/M	Auppm
447	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
441	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
435	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
429	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
423	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
411	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
405	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
393	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
387	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
381	67.0	1.6	2,513.4	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
375	51.3	2.0	-	-	-	-	4.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
369	-	-	-	-	90.7	1.0	4.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
363	-	-	-	-	40.5	0.7	4.9	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
357	-	-	-	-	127.6	1.6	6.5	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
351	-	-	-	-	80.7	5.2	6.4	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
345	-	-	-	-	10.3	2.3	4.3	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
339	-	-	-	-	7.8	2.1	5.9	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
333	-	-	-	-	3.8	1.5	4.1	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	849.1	0.4	-	-
327	-	-	-	-	1.3	1.6	1.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	0.5	-	-
321	-	-	-	-	0.9	2.0	1.2	1.5	1,714.2	0.4	-	-	-	-	-	-	6.4	0.6	-	-
315	-	-	-	-	0.4	3.0	1.2	1.6	51.8	0.5	19.9	0.9	-	-	-	-	7.0	0.5	-	-
309	-	-	-	-	0.3	4.5	1.1	1.6	12.0	0.7	12.6	1.0	-	-	-	-	21.2	0.4	-	-
303	-	-	-	-	0.2	6.0	1.0	2.1	2.4	1.6	11.6	1.1	5.1	1.1	-	-	31.4	0.5	-	-
297	-	-	-	-	0.0	5.5	0.6	2.2	1.0	1.8	7.7	1.0	5.0	1.6	-	-	9.2	0.6	-	-
291	-	-	-	-	0.0	5.6	0.6	1.6	0.4	1.6	4.7	1.0	3.3	2.5	-	-	3.8	1.2	-	-
285	-	-	-	-	6.1	0.5	1.8	0.3	1.5	2.3	1.1	3.5	1.7	-	-	-	3.3	1.9	-	-
279	-	-	-	-	7.2	0.5	2.1	0.1	1.5	1.4	1.1	2.8	0.8	8.2	1.9	-	3.1	1.2	-	-
273	-	-	-	-	6.1	0.4	2.2	0.1	1.7	1.0	1.2	2.6	0.8	6.5	1.8	-	3.3	0.7	-	-
267	-	-	-	-	-	0.4	2.2	0.1	2.5	0.7	1.3	2.7	1.0	6.5	1.4	-	4.0	0.6	-	-
261	-	-	-	-	-	0.3	2.4	0.0	2.7	0.4	1.4	2.3	1.3	8.9	1.5	-	3.9	0.7	-	-
255	-	-	-	-	-	0.3	4.4	0.0	2.8	0.4	1.6	2.1	1.7	11.4	1.5	-	3.7	0.8	-	-
249	-	-	-	-	-	0.2	6.0	0.0	2.9	0.3	1.7	1.8	2.1	4.7	0.8	-	2.4	0.8	-	-
243	-	-	-	-	-	0.2	6.4	0.1	3.4	0.1	1.5	1.4	2.3	3.2	1.7	-	2.3	1.1	-	-
237	-	-	-	-	-	0.1	4.6	0.1	3.6	0.1	1.4	1.3	1.8	2.8	1.6	-	2.7	1.2	-	-
231	-	-	-	-	-	0.0	5.0	0.0	3.9	0.1	1.4	1.1	1.4	2.1	1.3	-	2.6	0.8	-	-
225	-	-	-	-	-	0.0	6.9	0.0	4.9	0.1	1.8	0.8	2.1	2.2	0.8	-	2.0	0.6	2.3	0.6
219	-	-	-	-	-	-	9.1	-	4.7	0.1	2.0	0.7	2.3	1.9	0.9	-	1.2	0.7	1.7	0.9
213	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	0.0	2.5	0.4	3.7	1.0	1.4	-	0.7	0.8	1.7	0.8
207	-	-	-	-	-	-	-	0.0	5.6	0.0	2.6	0.4	3.0	1.0	1.5	-	0.5	1.1	2.7	1.1
201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	3.2	0.2	2.9	0.6	1.4	-	0.2	1.0	1.6	0.9
195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	3.2	0.2	3.6	0.5	1.2	-	0.3	1.6	1.2	1.0
189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9	0.1	5.0	0.3	1.3	-	-	0.6	1.6	-
183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	3.6	0.1	5.0	0.3	1.4	-	-	1.3	1.9	-
177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	3.1	0.0	4.9	0.3	1.5	-	-	0.5	1.7	-
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	5.6	-	-	0.3	1.5	-	-	0.6	2.5	-
165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	2.1	-	-	0.5	1.6	-
159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	2.0	-	-	1.4	0.9	-
153	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.3	-	-	0.7	4.7	-
147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.1	-	-	0.3	7.7	-
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.6	-	-	0.1	8.2	-
135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	2.1	-	-	0.1	1.8	-
129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	2.5	-	-	-	-	-
123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.7	-	-	-	-	-
117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.3	-	-	-	-	-
111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.9	-	-	-	-	-
105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.7	-	-	-	-	-
99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.7	-	-	-	-	-
93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	4.8	-	-	-	-	-
87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	8.2	-	-	-	-	-

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.1.2. Resultado plan de minado “UCSM”

El plan de producción de Mina Mc Laughlin muestra el pre stripping en el primer año, al igual que se muestra el *ramp up* de planta, con el incremento de capacidad mina durante los años 2020 hasta 2024, se llegará a un total movido promedio 23 Mt/año los años 2018 y 2019, los años 2020 hasta 2023 se llegará a un máximo de 30 Mt/año reduciendo su minado total a 15 Mt/año. La vida de la mina se extenderá hasta el 2038. Esto incluye algunos años con una baja producción de mineral, como se muestra en la figura 5-11.

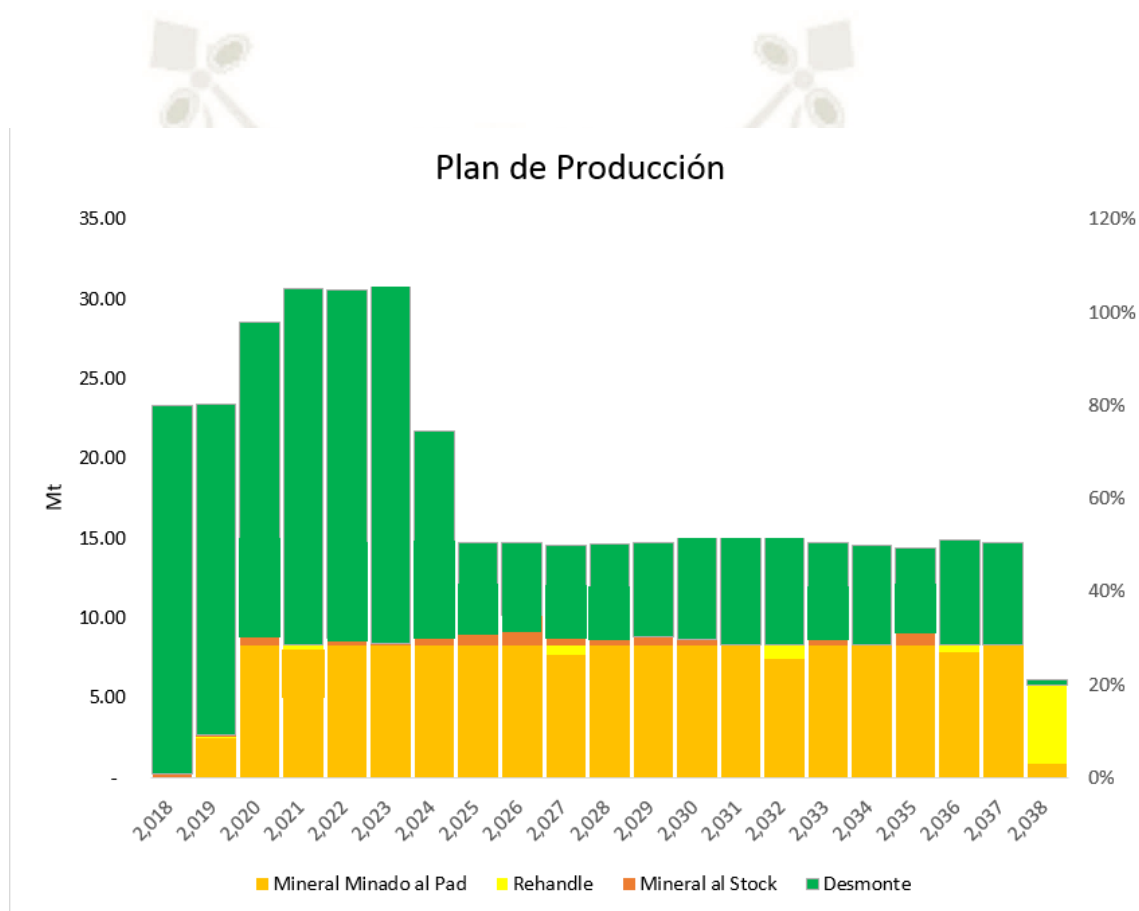


Figura 5-11 Plan de producción, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Si hacemos una revisión de la alimentación a la planta por periodo, podemos ver que no existen problemas de alimentación a proceso, los años 2020 ,2023 y 2026 tienen un alto perfil de onzas, asimismo se muestra que a medida los periodos avanzan las onzas obtenidas va disminuyéndose.

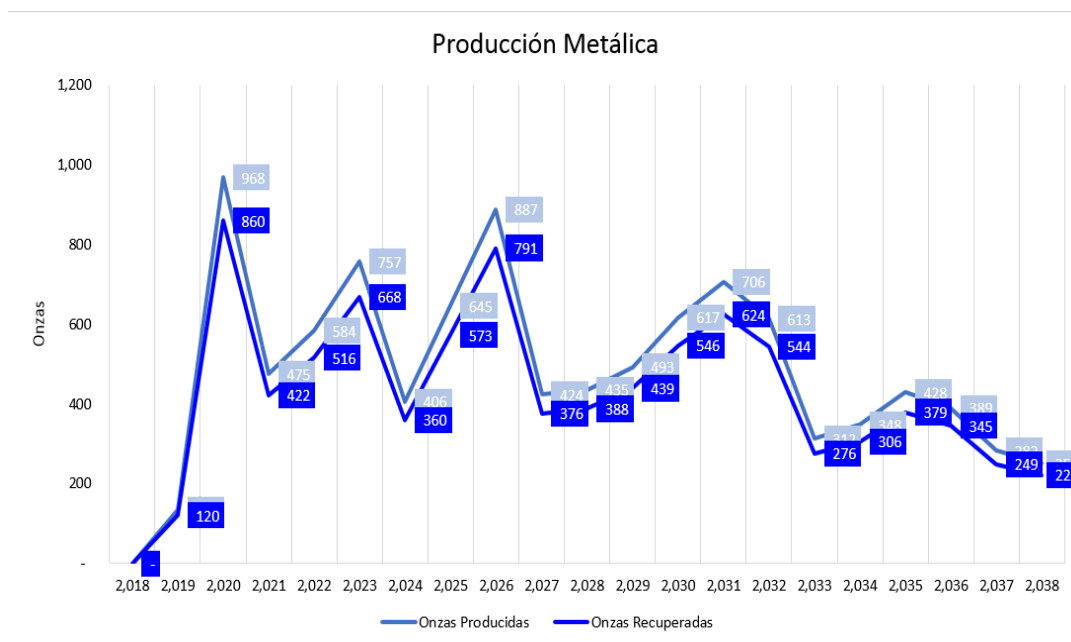


Figura 5-12 Producción metálica, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

La evaluación económica del caso base nos indica que el VAN de McLaughlin es de 2 884 MUSD. El flujo de caja de los años 2020 ,2023 y 2022 es de 757 MUSD , 589 MUSD y 697 MUSD respectivamente, con un mínimo de *cash cost* de 106 \$/oz , 154 \$/oz y 86 \$/oz respectivamente, como se muestra en las figuras 5-13 y 5-14. Cabe señalar que esta evaluación económica es preliminar y solo considera las ratios de costos del modelo de optimización.

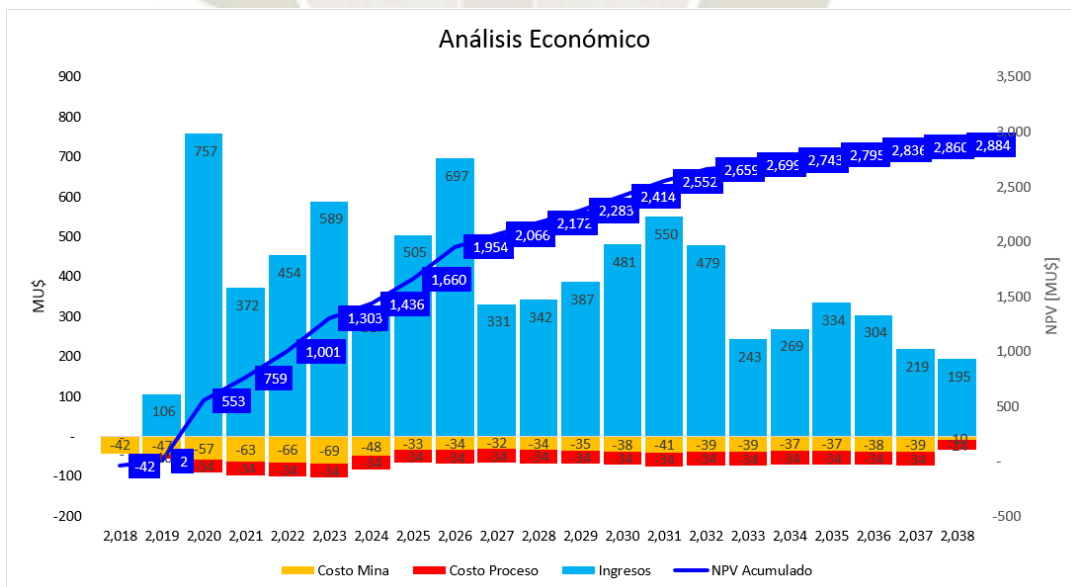


Figura 5-13 Análisis Económico, Caso UCSM

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

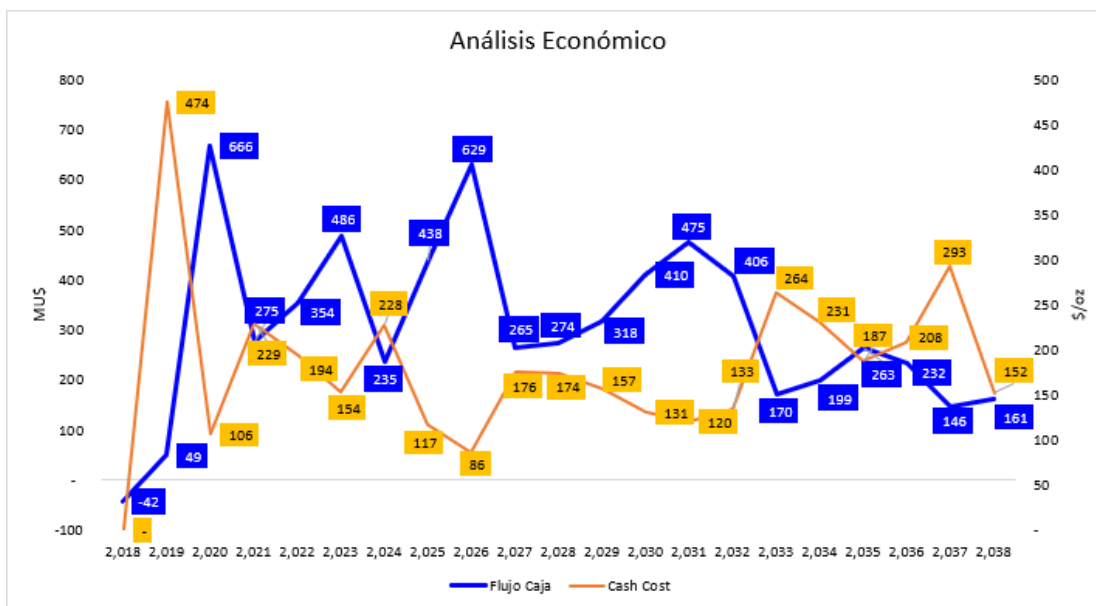


Figura 5-14 Análisis económico Flujo de Caja vs Cash Cost

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-16 se muestra la cantidad de equipos de carguío de los equipos Ex390 y Rh-90c, asimismo la utilización productiva de cada equipo. En la figura 5-15 se muestra la cantidad de equipos por año.

Tabla 5-16 Asignación de equipos de carguío, con detalle de utilización

Año	Total Minado por Palas		# Equipos de Carguío(Real)		Equipos de Carguío(Estima)		Utilización Productiva	
	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c	Ex-390	Rh-90c
	Mt	Mt	Unid	Unid	Unid	Unid	%	%
2,018	17.18	7.35	2.00	1.00	2.0	1	100%	100%
2,019	17.30	7.32	2.00	1.00	2.0	1	100%	100%
2,020	23.69	7.36	2.75	1.00	3.0	1	92%	100%
2,021	25.81	7.34	3.01	1.00	3.0	1	100%	100%
2,022	25.68	7.34	2.99	1.00	3.0	1	100%	100%
2,023	26.03	7.34	3.00	1.00	3.0	1	100%	100%
2,024	25.38	-	2.95	-	3.0	-	98%	0%
2,025	17.16	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,026	17.16	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,027	16.96	-	1.98	-	2.0	-	99%	0%
2,028	17.09	-	1.99	-	2.0	-	99%	0%
2,029	17.17	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,030	17.97	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,031	18.80	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,032	18.88	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,033	17.16	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,034	17.04	-	1.99	-	2.0	-	99%	0%
2,035	16.82	-	1.96	-	2.0	-	98%	0%
2,036	17.35	-	2.00	-	2.0	-	100%	0%
2,037	17.22	-	2.01	-	2.0	-	100%	0%
2,038	7.10	-	0.83	-	1.0	-	83%	0%

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

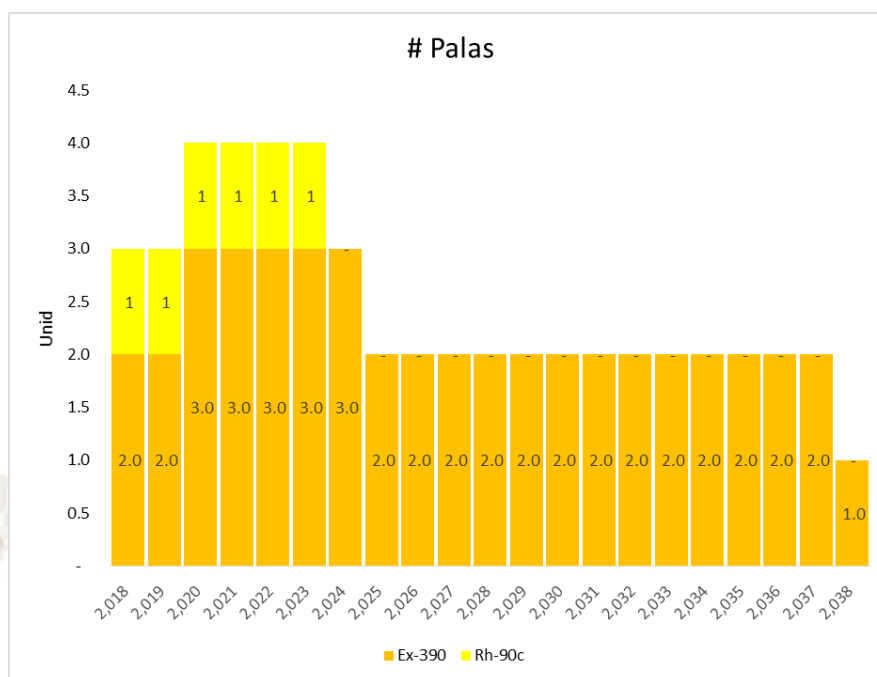


Figura 5-15 Cantidad de equipos de carguío

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-17 se muestra el minado y remanejo por fase del secuenciamiento de caso base, al igual que en la figura 5-16 se muestra la interacción de dichas fases por periodo.

Tabla 5-17 Detalle de minado y remanejo por fase y periodo

Año	Stp_a	Stp_b	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07_a	F07_b	REHANDLE
	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
2,018	10.93	1.45	10.92	-	-	-	-	-	-	-	-
2,019	-	-	19.70	3.57	-	-	-	-	-	-	0.09
2,020	-	-	9.79	13.23	5.55	-	-	-	-	-	-
2,021	-	-	-	15.27	14.78	-	-	-	-	-	0.62
2,022	-	-	-	11.19	19.36	-	-	-	-	-	-
2,023	-	-	-	2.85	23.45	4.55	-	-	-	-	-
2,024	-	-	-	-	10.31	7.36	-	-	-	-	-
2,025	-	-	-	-	8.81	5.87	-	-	-	-	-
2,026	-	-	-	-	8.16	6.53	-	-	-	-	-
2,027	-	-	-	-	-	13.22	-	-	-	-	1.29
2,028	-	-	-	-	-	9.47	5.15	-	-	-	-
2,029	-	-	-	-	-	7.76	4.95	1.98	-	-	-
2,030	-	-	-	-	-	5.89	6.99	2.50	-	-	-
2,031	-	-	-	-	-	3.28	7.67	5.14	-	-	-
2,032	-	-	-	-	-	-	2.54	11.04	-	-	2.57
2,033	-	-	-	-	-	-	-	14.69	-	-	-
2,034	-	-	-	-	-	-	-	9.55	5.04	-	-
2,035	-	-	-	-	-	-	-	8.81	5.58	-	-
2,036	-	-	-	-	-	-	-	5.12	8.84	-	0.90
2,037	-	-	-	-	-	-	-	-	7.84	6.90	-
2,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.18	4.90

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

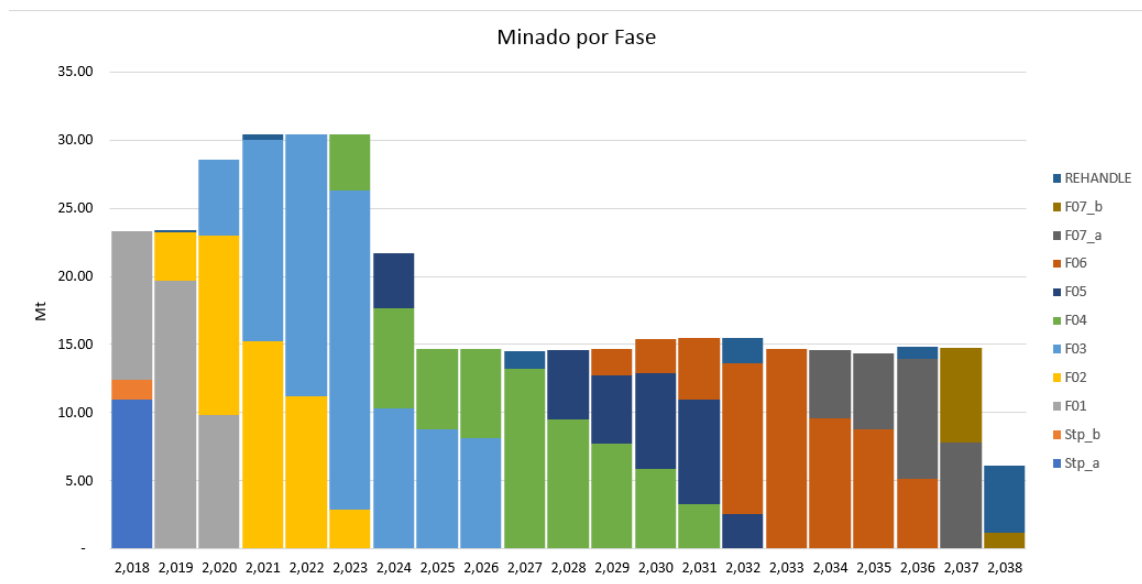


Figura 5-16 Minado por fase y remanejo

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

En la tabla 5-18 se muestra la alimentación a planta por fase y año, del cual se observa que en el año 2018 se encontraba en pre stripping del plan minero de caso base, al igual que en la figura 5-16 se muestra la interacción de dichas fases por periodo.

Tabla 5-18 Detalle de envió a planta por fase y periodo

	Stp_a	Stp_b	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07_a	F07_b	REHANDLE
Año	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
2,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,019	-	-	1.94	0.53	-	-	-	-	-	-	0.09
2,020	-	-	6.16	2.14	-	-	-	-	-	-	-
2,021	-	-	-	7.68	-	-	-	-	-	-	0.62
2,022	-	-	-	8.27	0.03	-	-	-	-	-	-
2,023	-	-	-	2.63	5.38	0.29	-	-	-	-	-
2,024	-	-	-	-	7.73	0.57	-	-	-	-	-
2,025	-	-	-	-	7.52	0.78	-	-	-	-	-
2,026	-	-	-	-	6.74	1.56	-	-	-	-	-
2,027	-	-	-	-	-	7.01	-	-	-	-	1.29
2,028	-	-	-	-	-	7.46	0.84	-	-	-	-
2,029	-	-	-	-	-	7.05	1.04	0.21	-	-	-
2,030	-	-	-	-	-	5.79	2.17	0.34	-	-	-
2,031	-	-	-	-	-	3.28	4.30	0.72	-	-	-
2,032	-	-	-	-	-	-	2.23	3.50	-	-	2.57
2,033	-	-	-	-	-	-	-	8.30	-	-	-
2,034	-	-	-	-	-	-	-	7.63	0.67	-	-
2,035	-	-	-	-	-	-	-	7.14	1.16	-	-
2,036	-	-	-	-	-	-	-	4.78	2.62	-	0.90
2,037	-	-	-	-	-	-	-	-	4.29	4.01	-
2,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.89	4.90

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

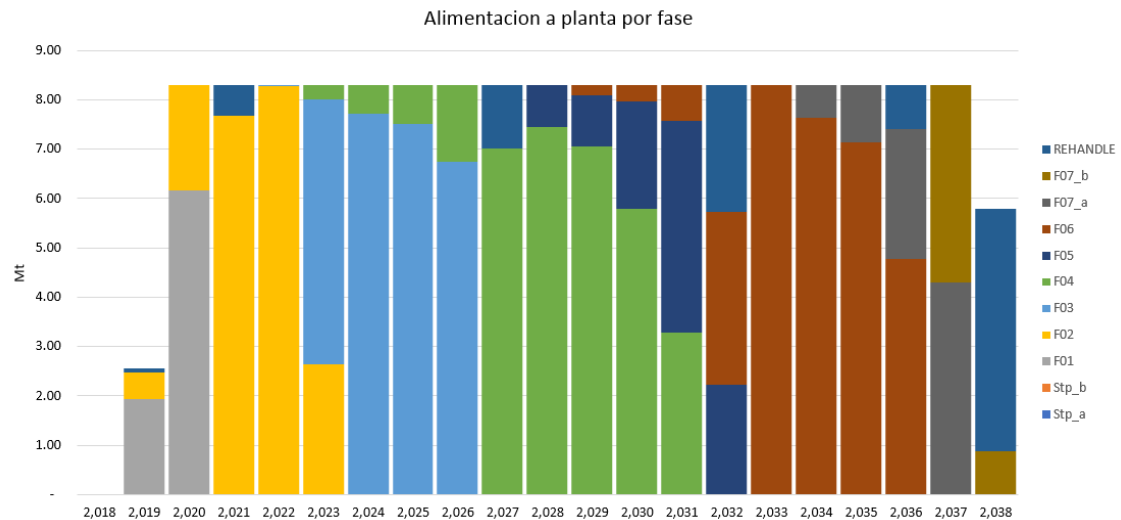


Figura 5-17 Alimentación a planta por fase y periodo

5.1.3. Secuencia de extracción de minado “UCSM”

Mine Plan permite obtener un resultado rápido y dinámico, es un software amigable con el usuario, en el cual se puede revisar de manera gráfica lo cual es muy importante, ya que es aquí donde los planes se construyen de manera operativa.

La secuencia periodo a periodo del plan minero se resume el primer año de manera mensual, el segundo y tercer año de manera trimestral y en adelante de manera anual (Para observar secuencia de plan minero por periodo ver Anexo04)

5.1.4. Mineral Expuesto – Serrucho de mineral “UCSM”

Respecto al serrucho, es importante analizar que se esté cumpliendo con una cantidad de mineral expuesto (meses), esto cabe mencionar que es una política de cada empresa y que para este ejercicio se tomó 2.5 Mtpa.

Una fase se considera expuesta si la razón estéril mineral del banco en explotación es menor o igual a 2.5 aproximadamente o la concentración de mineral es considerable, en este caso el minado del plan intenta conseguir una exposicion de mineral equivalente a 3 meses .

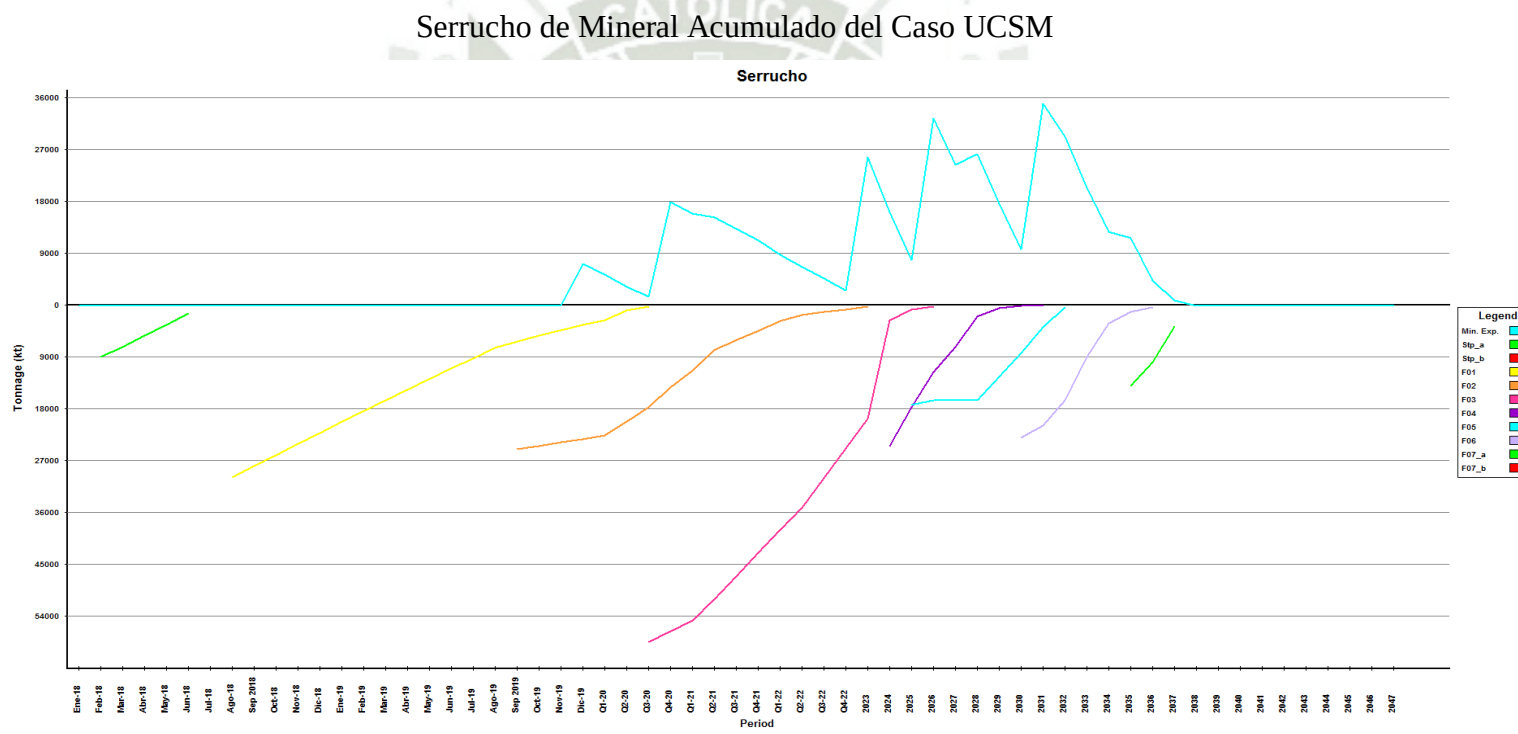


Figura 5-18 Mineral expuesto al final de cada periodo para el caso UCSM
Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

5.2. Conclusiones

- El plan minero con fases de diseño Caso Base posee dificultades en alimentación planta en los periodos de 2031, 2032 y 2033.
- El plan minero con fases de diseño Caso UCSM posee alimentación a planta continua durante todos los periodos de la vida de mina.
- El Plan minero Caso UCSM presenta un mejor perfil de leyes de oro, los primeros años, el cual se refleja en un mejor perfil de onzas obteniéndose así un mayor ingreso los primeros periodos.
- El flujo de caja en los primeros años es mayor en el Caso UCSM, asimismo los costos mina son menores en los primeros periodos respecto al Caso Base.
- Se recomienda usar el plan minero con set de fases con guía de optimización con programación directa de bloques, debido a que genera mayor valor y un plan con menor riesgo.

CAPITULO VI: ANALISIS COMPARATIVO

Este capítulo mostrara el análisis comparativo de los resultados del caso UCSM y el caso base, para comparar presentados en los anteriores capítulos. Dicha comparación se realizará con los siguientes parámetros:

- 6.1 Producción Mina
 - 1.1 Movimiento total (Mtn)
 - 1.2 Alimentación a planta (Mtn)
 - 1.3 Ley media de oro (ppm)
- 6.2 Perfil de onzas (Oz)
 - 1.4 Onzas producidas y recuperadas (Oz)
- 6.3 Análisis Económico de valor
 - 1.5 Flujo de caja anual y acumulado (MU\$)
 - 1.6 Flujo de caja descontado y acumulado (MU\$)
- 6.4 Costos
 - 1.7 Costo Mina y Costo Planta (MU\$)
 - 1.8 Cash Cost (MU\$)

6.1. PRODUCCION MINA

6.1.1. Movimiento total

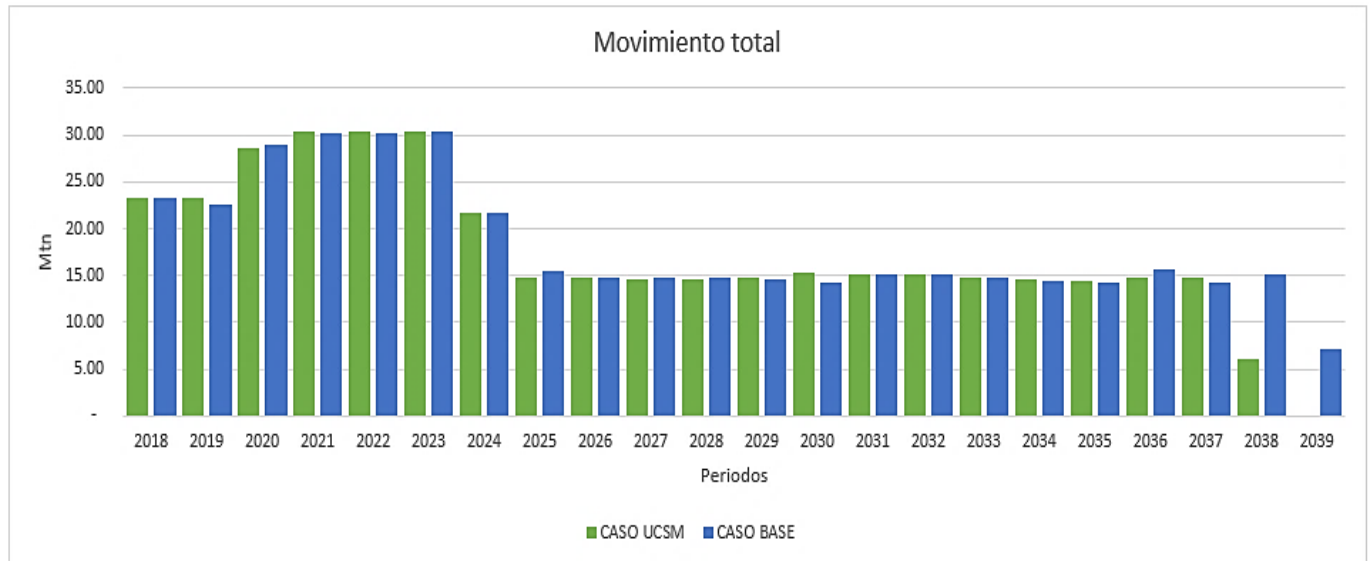


Figura 6-1 Movimiento Mina

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-1 se observa que:

- En lo referente a movimiento total, el plan de producción del caso UCSM y caso base optimiza el uso de los equipos al aumentar la capacidad de minado principalmente durante los primeros años.
- El caso UCSM contempla una vida útil de 21 años, con una disminución de su producción en el año 2038 a diferencia del caso base que contempla una vida útil de 22 años, con una disminución de producción en el año 2039, esta diferencia ocasiona que el último caso mencionado obtenga más reservas.

