



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS**

CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE FASES Y DISEÑO EN MINERÍA A CIELO ABIERTO

**MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS**

BÁRBARA JIMÉNEZ DEL VALLE

**PROFESOR GUÍA:
JUAN LUIS YARMUCH GUZMÁN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
RENÉ LE-FEAUX CORTÉS
NIDIA MEZA MAUREIRA**

**SANTIAGO DE CHILE
SEPTIEMBRE DE 2014**

RESUMEN

Al definir fases en rajo es trascendental la intervención del planificador, mas no existe un respaldo teórico o lineamientos documentados para tomar esta decisión, lo que se traduce en la aplicación de criterios subjetivos o comunes conocidos como “reglas de dedo”.

El objetivo del trabajo es estudiar el impacto del uso de este tipo de criterios de definición y diseño de fases comunes en la industria y concluir acerca de las preconcepciones asociadas existentes versus sus reales efectos. Para esto el trabajo se divide en dos partes, la primera concierne a la definición de volúmenes de fases para dos rajos, que cumplan con criterios de control de tonelaje (mineral cte. o tonelaje total cte.) por fase, siguiendo la secuencia de *Lersch y Grossman*, REM constante o REM creciente para tres periodos de tiempo distintos. Con ellos se generan 32 escenarios diferentes indicados en la figura inferior.

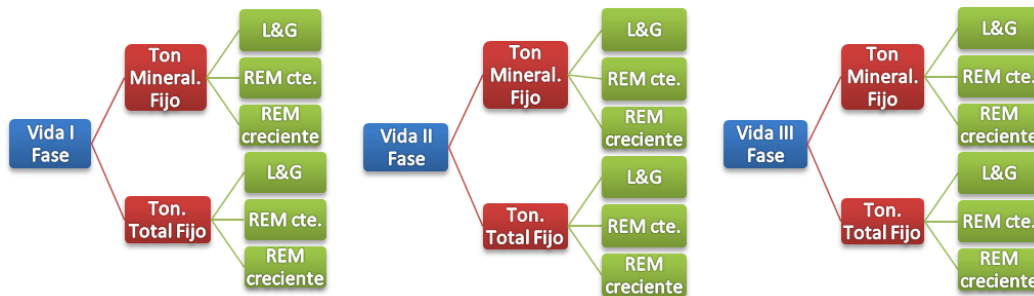


FIGURA - ESCENARIOS DE ESTUDIO (X: 1,5,2,3 AÑOS) PARA CADA YACIMIENTO

Se realizan los planes de extracción de los 32 escenarios con envolventes suavizadas y sus evaluaciones cualitativo-económicas para comparar el desempeño que cada criterio tiene en los distintos casos, identificando el mejor para cada yacimiento. Como segunda parte, se realiza sobre estos últimos el diseño minero y su plan operativo. Finalmente se evalúan los resultados obtenidos entre la disposición teórica de fases y los diseños finales, comparando su interrelación, fidelidad, alteración y los efectos de la integración del diseño minero.

De los escenarios generados se concluye que definir fases con REM cte. es técnicamente difícil, requiere alta inversión de tiempo con un producto que no promete necesariamente un mejor negocio comparativo, genera planes con menor flexibilidad, menor y más errático número de fases en extracción por periodo y de más alto riesgo económico. Al contrario, el criterio de REM creciente se evidencia beneficioso en estos mismos ámbitos. Por otra parte, el control de mineral contribuye positivamente a la economía del proyecto, muy por sobre el control de tonelaje, al asegurar una cantidad de mineral en cada fase y vuelve el plan más robusto ante imponderables. Mientras el criterio de REM libre presenta resultados menos predecibles y sin tendencia clara.

De los escenarios diseñados se concluye que generar un mayor número de fases contribuye positivamente al VAN siempre que sus contenidos de mineral sean más bien homogéneos, sus tamaños no sean distalmente diferentes y el diseño permita su operatividad efectiva.

ABSTRACT

By defining phases in an open pit mine is transcendental the planner intervention, but there is no theoretical support or documented guidelines that indicate how to take this decision, resulting in the application of subjectives criteria known as "rules of thumb".

The aim of this work is to study the impact of using such definition and design phases criteria, common in industry and conclude about the preconceptions associated existing versus their actual effects. This work is divided into two parts, the first concerns the definition of phase volumes that meet control criteria tonnage (constant mineral or constant total tonnage) per phase, the sequence of Lersch and Grossman, constant REM or growing REM for three different time periods. With these, 32 different scenarios are generated as summarized in the figure below.

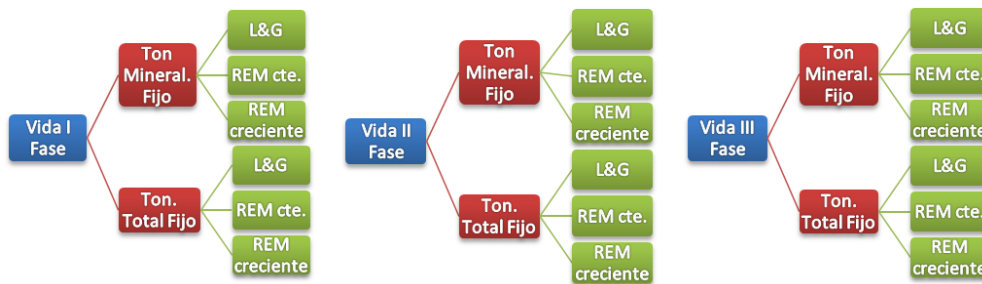


FIGURE - SCENES OF STUDY (X: 1.5,2,3 YEARS) FOR EACH ORE BODY

Then, the mine schedules for each scenario is performed with smooth pitshells and an economic and qualitative evaluation is performed to compare the performance that each criteria has in different cases, identifying anyone who shows the best performance at each case. As the second part, the mine design and operating plan are performed for them. Finally the results of theoretical stages disposal and the actual final designs are evaluated by comparing their interrelation, faithfulness, alteration and the effects of the integration of the mine design.

Scenarios generated concludes that define phases with constant REM is technically difficult, requires high investment of time with a product that does not necessarily promise a better comparative business, generates plans with less flexibility, lower and more erratic number of phases in extraction by period and highest economic risk. On the other hand, mineral control contributes positively to the economy of the project, well above the tonnage control, because it ensures an amount of mineral in each phase and plan becomes more robust against imponderables. While the criterion of free REM has less predictable results and no clear trend.

Of the designed stages is concluded that generate several phases contributes positively to the VPN whenever mineral contents are homogeneous, their sizes are not distally different and the design allows its effective operation.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su plena fé en mí y en que sería capaz de salir adelante, incluso cuando más lo dudé...

A mi hermana por su torpe y efectiva manera de apoyarme a salir adelante en estos 6 años...

A mi nanita por sus comiditas y atenciones a la hora que fuera necesario...

A mi novio por sus contactos maravillosos, sus críticas severas, su paciencia, su ayuda y su contención permanente...

A Bruce por su compañía fiel en las largas tardes de trabajo...

Y finalmente a JL Yarmuch por proponerme este tema y por su paciencia para que lo terminara...

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimientos	iii
Tabla de contenido	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tablas	xi
1 Introducción.....	1
1.1 Motivación del trabajo.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivos generales:.....	3
1.2.2 Objetivos específicos:	3
1.3 Alcances.....	3
2 Antecedentes	4
2.1 Antecedentes Bibliográficos	4
2.1.1 Split Shell.....	4
2.1.2 Diseño	8
2.2 Criterios Empíricos.....	11
2.3 Metodología tradicional	13
3 Metodología.....	15
3.1 Selección de volúmenes	15
3.1.1 Criterios y escenarios	15
3.1.2 Optimización y Pit Final.....	17
3.1.3 Generación de Volúmenes	18
3.1.4 Plan Minero	19
3.1.5 Evaluación de Escenarios.....	19
3.2 Diseño.....	21
4 Parte I: Definición de Volúmenes	22
4.1 Modelos de Bloques	22
4.1.1 Modelo BS.....	22
4.1.2 Modelo JS	24

4.2	Optimización	26
4.2.1	Parámetros Económicos	26
4.2.2	Parámetros Productivos	27
4.3	Generación de volúmenes.....	28
4.3.1	Casos resultantes.....	28
4.4	Evaluación.....	29
4.4.1	Planes.....	29
4.4.2	Matriz de Decisión.....	30
4.4.3	Escenarios Finales	31
5	Parte II: Diseño.....	33
5.1	Parámetros de Diseño	33
5.1.1	Parámetros de Diseño Modelo BS.....	33
5.1.2	Parámetros de Diseño Modelo JS.....	33
5.2	Diseño Operativo.....	34
5.2.1	Diseño Operativo Modelo BS.....	34
5.2.2	Diseño Operativo Modelo JS.....	39
5.3	Planes Operativos de Extracción	45
5.3.1	Plan Operativo Modelo BS.....	45
5.3.2	Plan Operativo Modelo JS	47
6	Análisis	49
6.1	Generación de volúmenes de fases	50
6.2	Planes suavizados.....	50
6.3	Diseños y planes operativos.....	53
7	Conclusiones	56
8	Bibliografía.....	58
	Anexo A	59
	“Configuraciones de Fases”	59
	A-1 Configuraciones de Fases Caso BS	59
	A-2 Configuraciones de Fases Caso JS	67
	Anexo B.....	70
	“Tabla Resumen Escenarios”	70

B-1 Escenarios Caso BS.....	70
Control Mineral	70
Control Tonelaje.....	72
B-2 Escenarios Caso JS	75
Control Mineral	75
Control Tonelaje.....	77
Anexo C.....	79
“Planes Whittle Fases No Operativas”	79
C-1 Planes Caso BS	79
C-2 Planes Caso JS	83
Anexo D	86
“N° de Fases Activas y de alimentación en Planes suavizados”	86
D-1 Fases en explotación Planes BS	86
D-2 Fases en explotación Planes JS.....	87
D-3 Gráficos Fases en explotación Planes suavizados	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Diferencia esquemática entre selección convencional de fases y Split Shell.....	5
Figura 2 – Diseño Tradicional de los cortes 2 y 3.....	7
Figura 3 – Diseño con Split Shell de los cortes 2 y 3.....	7
Figura 4 - Elementos del Talud Minero	8
Figura 5 - Rampa Contínua.....	10
Figura 6 - Rampa con Switchback.....	10
Figura 7 – Fases Concéntricas	12
Figura 8 – Fases No Concéntricas	12
Figura 9 - Fases concéntricas y no concéntricas.....	13
Figura 10 - Esquema del Proceso de Planificación Minera.....	14
Figura 11 - Escenarios a evaluar en definición de fases.....	17
Figura 12 - Curva Tonelaje-Ley de Cu de Modelo BS.....	23
Figura 13 – Leyenda de Colores Cu.....	23
Figura 14 – Vista Planta Modelo BS	23
Figura 15 – Vista Perfil Este-Oeste Modelo BS.....	24
Figura 16 – Vista Perfil Norte-Sur Modelo BS.....	24
Figura 17 - Curva Tonelaje-Ley de Cu de Modelo JS.....	25
Figura 18 – Vista Planta Modelo JS.....	25
Figura 19 - Leyenda de colores Cu.	25
Figura 20 - Vista Perfil este-Oeste Modelo JS.....	26
Figura 21 - Vista Perfil Norte-Sur Modelo JS.....	26
Figura 22 – Escenario Teórico BS07	34
Figura 23 - BS07 Modificado con 3 Fases	34
Figura 24 - bs07 Modificado con 4 Fases.....	34
Figura 25 - BS07_Mod 3 Fases_ Fase 1	35
Figura 26 - BS07_Mod 3 Fases_ Fase 2	35
Figura 27 - BS07_Mod 3 Fases_ Fase 3	35
Figura 28 - BS07_Mod 4 Fases_ Fase 1	37
Figura 29 - BS07_Mod 4 Fases_ Fase 2	37