6.1.2. Alimentación a planta

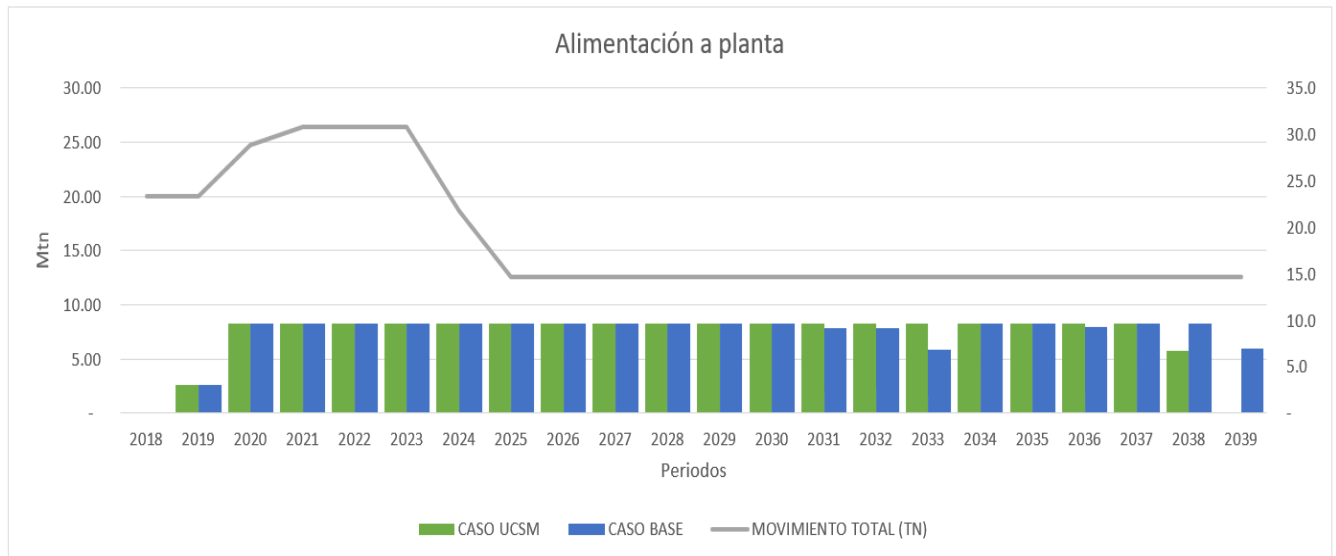


Figura 6-2 Alimentación a planta

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-2 se observa que:

- En lo referente a alimentación a planta, el plan de producción del caso UCSM y caso base no poseen problemas de exposición de mineral y alimentación a planta hasta el año 2030, el caso UCSM posee una alimentación continua, frente al caso base que presenta un déficit en 2031, 2032 y 2033 con mayor intensidad debido a que no se logra exponer el suficiente mineral.
- Los dos casos mostrados poseen el mismo perfil de movimiento total, la diferencia es que en la optimización el software Simsched toma en cuenta la capacidad mina, planta y exposición de mineral.

6.1.3. Ley media de oro (ppm)

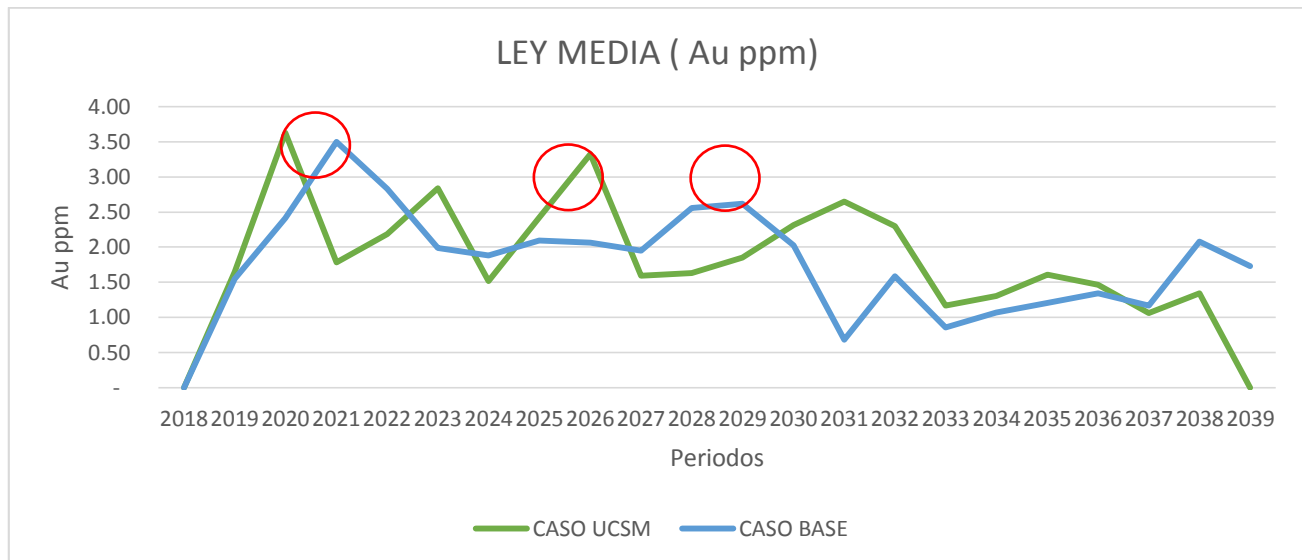


Figura 6-3 Ley media de oro

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-3 se observa que:

- En lo referente a ley promedio de oro, los dos casos mostrados poseen el mismo un perfil que optimiza el minado obteniendo mejores leyes en los primeros años, esto disminuyéndose paulatinamente por efecto de minar lo más beneficioso los primeros periodos, asi mismo las bajas y subidas de leyes promedio se deben a la exposición de mineral.
- El plan de producción del caso UCSM optimiza el minado con una ley mayor en los primeros años frente al caso base lo cual causa que se obtenga un mayor beneficio los primeros periodos.

6.2. PERFIL DE ONZAS

6.2.1. Onzas producidas y onzas recuperadas (Oz)

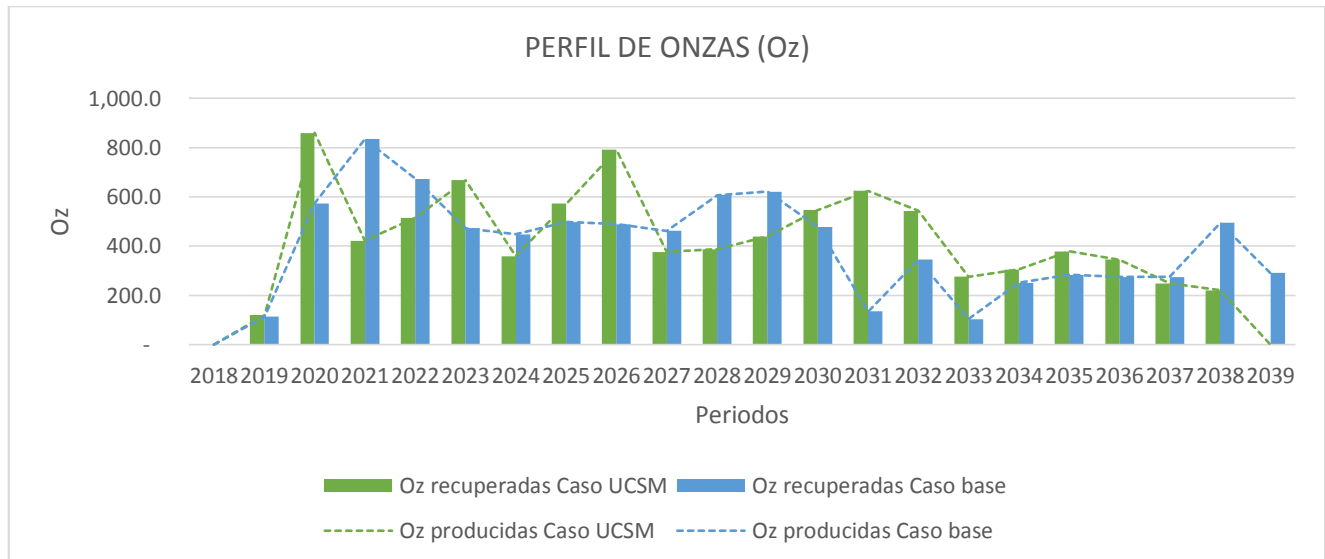


Figura 6-4 Perfil de onzas

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-4 se observa que:

- En lo referente al perfil de onzas, el caso UCSM obtiene mayor contenido metálico en los primeros años frente al caso base debido a la orientación de minado
- El caso UCSM agota más rápido sus reservas de tajo final debido a que el secuenciamiento de fases posee una mejor dirección de valor, esta nueva orientación busca zonas de mayor valor teniendo en cuenta un horizonte de la vida total de la mina.

6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE VALOR

6.3.1. Flujo de caja anual y acumulado (MU\$)

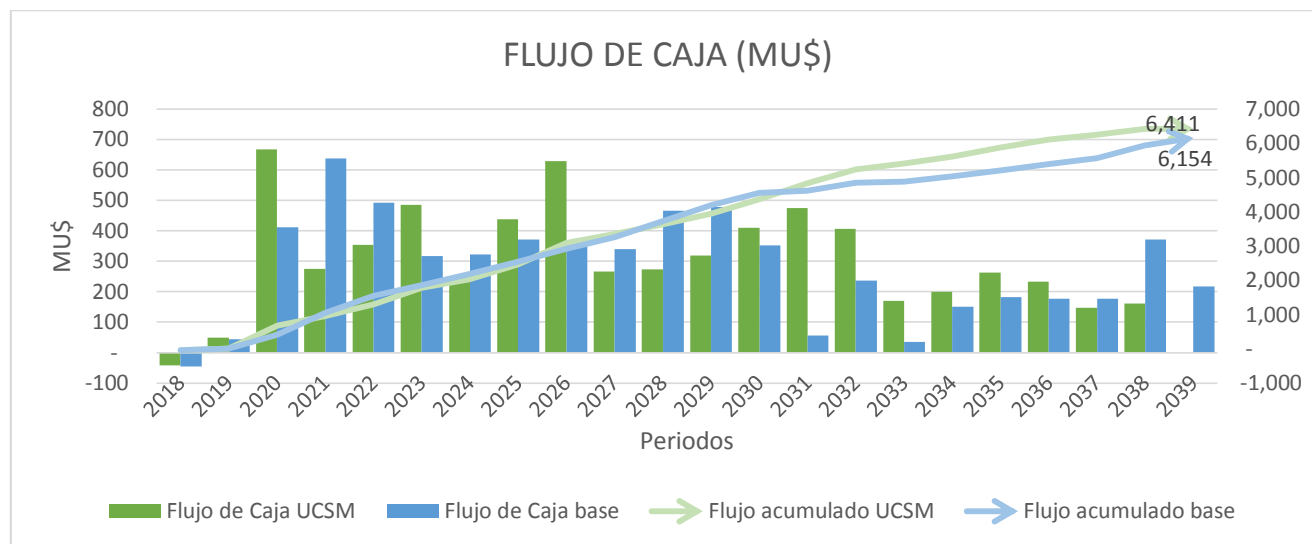


Figura 6-5 Flujo de caja y flujo acumulado

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-5 se observa que:

- En lo referente al valor instantáneo, el caso UCSM obtiene un mayor valor debido al direccionamiento de sus fases, esto ocasionando un mayor ingreso los primeros periodos, adelantando las zonas de mayor valor para obtener un mayor valor instantáneo.
- Con respecto al valor de flujo de caja acumulado el caso UCSM obtiene un mayor al final de la vida útil de la mina con 6 411 MU\$ frente a 6 154 MU\$ del caso base.
- El primer año el flujo es negativo debido al minado de *pre stripping*.

6.3.2. Flujo de caja descontado (MU\$)

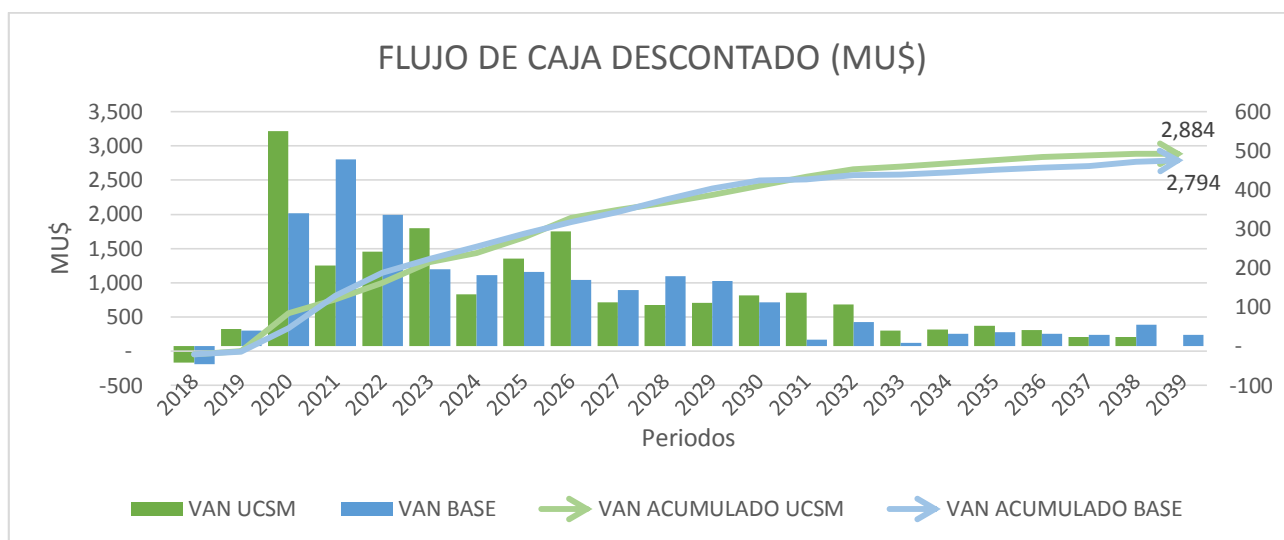


Figura 6-6 Flujo de caja instantáneo y VAN acumulado

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-6 se observa que:

- En lo referente al valor instantáneo, el caso UCSM obtiene un mayor valor debido al direccionamiento de sus fases, el principal efecto de la diferencia de valor es debido a que el optimizador con el agrupamiento de bloques considera el descuento de valor hacia el presente.
- Con respecto al valor de flujo de caja acumulado descontado el caso UCSM obtiene un mayor al final de la vida útil de la mina con 2 884 MU\$ frente a 2 794 MU\$ del caso base.

6.4. COSTOS

6.4.1. Costo Mina y Costo Planta (MU\$)

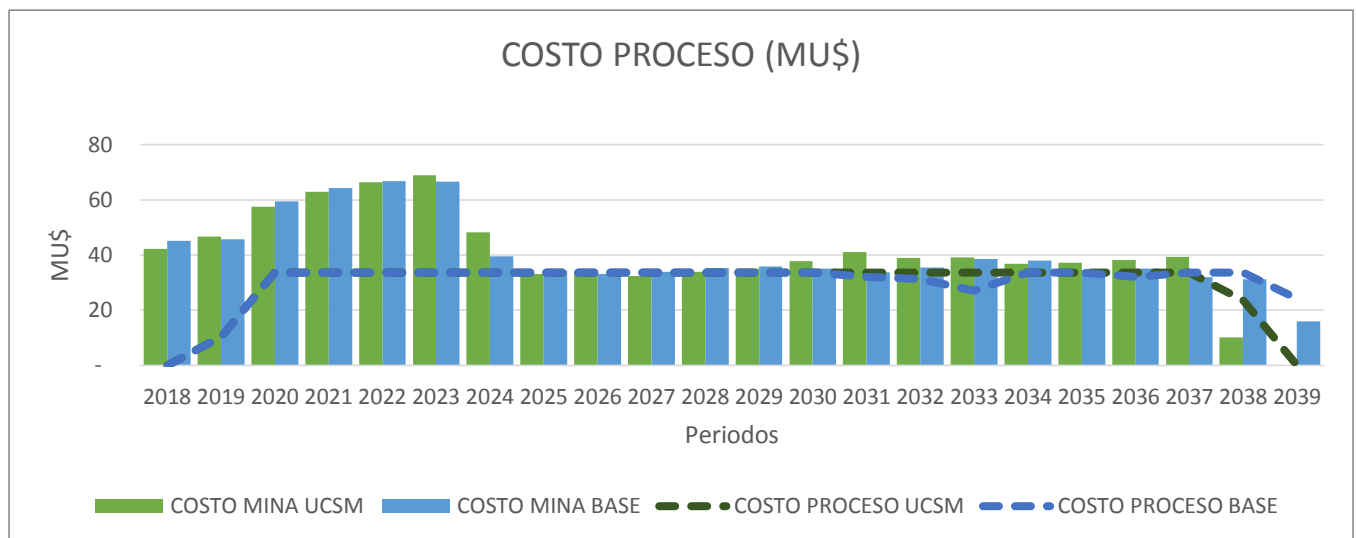


Figura 6-7 COSTO MINA

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-7 se observa que:

- En lo referente costos, el perfil mostrado incorpora el costo de mina que incluye costo de mineral, desmonte y remanaje, por lo que es variable de acuerdo con el periodo, los primeros años tienden a ascender hasta el periodo 2023 continuándose con un costo relativamente constante.
- En lo referente a costo de procesamiento, este comportamiento es directamente proporcional a alimentación planta, el costo disminuye en tanto haya dificultad de alimentar a planta.

6.4.2. Cash Cost (MU\$)

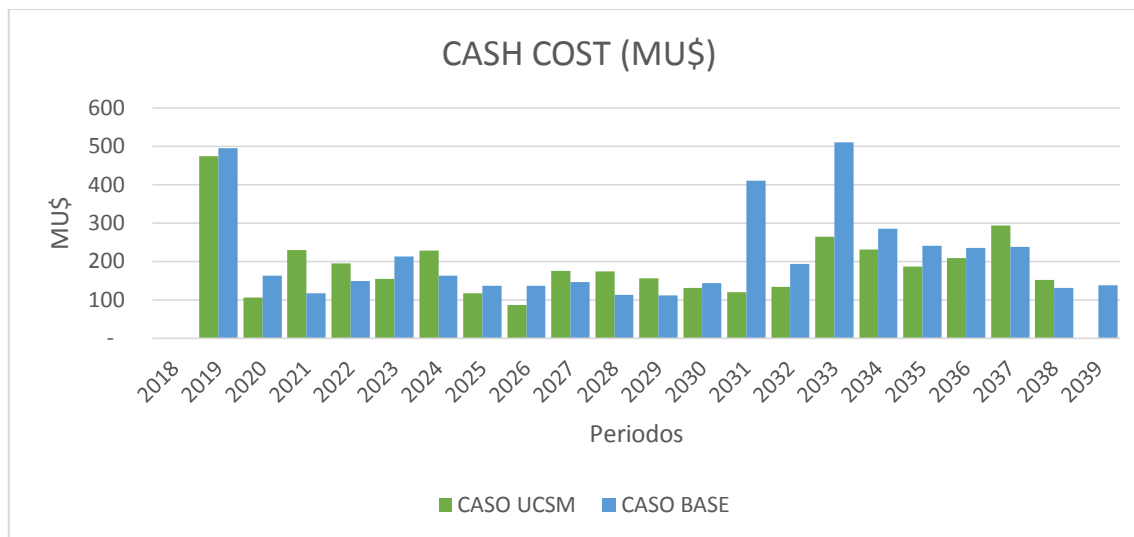


Figura 6-8 Cash Cost

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Del Gráfico 6-8 se observa que:

- El *cash cost* es indirectamente proporcional al ingreso por periodo, por lo que se observa que se obtiene un *cash cost* elevado el segundo periodo debido al las onzas totales obtenidas, el caso UCSM posee al principio un menor *cash cost*, lo cual incrementa su flujo instantáneo, pero presenta una variabilidad debido a la exposición de mineral.
- El caso base presenta un *cash cost* elevado en los años 2031 y 2033 debido a que las onzas producidas fueron menores en dichos periodos, esto ocasionando que el valor de estos periodos disminuya.

6.1. Conclusiones

- La alimentación de mineral es más constante en el Caso UCSM, debido a que se expone mayor mineral y se poseen fases de diseño con un punto de equilibrio entre mineral-desmonte.
- El caso UCSM posee un perfil de mayores leyes medias en los primeros periodos respecto al Caso Base, debido a que desbroza menos para llegar a bancos de alta ley.
- El perfil de Onzas es consecuencia de la ley obtenida en los periodos, por lo que el Caso UCSM posee mejor perfil de onzas puestas en Pad.
- Respecto al Flujo de Caja, el Caso Base al poseer mayores costos de mina y menores ingresos genera un flujo de caja menor al Caso UCSM, el Caso UCSM posee un 5% más de valor neto acumulado en la vida de mina.

CONCLUSIONES

De la presente tesis, se concluye que:

- El mejor caso de negocio es la metodología con el direccionamiento de bloques (Caso UCSM), debido a que esta permite una disminución considerable en horas de trabajo de un ingeniero, obtener un mayor valor del proyecto y permite la exposición adecuada de mineral por periodo.
- El Caso UCSM, logra un incremento de valor de 90 MU\$ equivalente al 3.2 %, respecto a la metodología tradicional, lo cual es un indicativo que al usar un algoritmo que incorpore el agrupamiento por bloques otorga una mejor dirección de valor para el secuenciamiento de fases, este permitiendo maximizar el valor actual neto del proyecto.
- El Caso UCSM logra una mejor exposición de mineral, equivalente a 03 meses de alimentación a planta, lo cual se refleja en un mejor perfil de leyes medias enviadas a *pad* y onzas puestas. La exposición de mineral debe tomarse en cuenta al momento de realizar un plan de producción debido que al no contar con mineral expuesto o este sea muy escaso conlleva a un plan de minado con cierto riesgo, el cual es reflejado en el VAN, la operatividad y ejecución del proyecto.
- Los factores incluidos en la metodología con el direccionamiento de bloques son:
 - Factores operacionales como;** anchos mínimos de minado de 50 metros, ancho de fondo de 50 m, un avance vertical preferente de 08 bancos al año.
 - Factores propios de un plan como;** capacidades de alimentación planta, capacidades de minado, capacidad de stockpile, costos de remanejo.
 - Factores de optimización como;** inclusión de variable tiempo el cual realiza un escenario mas realista y correcto, incorporar el costo de oportunidad y una pseudo política de ley de corte.

RECOMENDACIONES

De la presente tesis, se recomienda que:

- Se deben disponer de indicadores para evaluar los casos de análisis, para así evaluar un escenario en cada etapa del proceso de planificación, con el fin de así poder establecer prioridades y alcanzar un óptimo escenario.
- Es importante establecer una metodología, antes del desarrollo de un nuevo caso a realizar, se debe reconocer cuales son las oportunidades frente al caso base y realizar definir cuáles serán los objetivos que guiarán el estudio.
- La etapa de optimización y diseño de fases es un proceso iterativo hasta lograr determinar el caso final que maximice el VPN del proyecto. La determinación de la estrategia del sistema de rampas, cantidad de *switchbacks*, colocación de óvalos y plataformas, entre otros, requieren un análisis que debe realizarse simultáneamente al direccionamiento de valor; por ese motivo, el juego de fases final se obtendrá luego de realizar varios casos, cuyas ideas y estrategias servirán para alimentar al caso final.
- La optimización de la mina aplicando el método de programación directa de bloque no cumple en ciertos periodos las restricciones físicas, como son el avance vertical y el mínimo ancho de minado, por lo cual se recomienda usar un buen criterio al momento de diseñar las fases internas de minado.
- El valor de adquisición del software usado en la actual tesis es muy competitivo respecto a otros softwares de la misma especialidad, de igual forma el entrenamiento en el uso de esta nueva herramienta es gratuita, debido que cuenta con explicación de sus módulos y ejemplos en su página web.
- Se recomienda realizar una evaluación con las nuevas versiones de software Simsched debido a que incorporaron mejoras como mayor prioridad en avance vertical posee un mejor comportamiento en restricciones físicas (anchos operativos).
- Se recomienda el uso del software Simsched debido a que incorpora una optimización por periodos en vez de fases (así asegurando buena exposición de mineral), asimismo integra parámetros operacionales generando así una guía más cercana a la realidad y por último que es un software muy amigable con el usuario.

BIBLIOGRAFÍA

- W. Hustrulid, M. Kuchta SME (2006). “OPEN PIT MINE PLANNING AND DESIGN”, Netherlands - Estados Unidos, Tomo 2, Segunda Edición.
- G. S. Zimmer (2007). “GENERAL COMMENTS ON OPEN PIT MINE PLANNING WITH EMPHASIS ON PIT DESIGN”, Tucson, Arizona – Estados Unidos.
- L. Kenneth (2015). “THE ECONOMIC DEFINITION OF ORE” Brisbane, Australia, Cuarta Edición
- P.N. Calder (2002). “TÓPICOS DE INGENIERÍA DE MINAS A RAJO ABIERTO”, Santiago – Chile.
- MININGMATH (2016) SIMSCHED DIRECT BLOCK SCHEDULER BETA [manual].
- J. Cuaresma, (2016). IMSS – MINEPLAN [videgrabación]. Lima: Youtube
- J. Lozano (2016). DIMENSIONAMIENTO DE MINA-PLANTA [videgrabación]. Lima: Youtube

ANEXOS

ANEXO01: CALCULO DE MCAF Y VALORES POR DESTINO

if \$(level)> 354:

$$\$(MCAFO) = 1.32 + (\$(elev) - 354) * 0.021 / 6$$

$$\$(MCAFO) = 1.40 + (\$(elev) - 354) * 0.03 / 6$$

else:

$$\$(MCAFW) = 1.32 + (354 - \$(elev)) * 0.021 / 6$$

$$\$(MCAFW) = 1.40 + (354 - \$(elev)) * 0.03 / 6$$

La valorización por bloques se realizó con el concepto que un bloque pueda tener dos posibles destinos en el cual el optimizador decidiera cuál de estos destinos (*crusher* o *dump*) es más económico.

if \$(CLASS)==1 OR \$(CLASS)==2 :

$$\$(EBVO) = (\$(SG) * 8 * 8 * 6 * \$(AUOZ) * \$(AURE)) * (\$(AUPR) - \$(SC)) - \$(SG) * 8 * 8 * 6 * (\$(MC) + \$(PC))$$

else:

$$\$(EBCW) = -\$(SG) * 8 * 8 * 6 * \$(MC)$$

ANEXO02: VALORACIÓN DE BASE DE DATOS ENTREGADA POR SOFTWARE MINESIGHT EN FUNCIÓN DE PIT SHELLS GENERADAS DE *ECONOMIC PLANNER*

Anexo 02-01 Tabla 1 Valoración de base datos Pit Shells

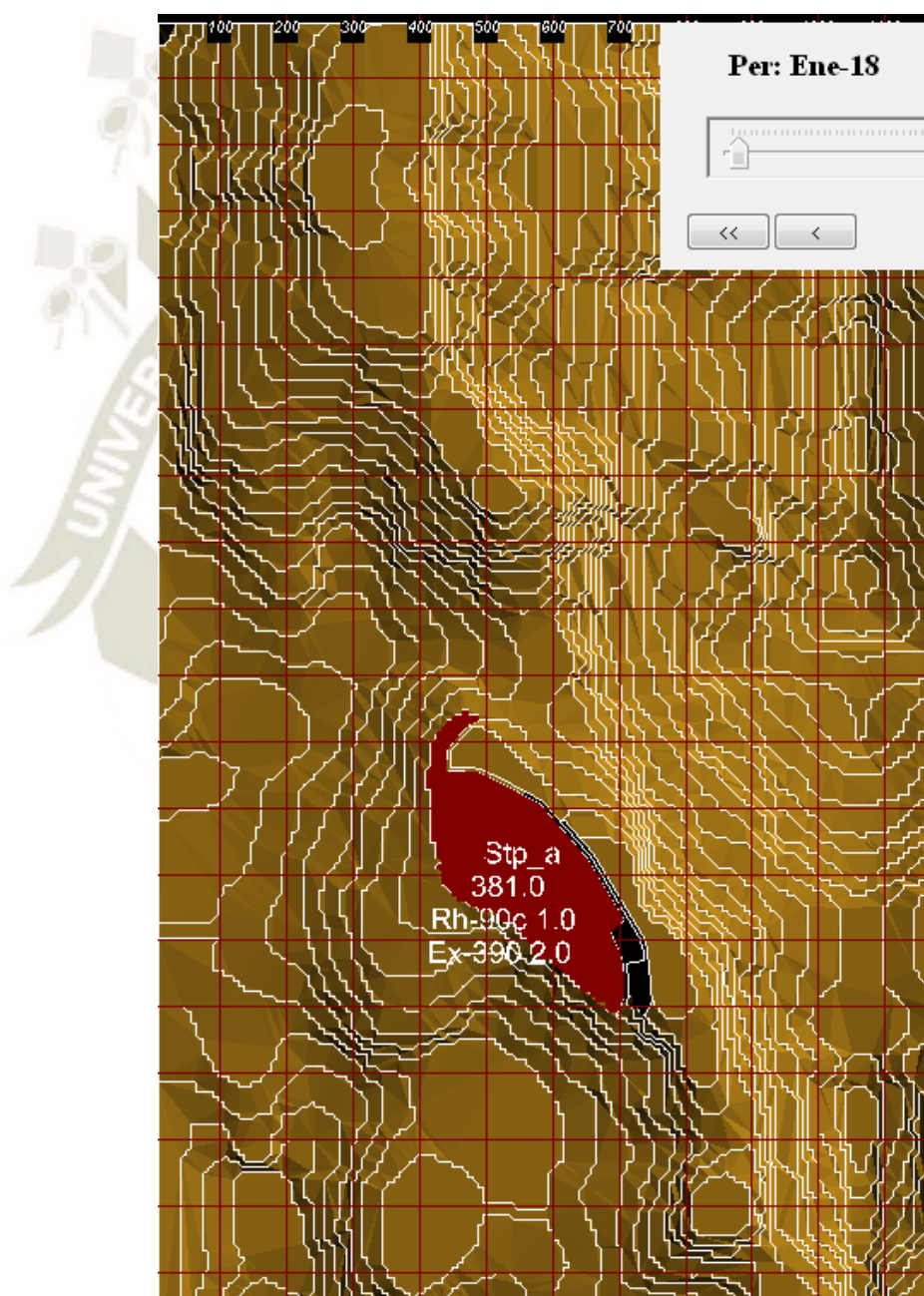
Planta CC.	8.3
Tasa	10%

Pit Shell	Mineral	Desmante	Desmante/Mineral	Total Mat.	Value	Mineral Acum.	Desmante Acum.	Tot.Mat.Acum	Valor Acum.	Valor%
Código	Ktons	Ktons	D/M	Ktons	KU\$	Ktons	Ktons	Ktons	KU\$	
2	2,592	8,537	3.3	11,129	458,369	2,592	8,537	11,129	458,369	9%
3	975	1,190	1.2	2,165	111,605	3,567	9,727	13,294	569,975	11%
4	5,798	10,491	1.8	16,289	601,866	9,364	20,219	29,583	1,171,841	23%
5	821	1,105	1.3	1,927	61,250	10,186	21,324	31,509	1,233,091	25%
6	13,666	19,813	1.4	33,479	972,287	23,851	41,137	64,988	2,205,377	44%
7	2,785	4,389	1.6	7,174	172,735	26,636	45,526	72,162	2,378,113	48%
8	4,181	9,613	2.3	13,794	250,241	30,816	55,140	85,956	2,628,354	53%
9	4,544	12,774	2.8	17,318	295,126	35,360	67,914	103,274	2,923,479	58%
10	28,696	28,763	1.0	57,458	1,188,186	64,056	96,677	160,733	4,111,666	82%
11	3,196	5,149	1.6	8,346	146,744	67,252	101,826	169,078	4,258,410	85%
12	1,690	2,391	1.4	4,081	60,671	68,942	104,217	173,160	4,319,081	86%
13	2,080	3,826	1.8	5,906	69,782	71,022	108,043	179,065	4,388,863	88%
14	3,166	13,223	4.2	16,389	129,735	74,188	121,266	195,454	4,518,598	90%
15	2,603	3,040	1.2	5,644	69,756	76,791	124,307	201,098	4,588,354	92%
16	2,932	4,006	1.4	6,938	79,713	79,723	128,312	208,035	4,668,067	93%
17	2,186	4,105	1.9	6,291	57,685	81,909	132,418	214,327	4,725,752	94%
18	1,264	3,384	2.7	4,648	30,150	83,173	135,802	218,975	4,755,902	95%
19	1,513	3,436	2.3	4,950	35,202	84,686	139,238	223,924	4,791,104	96%
20	979	1,993	2.0	2,972	19,104	85,665	141,232	226,896	4,810,208	96%
21	877	1,899	2.2	2,775	16,625	86,541	143,130	229,672	4,826,833	97%
22	1,944	2,270	1.2	4,214	28,328	88,485	145,401	233,886	4,855,161	97%
23	1,281	2,785	2.2	4,065	19,743	89,766	148,185	237,951	4,874,904	97%
24	973	2,560	2.6	3,533	15,348	90,739	150,745	241,484	4,890,252	98%
25	823	1,884	2.3	2,708	11,862	91,562	152,629	244,191	4,902,113	98%
26	871	3,156	3.6	4,027	16,662	92,433	155,785	248,218	4,918,776	98%
27	570	1,989	3.5	2,559	7,183	93,003	157,774	250,777	4,925,959	98%
28	532	1,380	2.6	1,913	6,101	93,535	159,155	252,690	4,932,060	99%
29	1,077	11,093	10.3	12,170	24,518	94,612	170,248	264,860	4,956,578	99%
30	246	2,310	9.4	2,556	1,260	94,858	172,558	267,416	4,957,838	99%
31	444	1,576	3.6	2,020	4,266	95,302	174,135	269,437	4,962,103	99%
32	387	1,472	3.8	1,860	3,078	95,689	175,607	271,296	4,965,181	99%
33	165	470	2.8	635	807	95,855	176,077	271,931	4,965,988	99%
34	1,254	2,515	2.0	3,770	7,223	97,109	178,592	275,701	4,973,211	99%
35	426	1,543	3.6	1,970	2,472	97,535	180,135	277,670	4,975,683	99%
36	687	2,684	3.9	3,371	4,185	98,223	182,819	281,041	4,979,867	100%
37	757	4,350	5.7	5,108	8,165	98,980	187,169	286,149	4,988,033	100%
38	450	2,357	5.2	2,807	1,908	99,430	189,527	288,956	4,989,941	100%
39	377	2,242	5.9	2,619	1,229	99,807	191,768	291,575	4,991,169	100%
40	347	3,006	8.7	3,353	120	100,154	194,774	294,928	4,991,290	100%
41	1,614	12,486	7.7	14,101	10,359	101,769	207,260	309,029	5,001,648	100%
42	209	1,540	7.4	1,749	-	101,978	208,800	310,778	5,001,632	100%
43	306	1,686	5.5	1,992	-	102,284	210,486	312,770	5,001,276	100%
44	1,217	9,565	7.9	10,782	3,043	103,501	220,051	323,552	5,004,319	100%
45	152	1,785	11.7	1,937	-	103,653	221,835	325,488	5,003,372	100%
46	150	1,509	10.1	1,659	-	103,803	223,345	327,148	5,002,599	100%
47	135	999	7.4	1,134	-	103,938	224,344	328,282	5,001,830	100%

Nota. Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

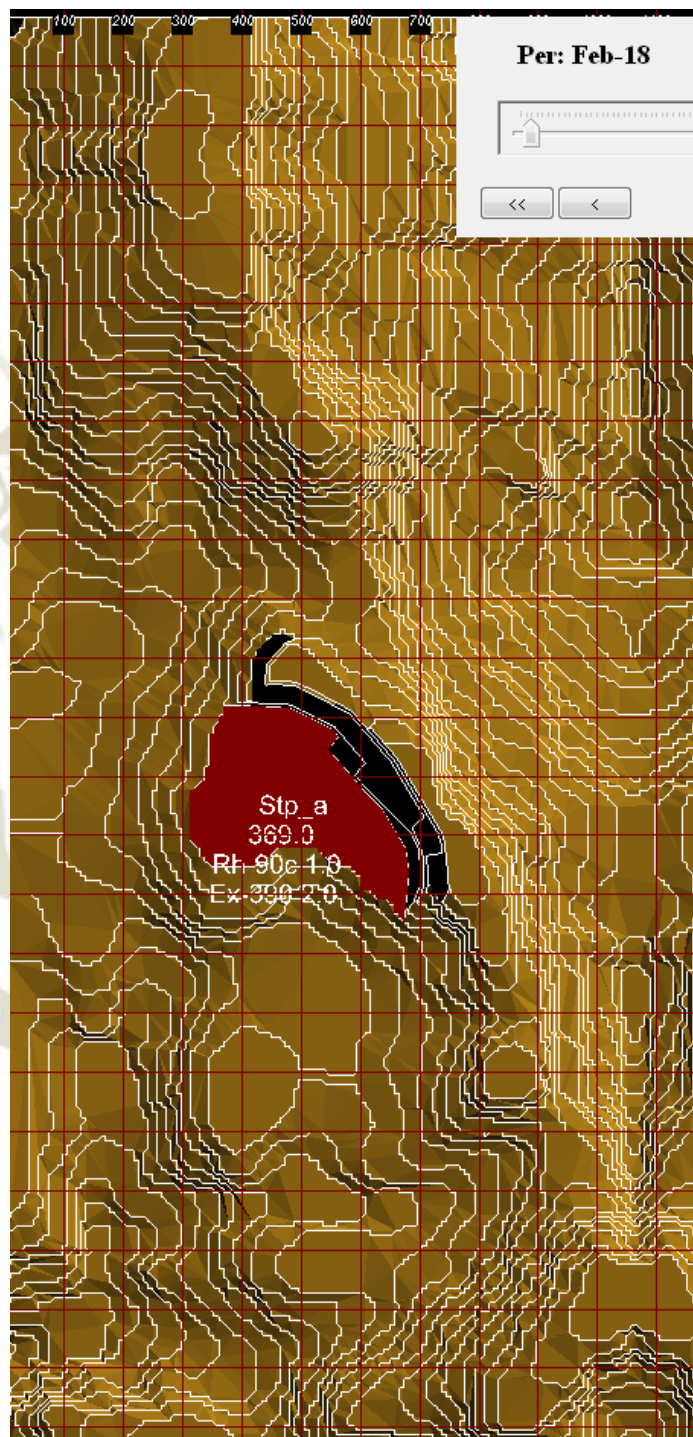
ANEXO03: SECUENCIA DE EXTRACCION EN PLAN DE MINADO UCSM.

La secuencia periodo a periodo del plan minero se resumio el primer año de manera mensual , el segundo y tercer año de manera trimestral y en delante de manera anual:

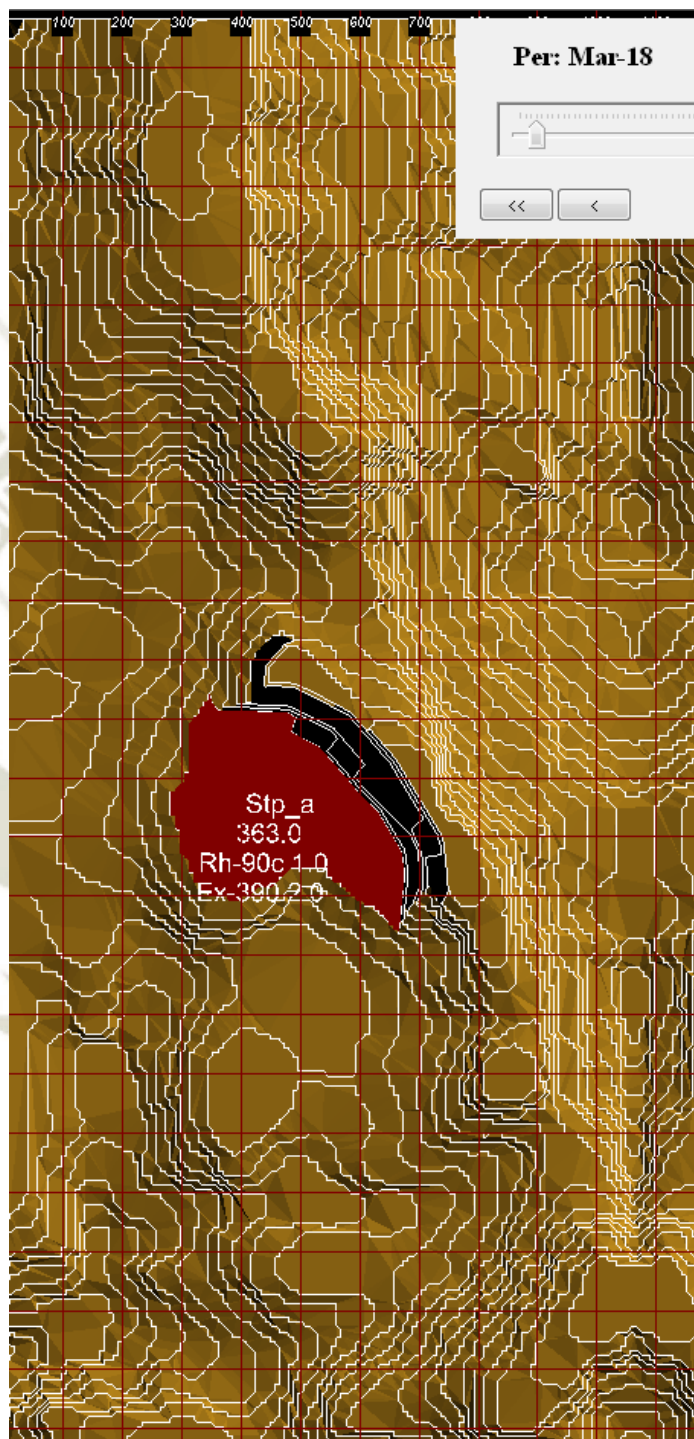


Anexo 03-01_Periodo 01_Mes01_Enero18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

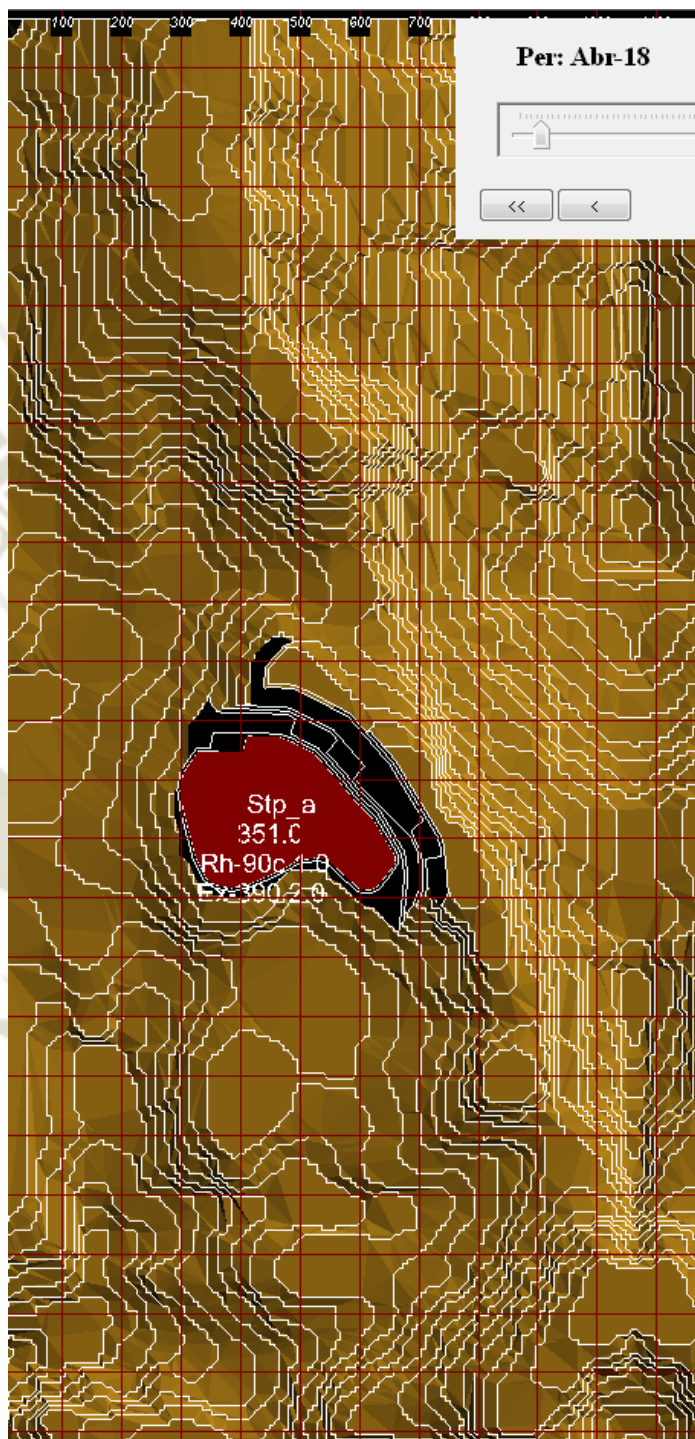


Anexo 03-02_Periodo 02_Mes02_Febrero18
Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



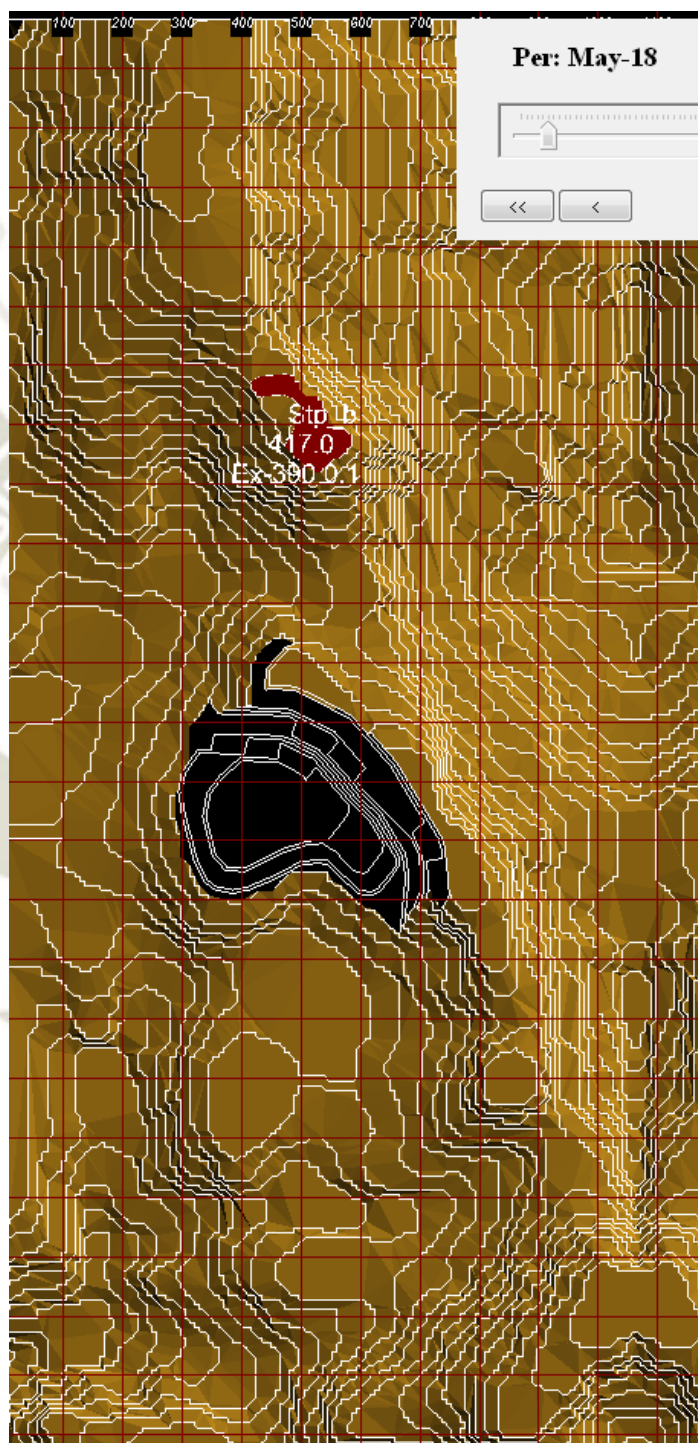
Anexo 03-03_Periodo 03_Mes03_Marzo18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



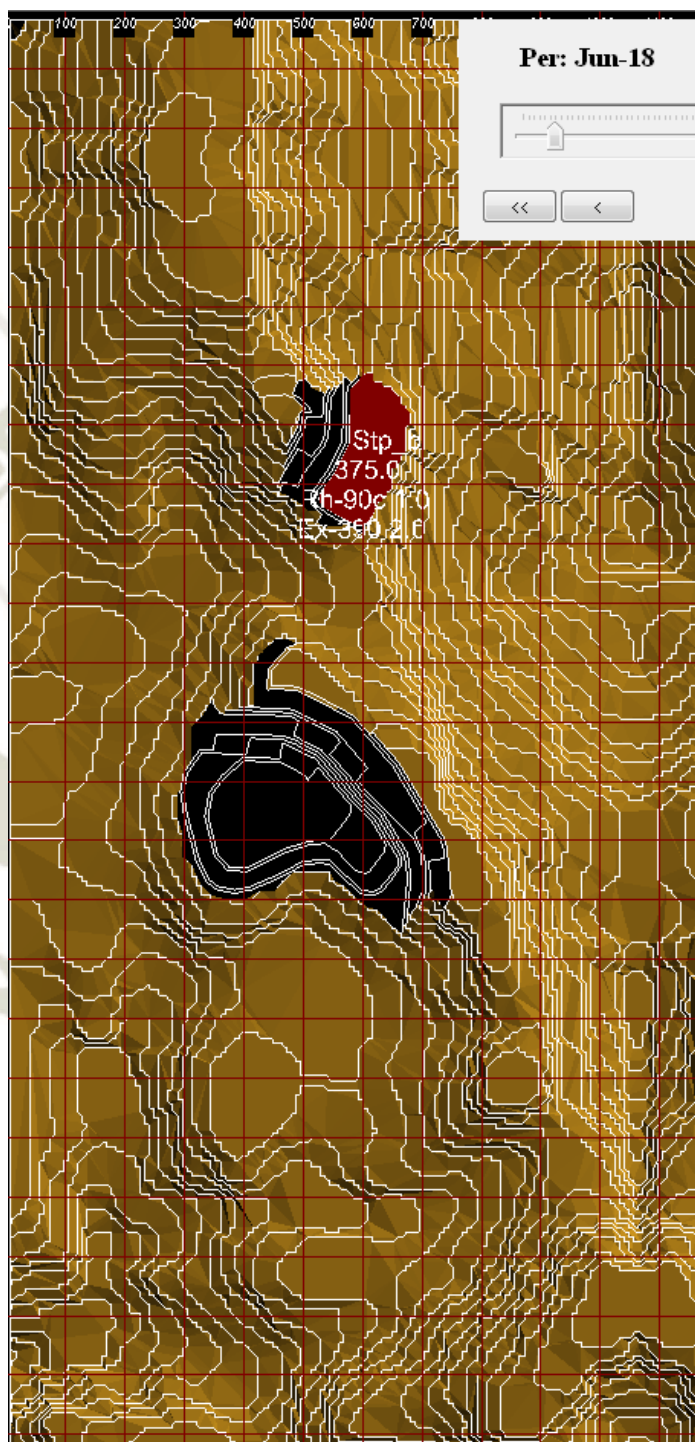
Anexo 03-04_Periodo 04_Mes04_Abril18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



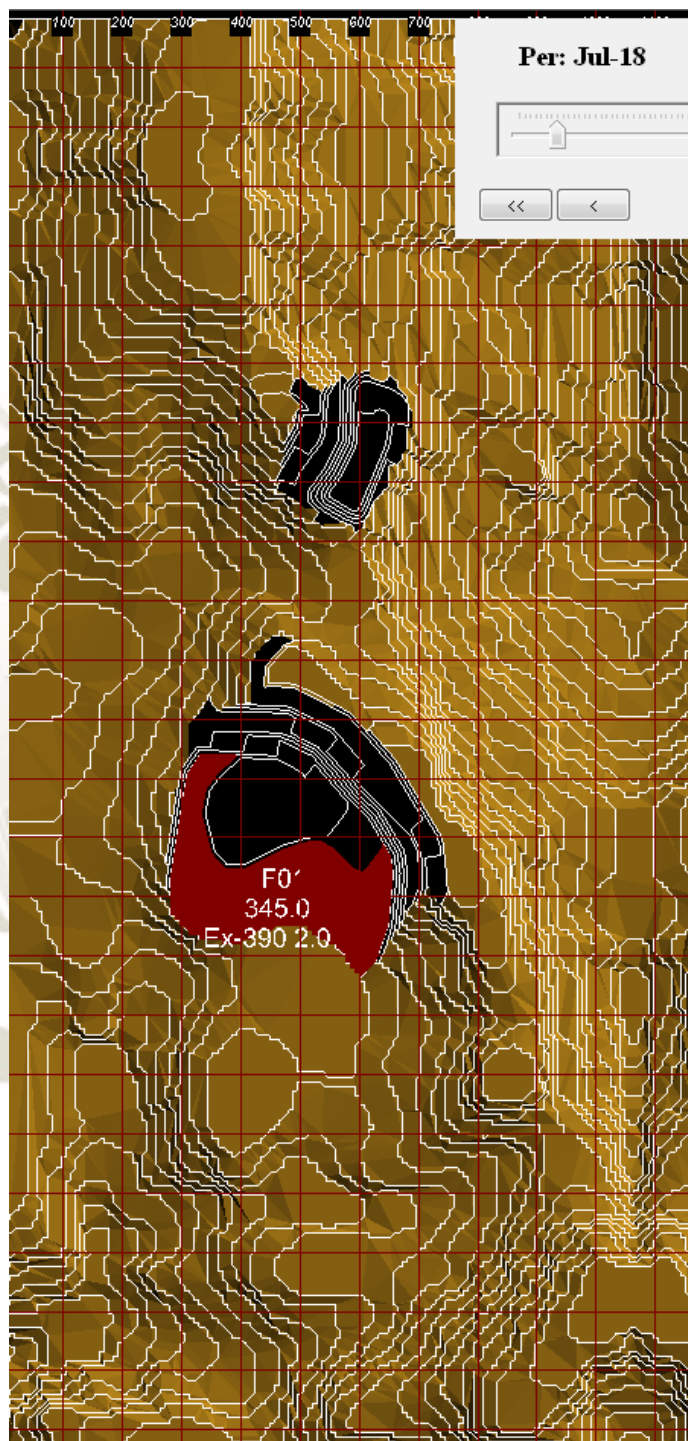
Anexo 03-05_Periodo 05_Mes05_Mayo18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



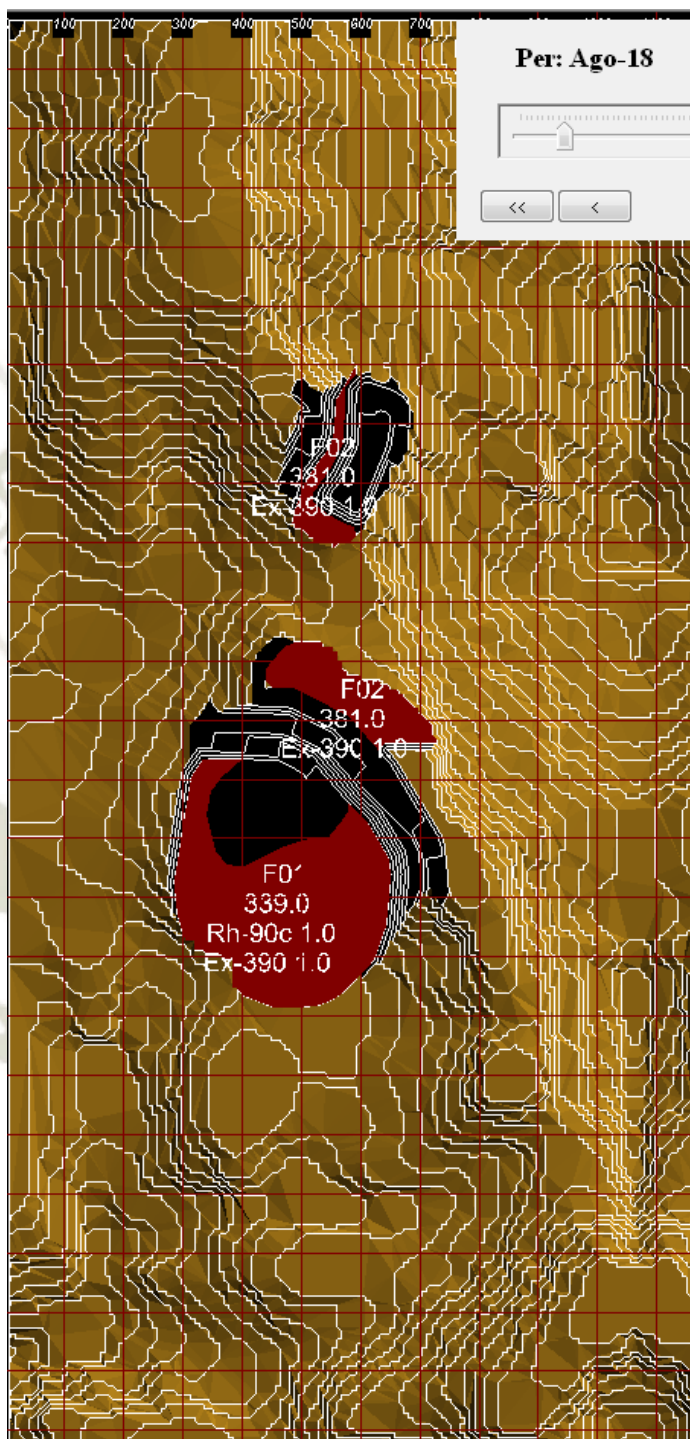
Anexo 03-06_Periodo 06_Mes06_Junio18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



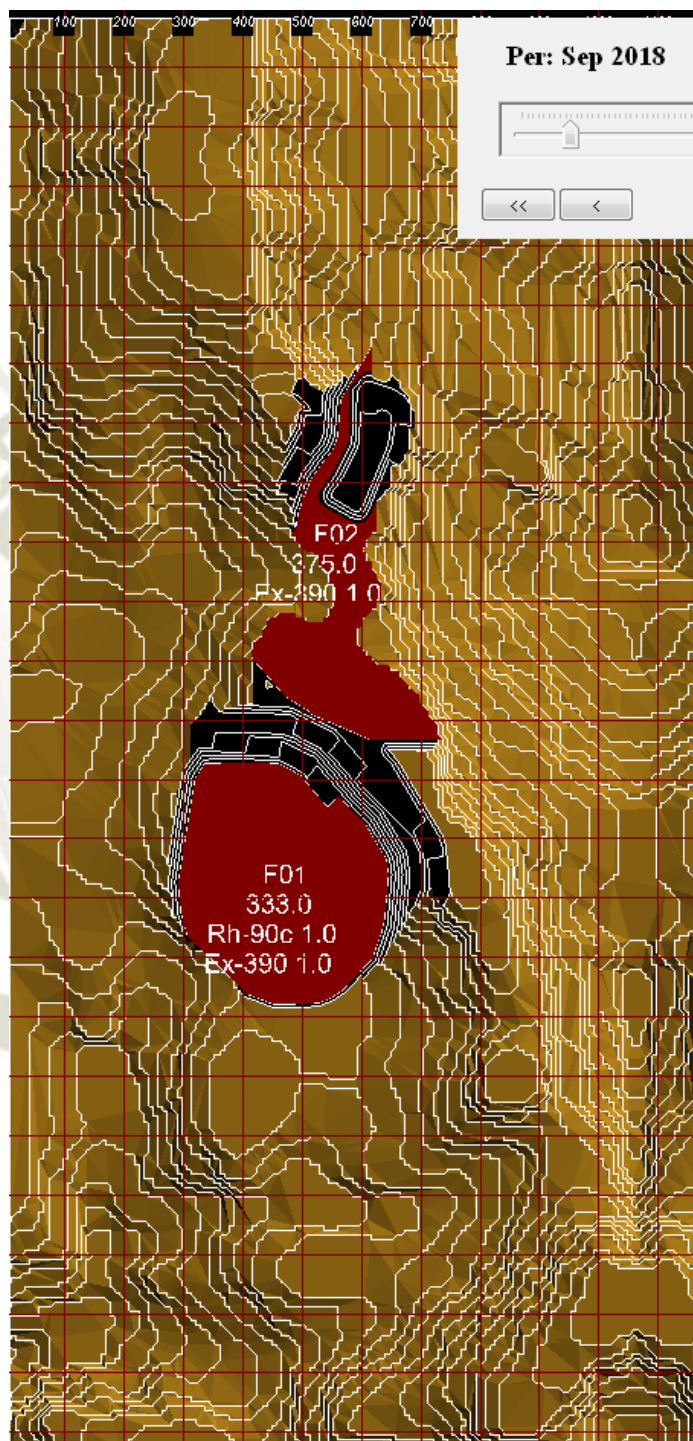
Anexo 03-07_Periodo 07_Mes07_Julio18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



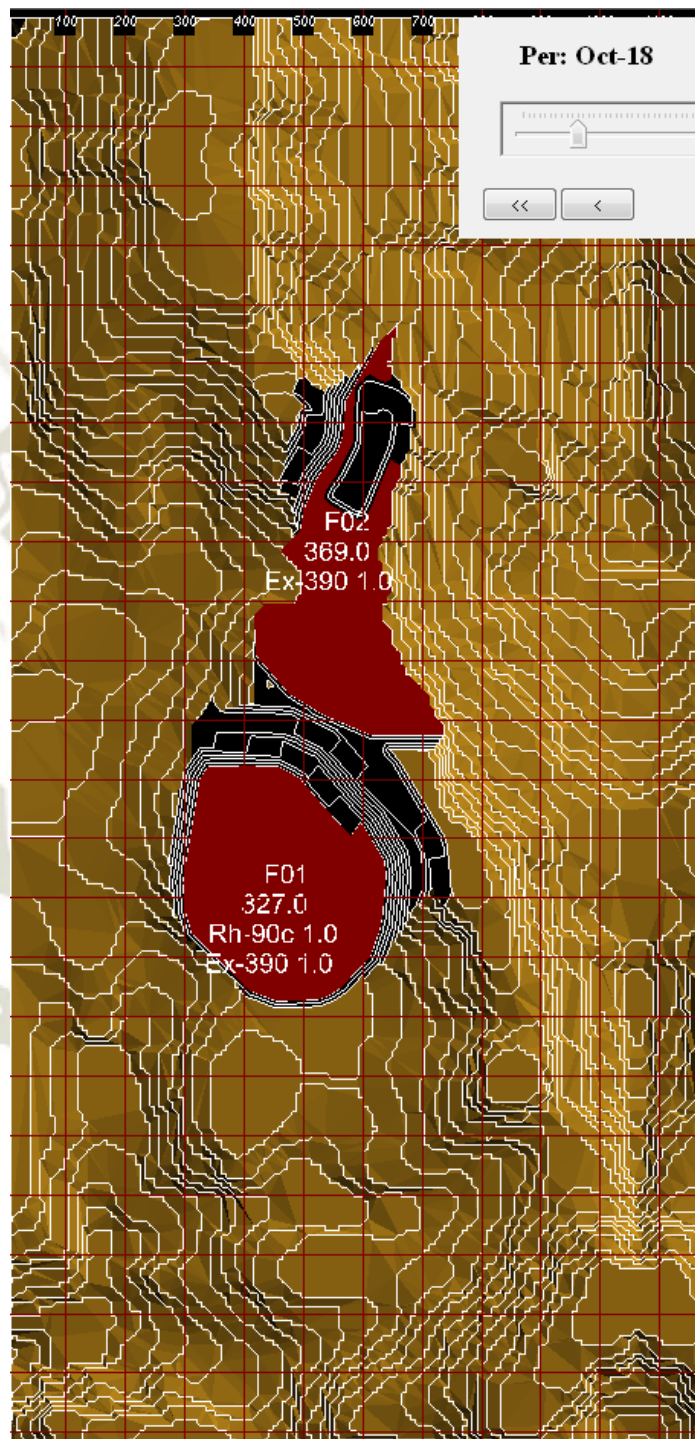
Anexo 03-08_Periodo 08_Mes08_Julio18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



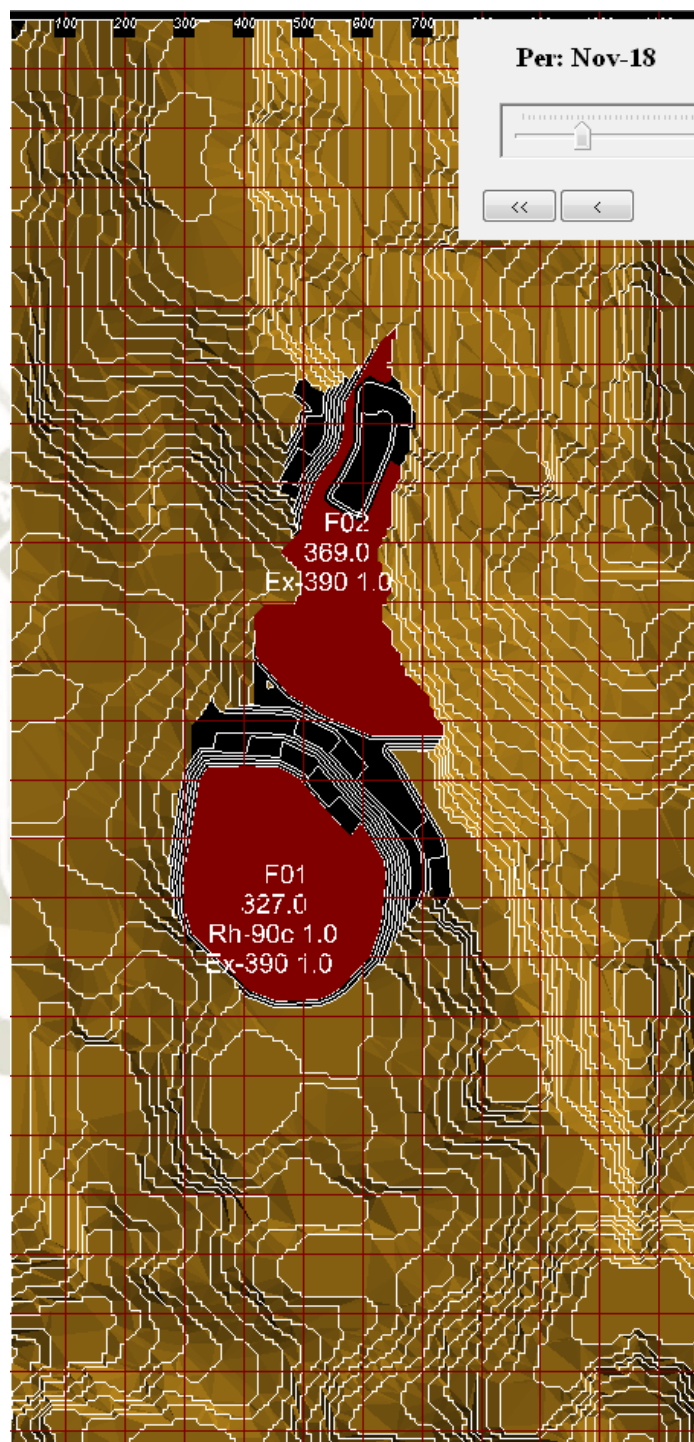
Anexo 03-09_Periodo 09_Mes09_Septiembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



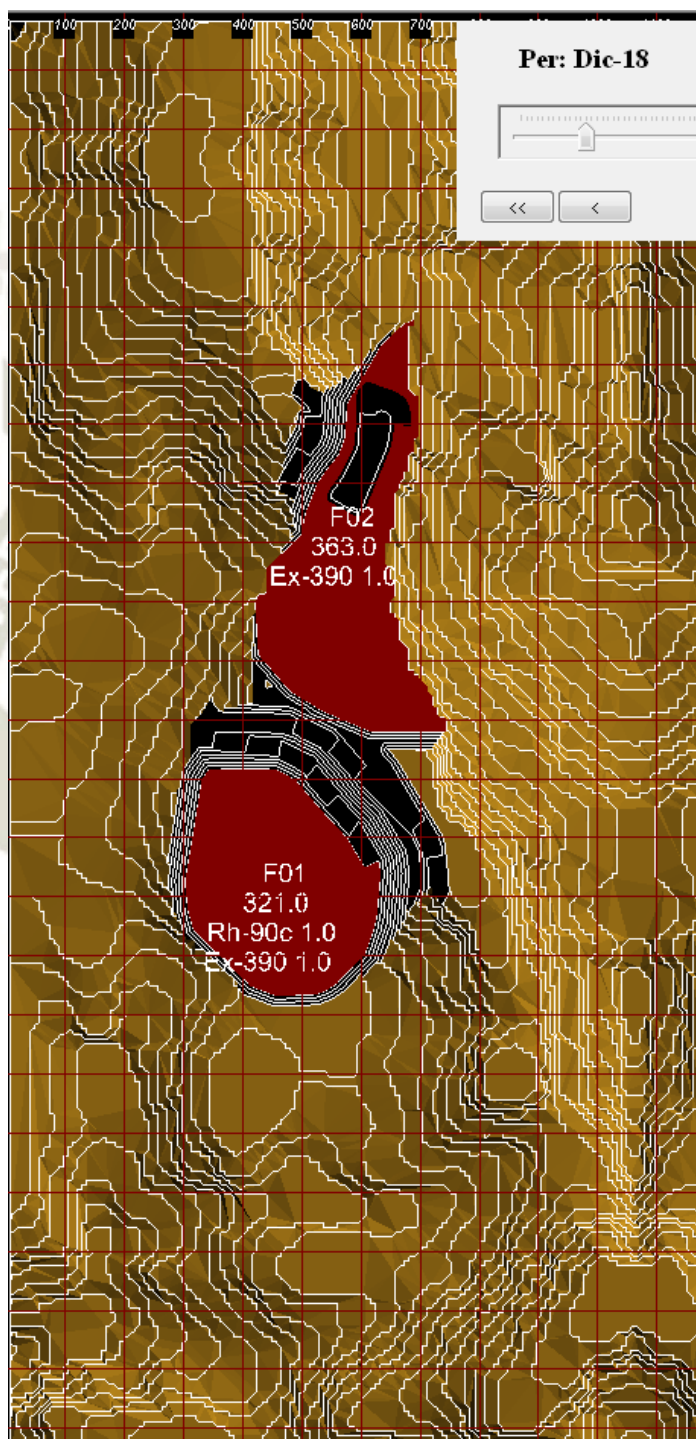
Anexo 03-10_Periodo 10_Mes10_Octubre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