Figura 30 - BS07_Mod 4 Fases_ Fase 3	37
Figura 31 - BS07_Mod 4 Fases_ Fase 4	37
Figura 32 - Escenario Teórico JS01	40
Figura 33 - JS01 Modificado con 3 Fases	40
Figura 34 - JS01 Modificado con 4 Fases	40
Figura 35 - JS01_Mod 3 Fases_ Fase 1.....	41
Figura 36 - JS01_Mod 3 Fases_ Fase 2.....	41
Figura 37 - JS01_Mod 3 Fases_ Fase 3.....	41
Figura 38 - JS01_Mod 4 Fases_ Fase 1.....	43
Figura 39 - JS01_Mod 4 Fases_ Fase 2.....	43
Figura 40 - JS01_Mod 4 Fases_ Fase 3.....	43
Figura 41 - JS01_Mod 4 Fases_ Fase 4.....	43
Figura 42 - BS07_3 Fases, Plan Operativo	45
Figura 43 - BS07_4 Fases, Plan Operativo	46
Figura 44 - JS01_3 Fases, Plan Operativo.....	47
Figura 45 - JS01_4 Fases, Plan Operativo.....	48
Figura 46 - Tablas REsumen de Planes.....	51
Figura 47 – BS01 Vista Superior	59
Figura 48 - BS01 Corte Transversal	59
Figura 49– BS02 Vista Superior	59
Figura 50 - BS02 Corte Transversal.....	59
Figura 51 – BS04 Vista Superior	60
Figura 52 - BS04 Corte Transversal.....	60
Figura 53 – BS05 Vista Superior	60
Figura 54 - BS05 Corte Transversal.....	60
Figura 55 – BS06 Vista Superior	61
Figura 56 - BS06 Corte Transversal.....	61
Figura 57 – BS07 Vista Superior	61
Figura 58 - BS07 Corte Transversal.....	61
Figura 59 – BS08 Vista Superior	62
Figura 60 - BS08 Corte Transversal.....	62

Figura 61 – BS09-BS18 Vista Superior.....	62
Figura 62 - BS09 Corte Transversal.....	62
Figura 63 – BS10 Vista Superior.....	63
Figura 64 - BS10 Corte Transversal.....	63
Figura 65 – BS11 Vista Superior.....	63
Figura 66 - BS11 Corte Transversal.....	63
Figura 67 – BS13 Vista Superior.....	64
Figura 68 - BS13 Corte Transversal.....	64
Figura 69 – BS14 Vista Superior.....	64
Figura 70 - BS14 Corte Transversal.....	64
Figura 71 – BS15 Vista Superior.....	65
Figura 72 - BS15 Corte Transversal.....	65
Figura 73 – BS16 Vista Superior.....	65
Figura 74 - BS16 Corte Transversal.....	65
Figura 75 – BS17 Vista Superior.....	66
Figura 76 - BS17 Corte Transversal.....	66
Figura 77 – JS01 Vista Superior.....	67
Figura 78 - JS01 Corte Transversal.....	67
Figura 79 - JS04 Vista Superior.....	67
Figura 80 - JS04 Corte Transversal.....	67
Figura 81 - JS06 Vista Superior.....	67
Figura 82 - JS06 Corte Transversal.....	67
Figura 83 - JS07 Vista Superior.....	68
Figura 84 - JS07 Corte Transversal.....	68
Figura 85 - JS09 Vista Superior.....	68
Figura 86 - JS08 Corte Transversal.....	68
Figura 87 - JS10 Vista Superior.....	68
Figura 88 - JS10 Corte Transversal.....	68
Figura 89- JS11 Vista Superior.....	68
Figura 90 - JS11 Corte Transversal.....	68
Figura 91- JS14 Vista Superior.....	69

Figura 92 - JS14 Corte Transversal	69
Figura 93 - JS15 Vista Superior	69
Figura 94 - JS15 Corte Transversal	69
Figura 95 - JS16 Vista Superior	69
Figura 96 - JS16 Corte Transversal	69
Figura 97 - JS18 Vista Superior	69
Figura 98 - JS18 Corte Transversal	69
Figura 99 - Fases en explotación BS	¡Error! Marcador no definido.
Figura 100 - Fases en explotación JS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Números de identificación de escenarios	17
Tabla 2 - Matriz de decisión tipo	20
Tabla 3 - Calificaciones para matriz de Decisión.....	20
Tabla 4 – Dimensiones Modelo BS.....	22
Tabla 5 - Recursos Totales Modelo BS.....	22
Tabla 6 –Dimensiones Modelo JS.....	24
Tabla 7 - Recursos Totales Modelo JS	25
Tabla 8 - Parámetros Mina Modelo BS.....	26
Tabla 9 - Parámetros Económicos Modelo BS	26
Tabla 10 - Parámetros Mina Modelo JS.....	27
Tabla 11 - Parámetros Económicos Modelo JS	27
Tabla 12 - Simbología.....	28
Tabla 13 - Diagnóstico de Casos Resultantes Modelo BS.....	28
Tabla 14 - Diagnóstico Casos Resultantes Modelo JS.....	29
Tabla 15 - Resumen VAN Planes BS	30
Tabla 16 - Resumen VAN Planes JS	30
Tabla 17 - Matriz de Decisión Modelo BS	31
Tabla 18 – Matriz de decisión Modelo JS	31
Tabla 19 - Escenarios a Diseñar	32
Tabla 20 - Resumen Escenario Seleccionado mod. BS.....	32
Tabla 21 - Resumen Escenario Seleccionado mod. JS	32
Tabla 22 - Parámetros de Diseño Modelo BS	33
Tabla 23 - Parámetros de Diseño Modelo JS.....	33
Tabla 24 - Cubicación Fases BS07_ 3 Fases	35
Tabla 25 - Comparación Escenario Original v/s Diseño BS07_3F.....	36
Tabla 26 - Cubicación Fases BS07_ 4 Fases	37
Tabla 27 - Comparación Escenario Original v/s Diseño BS07_4F.....	38
Tabla 28 - Cubicación JS01_3F, Operativo.....	41
Tabla 29 - Comparación Escenario Original v/s Diseño JS01_3F.....	42

Tabla 30 - Cubicación JS01_4F, Operativo.....	43
Tabla 31- Comparación Escenario Original v/s Diseño JS01_3F.....	44
Tabla 32- Movimiento anual Plan BS07_3F.....	45
Tabla 33 – Resumen Plan BS07_3F.....	45
Tabla 34 - Movimiento anual plan BS07_4F.....	46
Tabla 35 - Resumen Plan BS07_4F.....	46
Tabla 36 - Movimiento Anual Plan JS01_3F.....	47
Tabla 37 - Resumen Plan JS01_3F.....	47
Tabla 38 - Movimiento Anual Plan JS01_4F.....	48
Tabla 39 - Resumen Plan JS01_4F.....	48
Tabla 40 - Resumen Diseños y planes operativos BS.....	53
Tabla 41 - Resumen diseños y planes operativos JS.....	55
Tabla 42 - Tabla Resumen Escenario BS01.....	70
Tabla 43 - Tabla Resumen Escenario BS02.....	70
Tabla 44 - Tabla Resumen Escenario BS04.....	70
Tabla 45 - Tabla Resumen Escenario BS05.....	71
Tabla 46 - Tabla Resumen Escenario BS06.....	71
Tabla 47 - Tabla Resumen Escenario BS07.....	71
Tabla 48 - Tabla Resumen Escenario BS08.....	71
Tabla 49 - Tabla Resumen Escenario BS09.....	72
Tabla 50 - Tabla Resumen Escenario BS10.....	72
Tabla 51 - Tabla Resumen Escenario BS11.....	72
Tabla 52 - Tabla Resumen Escenario BS13.....	73
Tabla 53 - Tabla Resumen Escenario BS14.....	73
Tabla 54 - Tabla Resumen Escenario BS15.....	73
Tabla 55 - Tabla Resumen Escenario BS16.....	73
Tabla 56 - Tabla Resumen Escenario BS17.....	74
Tabla 57 - Tabla Resumen Escenario BS18.....	74
Tabla 58 – Tabla Resumen Escenario JS01.....	75
Tabla 59 - Tabla Resumen Escenario JS02.....	75
Tabla 60 - Tabla Resumen Escenario JS04.....	75

Tabla 61 - Tabla Resumen Escenario JS05.....	75
Tabla 62 - Tabla Resumen Escenario JS06.....	76
Tabla 63 - Tabla Resumen Escenario JS07.....	76
Tabla 64 - Tabla Resumen Escenario JS08.....	76
Tabla 65 - Tabla Resumen Escenario JS09.....	76
Tabla 66 - Tabla Resumen Escenario JS10.....	77
Tabla 67 - Tabla Resumen Escenario JS11.....	77
Tabla 68 - Tabla Resumen Escenario JS13.....	77
Tabla 69 - Tabla Resumen Escenario JS14.....	77
Tabla 70 - Tabla Resumen Escenario JS15.....	78
Tabla 71 - Tabla Resumen Escenario JS16.....	78
Tabla 72 - Tabla Resumen Escenario JS17.....	78
Tabla 73 - Tabla Resumen Escenario JS18.....	78
Tabla 74 - Fases en explotación BS01 a BS06	86
Tabla 75 - Fases en explotación BS07 a BS011	86
Tabla 76 - Fases en explotación BS13 a BS18	87
Tabla 77 - Fases en explotación JS01 a JS09.....	87
Tabla 78 - Fases en explotación JS10 a JS18.....	87

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

Con el avance de la informática, se han logrado altos niveles de optimización de los procesos de decisión involucrados en el área de planificación minera gracias al desarrollo de softwares que permiten programar procesos iterativos capaces de evaluar un mayor número de escenarios, mejorando la información disponible para la toma de decisiones.

Sin embargo estas herramientas poseen limitaciones respecto a la gran cantidad de variables involucradas en el proceso de planificación y diseño minero y la particularidad asociada a cada proyecto respecto a la ubicación, mineralogía, tipo de roca, geotecnia, etc. que hacen imposible la obtención de un resultado aplicable directamente a terreno. Por lo tanto se vuelve indispensable la intervención del planificador como un medio para integrar aquellos factores que escapan al alcance de un algoritmo optimizador y así poder llevar los proyectos del papel a la realidad.

Esta intervención del planificador se traduce en la aplicación de criterios de decisión que surgen desde distintos orígenes como pueden ser la experiencia particular del profesional en proyectos, el modelo y lineamientos de la empresa, grado de confianza en los optimizadores, entre otros, lo cual implica introducir un importante grado de subjetividad en una etapa temprana del proyecto.

La metodología tradicional de definición de pit final y fases en minería de cielo abierto consiste básicamente en la utilización de softwares de optimización que buscan generar secuenciamientos de una envolvente económica, como Whittle de Gemcom por ejemplo que genera pits anidados a partir de la aplicación de factores multiplicativos de precio cuyo resultado es la generación de envolventes de isobeneficio económicamente óptimas para su extracción. A partir de dicha información se determinan los pushbacks correspondientes a las fases que serán finalmente diseñadas y operativizadas.

Respecto a los procesos de optimización para definición de pit final, métodos de secuenciamiento de fases, parámetros de diseño, procedimientos a seguir para lograr un buen diseño y consideraciones operacionales típicas existe vasta documentación y amplias recomendaciones para su realización, sin embargo se identifica un vacío de información en cuanto a los criterios que pueden ser aplicados al momento de seleccionar el volumen y geometría de las fases a diseñar a partir de los escenarios disponibles. Aumenta la inquietud en el tema al considerar que algoritmos de definición de pit final como el de *Lersch & Grossman*, no consideran factores importantes como el tiempo o condiciones operacionales de manera que la definición de fases basada puramente en estos algoritmos ya arrastran un grado de error, y por lo tanto de riesgo importante.