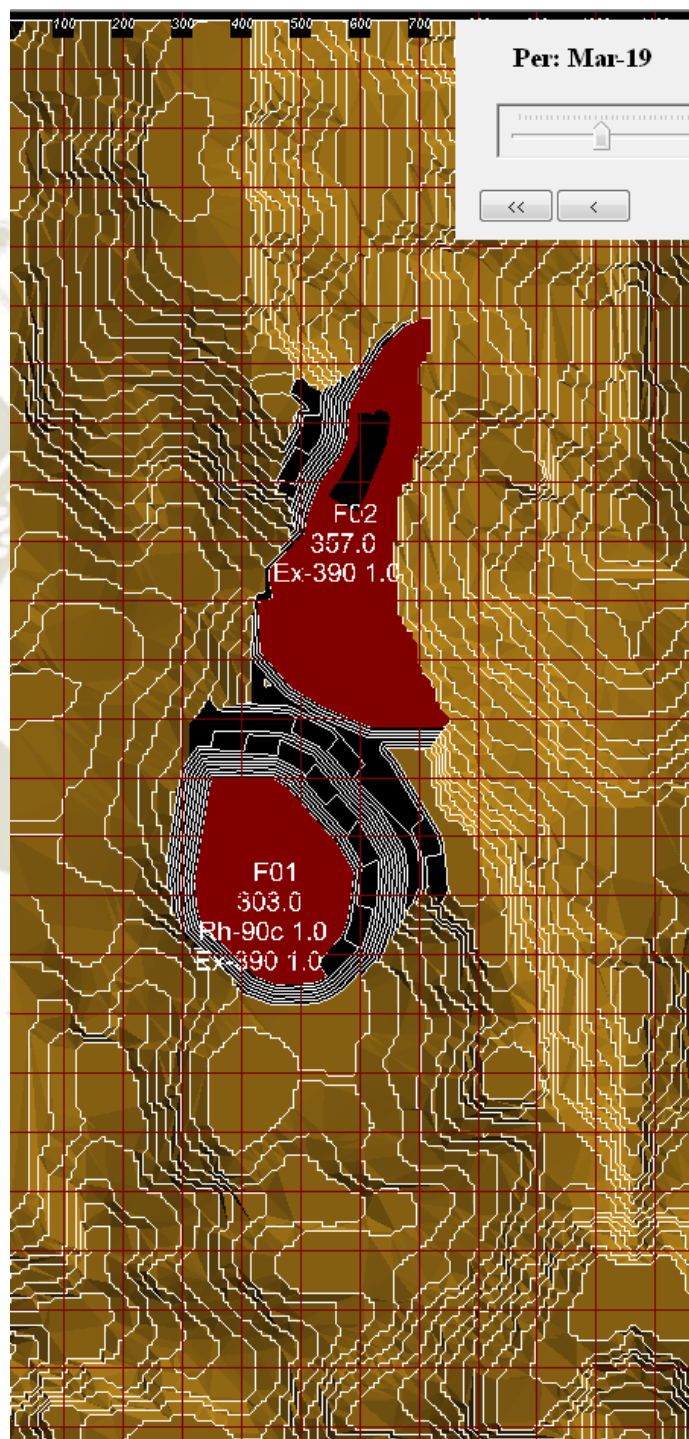
Anexo 03-11_Periodo 11_Mes11_Noviembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



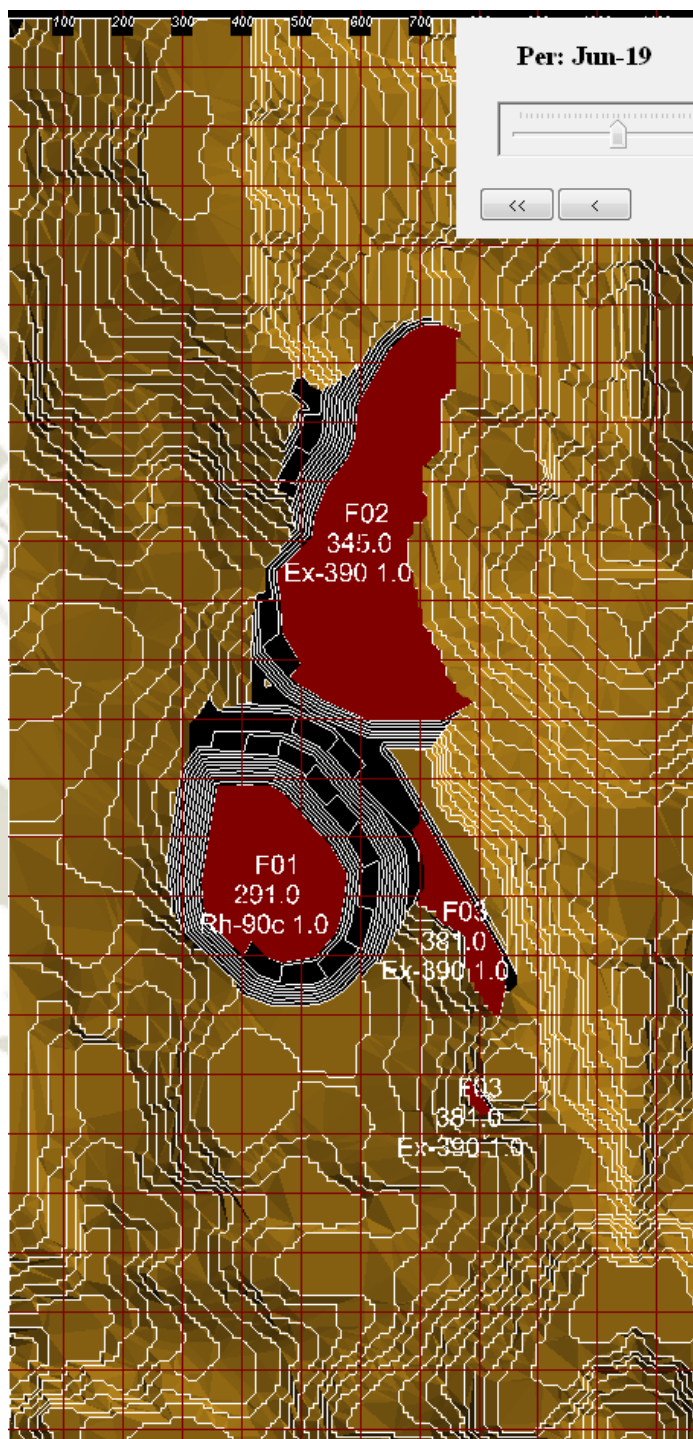
Anexo 03-12_Periodo 12_Mes12_Diciembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



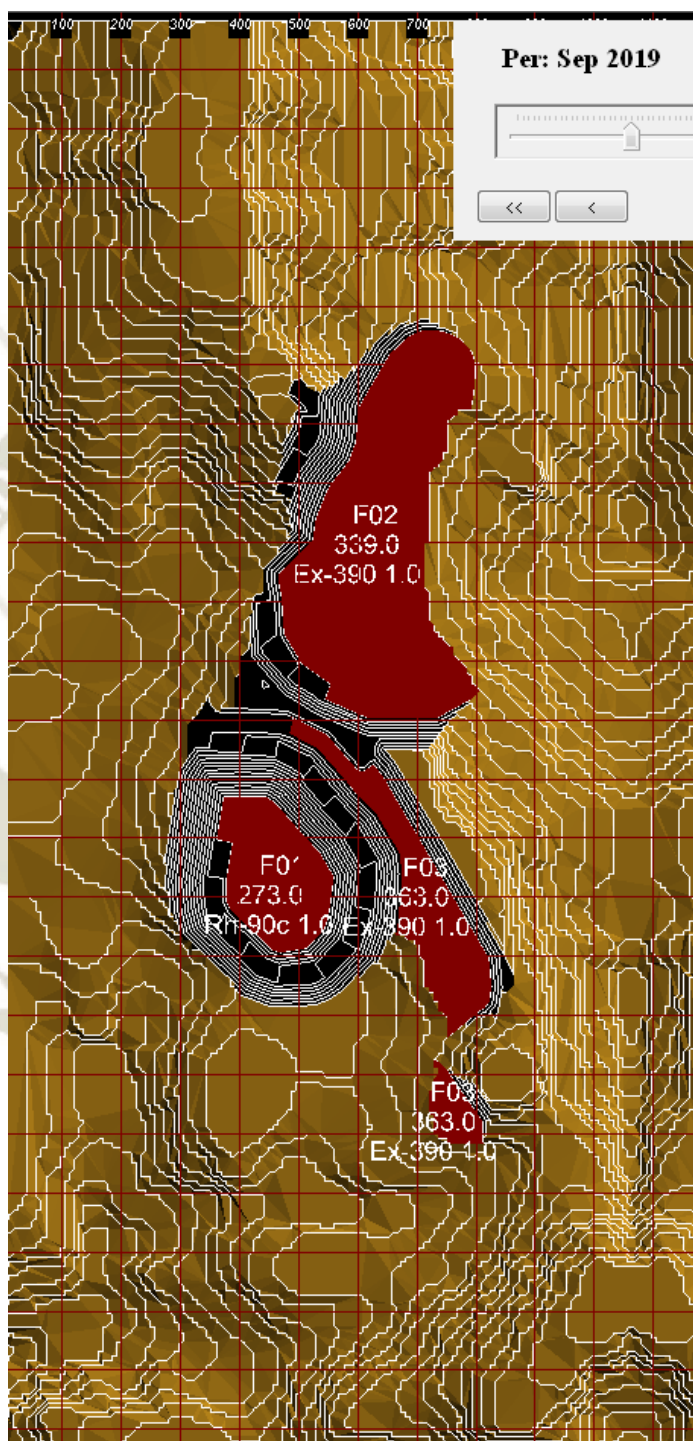
Anexo 03-13_Periodo 13_Mes13_Marzo19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



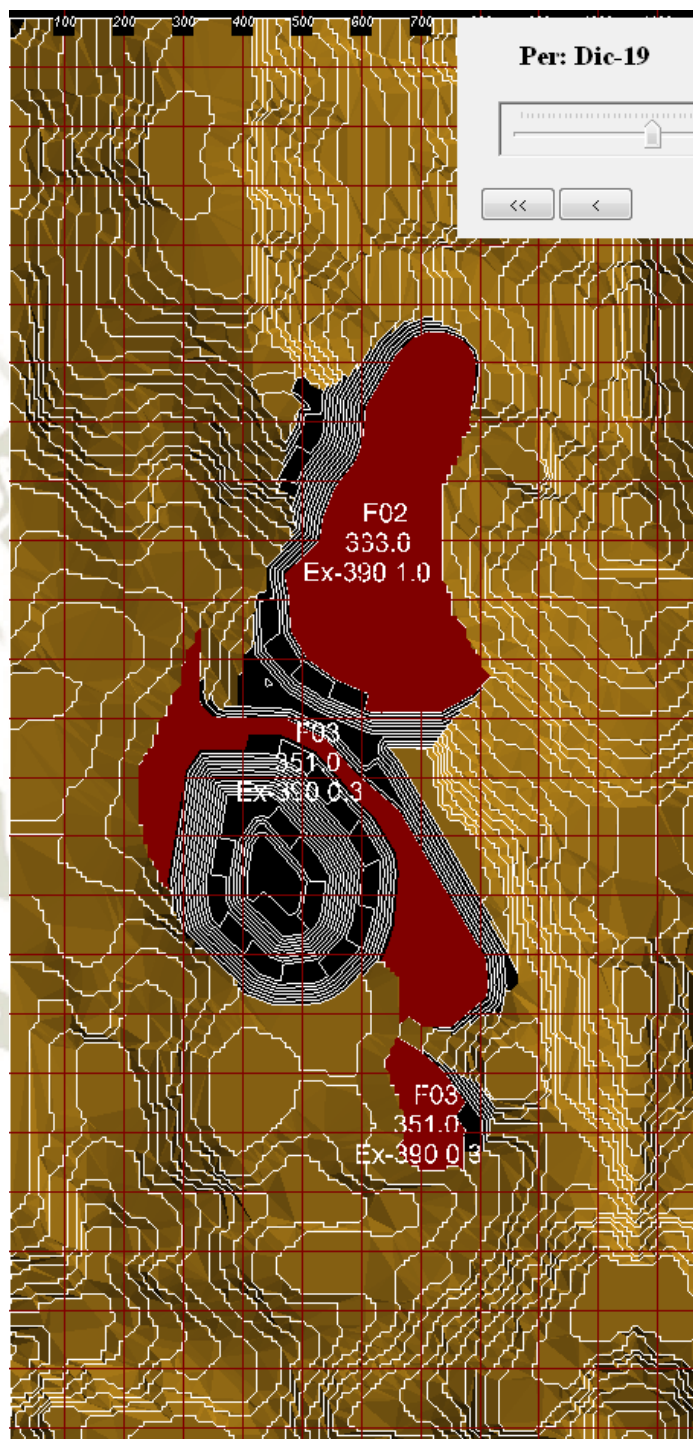
Anexo 03-14_Periodo 14_Mes14_Junio19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



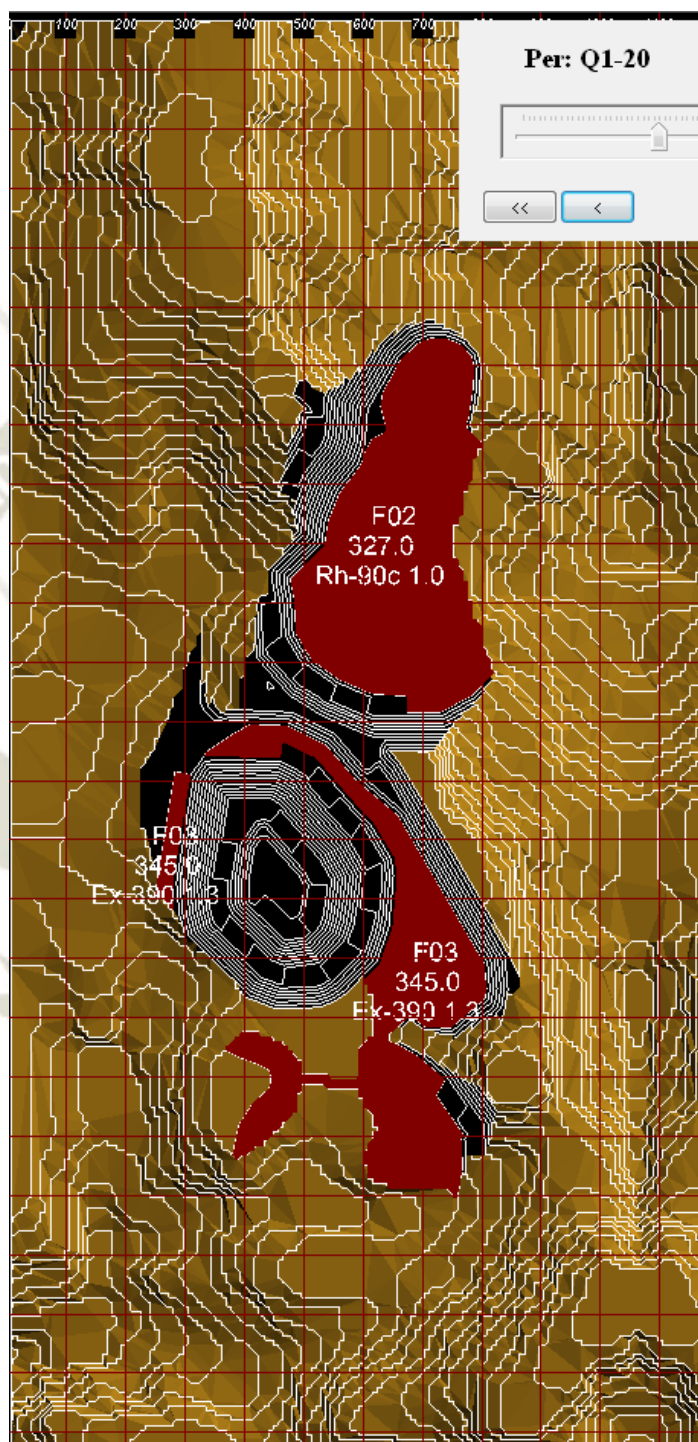
Anexo 03-15_Periodo 15_Quartil03_Septiembre19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



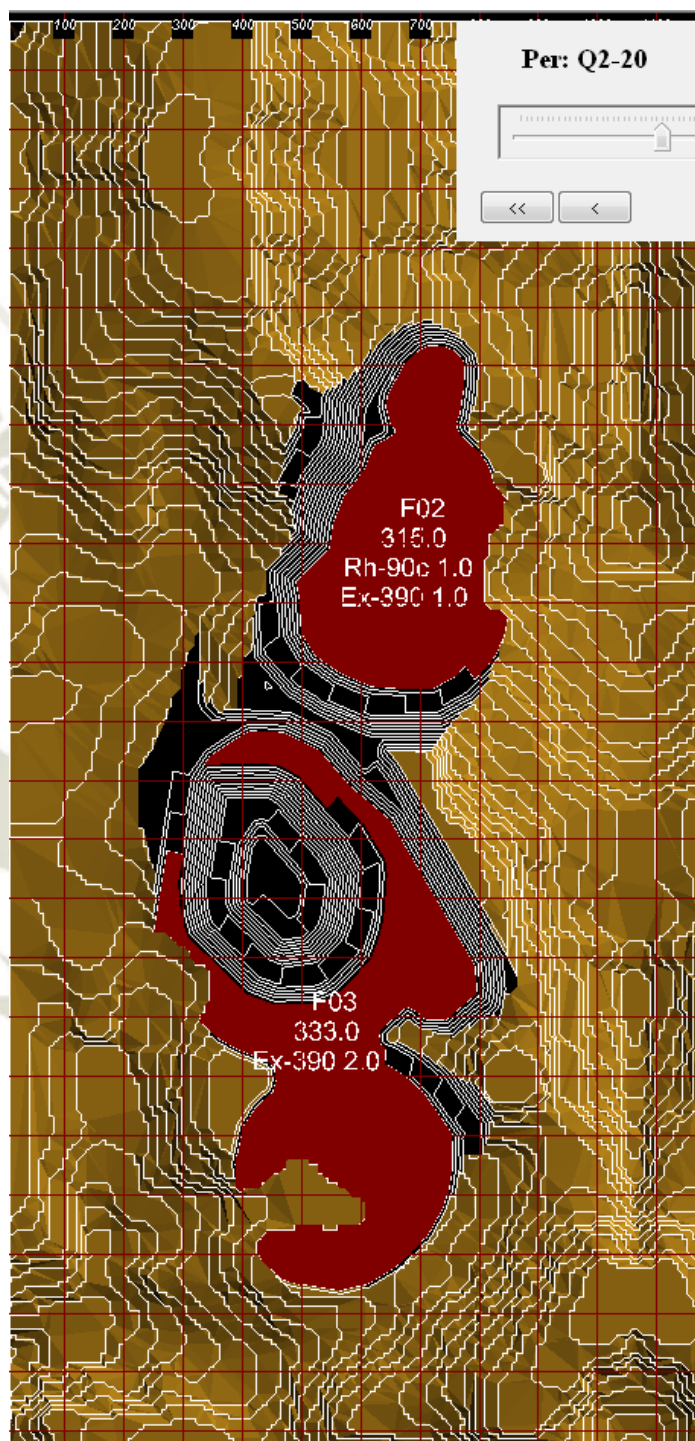
Anexo 03-16_Periodo 16_Quartil04_Diciembre19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



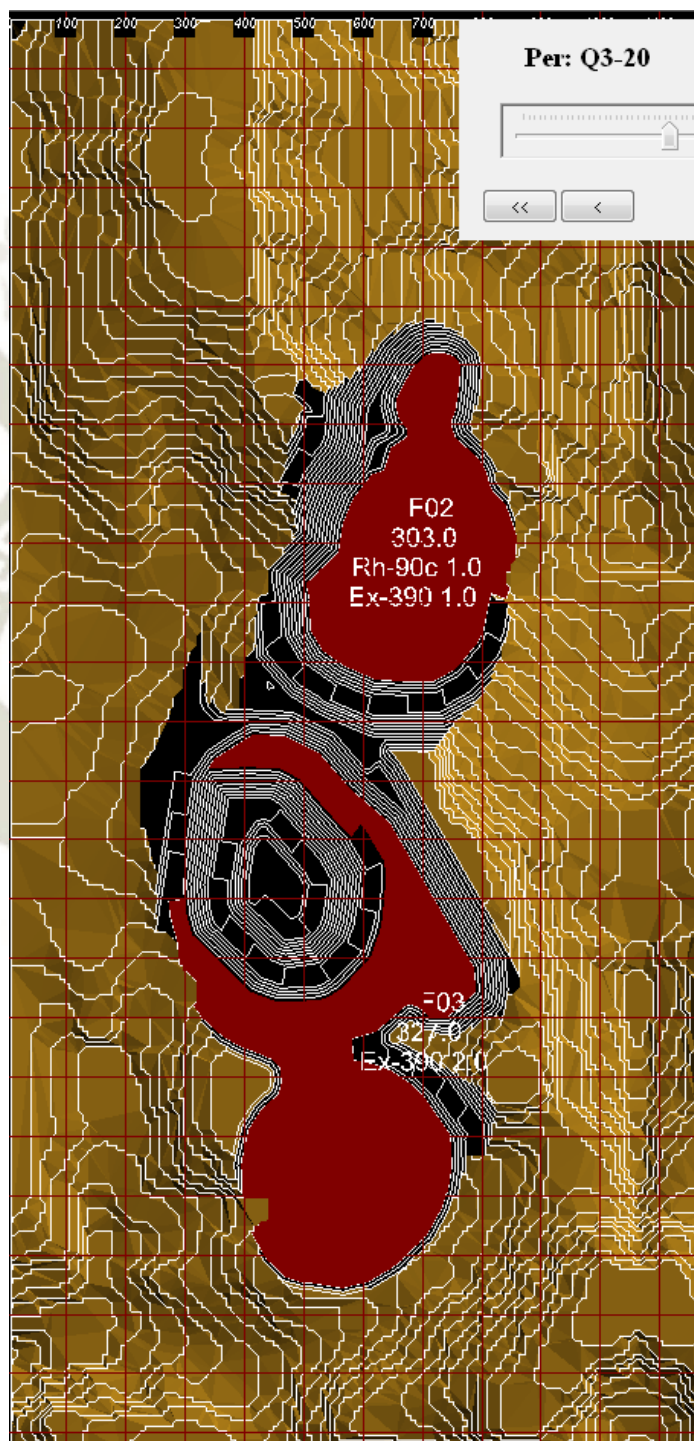
Anexo 03-17_Periodo 17_Quartil01_Marzo19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



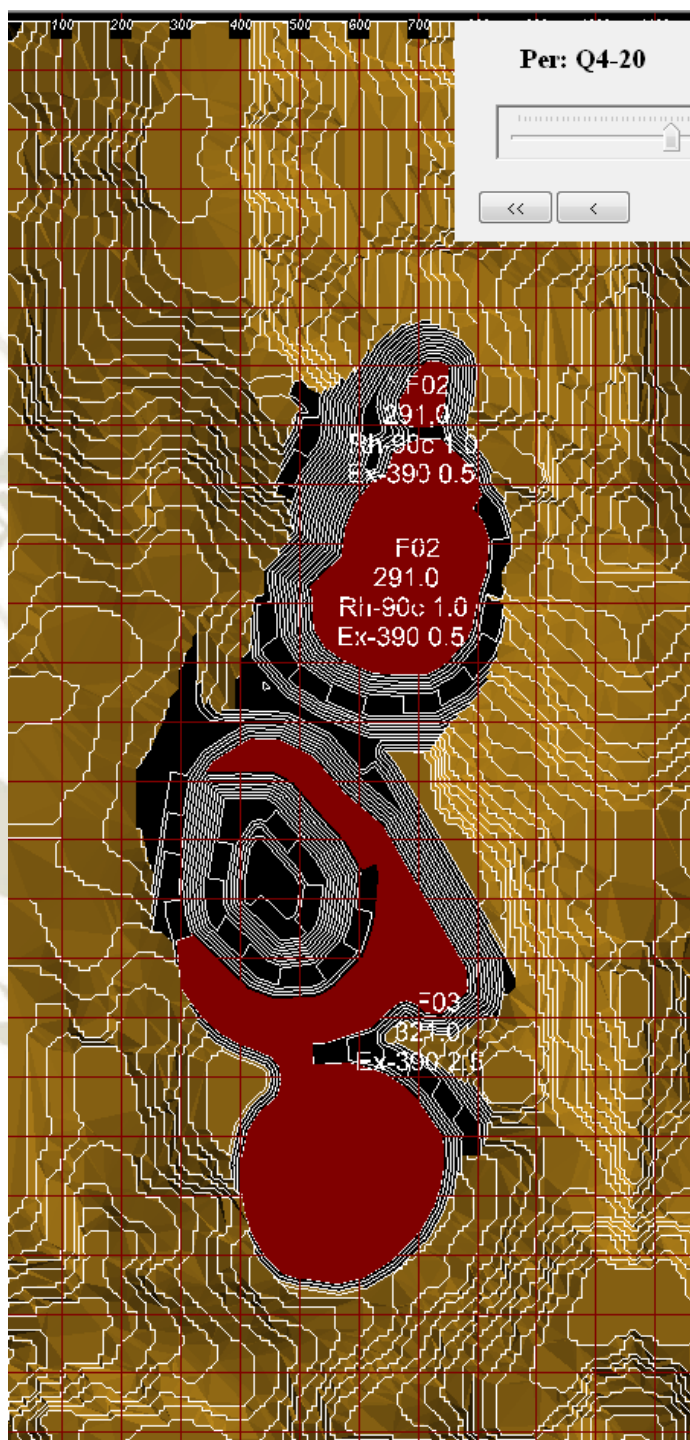
Anexo 03-18_Periodo 18_Quartil02_Junio20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



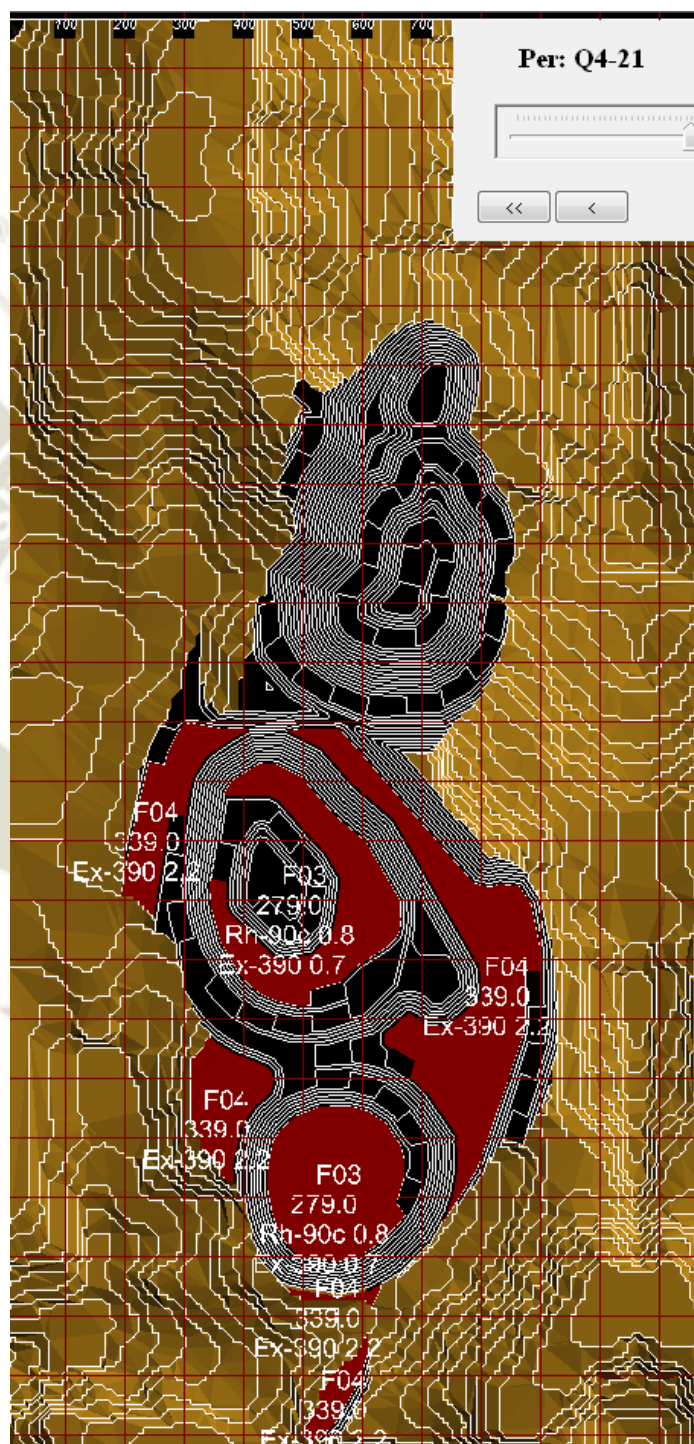
Anexo 03-19_Periodo 19_Quartil03_Septiembre20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



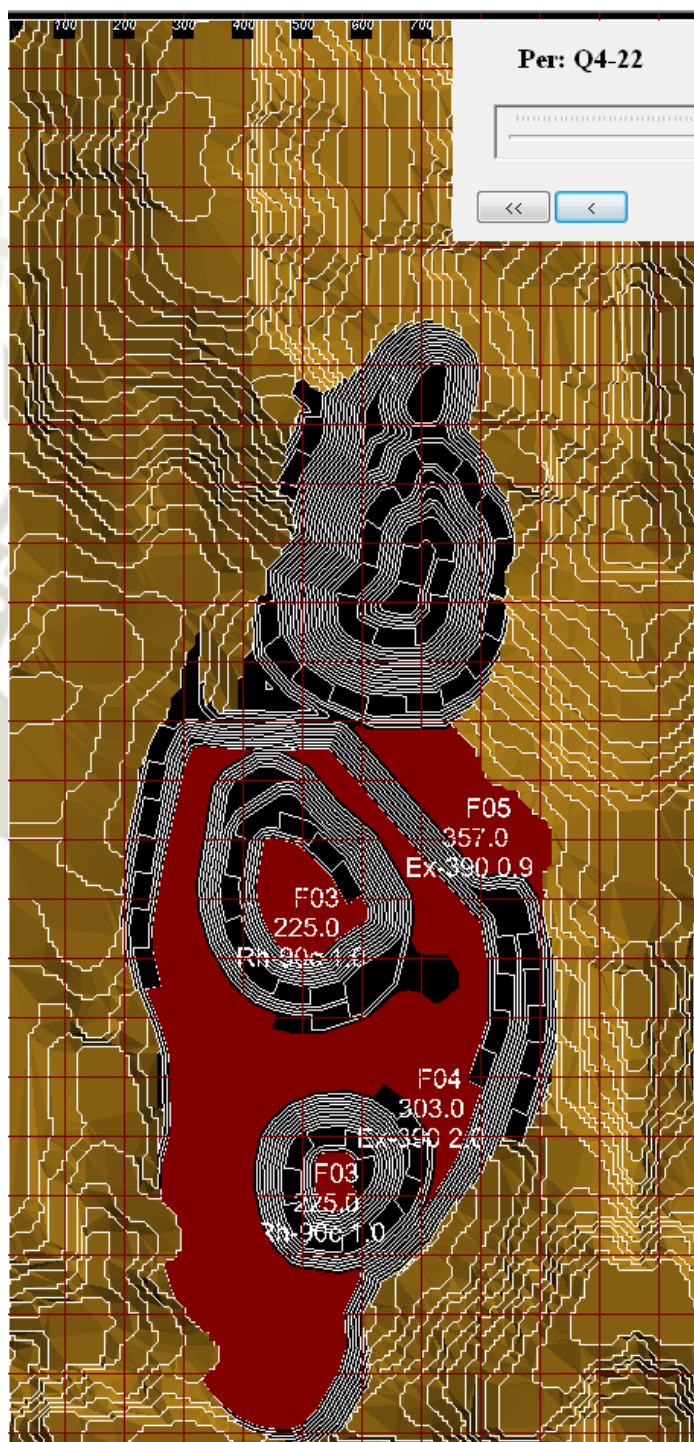
Anexo 03-20_Periodo 20_Quartil04_Diciembre20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



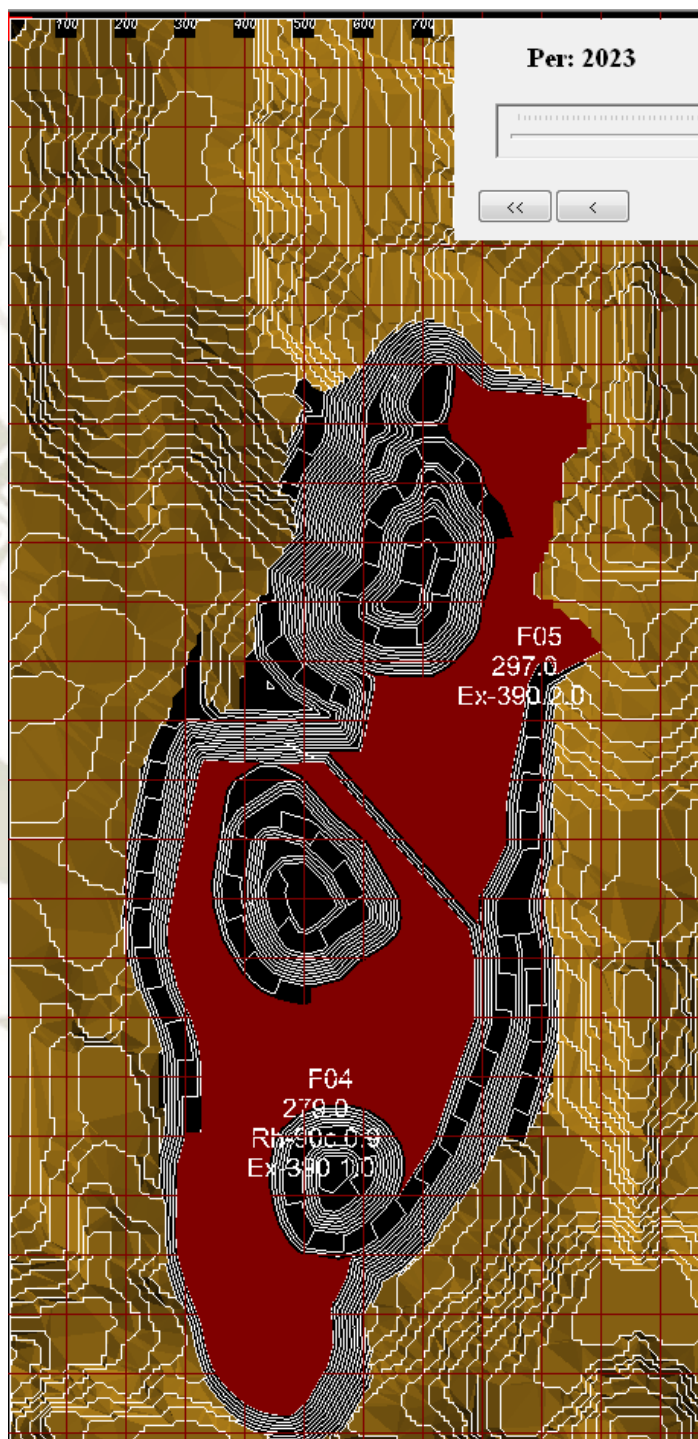
Anexo 03-21_Periodo 21_Quartil04_Diciembre21

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



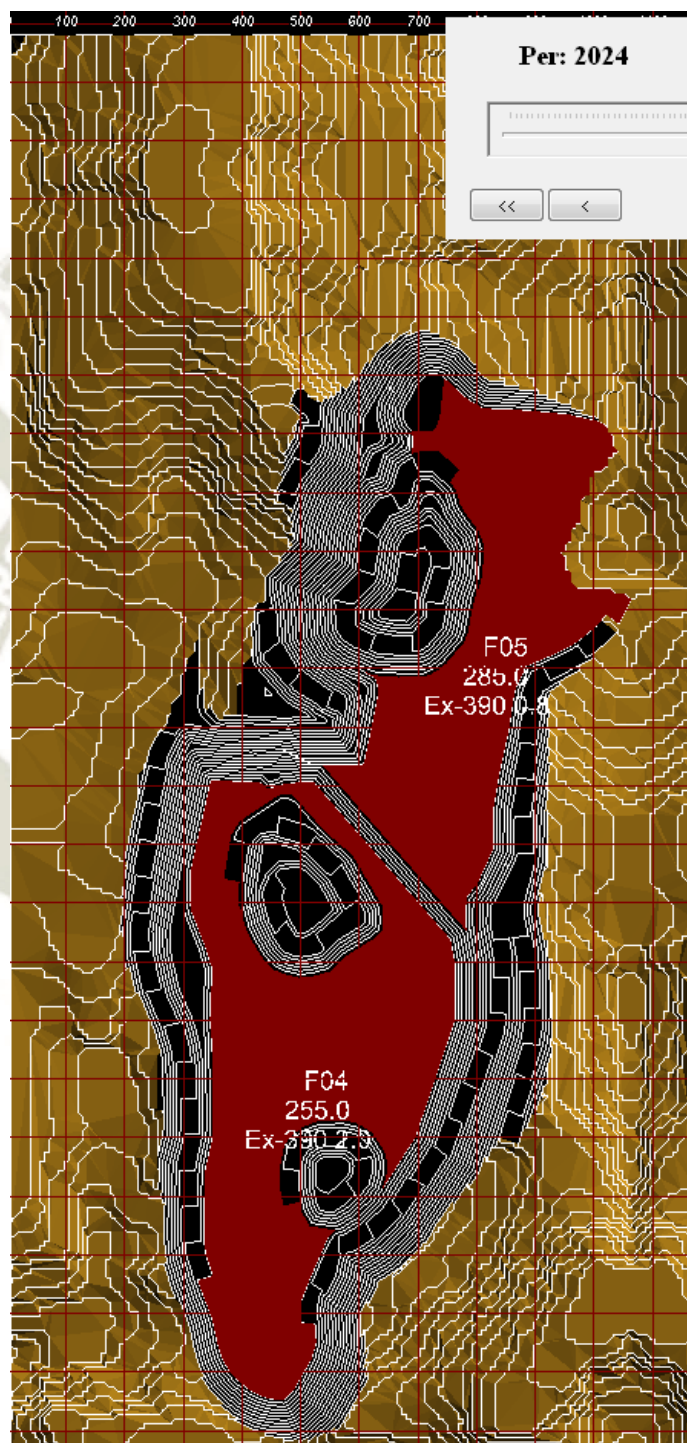
Anexo 03-22_Periodo 22_Quartil04_Diciembre22