El proceso de definición de fases se realiza dentro de todo proyecto de rajo y por lo general supone ser información confidencial de las empresas, tanto mineras como consultoras, de manera que no se realiza registro público de sus resultados ni se conocen instructivos respecto a los objetivos que persigue la aplicación de un criterio u otro. Por otra parte muchas veces las decisiones consideran lo que se conoce como “reglas de dedo”, es decir recomendaciones divulgadas de manera no oficial, sin respaldo científico aparente o análisis escrito, por lo tanto con incerteza de sus efectos sobre un determinado escenario de trabajo o sus posibles resultados. Algunos de estos criterios típicos utilizados en la industria son, por ejemplo, seleccionar fases con REM constante, fases que cumplan con mantener una alimentación a planta fija por un periodo de tiempo determinado, fases que contengan cierto comportamiento de leyes, entre otras. Sin embargo no hay acuerdo ni registro del por qué, cuándo o cómo utilizar esta información, más que la realización de pruebas puntuales o de ensayo y error.

La intervención subjetiva del planificador junto con la falta de lineamientos teóricos oficiales en el proceso de definición de fases da lugar a incertidumbre, posible aplicación de criterios inapropiados, repetición innecesaria de ejercicios previamente realizados por no contar con registros de información, desaprovechamiento del tiempo de estudio y aumento de las fuentes de error por desconocimiento. Es así que surge el interés por estudiar y analizar el desempeño que tiene la aplicación de ciertos criterios de selección de fase en el proceso de planificación minera.

En una segunda parte, luego de dilucidar una buena decisión de definición de fases, el éxito de ésta se encuentra en gran parte condicionado por el diseño a realizar, la geometría de la fase optimizada, su tamaño y los parámetros de diseño pertinentes, pero también por la factibilidad de llevar las fases preliminares a diseños operativos y funcionales con alto grado de similitud. Aquí entonces se pueden aplicar estrategias de diseño que permiten alcanzar distintos niveles de conectividad y espacio operacional cuyos efectos sobre los tiempos de ciclo del sistema de transporte de material y el plan no son despreciables, pudiendo tener repercusiones determinantes en el futuro del proyecto.

Una buena configuración de fases puede perder su carácter de beneficio si su conexión resulta dificultosa, interrumpida, termina en un sistema de acarreo ineficiente, no se generan los espacios de operación suficientes en cada periodo o el mineral no alumbró a tiempo. Es así que al integrar el diseño se debe buscar conciliar la configuración definida de fases con las condiciones operacionales necesarias para permitir una extracción eficiente, lo cual muchas veces puede tornarse un objetivo difícil de alcanzar.

De manera general, el presente trabajo busca estudiar el comportamiento que tienen estos criterios utilizados de manera típica y, a veces, sin respaldo suficiente en la literatura, analizar los resultados de su aplicación y finalmente evaluar el efecto de la integración del diseño en la planificación.

Dada la mínima documentación existente respecto al tema, el trabajo se considera como un aporte a la bibliografía en el ámbito de definición de fases en Planificación Minera.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *OBJETIVOS GENERALES:*

- Estudiar el impacto de la aplicación de criterios de definición de fases y de diseño en la planificación de minas a cielo abierto, usuales en la industria.

1.2.2 *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- Comparación del desempeño de distintos criterios de selección de volúmenes/fases en open pit.
- Generación de planes mineros como medio de comparación de los criterios aplicados.
- Definición y aplicación de estrategias de diseño.
- Diseño de fases y comparación de su efectividad para los escenarios escogidos.
- Identificación de condiciones favorables para la aplicación de los distintos criterios de diseño.
- Estudio del efecto de la decisión de selección de fases en la planificación minera.
- Generación de documentación en el tema.

1.3 ALCANCES

- Realización de diseños y planes de largo plazo.
- Aplicación de estrategias comúnmente utilizadas en la industria.
- Los planes serán realizados mediante software optimizadores a nivel fase/banco,
- Evaluación principalmente cualitativa de fortalezas y debilidades de cada alternativa.
- Análisis de comportamiento de criterios para 2 casos bases, con diferente geometría.
- Evaluación sin compromiso de entrega de una guía de toma de decisiones, sino más bien tiene un fin comparativo y evaluativo que puede culminar en la entrega de recomendaciones o limitaciones para cada criterio, como incluso la conclusión de que no existan patrones a seguir, constituye un resultado.
- Los planes cuentan como una herramienta de observación y decisión, su ejecución no es parte del análisis.
- Los planes son realizados bajo un mismo algoritmo de optimización buscando minimizar la intervención subjetiva.
- El análisis y los inputs se emarcan en un nivel de estudio de Scoping study.

2 ANTECEDENTES

Se identifican dos fuentes principales de información respecto al tema en cuestión, la primera se refiere principalmente a papers y publicaciones científicas del ámbito minero, mientras la segunda corresponde a la experiencia que deriva en criterios típicos y “reglas de dedo” utilizados comúnmente en la industria.

A continuación se describen los antecedentes más relevantes para el desarrollo del trabajo.

2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En los registros escritos es posible encontrar una serie de recomendaciones enfocadas principalmente al diseño de minas a cielo abierto¹ y los parámetros cuya variación tienen mayor incidencia en la economía de los proyectos, el riesgo² y la seguridad operacional. Sin embargo no existe mayor información respecto al proceso de toma de decisiones que tiene lugar antes de la etapa de diseño, en particular la etapa de definición de pushbacks y volúmenes de fases. En cuanto a esto último, se encontró escueta información y el hallazgo más relevante se asocia al concepto “Split Shell”.

2.1.1 SPLIT SHELL

El concepto de “Split Shell”³ surge a partir del complejo escenario que se genera a lo largo de la explotación de yacimientos cuya geometría privilegia la generación de pits anidados concéntricos. Con la profundización, las fases concéntricas involucran altas razones estéril-mineral en etapas tempranas de la vida de la mina y mayores costos de extracción, junto con la aparición de interferencias operacionales que afectan directamente la productividad de la faena, como congestión en áreas de trabajo, baja flexibilidad, obstrucción en los accesos de mineral, etc.

El Split Shell consiste básicamente en la división del pit anidado a lo largo de un eje, creando dos pushbacks, uniendo las mitades opuestas de cada diseño.

El beneficio directo del diseño con Split Shell es que permite diferir la extracción de estéril a años posteriores de explotación. Además tiene ventajas operacionales como:

¹ ANDREW WETHERELT AND KLAAS PETER VAN DEL WIELSEN. SME Mining Engineering Handbook. *Introduction to Open-Pit Mining. Chapter 10.1.*

² Mr T D SULLIVAN. *Pit slope design and risk – A view of the current state of the art.*

³ M.S. GALLAGER AND R.M KEAR, 2001. SPLIT SHELL OPEN PIT DESIGN CONCEPT APPLIED AL DE BEERS VENETIA MINA SOUTH AFRICA USING THE WHITTLE AND GEMCOM *software.*

- Despeje de las rutas de transporte de mineral debido a que la extracción de estéril tiene lugar en el lado opuesto de del pit.
- Reducción del derrame de estéril en los accesos de mineral.
- Mejora de la eficiencia operativa, debido a una menor congestión de los equipos en las áreas de trabajo.
- Mayor flexibilidad en las operaciones y futuras planificaciones, ya que el pit minado se divide y no se está explotando completo a la vez.
- Reducción del Plan de recuperación del negocio (BRP).
- Reducción del perfil de tonelaje de estéril gracias a la división del corte minado y, por lo tanto, del capital y costos de operación.

2.1.1.1 Definición de pushbacks

El diseño de Spli Shell no altera significativamente el tamaño del pit final ni reduce el total de toneladas minadas, más bien implica una reprogramación de las fases o de los pushbacks, como se muestra en Figura 1.

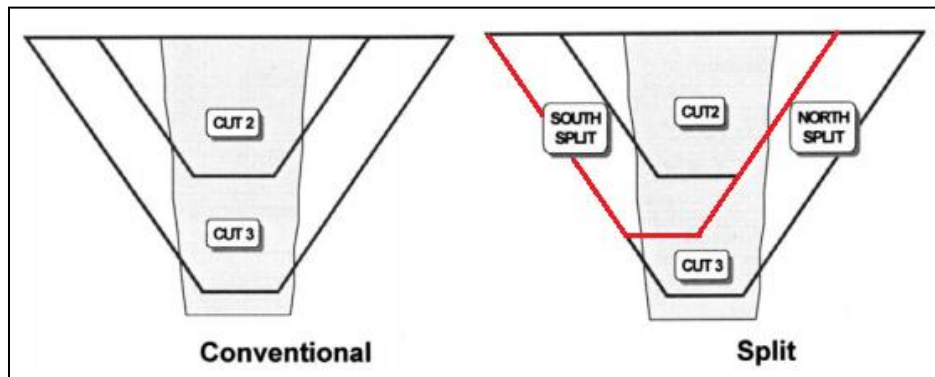


FIGURA 1 - DIFERENCIA ESQUEMÁTICA ENTRE SELECCIÓN CONVENCIONAL DE FASES Y SPLIT SHELL

La distancia entre pushbacks se determina de acuerdo a un número de factores tales como el tamaño de los equipos, la profundidad final, la tasa de producción, la geometría del sistema de rampas, la confianza del mercado, etc y es un riesgo calculado que el equipo de gestión debe tomar. Estos factores necesitan ser considerados al determinar el tamaño y el eje de división. El Split shell presenta oportunidades para atacar las zonas de mayor ley mientras se aplaza la extracción de estéril, que a su vez remite costo y puede adelantar los ingresos. Una vez que los cortes han comenzado su explotación, se ha comprometido el minado de todo ese corte, ya que se requerirán inversiones de capital e infraestructura para mantener la producción durante la vida de ese corte particular. En otras palabras, los costos pueden ser hundidos por adelantado. En la minería concéntrica, el capital, la infraestructura y el tiempo comprometido es prácticamente el doble que de una split shell, por su distribución en el tiempo.

2.1.1.2 Diseño de rampas

La configuración de rampas es uno de los factores críticos a determinar para el éxito del diseño con split shell. Una vez que se ha decidido el eje de división correcto, las rampas tienen que ser configuradas de manera tal que los puntos de intersección sean establecidos en los bordes del eje de división, y que efectivamente constituyan puntos de transición. Durante la extracción de un primer corte, estos puntos de transición de rampa tomarán la forma de switchbacks, y aunque se reducirán poco los tiempos de ciclo de camiones, los beneficios económicos derivados de diferir la extracción de estéril son muy superiores a las ineficiencias del ciclo de transporte. Cuando se extraiga el segundo corte, los sistemas de rampa se fusionarán para formar un sistema de rampa común, ya que fueron diseñados originalmente como una en todo en el corte final antes de la división. Todo esto a su vez se encuentra supeditado al cumplimiento de restricciones geomecánicas propias del yacimiento.

2.1.1.3 Caso de estudio

Este concepto de diseño fue aplicado en la mina De Beers Venetia Mine en Sudáfrica que consiste básicamente en tres pits (o cortes) paralelos con geometría concéntrica. La primera fase fue diseñada bajo el concepto tradicional de diseño con envolventes concéntricas y se encontraba en operación, mientras para las dos futuras fases se integró el concepto de Split Shell, por lo tanto fue necesario modificar el sistema de rampas diseñado previamente. La metodología de aplicación y sus resultados se hicieron públicos en un paper, lo que permite obtener una referencia los posibles beneficios de su utilización.

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos luego de la adopción del concepto de Split Shell en la mina.

Respecto al diseño de rampas, fue necesario modificar el diseño original, integrando switchbacks, plataformas y rampas adicionales para conectar los nuevos cortes generados. En Figura 2 se muestra el diseño tradicional y sobre ella se observa una línea azul que representa el eje de división seleccionado, y en Figura 3 se muestra el diseño final obtenido para la aplicación de Split Shell donde se indican los switchbacks y rampas adicionales en cada corte.