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



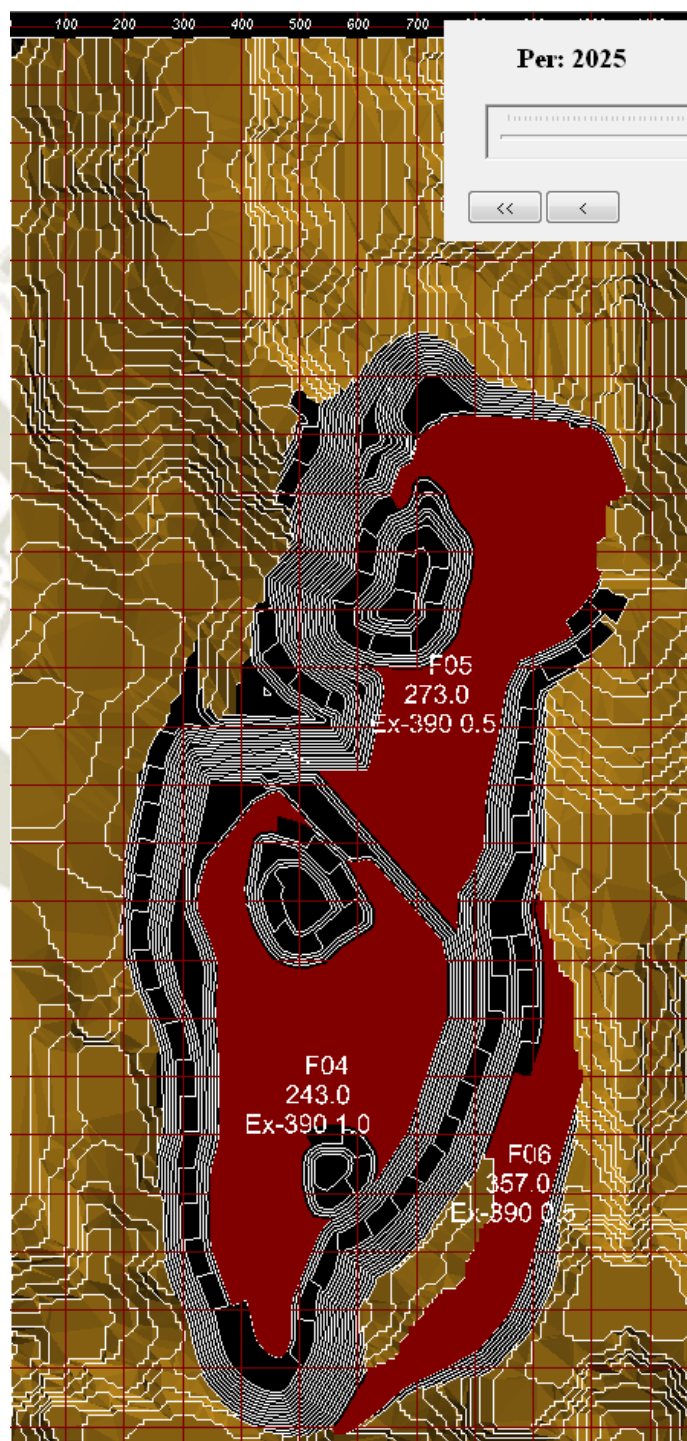
Anexo 03-23_Periodo 23_Año2023

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



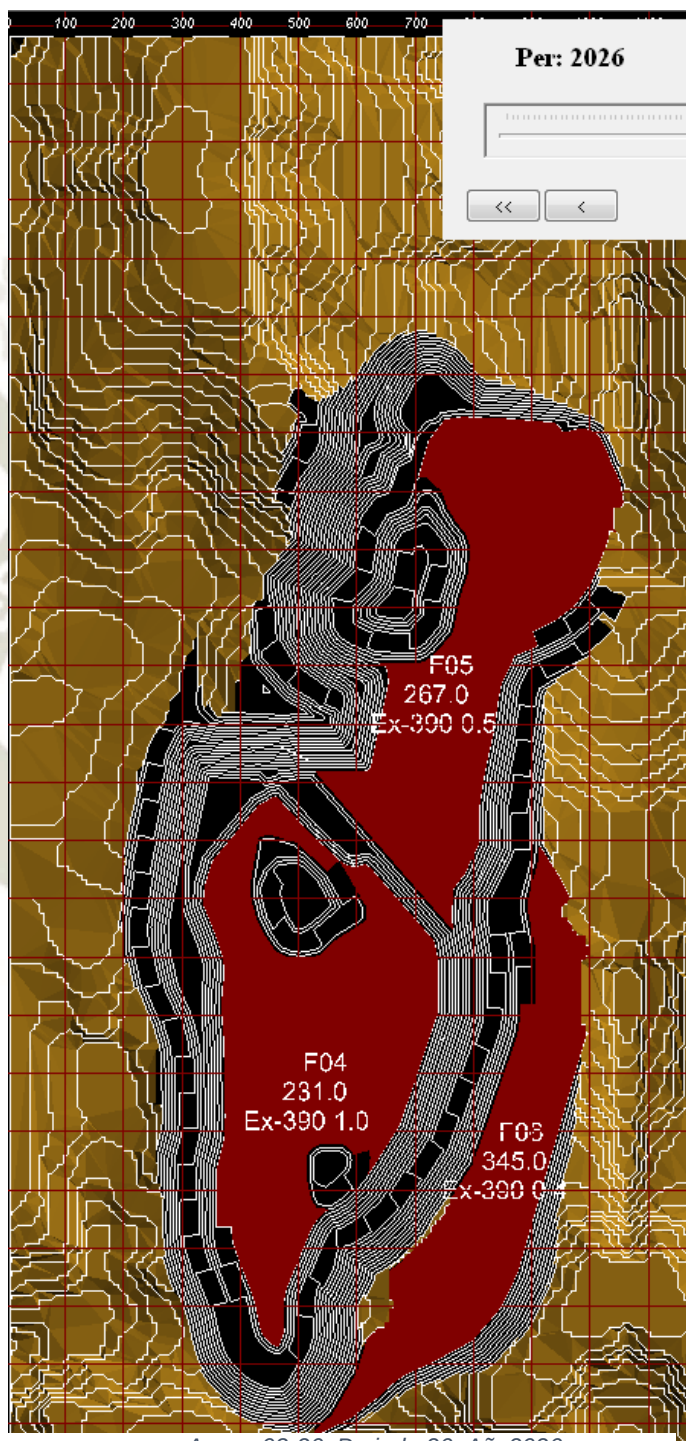
Anexo 03-24_Periodo 24_Año2024

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



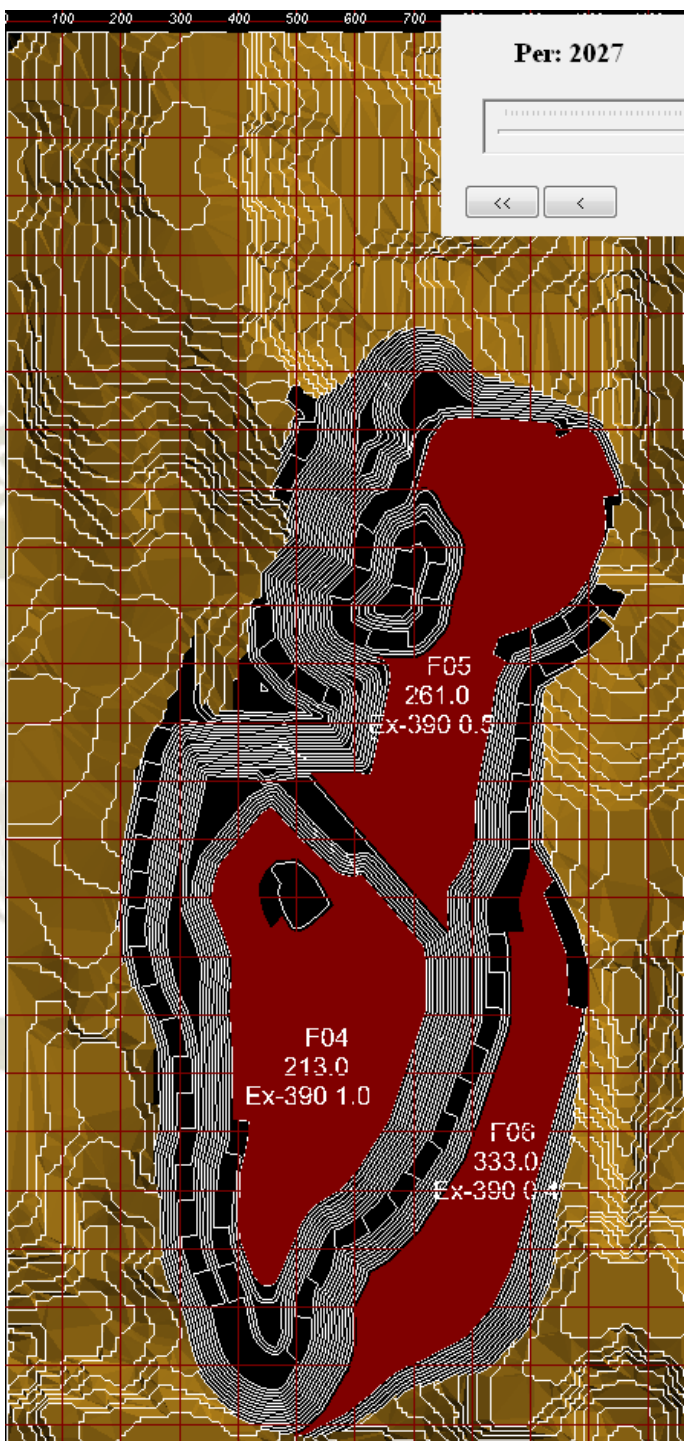
Anexo 03-25_Periodo 25_Año2025

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



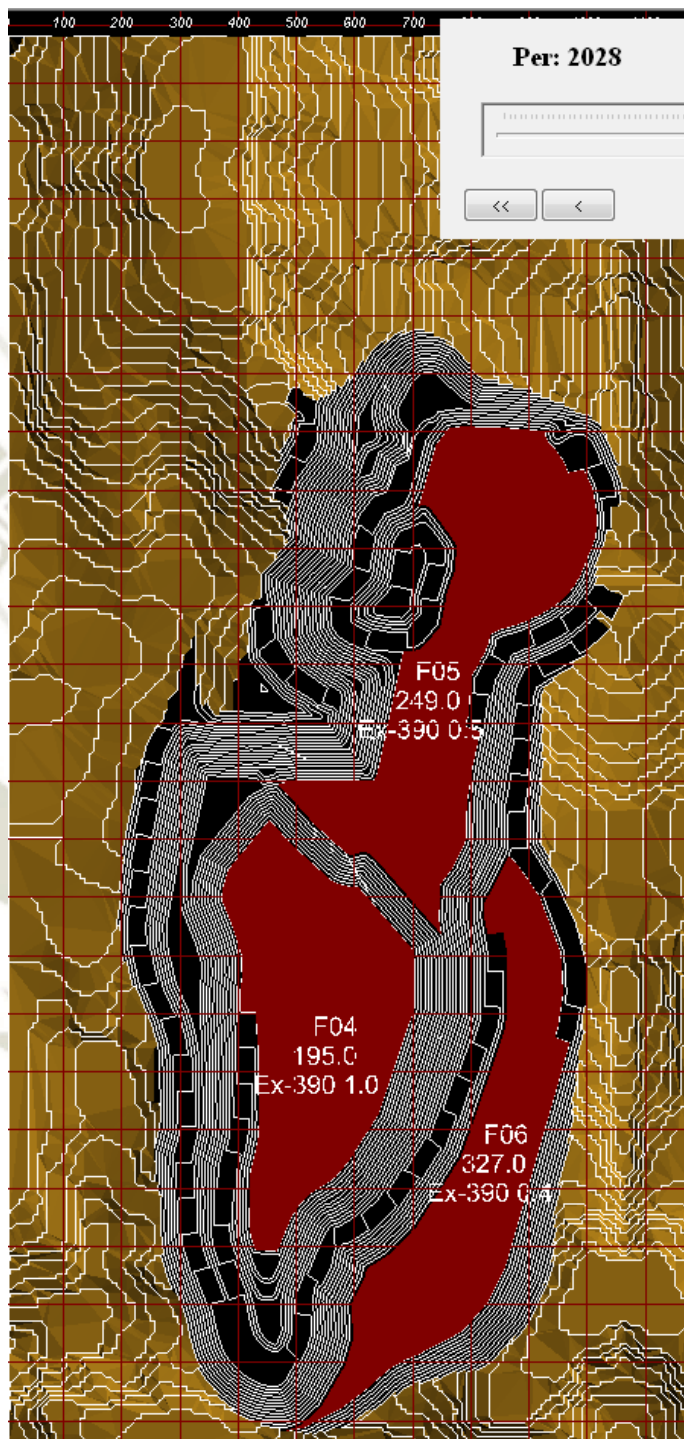
Anexo 03-26_Periodo 26_Año2026

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



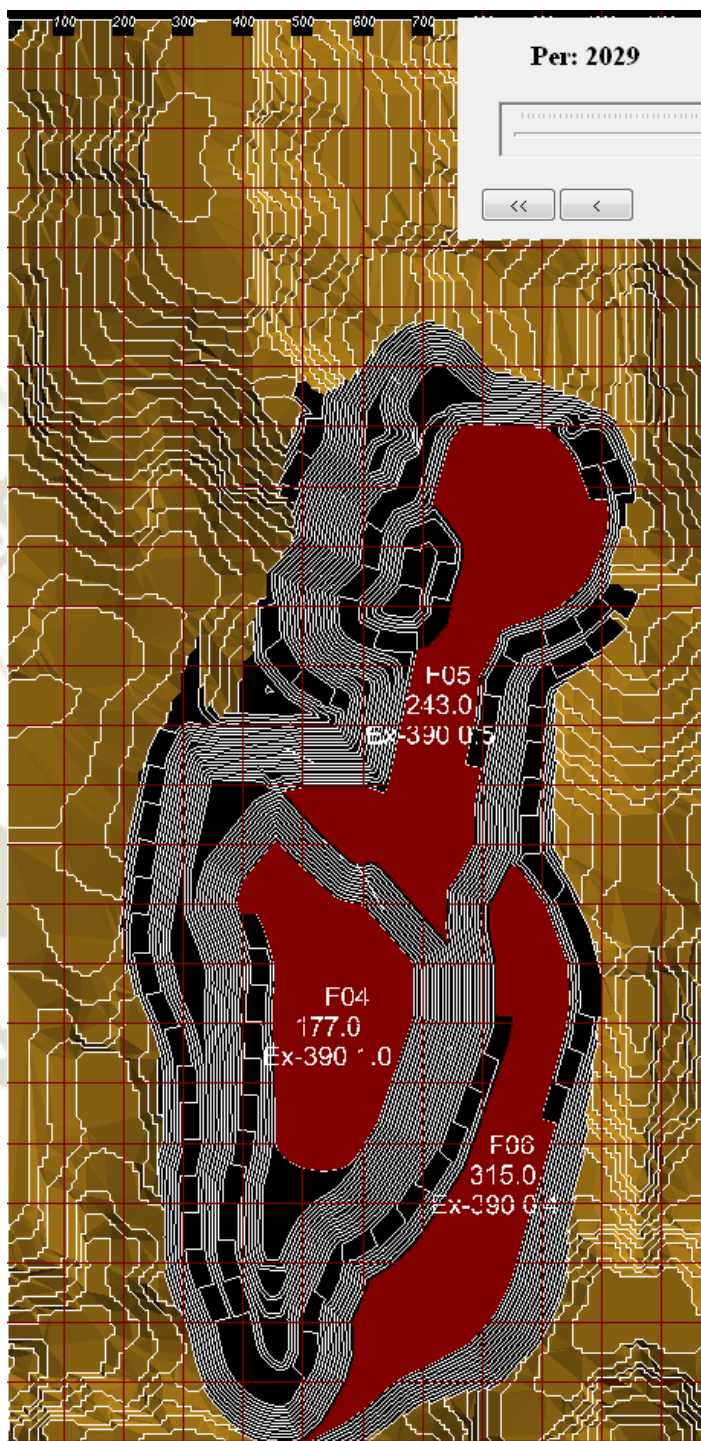
Anexo 03-27_Periodo 27_Año2027

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



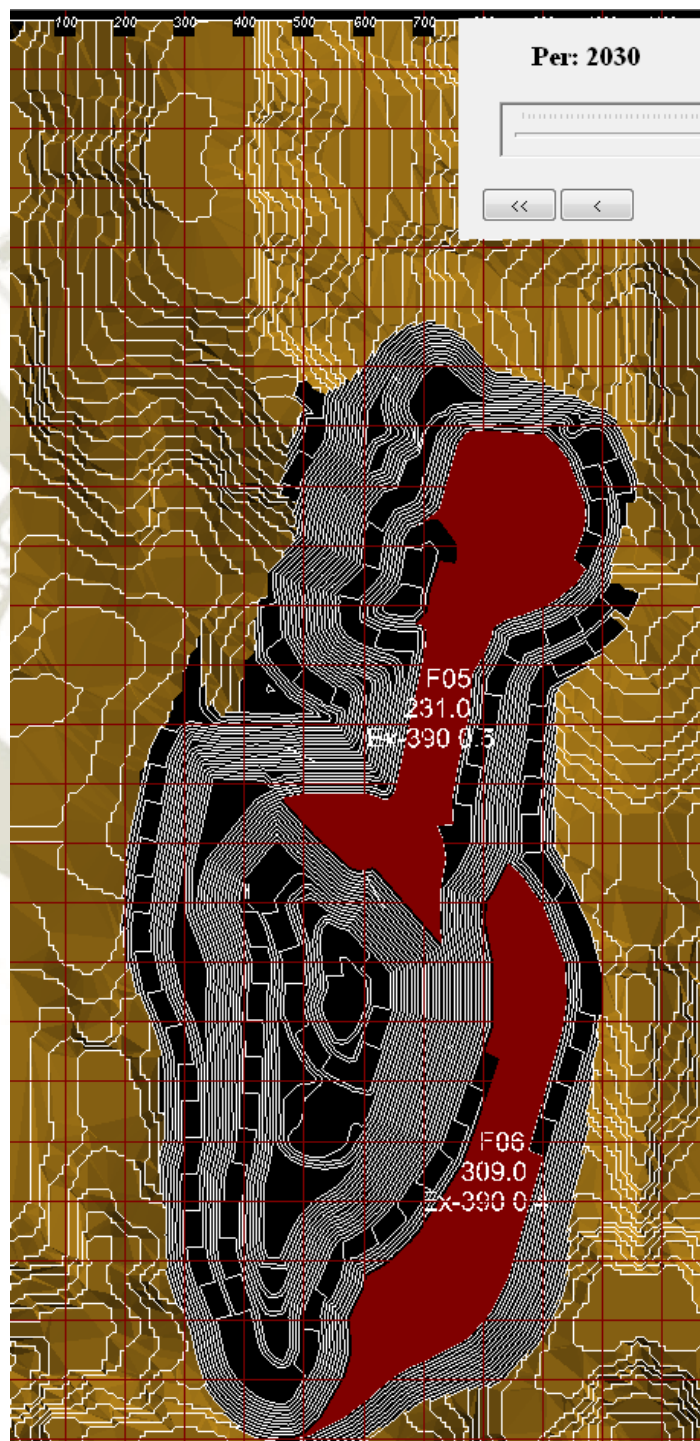
Anexo 03-28_Periodo 28_Año2028

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



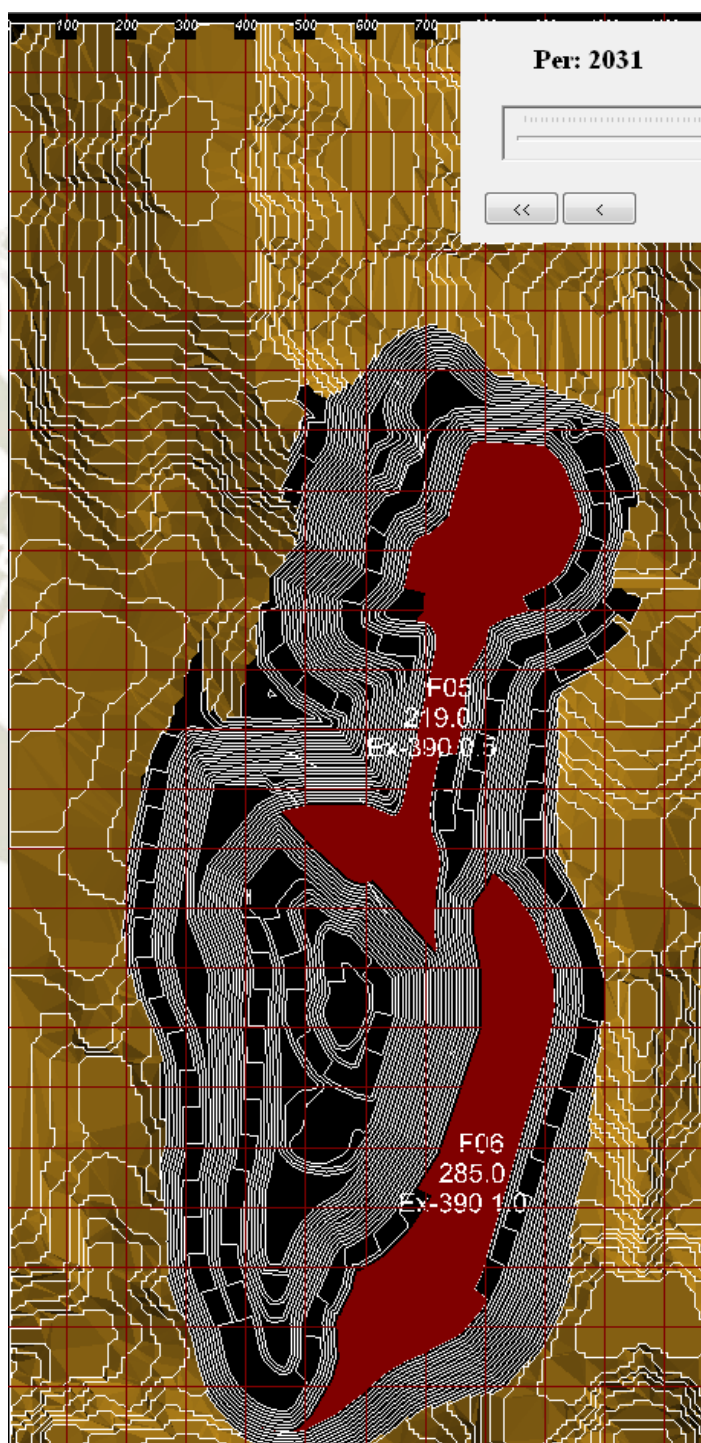
Anexo 03-29_Periodo 29_Año2029

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



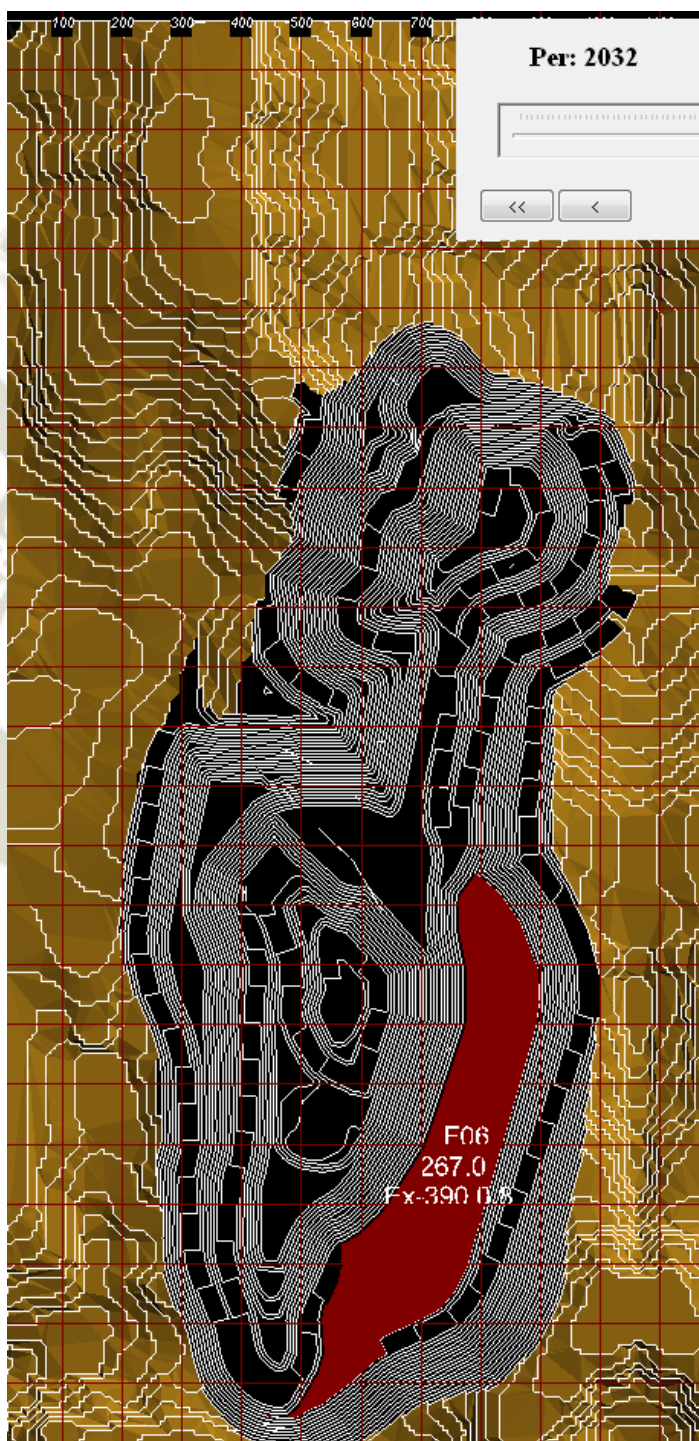
Anexo 03-30_Periodo 30_Año2030

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



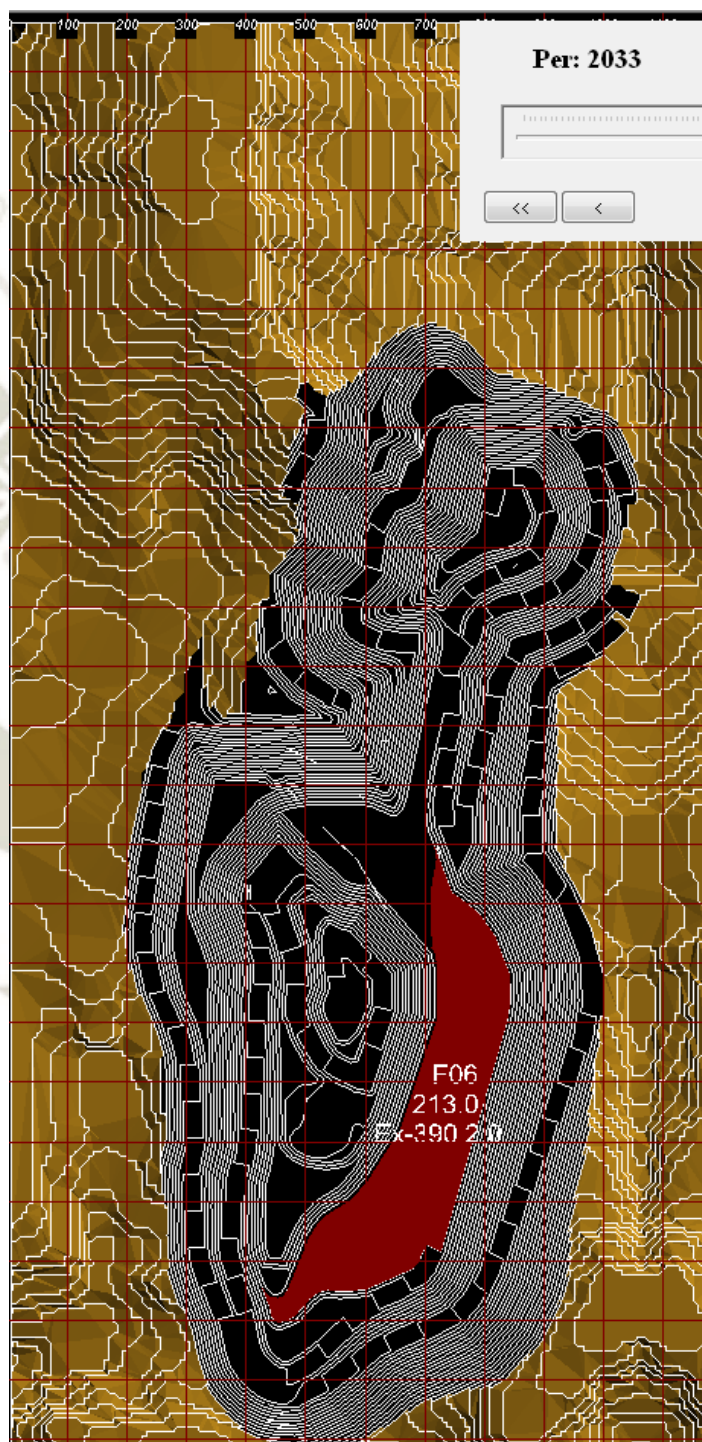
Anexo 03-31_Periodo 31_Año2031

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



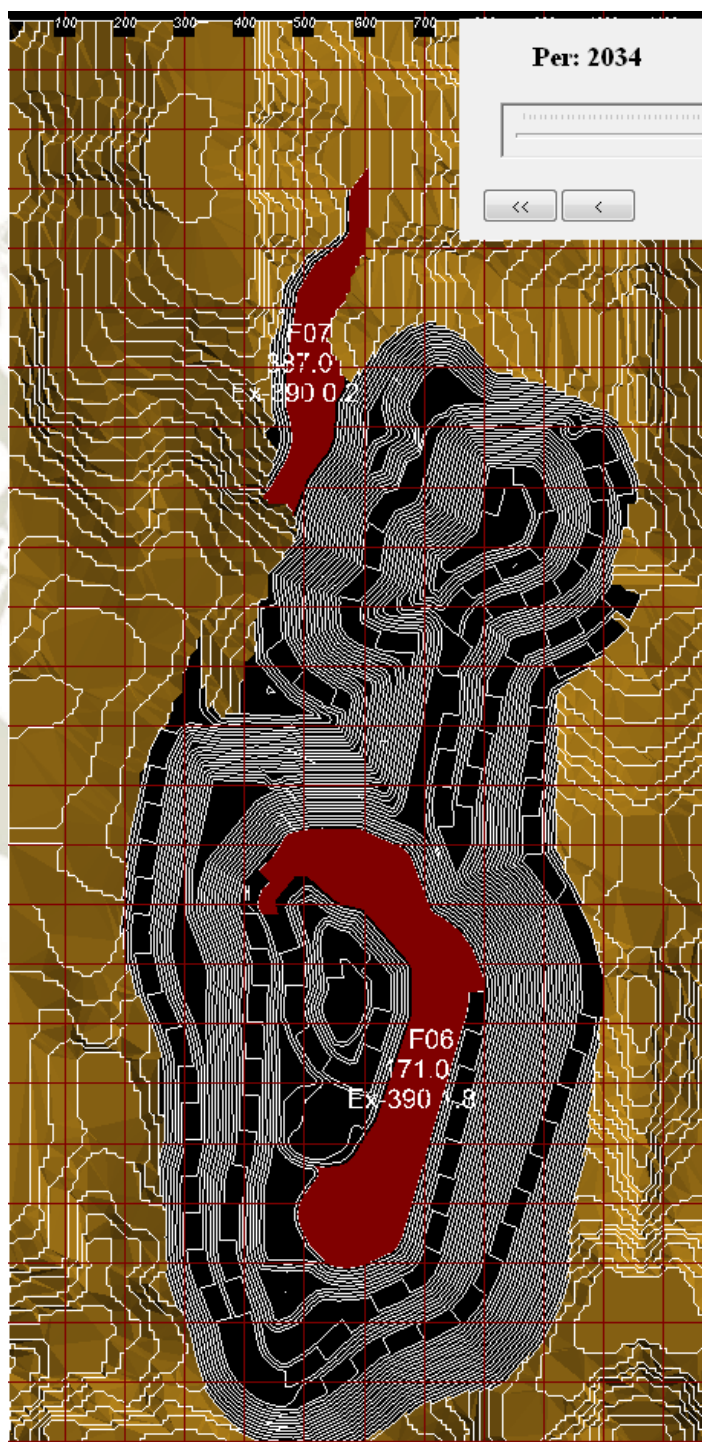
Anexo 03-32_Periodo 32_Año2032

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



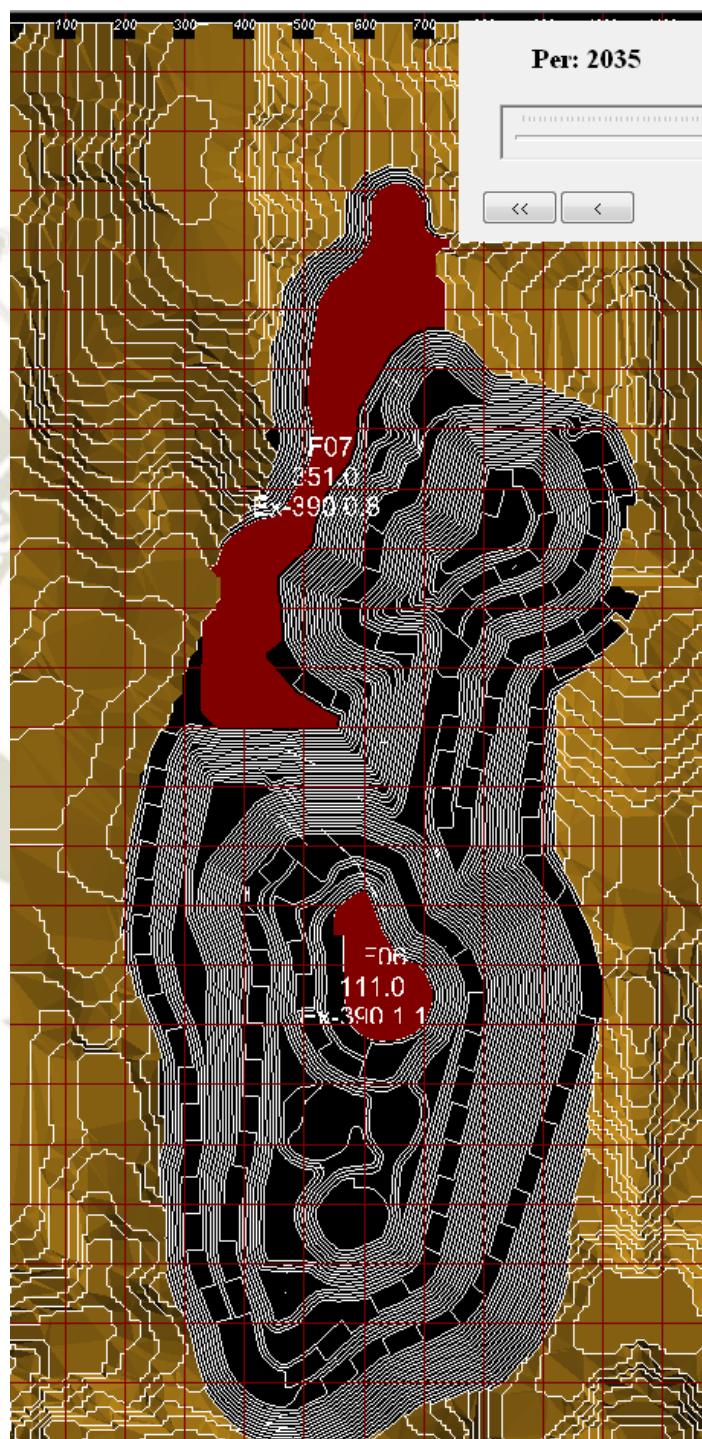
Anexo 03-33_Periodo 33_Año2033

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



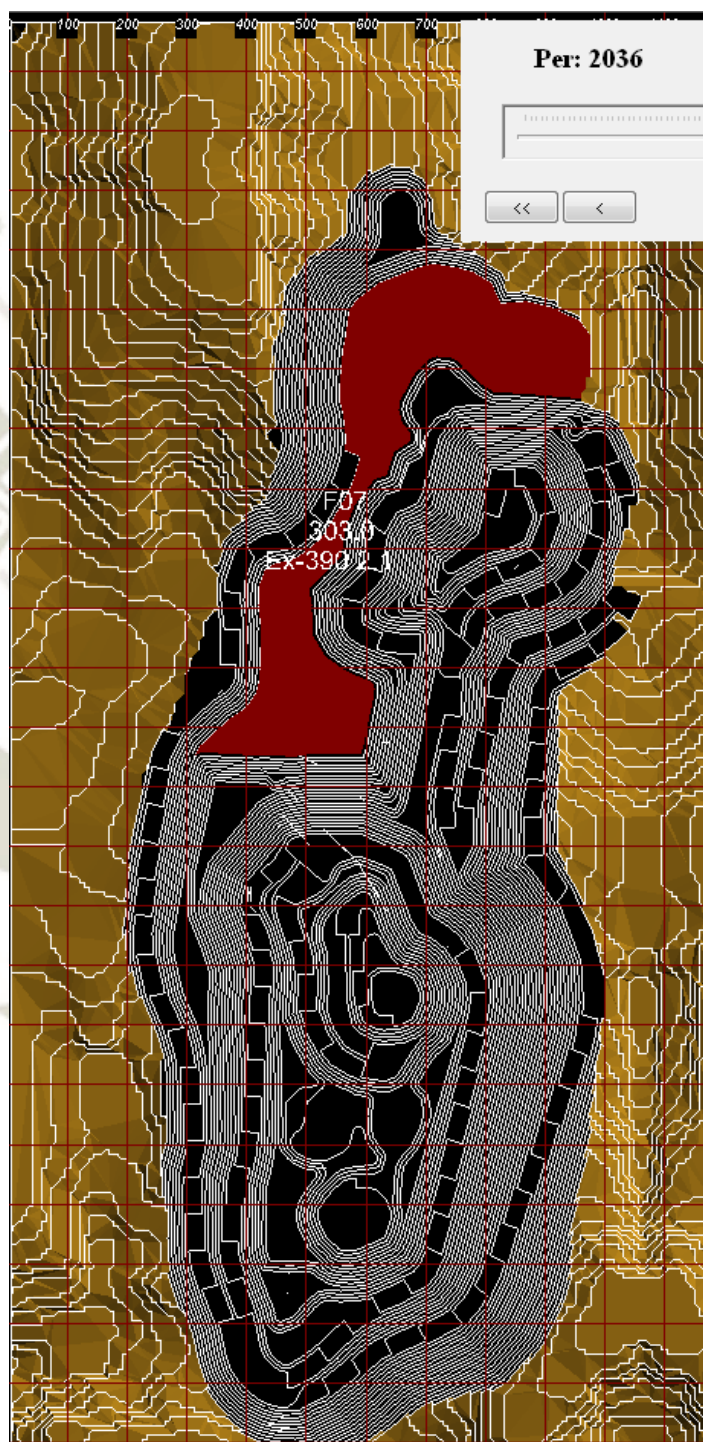
Anexo 03-34_Periodo 34_Año2034

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



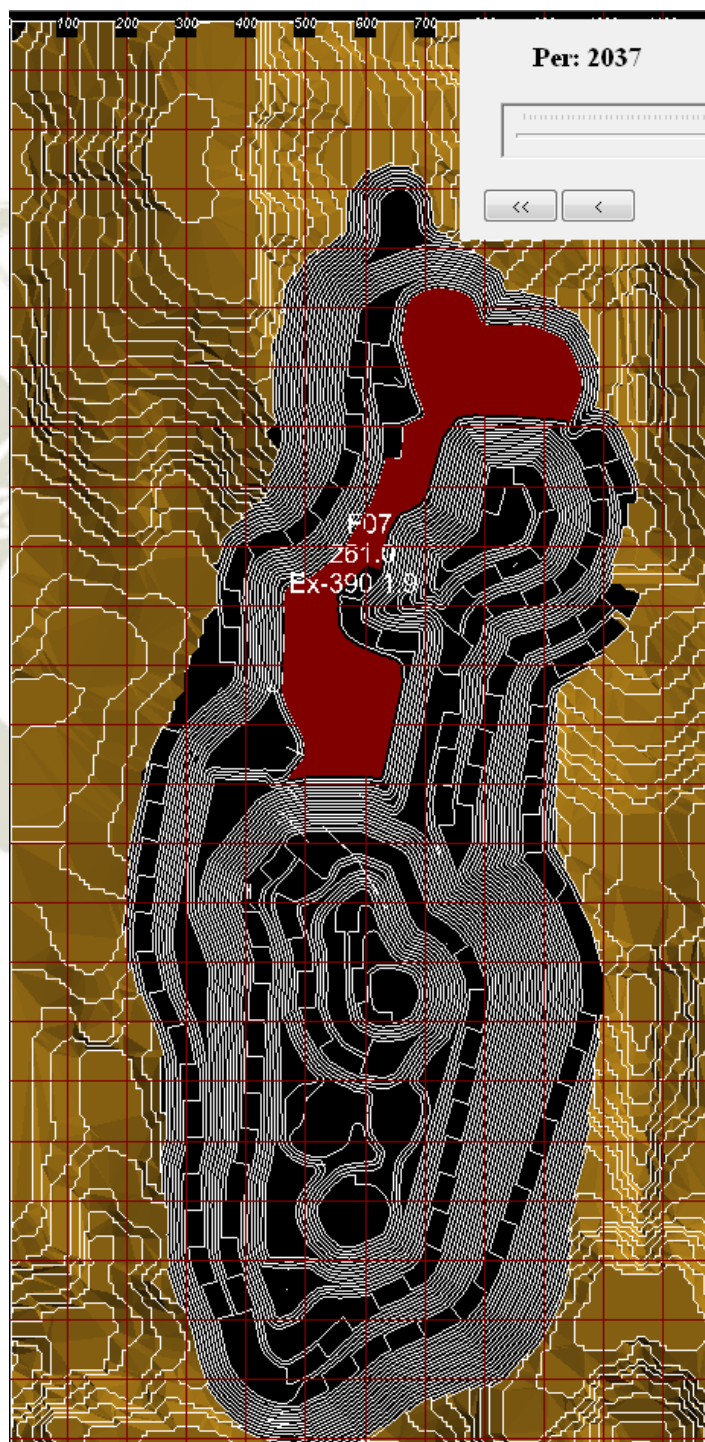
Anexo 03-35_Periodo 35_Año2035

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 03-36_Periodo 36_Año2036

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 03-37_Periodo 37_Año2037

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Figura 10-21 Período 37_Año2037

Anexo 03-38_Período 38_Año2038

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

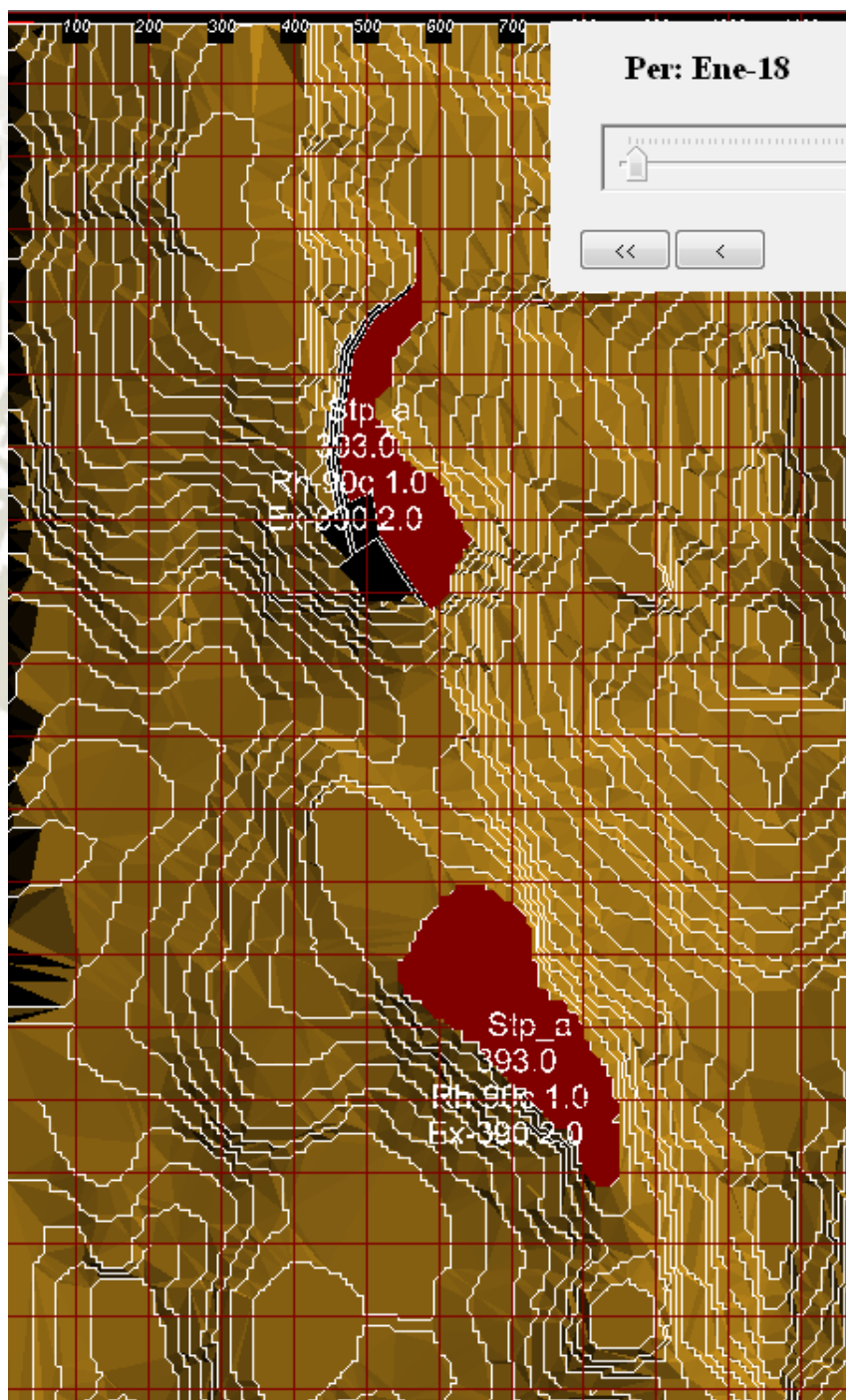


Anexo 03-39_Periodo 39_Año2039

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

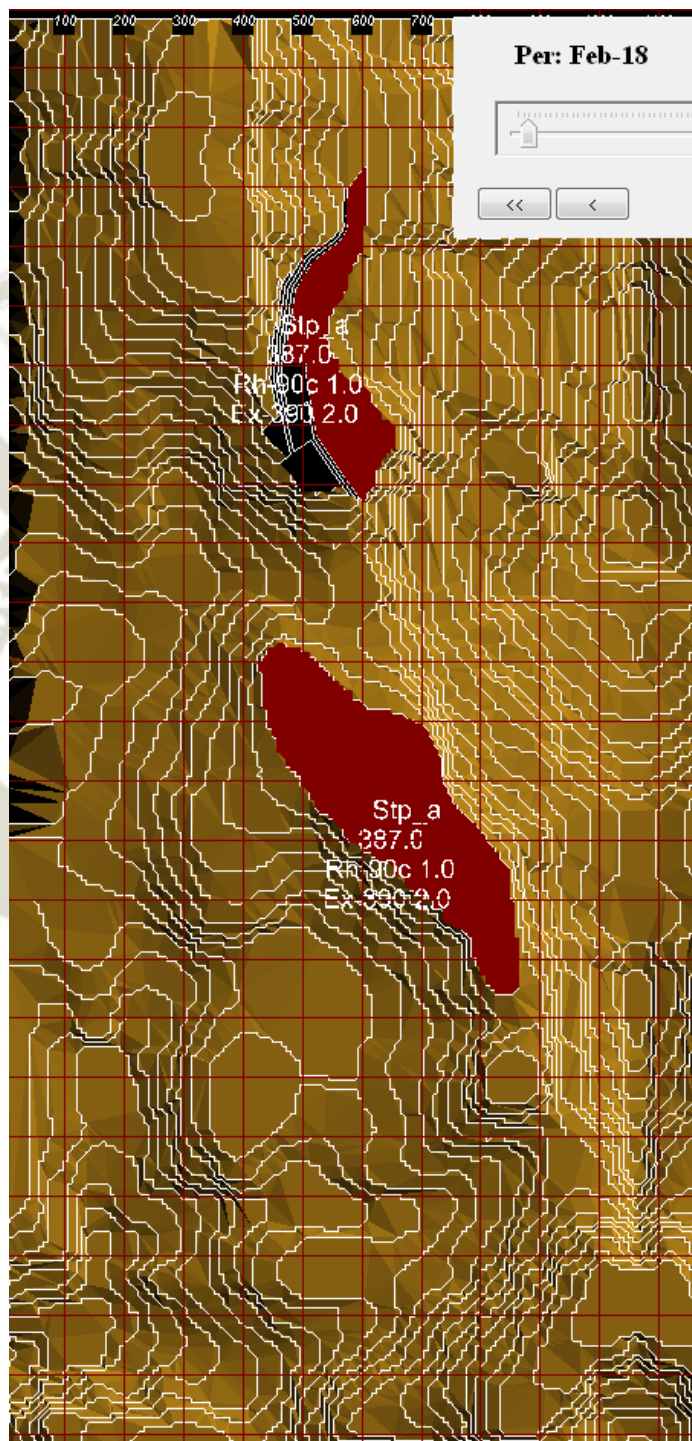
ANEXO04: SECUENCIA DE EXTRACCION EN PLAN DE MINADO UCSM.

La secuencia periodo a periodo del plan minero se resumio el primer año de manera mensual , el segundo y tercer año de manera trimestral y en delante de manera anual:



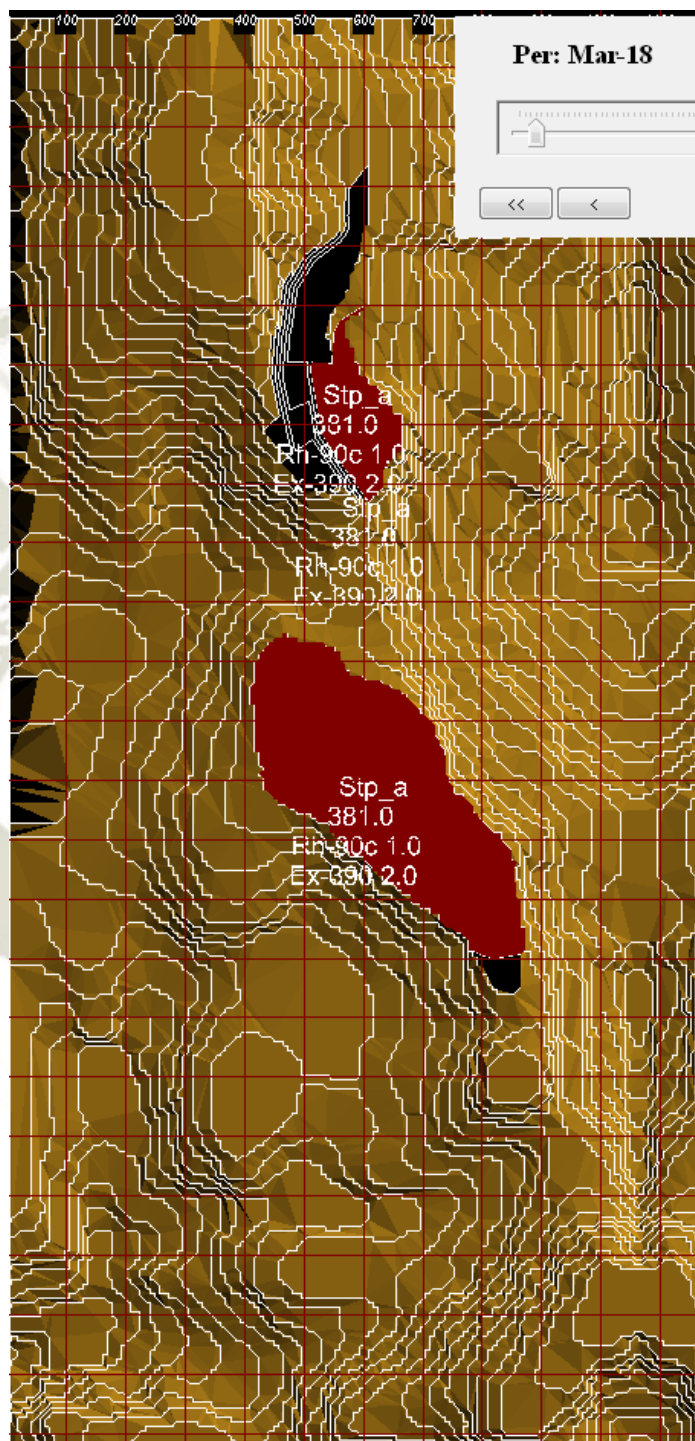
Anexo 04-01_Periodo 01_Mes01_Enero18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



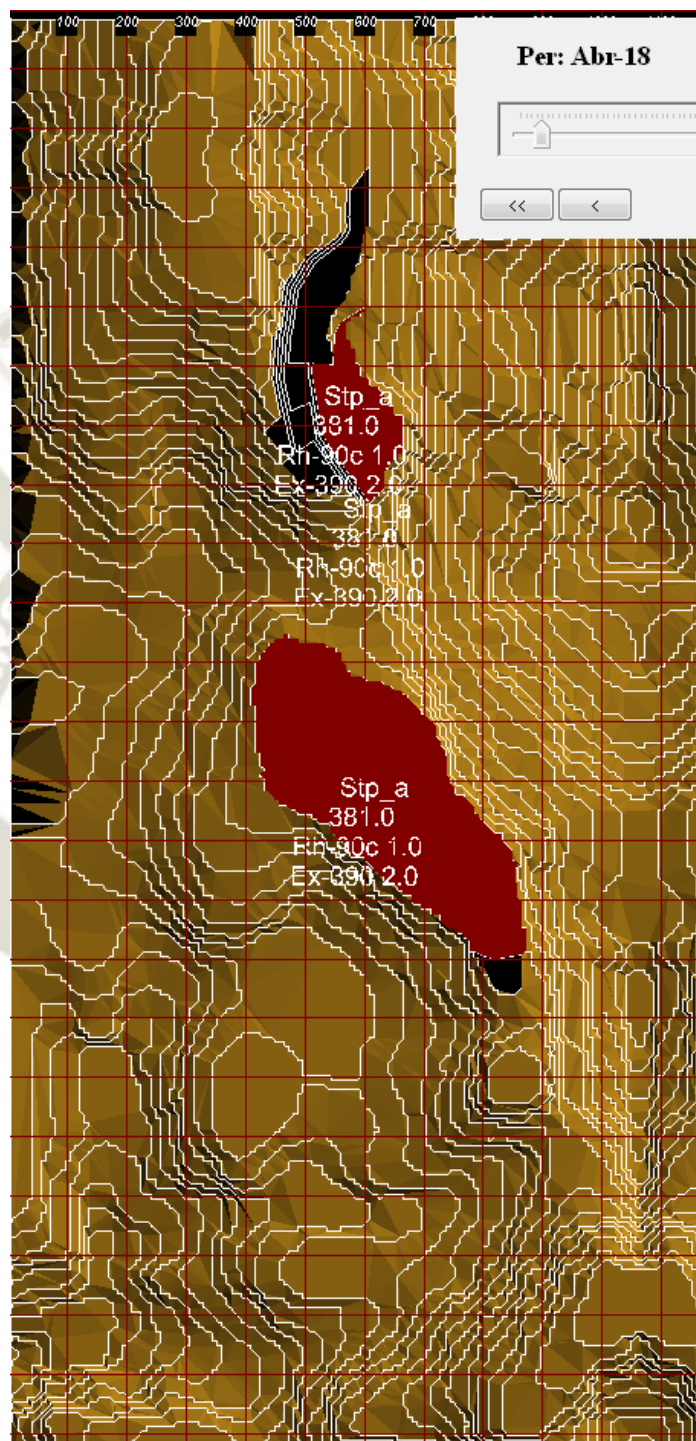
Anexo 04-02_Periodo 02_Mes02_Febrero18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



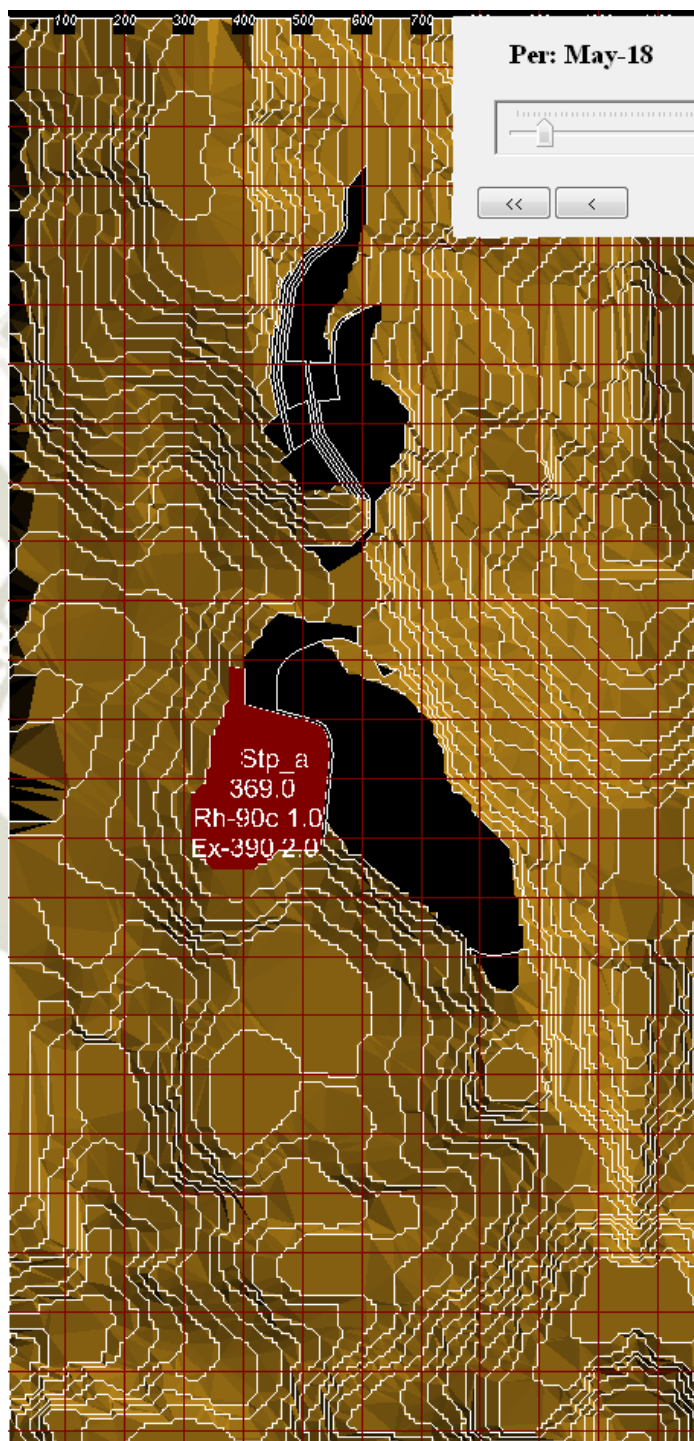
Anexo 04-03_Periodo 03_Mes03_Marzo18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



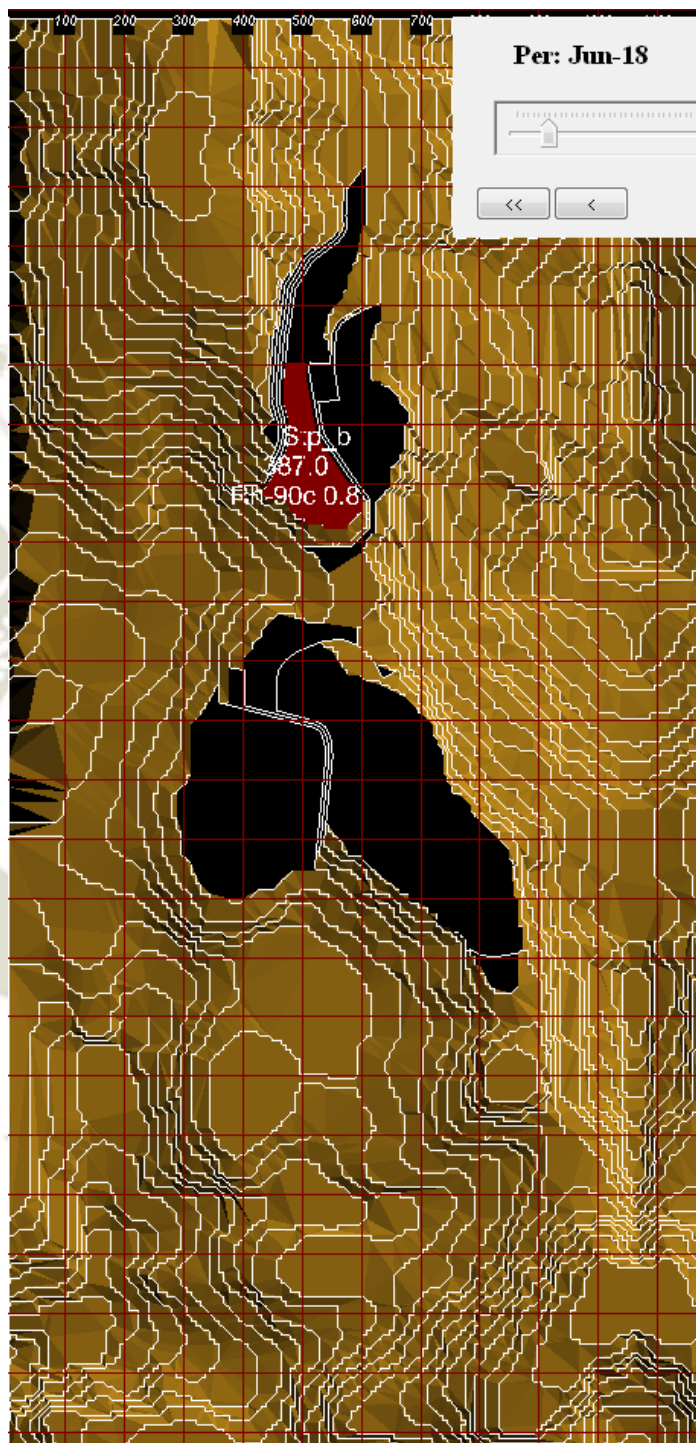
Anexo 04-04_Periodo 04_Mes04_Abril18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



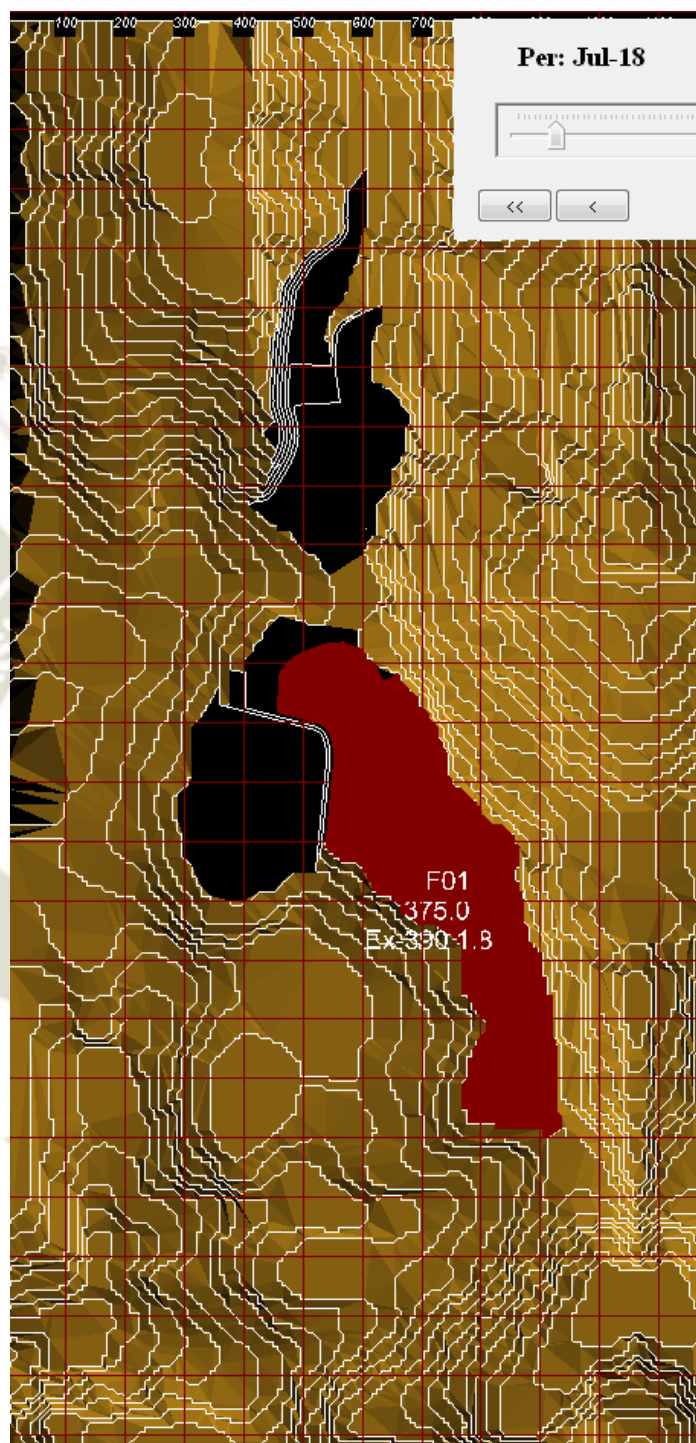
Anexo 04-05_ Periodo 05_Mes05_Mayo18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



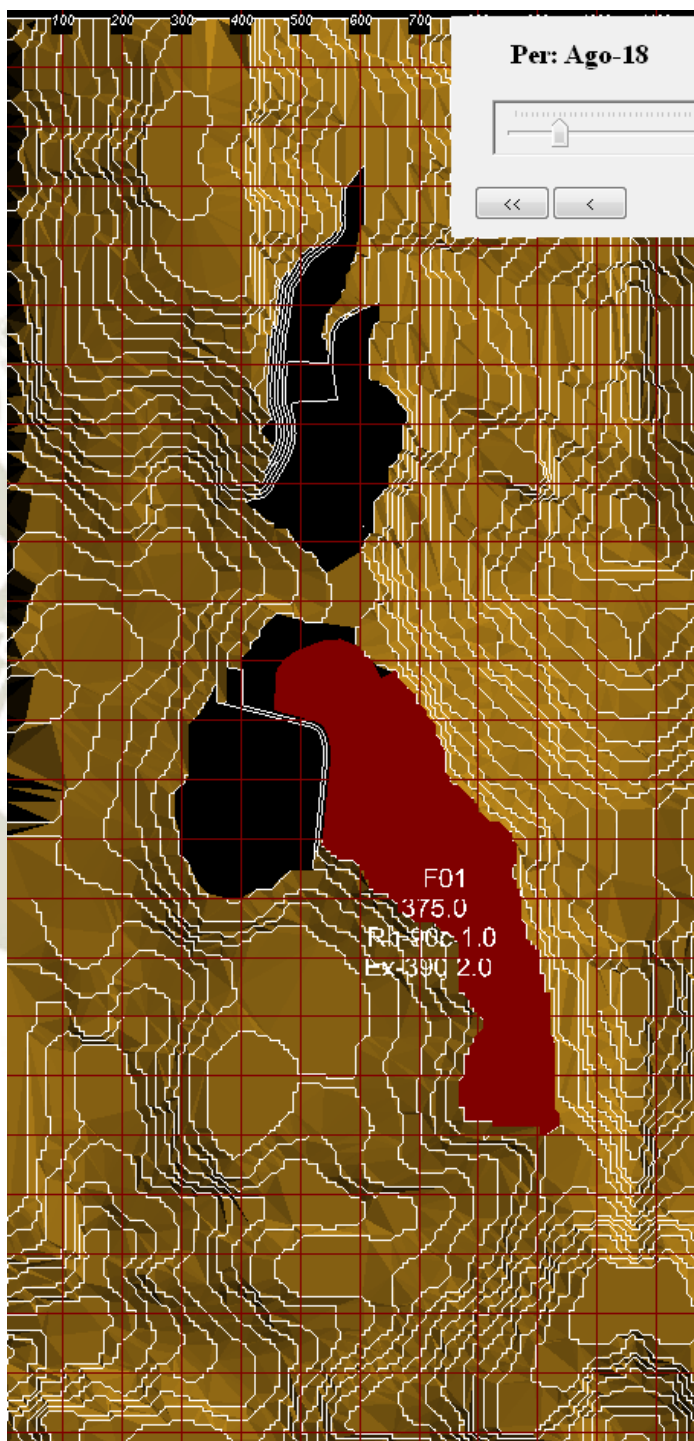
Anexo 04-06_ Periodo 06_Mes06_Junio18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



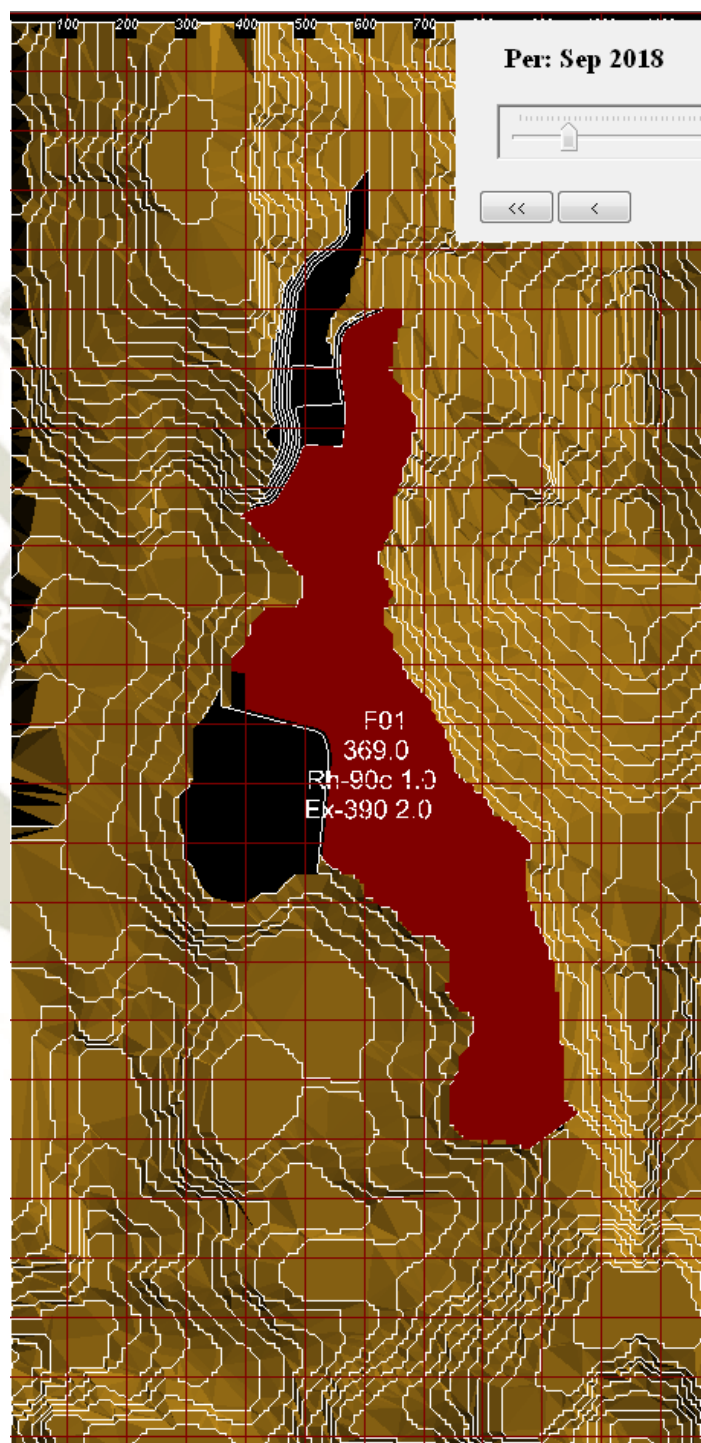
Anexo 04-07_ Periodo 07_Mes07_Julio18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



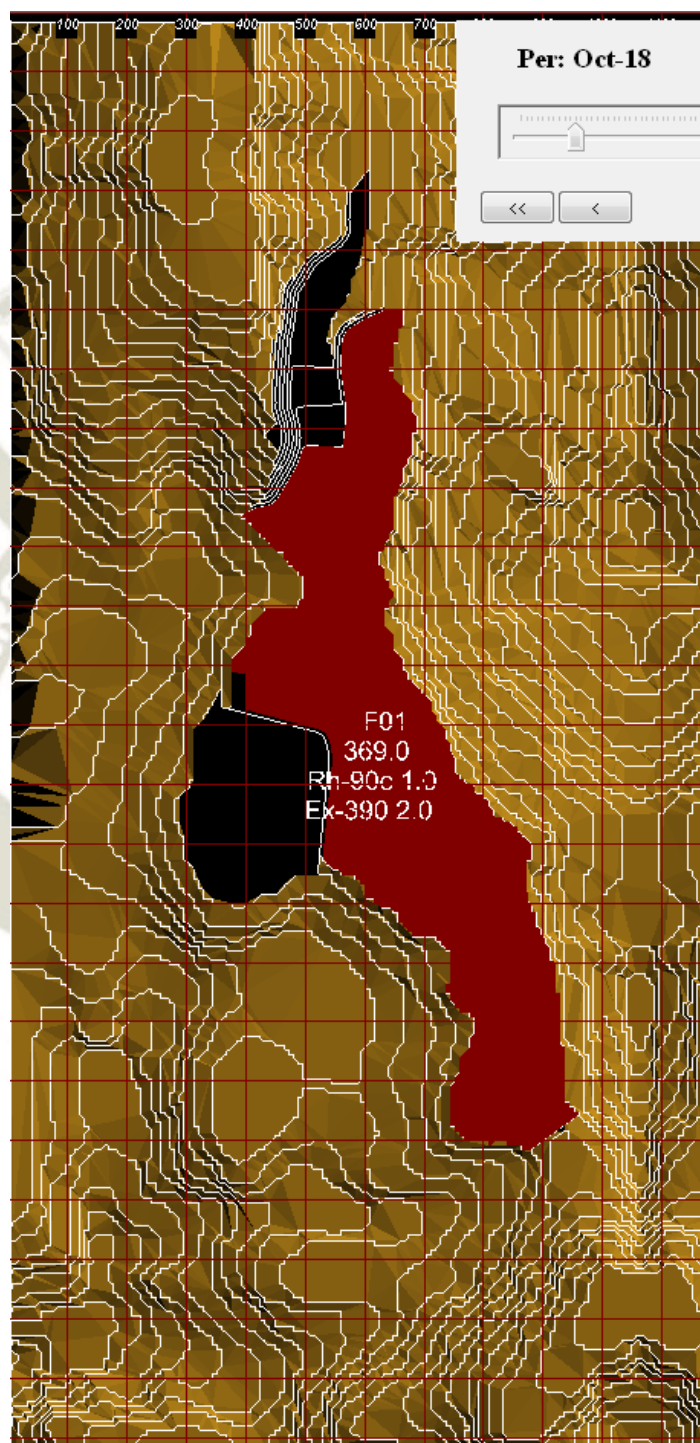
Anexo 04-08_ Periodo 08_Mes08_Agosto18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



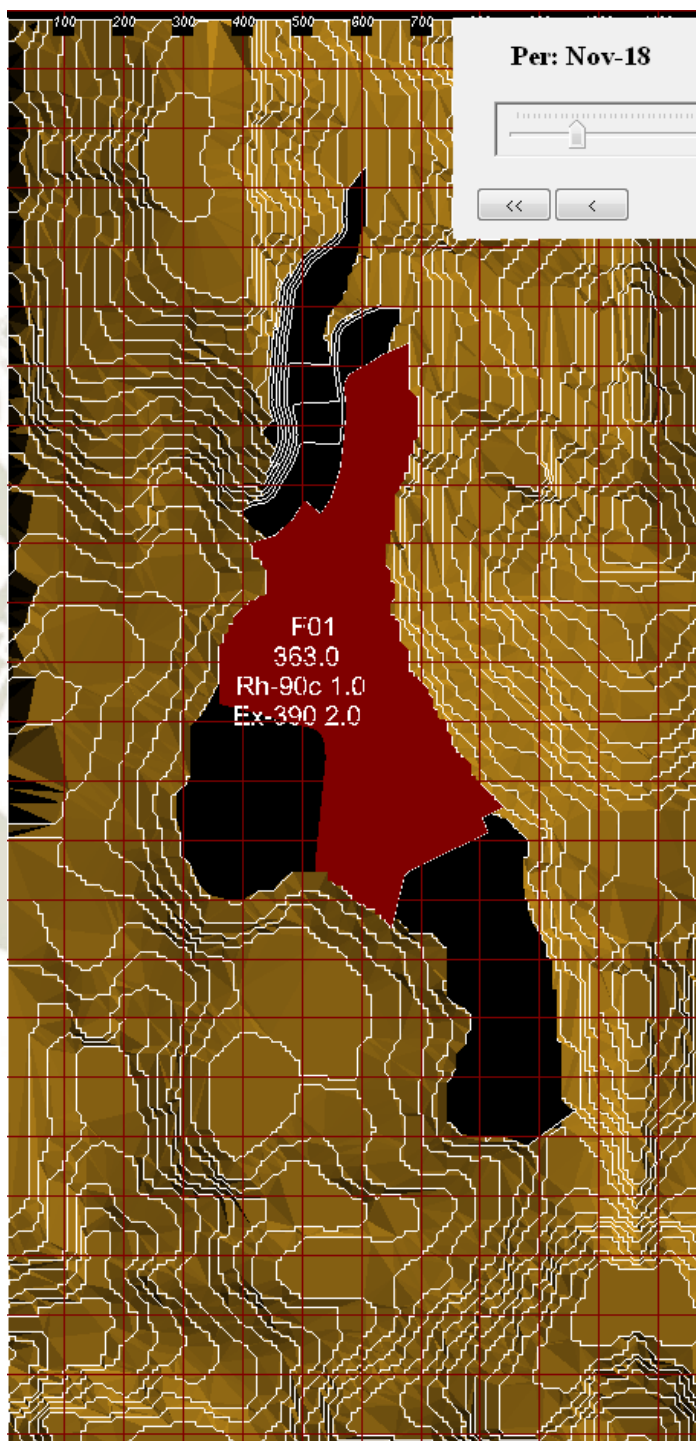
Anexo 04-09_ Periodo 09_Mes09_Septiembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



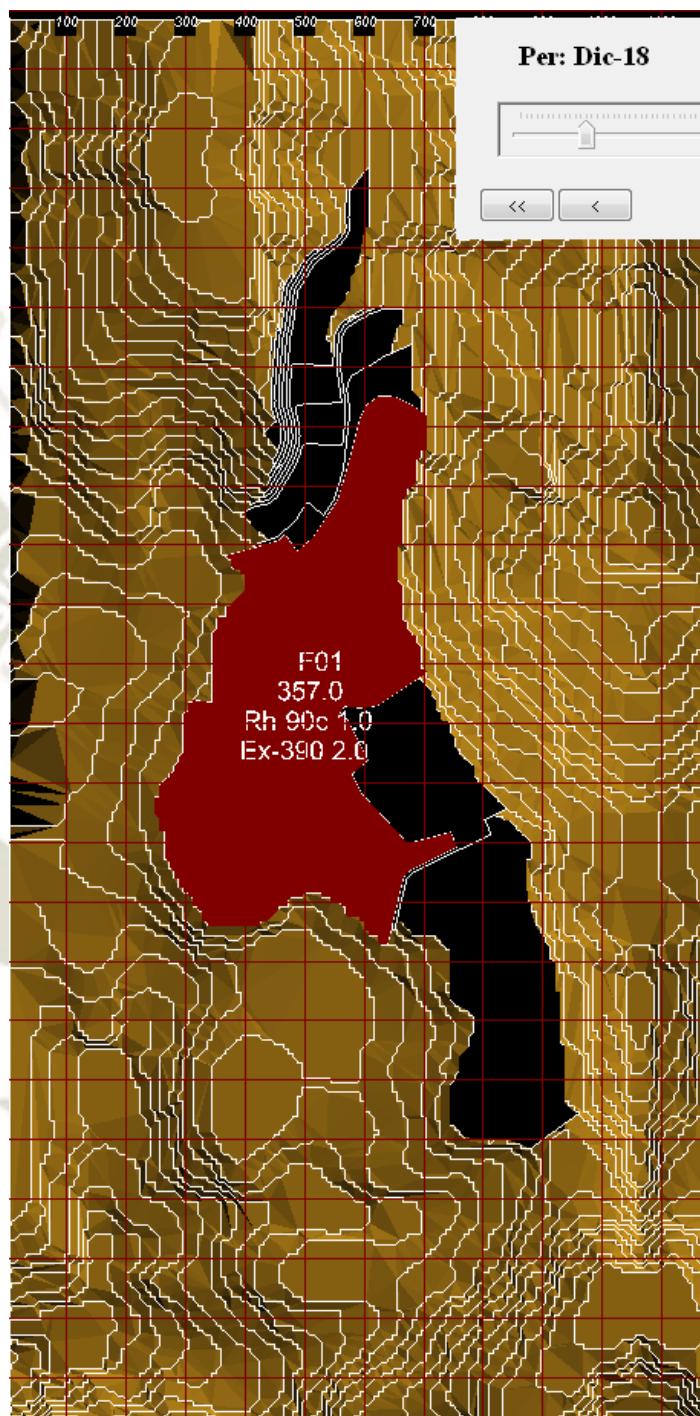
Anexo 04-10_ Periodo 10_Mes10_Octubre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



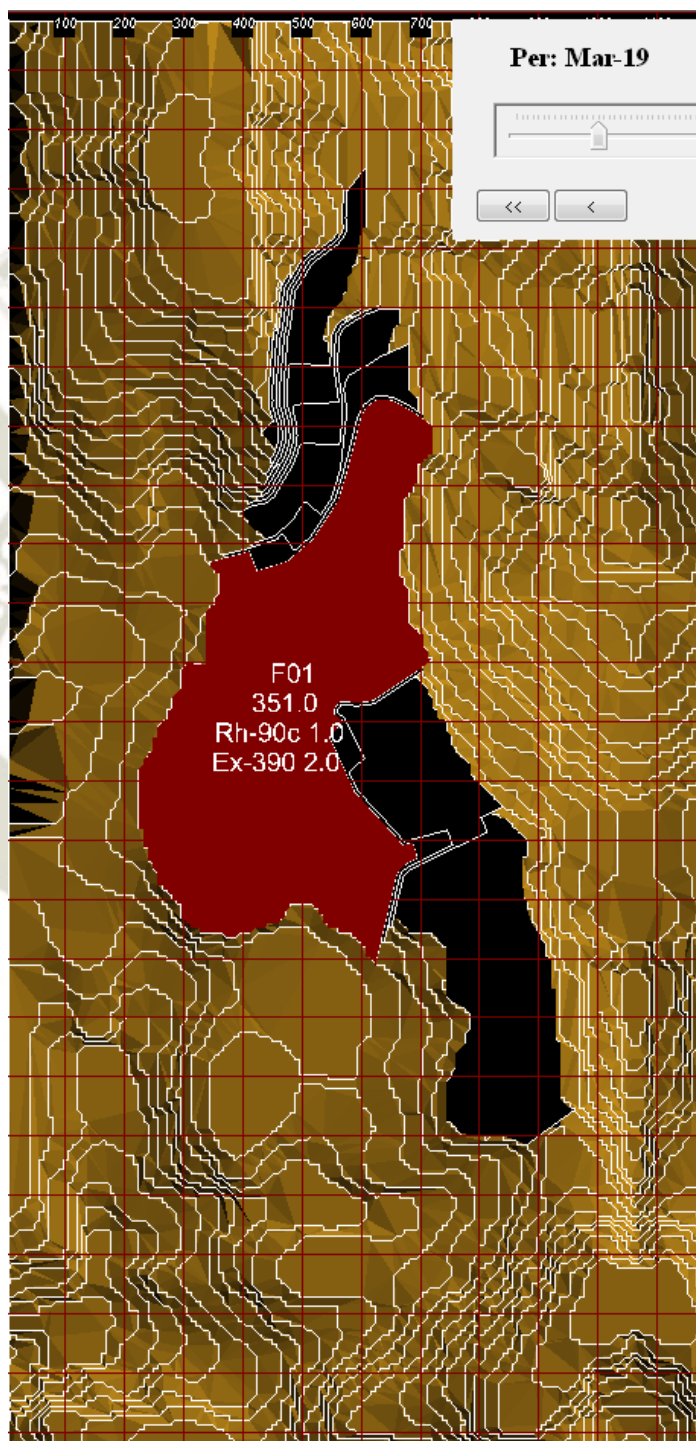
Anexo 04-11_ Periodo 11_Mes11_Noviembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



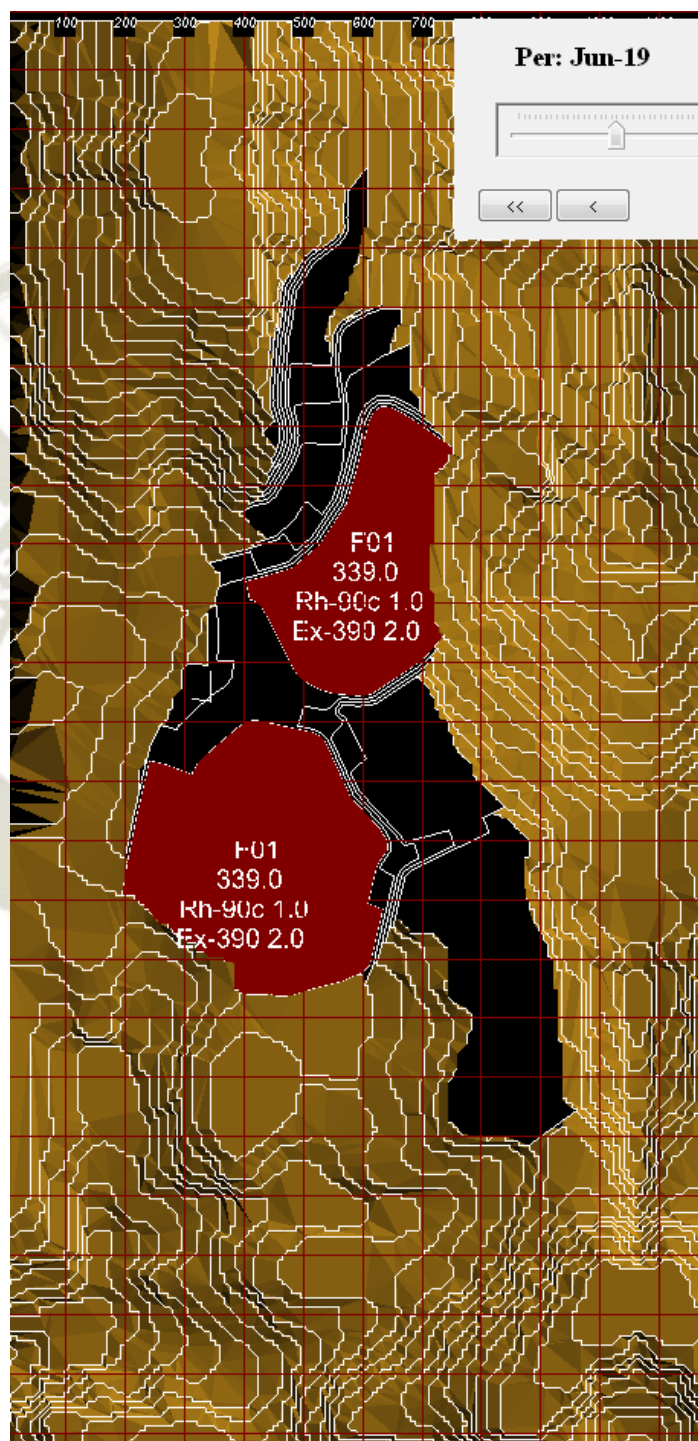
Anexo 04-12_ Periodo 12_Mes12_Diciembre18

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



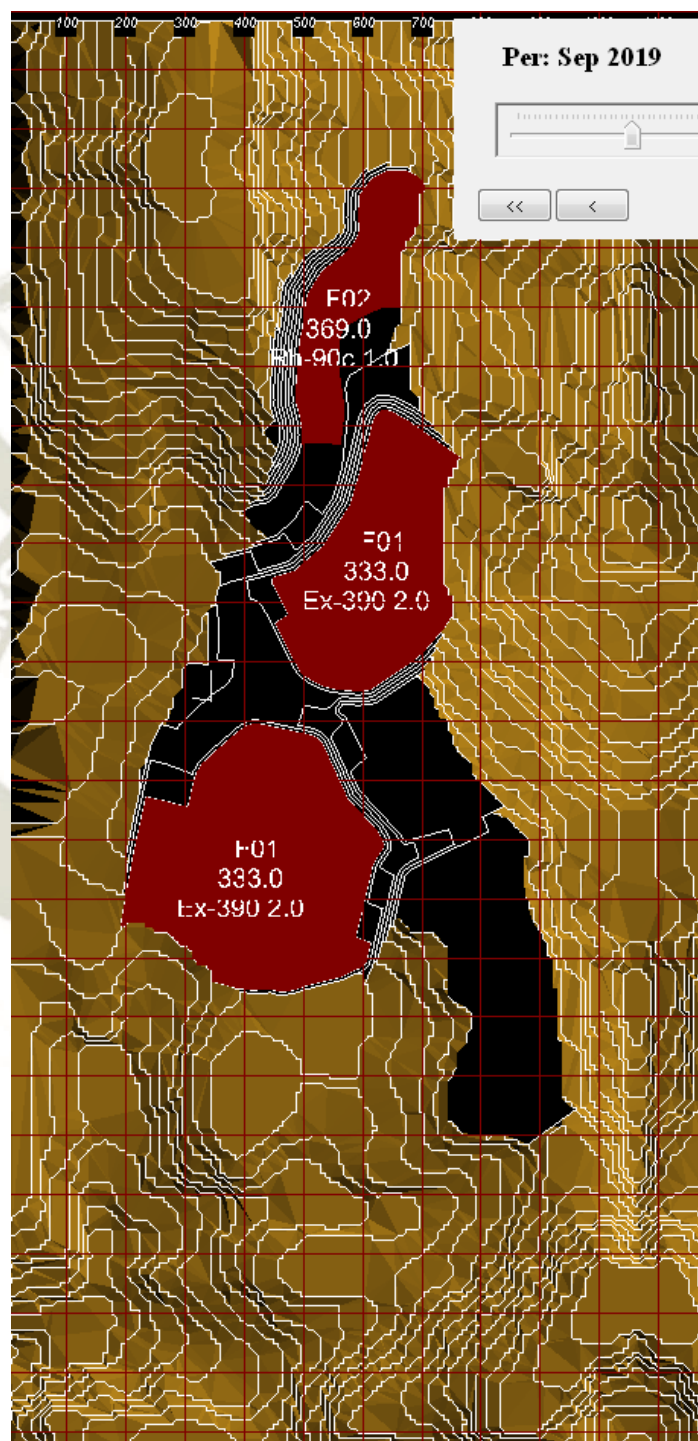
Anexo 04-13_ Periodo 13_Quartil01_Marzo19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



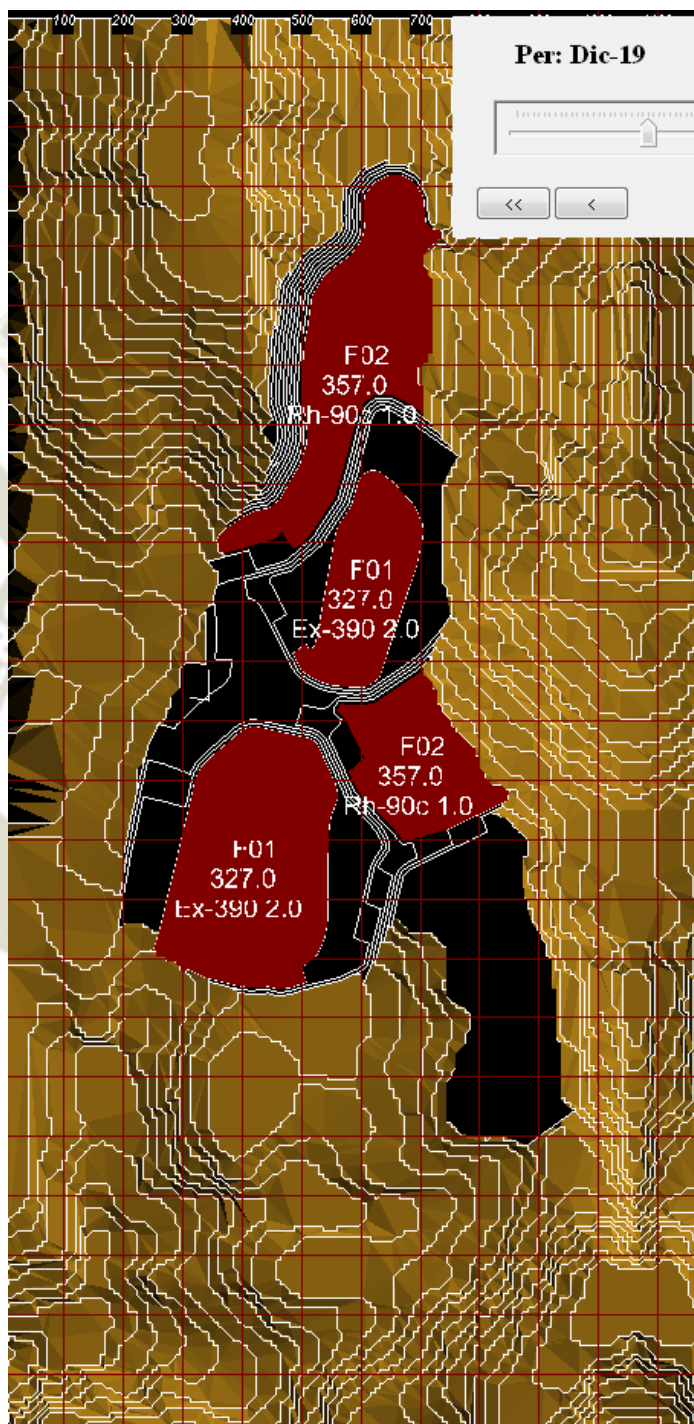
Anexo 04-14_ Periodo 14_Quartil02_Junio19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



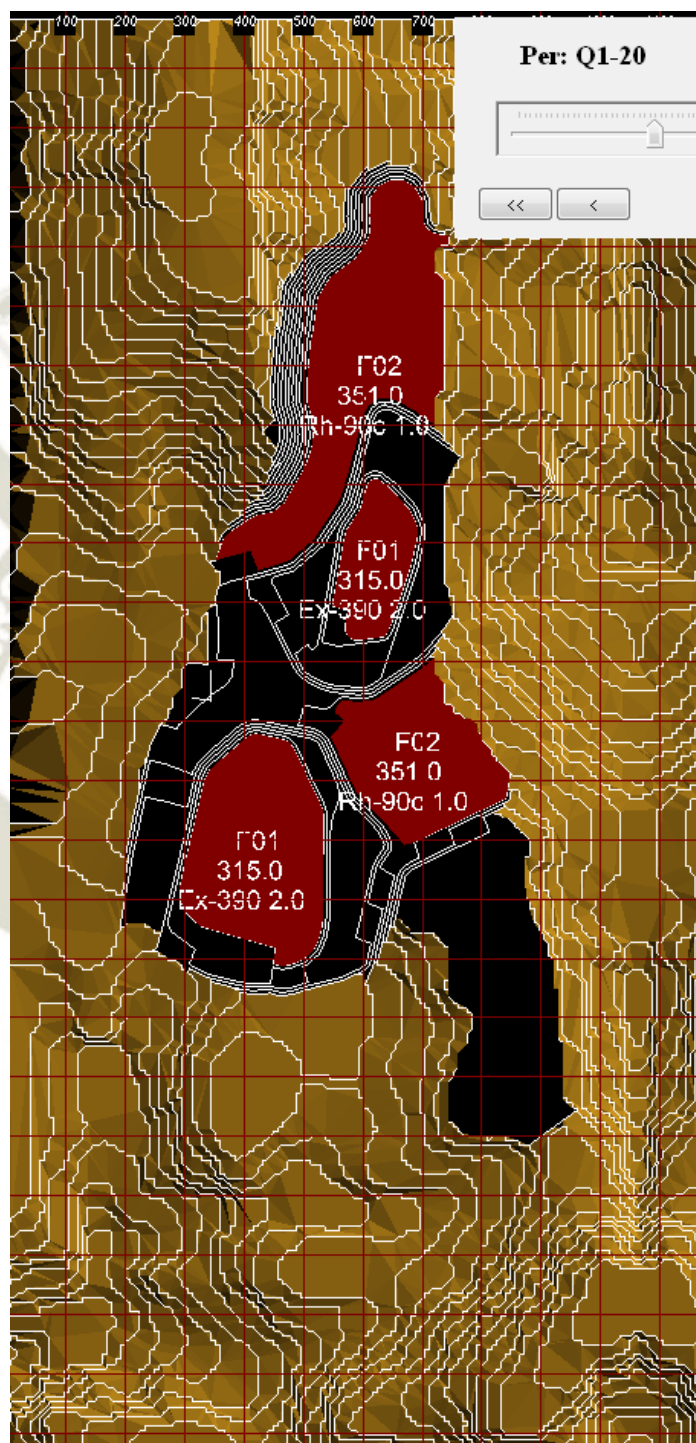
Anexo 04-15_ Periodo 15_Quartil03_Septiembre19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



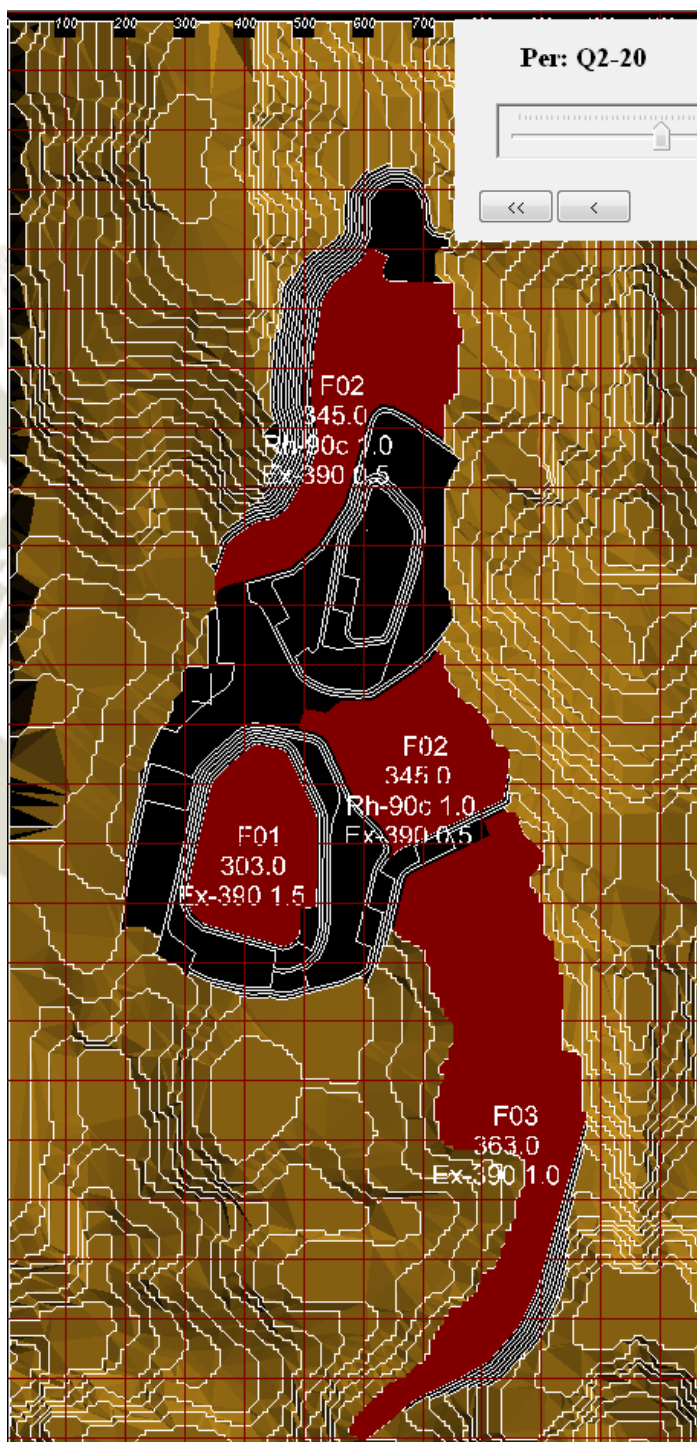
Anexo 04-16_Periodo 16_Quartil04_Diciembre19

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-17_Periodo 17_Quartil01_Marzo20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-18_Periodo 18_Quartil02_Junio20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



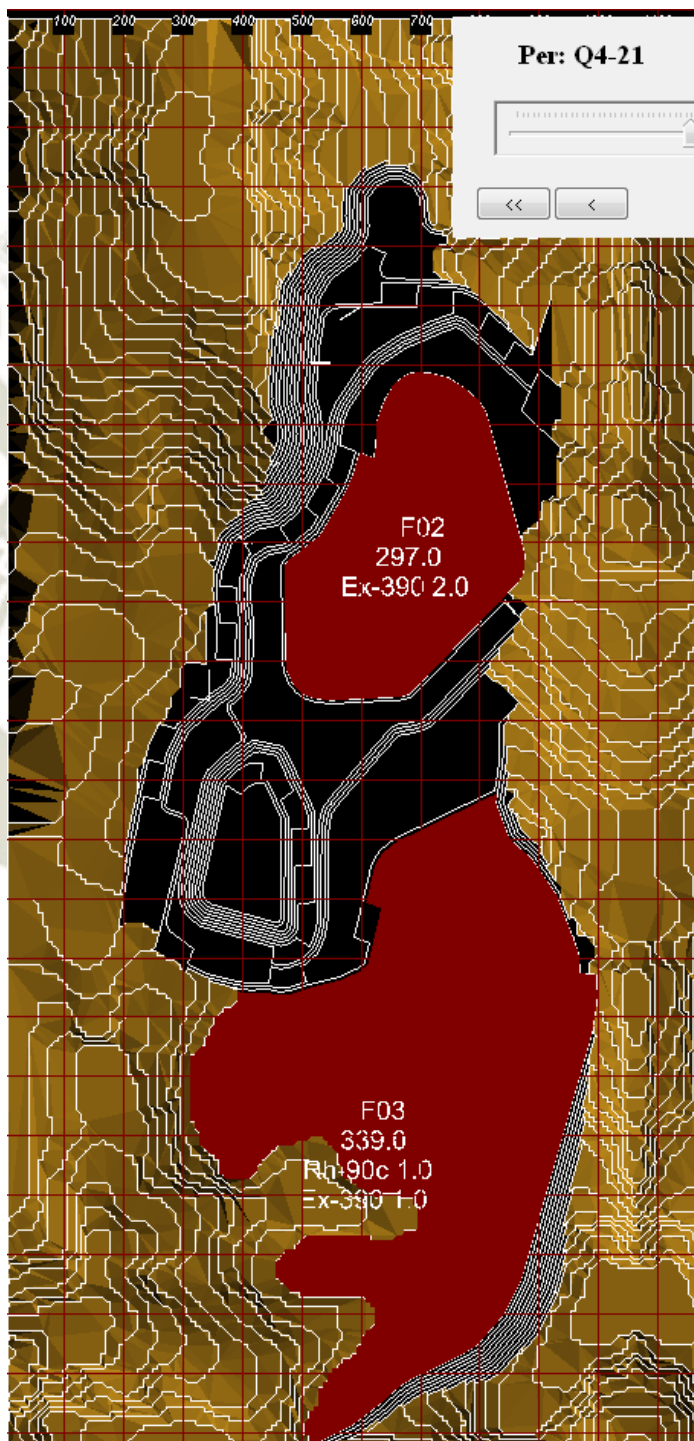
Anexo 04-19_Periodo 19_Quartil03_Septiembre20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