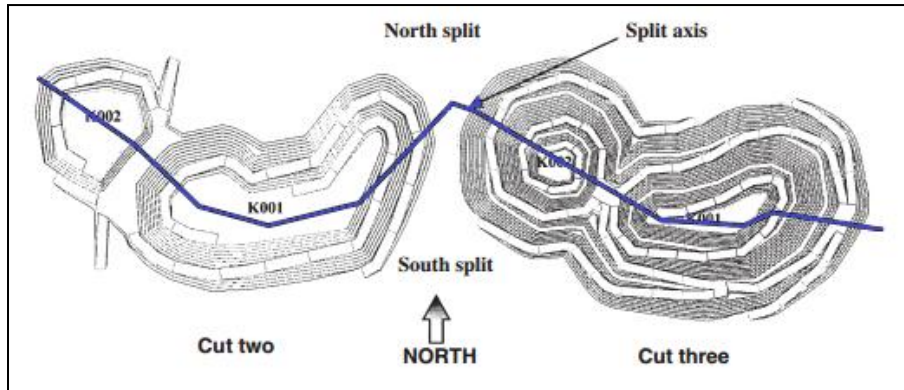


FIGURA 2 – DISEÑO TRADICIONAL DE LOS CORTES 2 Y 3

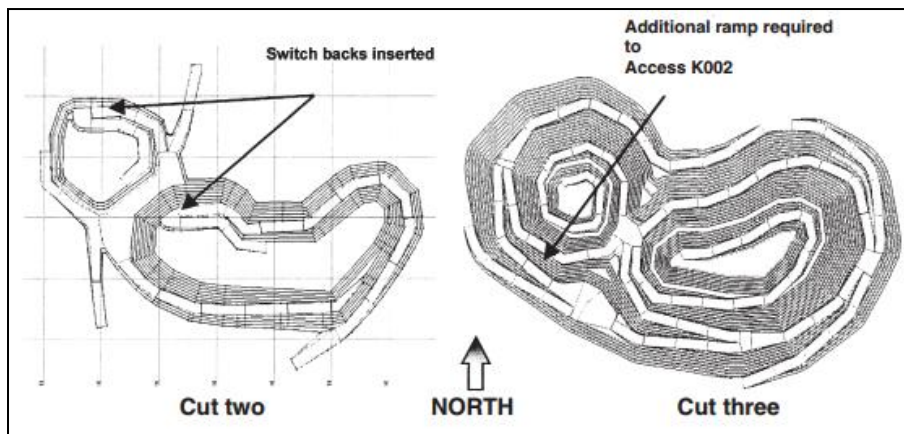


FIGURA 3 – DISEÑO CON SPLIT SHELL DE LOS CORTES 2 Y 3

Con la aplicación de este diseño se obtuvieron los siguientes resultados:

- Reducción de los gastos de capital y de operación de la mina Venetia en 1999 en aproximadamente un 25%.
- Reducción de la flota de transporte de los próximos 5 años en un 30%
- Mejora del VAN de un pushback en aproximadamente 8%.
- A través de un proceso iterativo, la tasa de extracción máxima se redujo de 32 Mton, según era necesario en el plan concéntrico 1998, a Mton anuales.
- El estéril contenido en los pits de producción se aplazó hasta los últimos años de la vida de la mina. Esta reducción de movimiento de material redujo los gastos de capital (camiones y palas), costos de operación y la optimización de equipos, proporcionando un plan con tonelaje constante durante más tiempo.
- Todos estos factores mejoraron la viabilidad del plan y, finalmente, su economía.
- La planificación posterior, centrándose en un principio de maximización del VAN, mostró que el diseño de split shell permitió la elaboración de perfiles de ley en el que los ingresos se adelantan, mejorando aún más el VAN del proyecto.

2.1.2 DISEÑO

A continuación se presentan los principales conceptos asociados al diseño de fases.

2.1.2.1 Talud Minero

En temas de diseño se pueden encontrar en la literatura una serie de recomendaciones, herramientas y criterios a considerar, junto a la mención a los parámetros de diseño que tienen mayor influencia en la economía de un proyecto y sus valores típicos.

Son muchos los factores que determinan el tamaño y forma de un rajo, los cuales deben ser correctamente entendidos y utilizados en el proceso de planificación y la importancia de cada uno de ellos dependerá del proyecto en particular. Se pueden considerar como ítems claves que afectan el diseño del pit: geología, ley y ubicación de la mineralización, tamaño, tipografía, tasas de producción, altura de banco, talud, inclinación de caminos, costos mina y de proceso. Entre las principales recuperaciones, condiciones de mercado, REM, y leyes de corte.

La siguiente figura muestra los elementos principales de un talud minero.

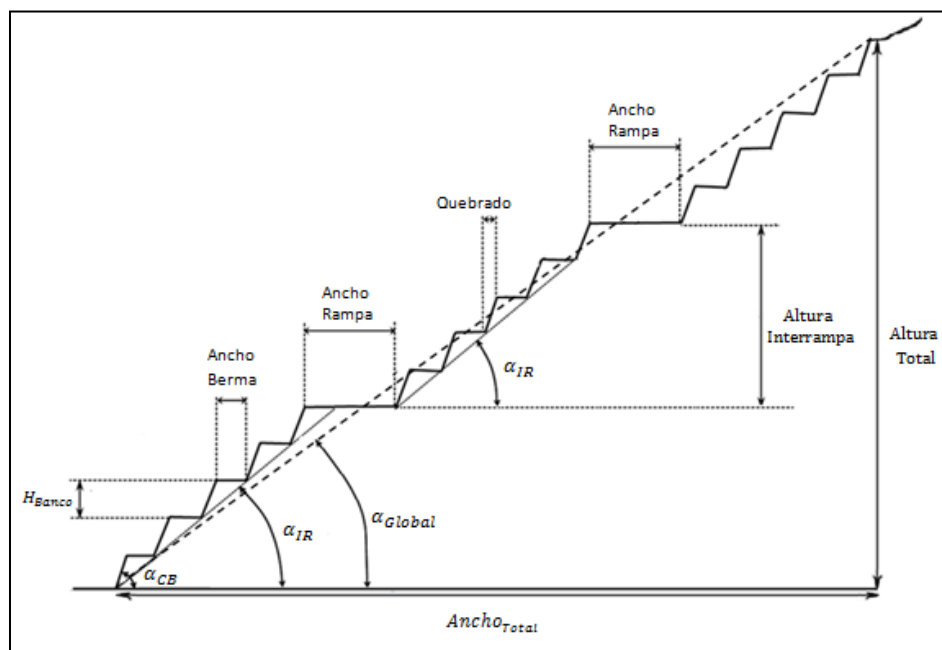


FIGURA 4 - ELEMENTOS DEL TALUD MINERO

A continuación se describen algunos de los elementos del talud minero.

- Inclinación del talud: Es uno de los elementos que más afecta el tamaño y forma del pit. Este depende de factores como la resistencia de la roca, la presencia de fallas, la presencia de agua, entre otros y puede ser fijado como un valor único o también, si se tiene mayor detalle de información geotécnica, se puede fijar un valor

dependiente del tipo de roca, la orientación y elevación. Este ángulo debe ser lo más vertical posible con tal de minimizar la REM del pit.⁴

- Ángulo global efectivo: Una vez realizado el diseño, corresponde al ángulo generado entre la pata del banco en el fondo del pit y la cresta del primer banco en superficie respecto a la horizontal. Su valor dependerá del ángulo interrampa del diseño, el número de catch-berms utilizado y el sistema de rampas y su valor típico oscila entre 37° y 48°.
- Ángulo Interrampa: Corresponde a un input de diseño dado por geotecnia. Es el ángulo generado por el paquete de bancos situado entre las rampas o catch-berms, se mide pata a pata de los bancos, su valor depende solo de ancho de berma y el ángulo cara de banco, moviéndose entre los 40° y 65°.
- Ángulo cara de banco: Generado entre la línea de proyección pata-cresta del mismo banco y la horizontal. También constituye un input de diseño entregado por geomecánica. Depende de las características de la roca y calidad del macizo rocoso. Su valor típico oscila entre 65° y 80°.
- Altura de banco: Depende de las características físicas del depósito, el nivel de selectividad requerido, la producción y el tamaño de los equipos y las condiciones climáticas. La altura de banco para operaciones medianas suele estar alrededor de los 15m.¹
- Berma: Se encuentran las bermas activas e inactivas, la primera corresponde a aquellas que se encuentran en proceso de excavación mientras las segundas son los remanentes de áreas de trabajo anteriores y dejadas para mantener la estabilidad del rajo. Entre las bermas inactivas se dejan las conocidas “catchberms”, utilizadas para frenar derrames de material y proteger las áreas de trabajo activas. Las bermas inactivas suelen tener anchos entre 3 y 5 metros, pero dependerá también de la altura global de banco en el pit.¹
- Áreas de trabajo: Deben ser al menos lo suficientemente anchas para acomodar el radio de giro del camión más grande, más un ancho de seguridad y su ancho puede variar desde 30 m a varios cientos de metros.¹

⁴ DAVID ARMSTRONG. *Definition of Mining Parameters. Planning and Design of Surface Mines. Chapter 5.1 and Chapter 5.2.*

2.1.2.2 Sistemas de Rampaje

Es un elemento clave del diseño pues constituyen las vías de acceso a las áreas de trabajo y transporte de materiales. Un diseño inadecuado puede tener efectos perjudiciales en la operación como disminución de la vida útil de camiones y neumáticos, pérdidas de productividad, mayor integración de estéril y generación excesiva de polvo. Por otra parte, estadísticas provistas por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos muestra que el diseño de caminos es responsable del 20% de las pérdidas de tiempo y 42% de las fatalidades en minas superficiales¹. De esta manera es posible obtener una performance óptima de las vías de transporte solo si se logran integrar conceptos geométricos, estructurales y funcionales como la adopción de buenas estrategias de gestión y mantenimiento.

Las vías de transporte suelen ser entre 3-3.5 y entre 3.5 y 4 veces más anchas que el tamaño del camión más grande para caminos doble vía rectos y en curva respectivamente. Así el ancho de caminos de doble vía es de 20 a 35m. En caminos de una sola vías, anchos de 2 a 2.5 veces el tamaño del camión más grande suelen ser suficientes.¹

De acuerdo a su diseño, las rampas pueden ser continuas a lo largo de la pared de un pit, o pueden estar compuestas por secuencias de switchbacks. Las rampas continuas tienen menores efectos sobre el ángulo global del rajo y dada su geometría suelen permitir una velocidad de transporte más constante y mejores tiempos de ciclo, pero a su vez suelen constituir un único acceso quitando flexibilidad y seguridad al diseño. Por su parte, los switchbacks pueden presentar algunas desventajas como por ejemplo: aumenta los tiempos de ciclo ya que introducen una curva al camino de transporte lo que obliga a los equipos a disminuir la velocidad en dichos tramos; al entrar un banco más en la pared del pit, generan mayor disminución del ángulo global y por ende adicionan mayor cantidad de estéril. Pero dependiendo de las características del depósito, también pueden introducir mayor flexibilidad a la operación y generar mejores accesos.

En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de rampa continua y con switchback.

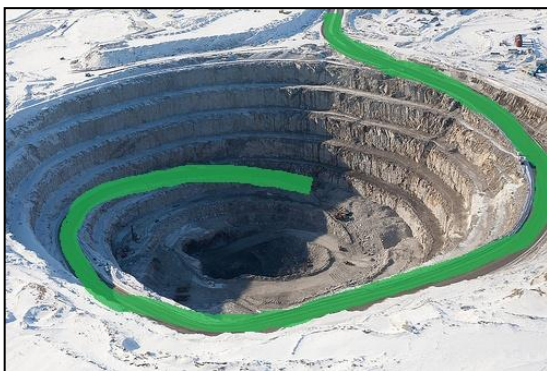


FIGURA 5 - RAMPA CONTÍNUA



FIGURA 6 - RAMPA CON SWITCHBACK

Como en varios aspectos de la ingeniería, la metodología de diseño se centra en heurísticas o regla de dedo. Los algoritmos son usados para algunos elementos del proceso de diseño, pero no hay un algoritmo capaz de realizar completamente el diseño de taludes. El proceso está basado en observaciones cuantitativas de un muy pequeño porcentaje de pruebas, por lo que hay siempre incertezas y gaps en el conocimiento. A esto se suma que para el diseño de taludes por lo general se requiere de aun bien nivel de información y de experiencia para calcular o estimar su comportamiento, por lo tanto se convierte en un componente de riesgo en el negocio.²

Lograr un diseño óptimo es un compromiso entre un talud lo suficientemente inclinado para ser económico y lo suficientemente acostado para ser seguro (*Hoek and Bray, 1981*). Un cambio en el ángulo de talud se asocia directamente con la proporción de tonelaje de estéril, por ejemplo un decrecimiento de 5° en ángulo global, para una operación con equipos de tamaño mediano, podría resultar en un aumento de los costos de un 20%

2.2 CRITERIOS EMPÍRICOS

Como se mencionó anteriormente, el proceso de definición da fases en rajo abierto suele ser de carácter privado y particular de cada proyecto de manera que sus evaluaciones y resultados rara vez son registrados o puestos a disposición pública. En consecuencia se procede a rescatar algunos de los criterios típicos utilizados en la industria para definir fases en rajo, y enseñados también a nivel del aula, los que muchas veces suelen corresponder a las conocidas “reglas de dedo”.

A continuación se mencionan algunos de los criterios más utilizados:

- Tiempo de alimentación a planta: Se busca generar volúmenes de fases cuyo contenido de mineral sea equivalente a un tonelaje capaz de alimentar a la planta durante un periodo de tiempo determinado, que suele ser de uno o un par de años. Este criterio puede responder, por ejemplo, a que cada unidad operativa sea capaz de mantener el nivel de procesamiento por sí sola ante posibles eventualidades en las otras fases. Dependiendo de la geometría de la mineralización, el cumplimiento de este criterio puede implicar la generación de fases cuyos tonelajes de estéril asociado y distribución del material dificulten lograr la aparición oportuna de mineral o involucren picks de movimiento de material que adelanten inversiones
- Tiempo de explotación de la fase: Generación de fases cuyo tonelaje total contenido (mineral más estéril) sea equivalente a la capacidad de movimiento mina para un periodo de tiempo determinado. Esto puede responder a tener una vida de fase equivalente al horizonte de modificación de flotas de equipos (periodo no menor a un año).

- **REM constante:** Consiste en definir volúmenes de fases cuyo tonelaje de estéril y de mineral mantengan una relación constante. Este criterio se sustentaría en que permite trabajar con una REM más estable en todos los periodos, lo que permitiría generar un perfil de equipos equilibrado en el tiempo. No obstante, la extracción de un yacimiento se suele realizar con varias frentes de explotación simultáneas asociadas a más de una fase, ya que los trabajos deben asegurar la disponibilidad de mineral expuesto para mantener la alimentación a planta. Por lo tanto los planes se desarrollan teniendo en explotación más de una fase a la vez, ya sea por fases activas en extracción o de preparación para exponer mineral, y por consiguiente la relación estéril-mineral que controla el perfil de equipos no depende únicamente de la REM de la fase, sino que también se asocia al plan de producción.
- **REM creciente:** Definir fases secuenciales con un régimen de aumento constante de la REM implicaría una menor remoción de material en los primeros periodos de explotación, postergando el estéril hacia los años finales y sus consecuentes costos, lo cual en términos de balance de costos resulta atractivo. Sin embargo, se debe considerar el perfil de la flota de equipos requeridos en cada periodo, el cual puede ir en constante aumento requiriendo de inversiones tardías en los últimos periodos de explotación donde la utilización del equipo no alcanza su depreciación o aumentando el costo del mineral remanente.

Una vez obtenidos los pits anidados de Whittle, estos corresponden a envolventes suavizadas no operativas y por lo tanto a pesar de que los pushbacks sean seleccionados buscando mantener distancias operativas entre ellos, la integración de rampas, accesos, conexiones y bancos puede alterar la geometría del cono efectivamente diseñado teniendo por consecuencia que estos anchos operacionales no se logren, obligando a modificar la geometría de las fases respecto a sus tamaños, fusionando o llevando sectores a pared final.

Un ejemplo muy simple de esto se muestra en las Figuras 7, 8 y 9.

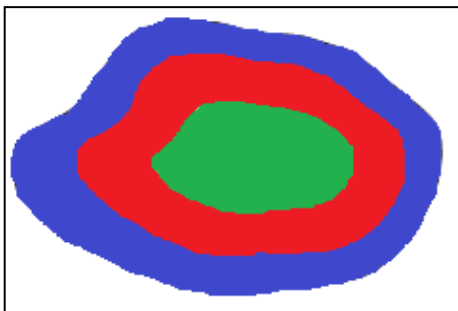


FIGURA 7 – FASES CONCÉNTRICAS

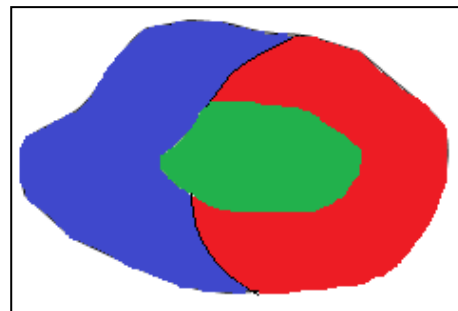


FIGURA 8 – FASES NO CONCÉNTRICAS

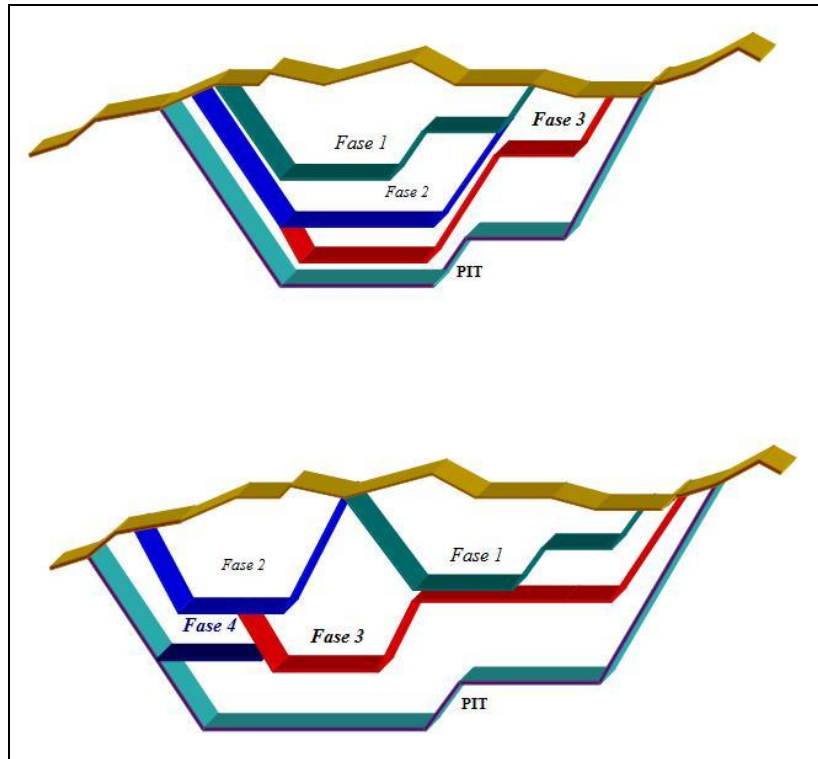


FIGURA 9 - FASES CONCÉNTRICAS Y NO CONCÉNTRICAS

2.3 METODOLOGÍA TRADICIONAL

El proceso de planificación minera consiste en una sucesión de etapas que serán descritas muy brevemente a continuación.

A partir de la información obtenida de las campañas de sondajes de un yacimiento se genera un modelo de recursos representado en un modelo de bloques. Posteriormente se definen los parámetros económicos a utilizar en el proyecto, que son representativos del escenario en que se desarrollará el negocio y constituyen cifras de largo plazo. La combinación de la información anterior es procesada en softwares de optimización, como por ejemplo Whittle® de GemCom que obtiene pits anidados económicamente sustentables mediante la aplicación de factores multiplicadores del precio. De acuerdo al beneficio acumulado, estabilidad y riesgo asociado a cada pit y a los parámetros operacionales preliminares, se define el pit final económico y la selección de volúmenes de fases de extracción. A continuación se realiza el diseño de las fases operativas donde se adicionan los caminos, sistemas de rampaje, bermas, plataformas, entre otros, para así generar el plan minero definitivo con el cual se realizan los dimensionamientos de equipos y la evaluación económica del proyecto.

La metodología tradicional para el proceso de planificación y diseño minero se representa en el siguiente esquema:



FIGURA 10 - ESQUEMA DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN MINERA

Cada etapa indicada anteriormente y sus pasos intermedios pueden ser ampliamente descritos respecto a su realización. Si bien existen distintos métodos para crear secuencias de fases, el paso desde la generación de pits anidados a la definición de fases definitivas no tiene mayor respaldo teórico y su determinación responde más bien a la observación y evaluación de un mínimo número de escenarios probados. Además la decisión de definir fases a partir de pits anidados puede ser cuestionable considerando que son obtenidos a partir de algoritmos que tienen importantes deficiencias en su aplicación. En el caso particular del software Whittle®, éste realiza la optimización mediante el algoritmo de *Lersch y Grossman* el cual no considera parámetros operacionales ni la temporalidad, lo que se traduce en la omisión del cómo se extraen los bloques, del valor del dinero en el tiempo y del momento de extracción de cada bloque. En conclusión, las herramientas computacionales solo constituyen un apoyo en el proceso de planificación minera, lo que vuelve inevitable la aplicación de criterios mediante la intervención del planificador.

3 METODOLOGÍA

El trabajo se divide en dos partes principales, la primera concierne a la definición de volúmenes de fases de acuerdo a los distintos criterios a considerar, y una segunda parte relativa a opciones de diseño para el mejor caso seleccionado en la primera parte.

Con el objetivo de generalizar y extender los resultados del estudio, la metodología se aplica a dos yacimientos con diferentes geometrías, así se podrá observar de mejor manera el comportamiento que los criterios a evaluar pueden adoptar ante distintas condiciones.

Ambos yacimientos corresponden a casos reales y serán evaluados bajo parámetros técnico-económicos asociados a las propiedades y características del proyecto.

El estudio se basa en la utilización de herramientas de optimización para la obtención de pits anidados cuyos resultados, en caso de ser necesario, pueden ser modificados manualmente con el objetivo de poder construir los escenarios que representan a cada grupo de criterios de selección que se desean evaluar.

Los principales softwares a utilizar corresponden al optimizador Whittle de Gemcom y el software de diseño y planificación Vulcan de Maptek.

3.1 SELECCIÓN DE VOLÚMENES

Para cada yacimiento se crearán distintos escenarios cuyas fases seleccionadas buscan cumplir distintos targets, de esta manera cada escenario tendrá una configuración de fases diferente.

3.1.1 CRITERIOS Y ESCENARIOS

A continuación se detallan los criterios que controlarán la definición de fases y que por lo tanto darán lugar a los distintos escenarios de evaluación.

- 1) Control de tamaño de la Fase: Se tienen dos casos.
 - Control de Tonelaje de Mineral: Se fija que cada fase tendrá un contenido específico de tonelaje de mineral correspondiente a cierta cantidad de periodos de alimentación a la planta, aceptando un margen de error de $\pm 15\%$. Es decir, cada fase debe contener un tonelaje de mineral equivalente al tonelaje que sería enviado a planta en X periodos de alimentación.

$$\text{Ton. mineral Fase [t]} = \text{N}^\circ \text{ de periodos [años]} * \text{Cap. Planta [t/año]}$$

- Control Tonelaje de Material: Se fija que las fases deben tener un contenido específico de tonelaje total (Estéril + Mineral) correspondiente a cierta cantidad de periodos de movimiento total mina, dentro de un margen de error de $\pm 15\%$. Es decir, el tonelaje total de la fase debe ser equivalente al tonelaje que movería la mina en X periodos de explotación.

$$\text{Ton. total Fase [t]} = \text{N}^\circ \text{ de periodos [años]} * \text{Cap. Mina [t/año]}$$

2) Control de REM de las Fase: Se tienen tres casos.

- Secuencia de Lersch & Grossman (REM libre): Definición de fases sobre la base de los resultados de la optimización de Whittle. Es decir las fases serán definidas de acuerdo a una selección de pushbacks correspondientes fielmente a pits anidados resultantes de la optimización, de manera que se cumplan con las restricciones de tamaño de fase pero sin precaución del comportamiento de la REM.
- REM Creciente: Las fases a construir, además de cumplir con las restricciones de tamaño, deben tener un comportamiento creciente de la relación estéril-mineral en el tiempo, es decir cada nueva fase debe tener una REM mayor a la anterior con un error asociado máximo de $\pm 15\%$. En este caso se aceptan modificaciones sobre los resultados de la optimización con tal de forzar a que se cumplan las restricciones contempladas.
- REM Constante: Las fases a construir, además de cumplir con las restricciones de tamaño, deben tener un comportamiento constante de la relación estéril-mineral en el tiempo, es decir cada nueva fase debe tener una REM igual a la anterior con un error asociado máximo de $\pm 15\%$. En este caso también se acepta realizar modificaciones sobre los resultados de la optimización con tal de forzar que se cumplan las restricciones contempladas

Para cada proyecto se considerarán tres números de periodos distintos para el control de tamaño de fases. A este “Número de periodos” le llamaremos “Vida de la Fase”, pues en teoría la fase se agotará luego de ser explotada esa cantidad de periodos.

Los criterios antes detallados se aplican a ambos yacimientos generando así un árbol de escenarios de estudio donde será posible observar el comportamiento e impacto que estas decisiones tienen en la economía del proyecto. El número total de escenario a evaluar se dará por ejercer la combinación de los dos tipos de controles antes mencionados para las 3 vidas de fase a considerar.

$$2 \text{ controles de tamaño} * 3 \text{ vidas de Fase} * 3 \text{ controles de REM} = 18 \text{ escenarios}$$

De esta manera se intentan generar 18 escenarios de estudio para cada yacimiento, lo cual se representa en Figura 10.

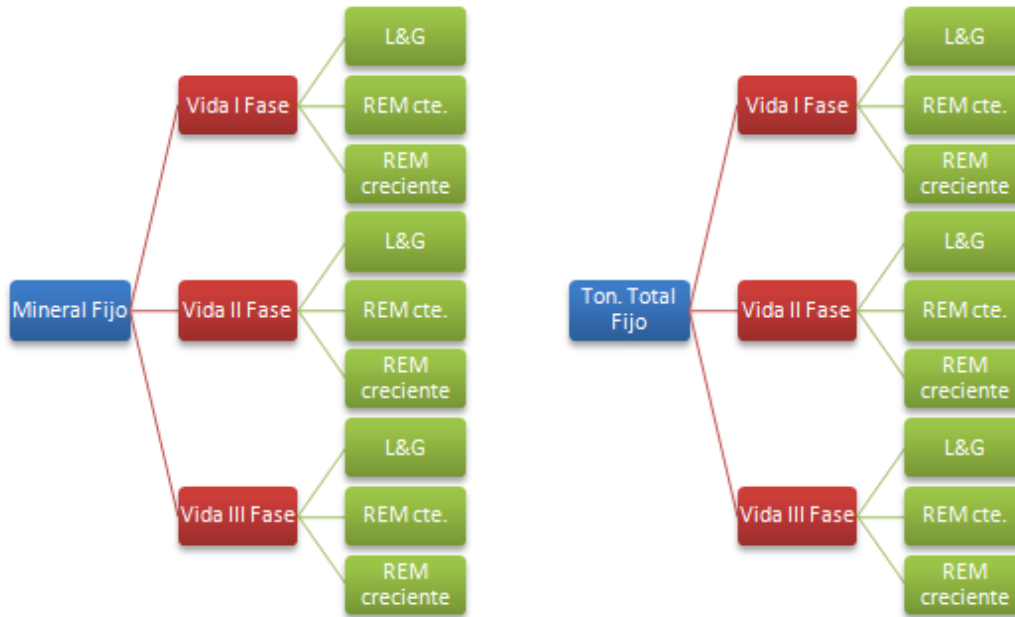


FIGURA 11 - ESCENARIOS A EVALUAR EN DEFINICIÓN DE FASES

Las fases seleccionadas en este paso definen envolventes suavizadas no operaciones, que llamaremos “Fasoides”, ya que no se ha realizado el diseño minero sobre ellas que integre los sistemas de rampas, catch-berms, bancos, plataformas operacionales, etc.

A modo de simplificación, se le asigna a cada escenario un número de identificación como se muestra a continuación:

TABLA 1 - NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS

	Control Mineral			Control Tonelaje		
	Vida Fase1	Vida Fase2	Vida Fase3	Vida Fase1	Vida Fase2	Vida Fase3
L&G	1	4	7	10	13	16
REM Creciente	2	5	8	11	14	17
REM Constante	3	6	9	12	15	18

Para hacer referencia a un escenario se utilizará la siguiente nomenclatura:

- Ejemplo: Escenario N°X de Modelo AA será
 - o Escenario “AA0X” si X es menor que 10
 - o Escenario “AAX” si X es mayor o igual a 10

3.1.2 OPTIMIZACIÓN Y PIT FINAL

Luego de realizar una revisión del modelo de bloques de cada yacimiento, sus variables y los valores por defecto, son cargados en Whittle 4D® para realizar la optimización que entregue los pits anidados óptimos de acuerdo a los parámetros técnico-económicos previamente fijados para cada proyecto.

Se obtiene un conjunto de pits anidados óptimos y con el gráfico *Pit by Pit* su beneficio asociado para *Best Case* y *Worst Case*. Analizando el beneficio acumulado, la estabilidad y el riesgo económico de acuerdo al *Best* y *Worst Case* se procede a definir el pit final.

3.1.3 GENERACIÓN DE VOLÚMENES

Con los resultados de la optimización se procede a determinar los valores diferenciales de los pits anidados y buscar los pushbacks apropiados para formar las fases de cada caso.

3.1.3.1 Métodos de Modificación

Pueden existir casos en que los resultados obtenidos de la optimización no permitan configurar fases que respeten los criterios solicitados, por lo cual será necesario realizar modificaciones que permitan lograr los objetivos. Dado que los métodos de optimización constituyen un avance y mejora en el proceso de planificación, no es deseable la generación de fases aleatorias manuales que sean construidas sin respetar ninguna secuencia de valorización, por lo tanto se buscará construir fases que cumplan con los criterios definidos y en caso de ser necesario, aplicar modificaciones que alteren y se alejen lo menos posible de los resultados óptimos.

Por lo anterior, se presentan algunas de las metodologías que se aplican para modificar los pits anidados y lograr construir las fases requeridas.

- 1) Direccionamientos: Dentro de las opciones que Whittle dispone para realizar la optimización existe la opción de realizar direccionamientos, es decir ejecutar la valorización de bloques y optimización de las envolventes desde un punto óptimo inicial y forzar su búsqueda y crecimiento en una dirección preferencial. Esto permite encontrar pits anidados con crecimiento en un sentido preferente, distinto al resultado de L&G pero basado en el mismo algoritmo de optimización. En caso de acudir al direccionamiento, éste se realizará en 8 direcciones (N-S, S-N, E-O, O-E, NE-SO, SO-NE, NO-SE, SE-NO)
- 2) Refinación del factor multiplicador del precio (Revenue Factor) para encontrar pits anidados intermedios a los preliminarmente obtenidos.
- 3) En caso que el primer pit anidado obtenido sea de mayor dimensión que la fase que se desea construir y no pueda encontrarse uno menor a pesar de refinar los RF, se puede proceder a realizar una nueva corrida independiente aumentando los costos, en primera instancia de procesamiento y en segunda instancia de venta, para afectar el crecimiento marginal del pit y lograr pits de menor tamaño respetando el algoritmo de optimización.
- 4) Si se tuvieran dos pushbacks seleccionados que correspondan a pits anidados consecutivos y se requiere obtener un pit intermedio pero ya no fuera posible refinar

más los RF, se procede a generar manualmente un pit intermedio mediante escalamiento en Vulcan® del pit más cercano.

- 5) Modificación del pushback preliminar quitando partes del mismo o adicionando expansiones pertenecientes al pit anidado siguiente o previo, para así otorgar o restar material de una fase.
- 6) Generación de prestripping para ajustar REM de la primera fase.

La aplicación de estas modificaciones llevan a alejarse del resultado considerado como óptimo, pero se busca estudiar si una alteración puntual a estos “resultados óptimos” con tal de lograr características comparables entre las fases, pueden lograr una mejora a nivel general para el proyecto.

3.1.4 PLAN MINERO

Una vez definidos los volúmenes de fases para cada uno de los escenarios a evaluar, se procede a desarrollar el plan minero asociado. Dado que el objetivo de esta etapa del trabajo consiste en comparar puramente el efecto de definir fases respetando distintas restricciones, es que no se incorporan parámetros de diseño y se realizan planes sobre envolventes suavizadas.

Se desea que los planes de cada caso sean generados con una estrategia común evitando introducir particularidades en cada caso, es por eso que se realizan utilizando el algoritmo de agendamiento Milawa Balance de Whittle®. Dicho procedimiento permite generar planes optimizados teniendo como restricciones el mantener una alimentación a planta lo más constante posible y respetar el máximo movimiento mina permitido.

3.1.5 EVALUACIÓN DE ESCENARIOS

La evaluación de los escenarios se realiza desde un punto de vista económico, mediante los planes generados, como desde una mirada técnico-práctica respecto a la posibilidad de replicación en terreno del resultado obtenido y a los movimientos de material del plan.

Consiste en una evaluación comparativa del esquema de fases bajo una misma capacidad de procesamiento por lo cual la inversión de planta e instalaciones varias son iguales para todos los casos. Los movimientos anuales de material se consideran relativamente constantes ya que viene dado por la capacidad Mina y las distancias a botadero y planta que se definen como similares, por lo cual la relación de estéril y mineral extraída anualmente no presenta mayor influencia en términos de tiempos de ciclo de transporte.

El prestripping corresponde a un CAPEX del proyecto sin embargo la integración de este efecto de inversión se representa en términos de OPEX en años de extracción sin ingresos económicos. En cuanto a planes con prestripping que supera la capacidad de movimiento de la mina en el primer año, no se asume una inversión de equipos sino que se considera la

contratación de un servicio externo de remoción de material (licitación), valor que se incorpora también a través de los OPEX.

3.1.5.1 Matriz de decisión

La evaluación de los escenarios se realiza de acuerdo a competencias cuantitativas, como el VAN, pero también considerando competencias cualitativas asociadas a la facilidad o dificultad de aplicar el criterio.

Como resultado se obtendrá que criterio de selección de volúmenes de fases responde mejor para cada yacimiento.

Para incluir los aspectos cualitativos en el análisis se implementa la utilización de una matriz de decisión, donde a los distintos aspectos a considerar se les clasifica con un valor del 0 al 3 de acuerdo a su idoneidad y logro, el cual se pondera de acuerdo a su grado de relevancia en la resultado final. Con esta metodología los escenarios pueden ser rankeados con el objetivo de identificar aquellos que puedan representar el mejor negocio en cada caso.

Se presenta la tabla de decisión y los valores de evaluación.

TABLA 2 - MATRIZ DE DECISIÓN TIPO

		Ponderación	MF			TF			MF			TF			MF			TF		
			L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE
VAN																				
Operativización																				
Grado de Optimización																				
Plan	Alimentación																			
	Perfil de Equipos																			
Σ																				

TABLA 3 - CALIFICACIONES PARA MATRIZ DE DECISIÓN

Pauta de Calificación					
VAN	Operativización	Grado de Optimización	Plan		Valor
--	Espacios	Fases Mod	Alim	Perfil	
Max.	Amplio	Ninguna	Cte.	Cte.	3
..	Suficiente	1	Casi Cte.	Casi Cte.	2
..	Angosto	2	Alterna	Alterna	1
Min.	Mínimo	Todas	Variable	Variable	0

Para cada escenario se considera:

- VAN: VAN del plan Whittle.
- Operativización: Factibilidad de llevar el escenario a diseño respecto a los espacios operacionales necesarios entre fases.
- Grado de Optimización: Se descuenta puntaje a medida que aumenta el grado de modificación de las fases respecto de las envolventes Whittle.
- Plan:
 - o Alimentación Planta: Estabilidad de alimentación de mineral a la planta entendiéndose como deseable un envío lo más constante posible.
 - o Perfil de Equipos: Comportamiento del movimiento anual de materiales como reflejo del perfil de equipos necesario.

3.2 DISEÑO

Con la evaluación económica de los escenarios generados se identifica aquel que muestre el mejor desempeño en cada yacimiento y para estos se integrará el diseño minero. Probablemente esta integración obligará a modificar las configuraciones teóricas seleccionadas, antes esto que en caso que se las modificaciones sean considerables, se postularán dos opciones de diseño.

El diseño obtenido se evaluará desde 2 puntos de vista: el primero según la relación que guarde el diseño final con la configuración teórica de fases obtenida en la primera parte del trabajo, y la segunda revisará el cumplimiento respecto al material contenido en la fase diseñada y el plan preliminar. Se realizarán 2 intentos de diseños buscando que el resultado represente de mejor manera la configuración teórica pero a la vez sea operacionalmente factible, para finalmente observar el efecto de la incorporación de los aspectos operacionales.

Posteriormente se realizan los planes mineros del diseño definitivo de cada yacimiento. Con esto se obtiene el movimiento anual de materiales y las inversiones respectivas para dar lugar finalmente a la evaluación económica del plan.

4 PARTE I: DEFINICIÓN DE VOLÚMENES

4.1 MODELOS DE BLOQUES

El trabajo se realizará sobre dos modelos de bloques disponibles cuya principal diferencia radica en la geometría y tipo de mineralización. Con esto se busca ampliar la validez de los resultados obtenidos analizando el comportamiento de los criterios integrando el efecto de la geometría del yacimiento.

Se reporta en los siguientes puntos la información principal de los modelos de bloque a utilizar.

4.1.1 MODELO BS

El modelo BS corresponde a un yacimiento de cobre con geometría mantiforme-masiva de orientación horizontal.

Se presentan los principales parámetros del modelo de bloques.

TABLA 4 – DIMENSIONES MODELO BS.

	Este	Norte	Cota	Unidad
Tamaño bloques	12.5	10	5	m
Tamaño modelo	1,625	1,630	360	m
N° bloques	130	163	72	#
Origen	393,227.5	7,131,142.2	890.0	m
Azimut	0°			

TABLA 5 - RECURSOS TOTALES MODELO BS

Recursos Totales	
Tipo de Roca	Tonelaje [Mton]
Lixiviado	62.2
Óxido	48.9
Sulfuro	808.3
Estéril	1,367
Total	2,286.4

También se muestra la curva tonelaje-ley de Cu del modelo.

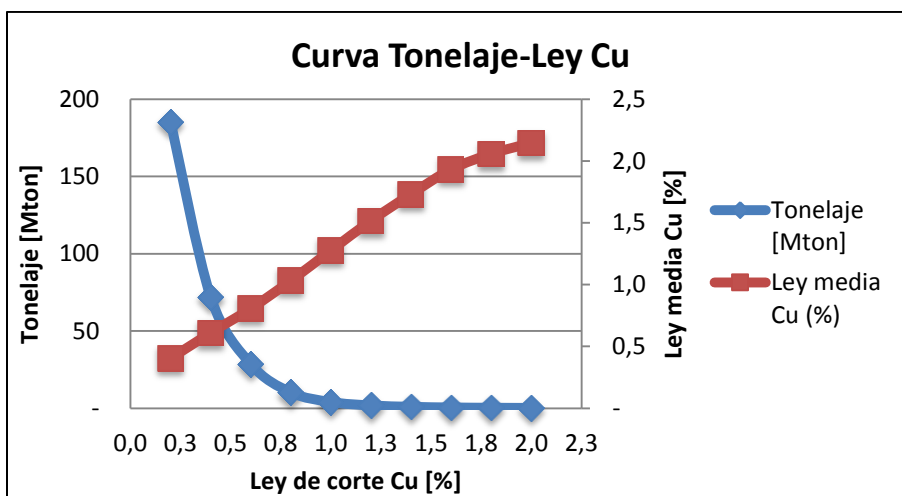


FIGURA 12 - CURVA TONELAJE-LEY DE CU DE MODELO BS.

Se visualiza el modelo en el software de diseño Vulcan® de Maptek, mediante el cual se presentan las vistas de planta y perfiles del modelo de bloques. La visualización se realiza de acuerdo a las leyes de cobre presente, cuya escala de colores se muestra en Figura 12.

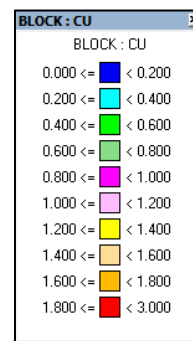
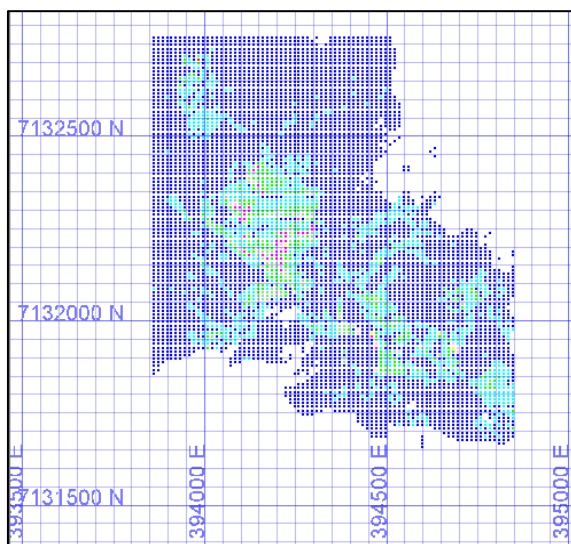


FIGURA 13 - LEYENDA DE COLORES CU

FIGURA 14 - VISTA PLANTA MODELO BS

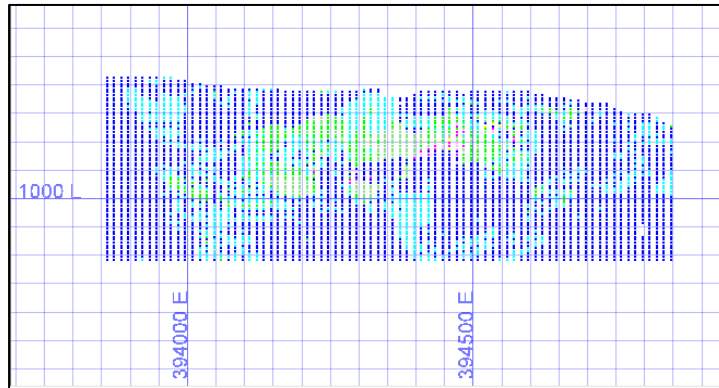


FIGURA 15 – VISTA PERFIL ESTE-OESTE MODELO BS

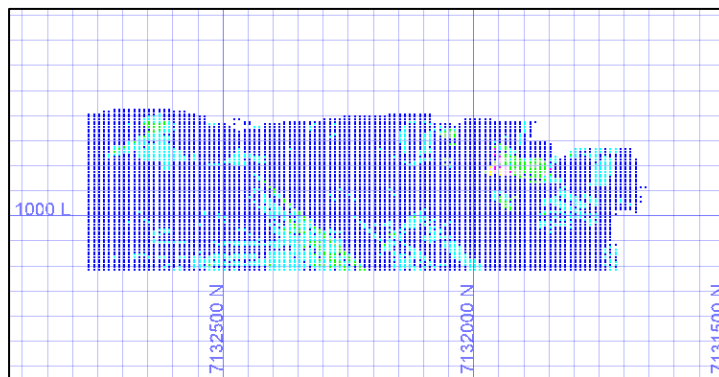


FIGURA 16 – VISTA PERFIL NORTE-SUR MODELO BS

4.1.2 MODELO JS

El modelo JS corresponde a un yacimiento polimetálico de cobre, fierro, oro, plata y zinc con geometría mantiforme de orientación vertical.

Se presentan los principales parámetros del modelo de bloques.

TABLA 6 –DIMENSIONES MODELO JS.

	Este	Norte	Cota	Unidad
Tamaño bloques	5.0	5.0	5.0	m
Tamaño modelo	900	950	850	m
N° bloques	180	190	170	#
Origen	96,700	37,750	1,200	m

TABLA 7 - RECURSOS TOTALES MODELO JS

Recursos Totales	
Tipo de Roca	Tonelaje [Mton]
Lixiviado	62.2
Óxido	48.9
Sulfuro	808.3
Estéril	1,367
Total	2,286.4

También se muestra la curva tonelaje-ley de Cu del modelo.

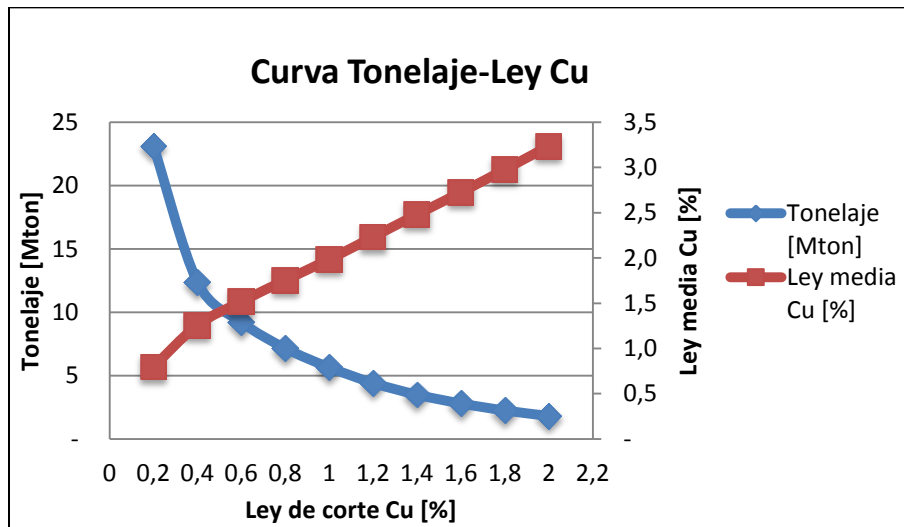


FIGURA 17 - CURVA TONELAJE-LEY DE CU DE MODELO JS

Al igual que el modelo anterior, el modelo JS es desplegado en Vulcan® y se presentan las vistas de planta y perfiles de las leyes de cobre del modelo.

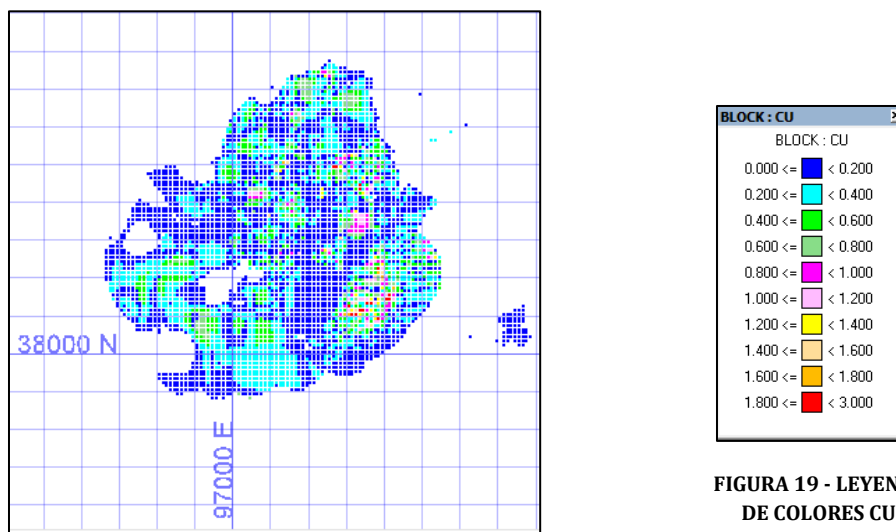


FIGURA 18 - VISTA PLANTA MODELO JS.

FIGURA 19 - LEYENDA DE COLORES CU.

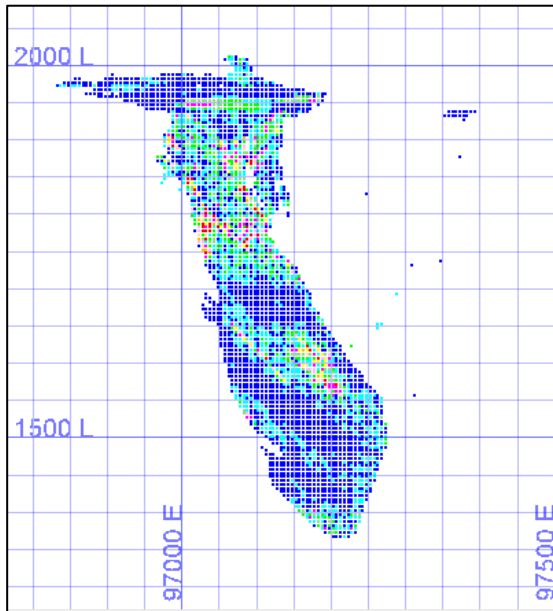


FIGURA 20 - VISTA PERFIL ESTE-OESTE MODELO JS

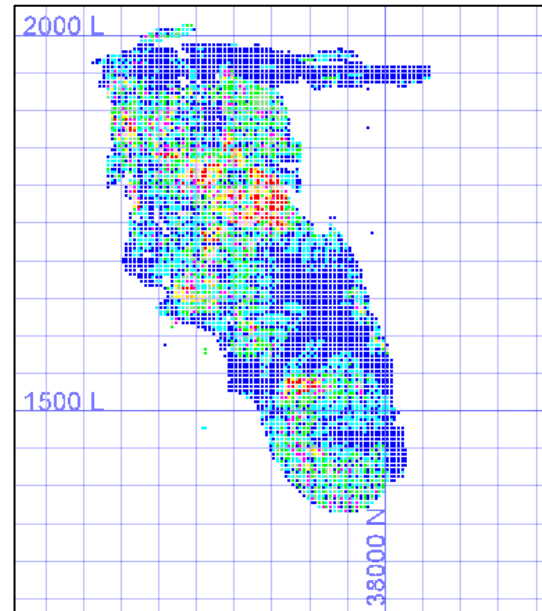


FIGURA 21 - VISTA PERFIL NORTE-SUR
MODELO JS

4.2 OPTIMIZACIÓN

Luego de realizar una revisión del modelo de bloques de cada yacimiento, sus variables y los valores por defecto, son cargados en Whittle® para realizar la optimización que entregue los pits anidados óptimos de acuerdo a los parámetros económicos fijados para cada proyecto.

4.2.1 PARÁMETROS ECONÓMICOS

4.2.1.1 Modelo BS

Los parámetros económicos informados para el Proyecto BS se detallan a continuación.

TABLA 8 - PARÁMETROS MINA MODELO BS

Parámetro	Valor	Unidad
Costo Mina	2.5	US\$/ton
Recuperación Minera	100	%
Dilución	0	%

TABLA 9 - PARÁMETROS ECONÓMICOS MODELO BS

Parámetro	Cut	Unit
Costo Proceso	8	US\$/ton_min
Rec. Met. Sulf.	90	%
Rec. Met. Ox	75	%
Precio Venta	2.5	US\$/libra
Costo Venta	0.5	US\$/libra

4.2.1.2 Modelo JS

Los parámetros económicos informados para el Proyecto BS se detallan a continuación.

TABLA 10 - PARÁMETROS MINA MODELO JS

Parámetro	Valor	Unidad
Costo Mina	2.6	US\$/ton
Recuperación Minera	100	%
Dilución	0	%

TABLA 11 - PARÁMETROS ECONÓMICOS MODELO JS

Parámetro	Cu	Au	Ag	Unit
Costo Proceso	9	-	-	US\$/ton_min
Rec. Met.	89	14	21	%
Precio Venta	3	1,500	28	US\$/unit_prod.
Costo Venta	0.08	4.5	0.35	US\$/libra
% Pagable	94.75	90	90	%
Pérdidas	0.005	0.005	0.005	US\$/libra

4.2.2 PARÁMETROS PRODUCTIVOS

4.2.2.1 Proyecto BS

Para BS como proyecto se considera una capacidad de movimiento mina de 7 Mton por año y una capacidad de procesamiento de 4.08 Mton por año de mineral, con lo que se tiene una vida de la mina de alrededor de 11 años de explotación.

Se deben definir las “Vida de Fase” o tamaños de fases a considerar en los escenarios que se desean construir. Estas se encuentran dadas como múltiplo de las capacidades planta y mina para Control por Mineral y Control por Tonelaje respectivamente. En este caso, teniendo en cuenta el volumen del yacimiento y las capacidades mencionadas, se decide definir las 3 “Vida de Fase” como 1.5, 2.15 y 3 años, es decir se evaluará la definición de fases que contengan un material equivalente a:

- 6.12 Mton, 9.18Mton y 12.24Mton mineral, en caso de Control de Mineral.
- 10.4 Mton, 15.6Mton y 20.8 Mton tonelaje total, en caso de Control de Tonelaje.

4.2.2.2 Proyecto JS

Para JS, dadas sus características y principalmente por la elevada relación estéril-mineral que posee, se considera una capacidad de movimiento mina de 6.9 Mton por año y una menor capacidad de procesamiento de 1.04 kton por año de mineral, con lo que se tiene una vida de la mina de poco más de 15 años de explotación.

Las “Vidas de Fase” a considerar en este caso son de tonelajes equivalentes a 1.5, 2 y 3 años de capacidad mina o planta según corresponda, es decir:

- 1.5 Mton, 2 Mton y 3 Mton mineral, en caso de Control de Mineral.
- 10.5Mton, 14 Mton y 21 Mton tonelaje total, en caso de Control de Tonelaje.

4.3 GENERACIÓN DE VOLÚMENES

Con los resultados de la optimización se procede a determinar los valores diferenciales de los pits anidados y buscar los pushbacks apropiados para formar fases de cada caso.

4.3.1 CASOS RESULTANTES

Dadas las características de los yacimientos y la exigencia de los distintos escenarios, existieron algunos de ellos que no fue posible configurar a pesar de las modificaciones que podían realizarse dentro de un margen de error aceptable o también hay casos donde una misma configuración de fases satisfacía simultáneamente los criterios de dos escenarios distintos. De esta manera de los 18 escenarios preliminares que debían generarse para cada yacimiento, a continuación se indican los escenarios efectivos resultantes.

4.3.1.1 Modelo BS

El modelo BS corresponde a un yacimiento de tipo mantiforme y de gran potencia por lo cual presenta mayor área y se generan pits poco profundos, condición que favorece la generación de mayor variedad de configuraciones de fases. En Este caso, de los 18 escenarios a generar fue posible concretar 16 de ellos mediante 15 configuraciones distintas (una de ellas cumple con los criterios de dos escenarios), resultado que se resume en la siguiente tabla.

TABLA 12 - SIMBOLOGÍA

✓	Configuración cumple con las condiciones del escenario sin modificaciones.
!	Configuración cumple con las condiciones del escenario con modificaciones integradas.
✗	No es posible establecer una configuración de fases que cumpla con las condiciones del escenario.
a,b,c,d	Escenarios identificados con la misma letra implica que una misma configuración cumple con las condiciones exigidas por ellos.

TABLA 13 - DIAGNÓSTICO DE CASOS RESULTANTES MODELO BS

	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2.15 años	3 años	1.5 años	2.15 años	3 años
L&G	!	✓	✓	✓	✓	✓
REM Creciente	✓	✓	✓	!	✓	✓
REM Constante	✗	✓	✓ a	✗	✓	✓ a

La configuración física de los escenarios resultantes resumidos en la tabla superior, puede observarse en Anexo A-1 Configuraciones de Fases Caso BS.

El detalle de cada uno de los escenarios resultantes se muestra en las tablas resumen en B-1 Escenarios Caso BS .

4.3.1.2 Modelo JS

El modelo JS corresponde a un yacimiento enclavado y angosto que da lugar a menor número de configuraciones posibles y menor flexibilidad. De los 18 escenarios a generar fue posible concretar 16 de ellos mediante 11 configuraciones distintas (cinco de ellas cumplen con los criterios para representar dos escenarios), resultado que se resume en la siguiente tabla, de acuerdo a la misma simbología indicada en Tabla 12 - Simbología.

TABLA 14 - DIAGNÓSTICO CASOS RESULTANTES MODELO JS

	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2 años	3 años	1.5 años	2 años	3 años
L&G	⚠ a	✓ b	⚠ c	⚠	✓ d	✓ e
REM Creciente	⚠ a	✓ b	⚠ c	⚠	✓ d	✓ e
REM Constante	✗	⚠	✓	✗	⚠	✓

La configuración física de los escenarios resultantes resumidos en la tabla superior puede observarse en Anexo A-2 Configuraciones de Fases Caso JS.

El detalle de cada uno de los escenarios resultantes se muestra en las tablas resumen en B-2 Escenarios Caso JS.

4.4 EVALUACIÓN

Los escenarios deben ser evaluados para seleccionar aquel que represente la mejor opción para cada proyecto. Dicha evaluación se realiza desde un punto de vista tanto económico como práctico, respecto a la complejidad y factibilidad de realización del escenario respectivo.

4.4.1 PLANES

La evaluación económica se realiza de manera comparativa de sus planes, los cuales son todos realizados en Whittle mediante el algoritmo de agendamiento Milawa Balance, de manera de tener resultados comparables objetivamente. Ambos planes se generan considerando un avance promedio máximo de 10 bancos por año, pudiendo ser mayor en los primeros y en los últimos años de explotación.

A continuación se presenta una tabla resumen de los VAN operacionales (costos de operación).

4.4.1.1 Planes BS

De los escenarios posibles, se destacan en la tabla los 2 mejores (verde) y peores (rojo) VAN, expresado en [MUS\$].

TABLA 15 - RESUMEN VAN PLANES BS

BS	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2.15 años	3 años	1.5 años	2.15 años	3 años
L&G	219.83	171.02	219.36	170.82	165.65	170.72
REM Creciente	167.13	166.75	168.25	165.06	168.09	167.37
REM Constante		202.44	157.08		160.03	157.08

Los gráficos del plan de producción de cada uno de los escenarios estudiados se muestran en Anexo C-1 Planes Caso BS

4.4.1.2 Planes JS

De los escenarios posibles, se destacan en la tabla los 2 mejores (verde) y peores (rojo) VAN, expresado en [MUS\$].

TABLA 16 - RESUMEN VAN PLANES JS

JS	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2 años	3 años	1.5 años	2 años	3 años
L&G	226.55	219.53	211.76	218.26	212.92	215.11
REM Creciente	226.55	219.53	211.76	198.79	212.92	215.11
REM Constante		190.07	190.07		191.42	196.28

Los gráficos del plan de producción de cada uno de los escenarios estudiados se muestran en Anexo C-2 Planes Caso JS.

4.4.2 MATRIZ DE DECISIÓN

Mediante la observación de los planes obtenidos, la inspección visual de las configuraciones y la comparación de los VAN de cada plana, se completa la matriz de decisión antes planteada.

A continuación muestra la implementación de la matriz de decisión para ambos casos.

4.4.2.1 Matriz de decisión