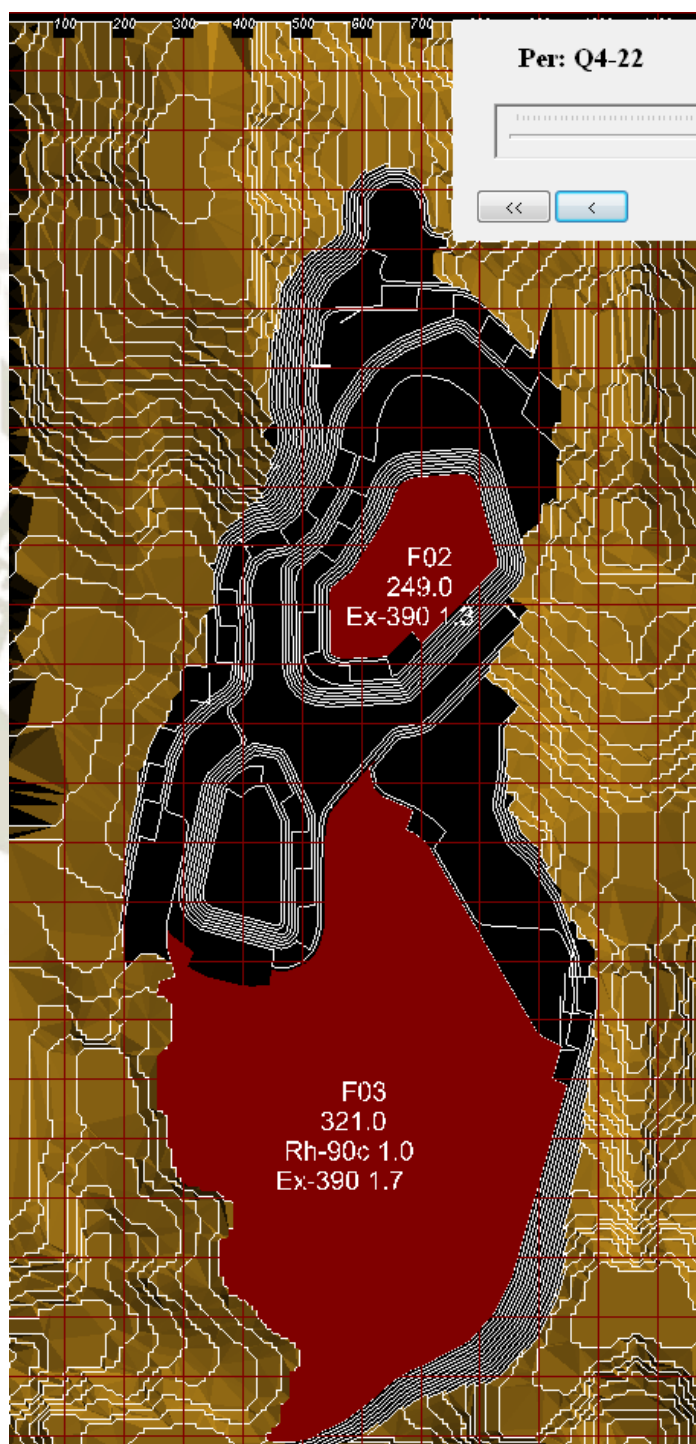
Anexo 04-20_Periodo 20_Quartil04_Diciembre20

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



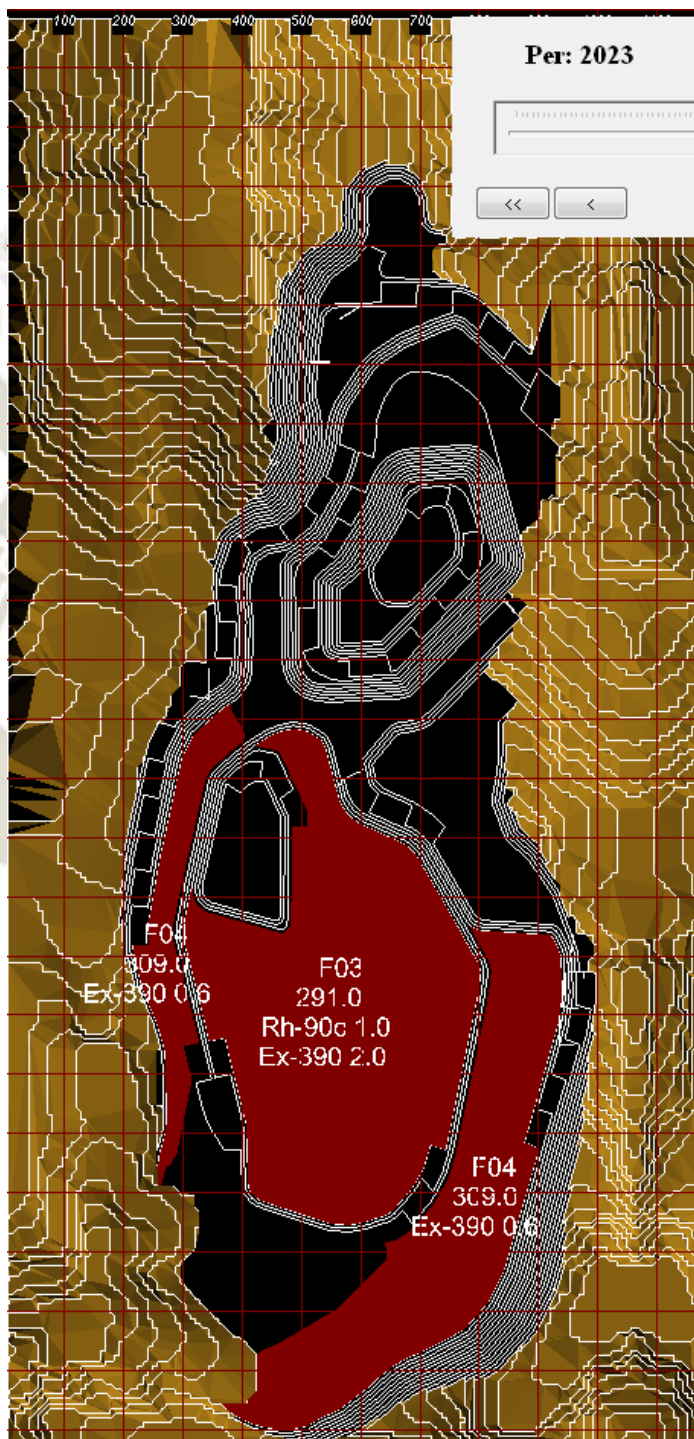
Anexo 04-21_Periodo 21_Año2021

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



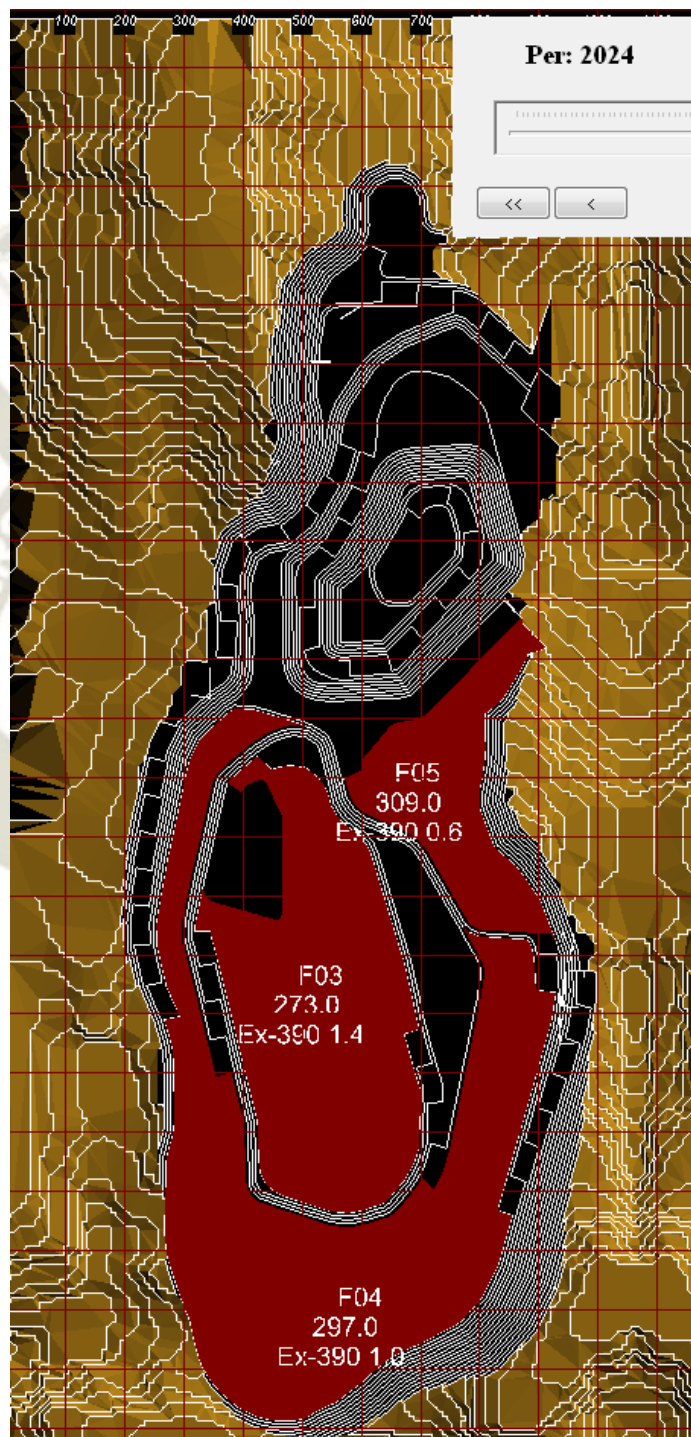
Anexo 04-22_Periodo 22_Año2022

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



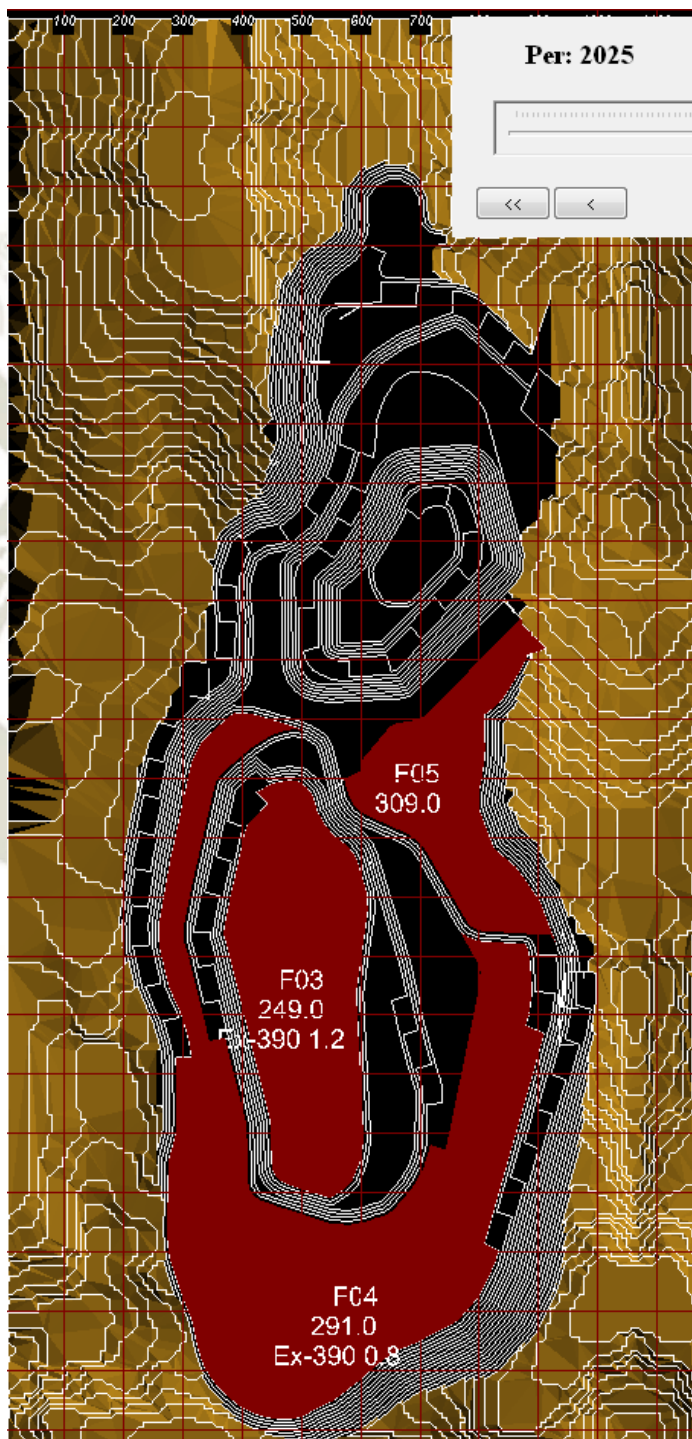
Anexo 04-23_Periodo 23_Año2023

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-24_Periodo 24_Año2024

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-25_Periodo 25_Año2025

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-26_Periodo 26_Año2026

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



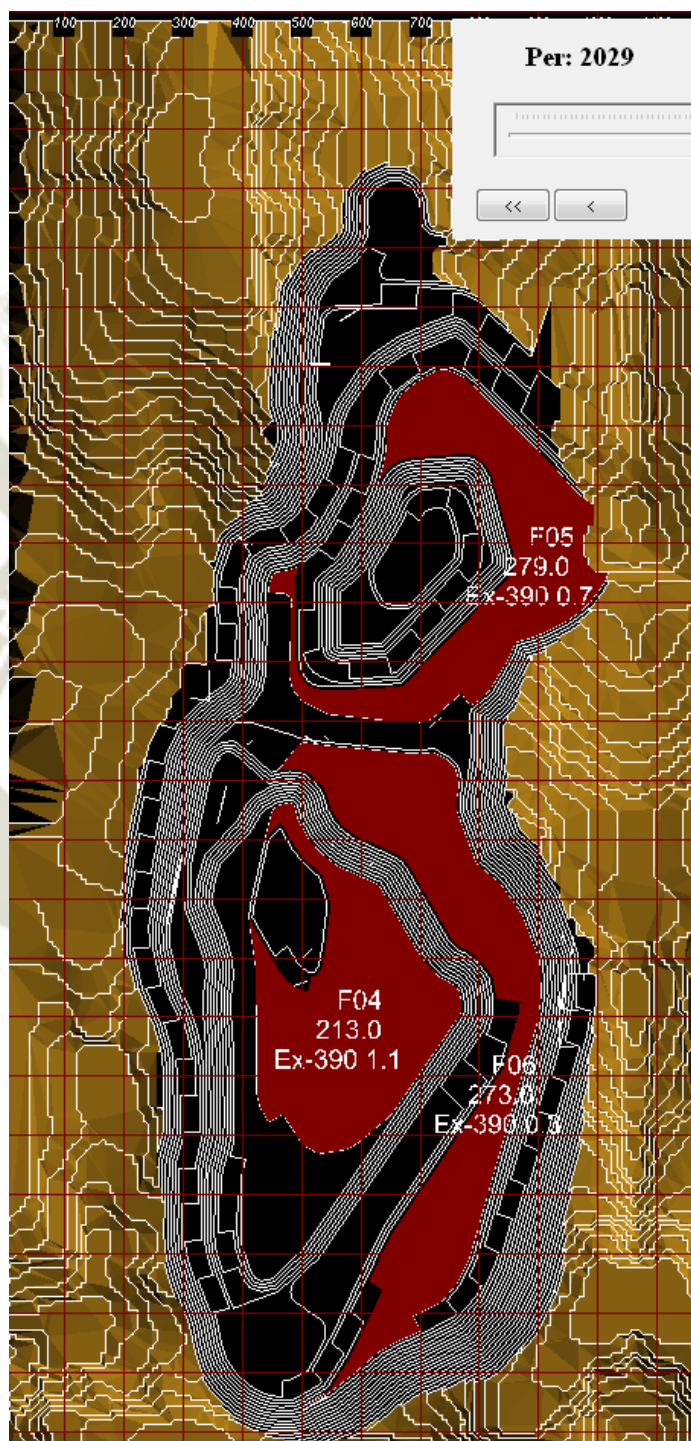
Anexo 04-27_Periodo 27_Año2027

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



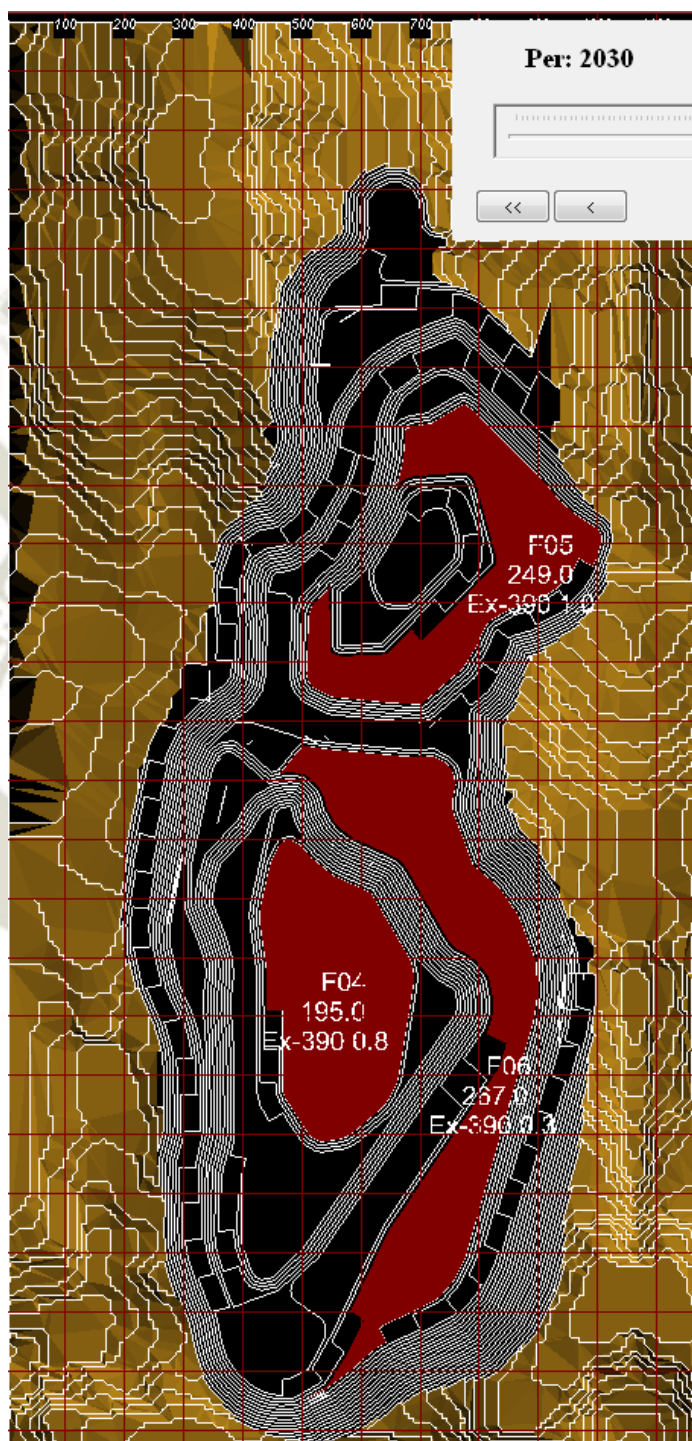
Anexo 04-28_Periodo 28_Año2028

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-29_Periodo 29_Año2029

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-30_Periodo 30_Año2030

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



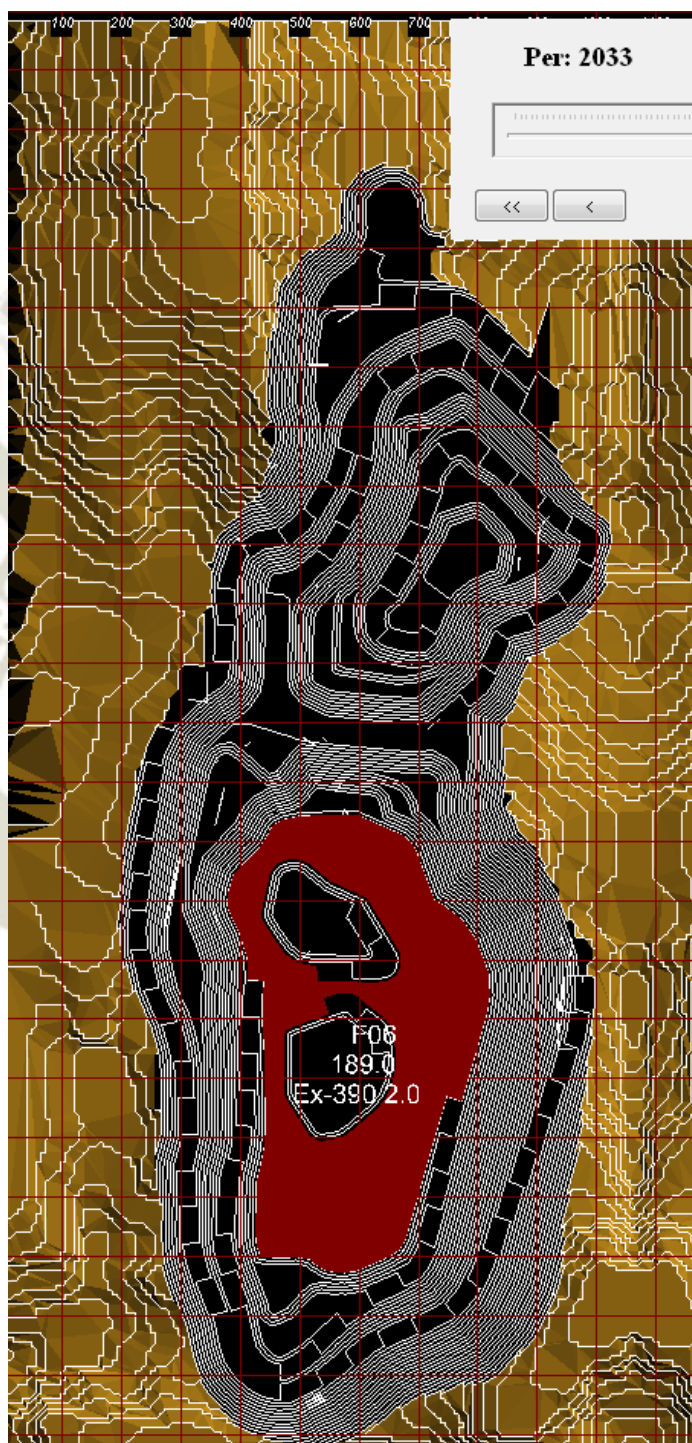
Anexo 04-31_Periodo 31_Año2031

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



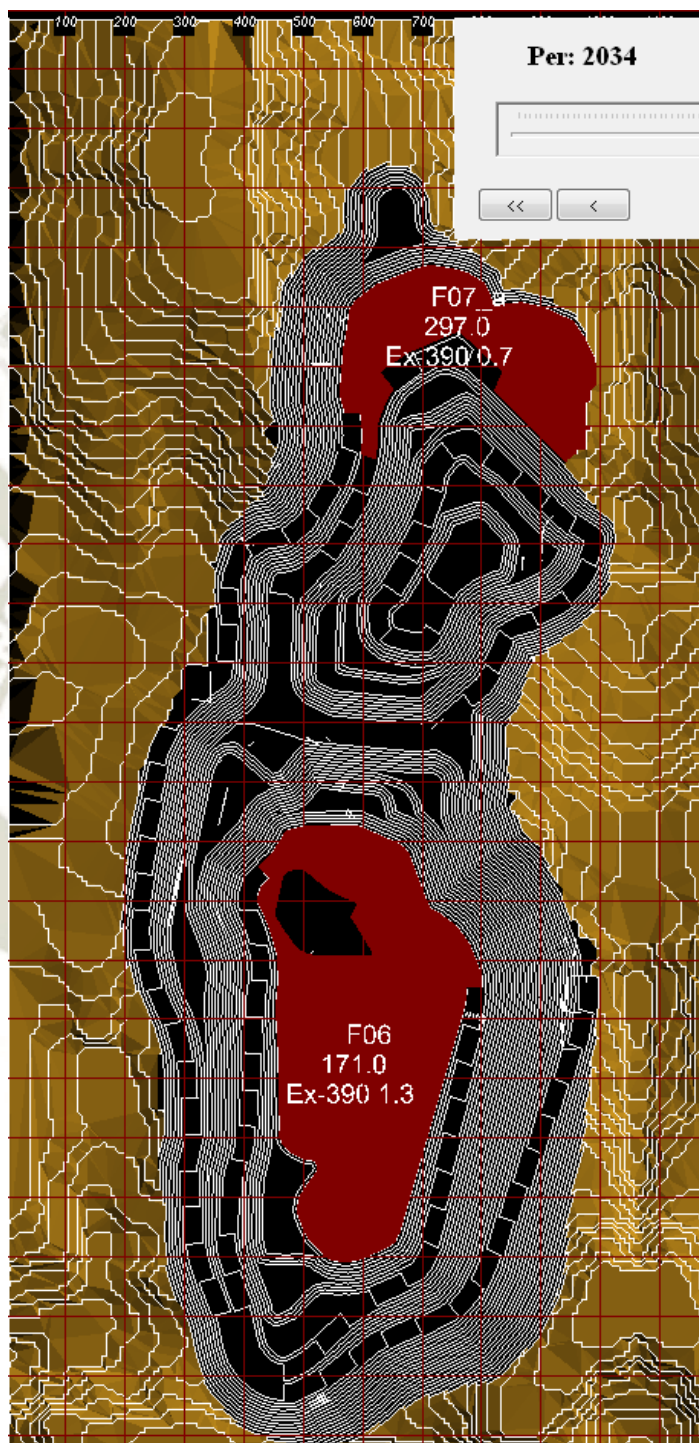
Anexo 04-32_Periodo 32_Año2032

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



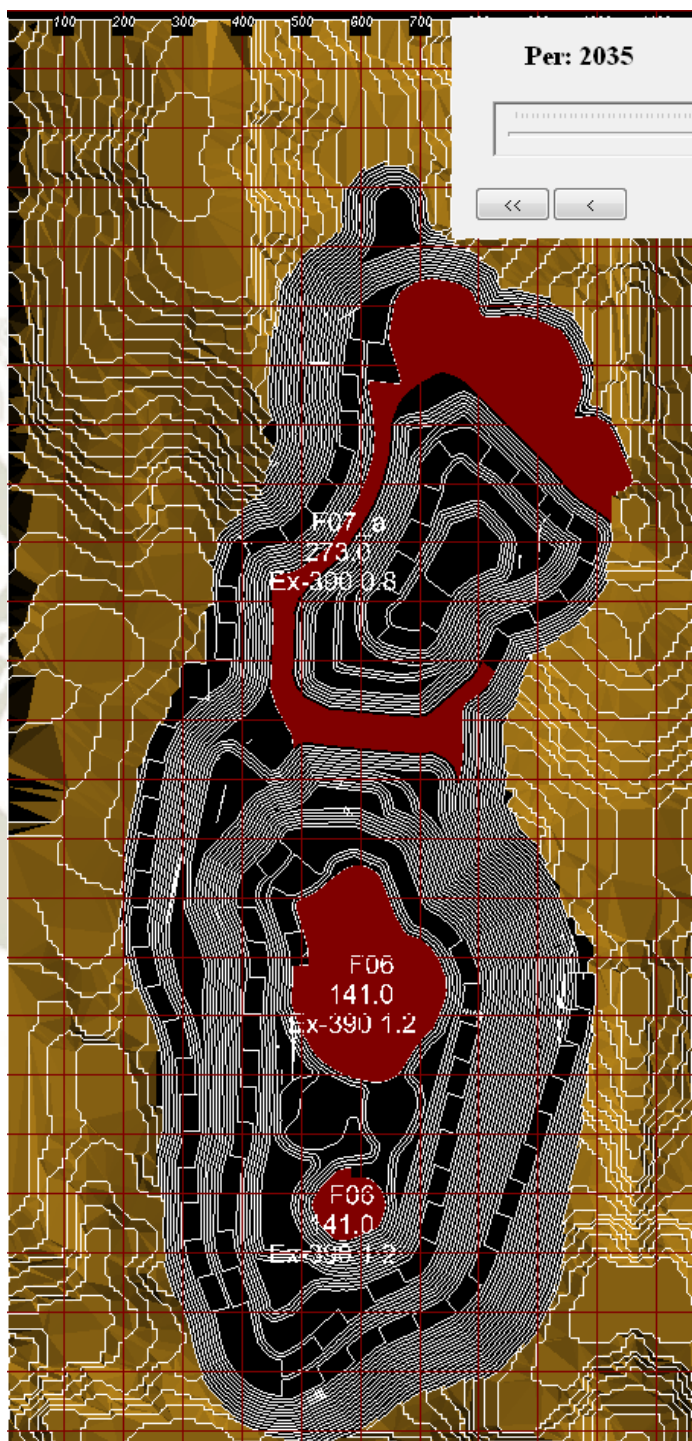
Anexo 04-33_Periodo 33_Año2033

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



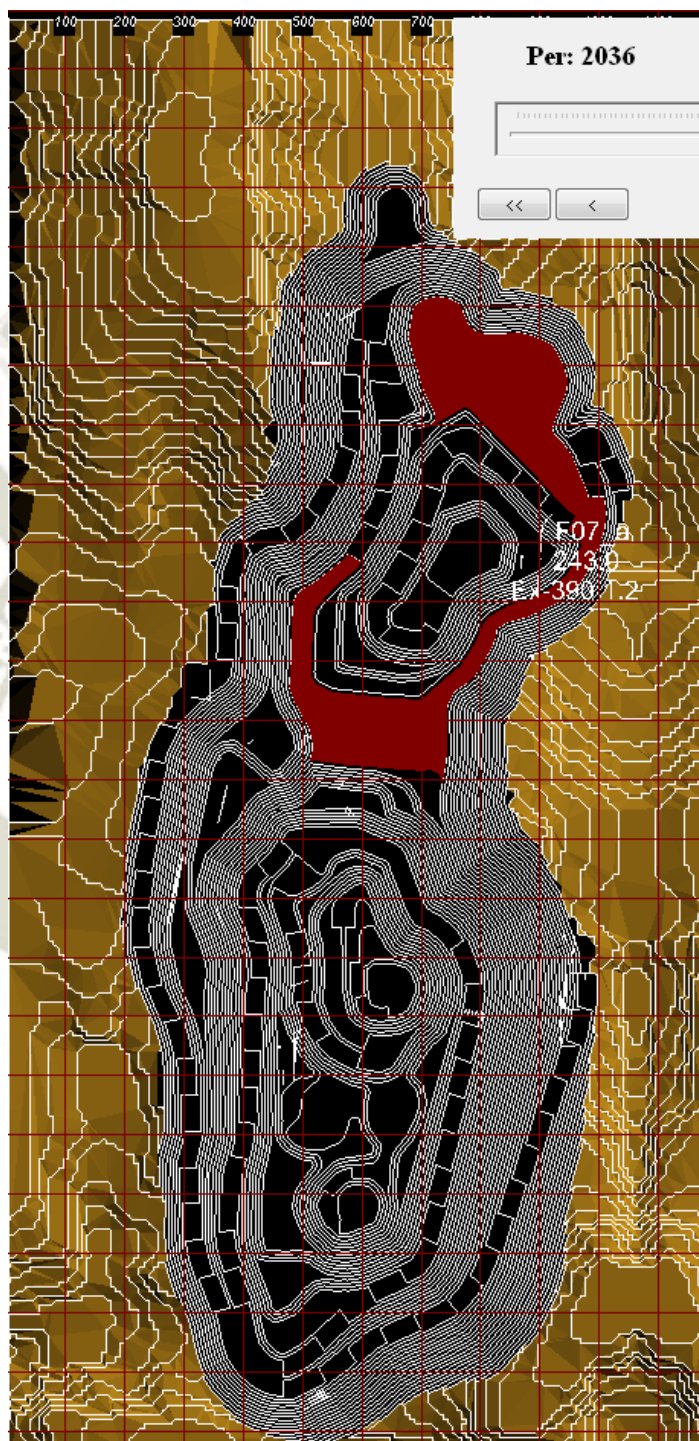
Anexo 04-34_Periodo 34_Año2034

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



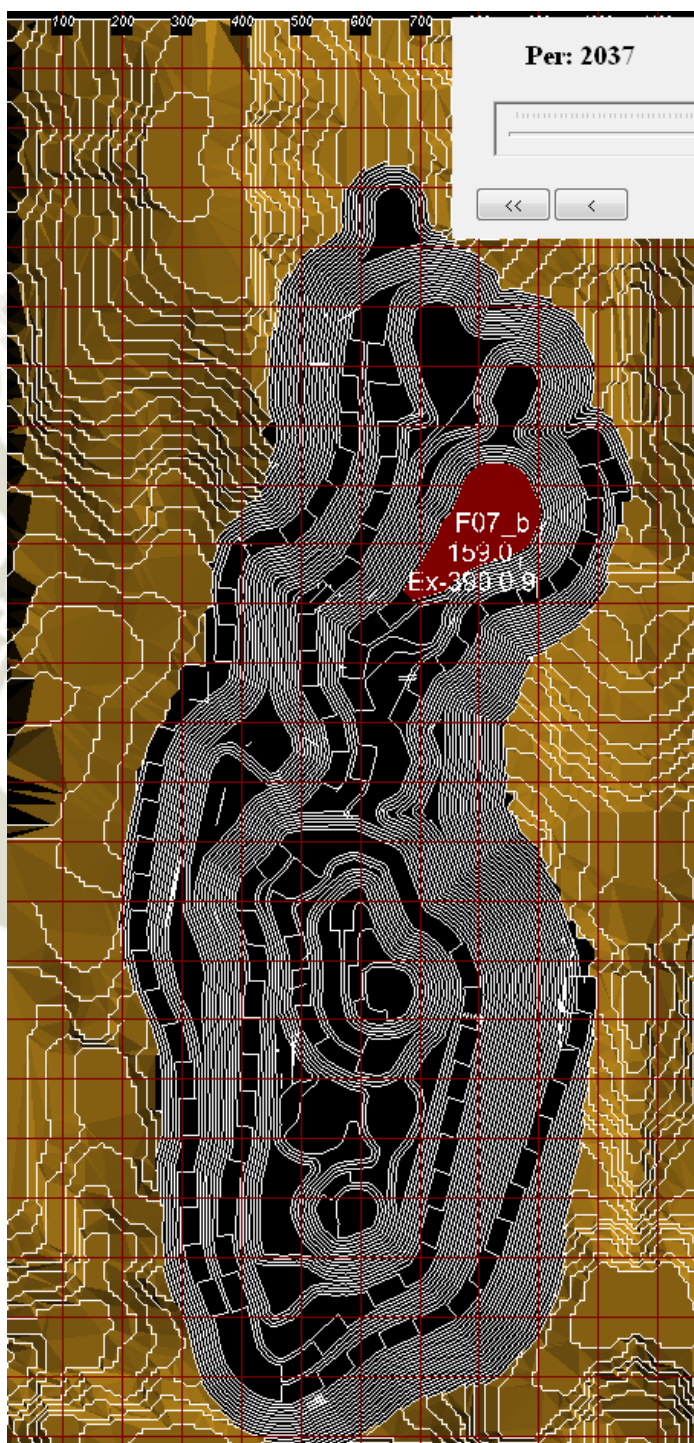
Anexo 04-35_Periodo 35_Año2035

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-36_Periodo 36_Año2036

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-37_Periodo 37_Año2037

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan



Anexo 04-38_Periodo 38_Año2038

Nota. Fuente: Elaboración propia, Software Mineplan

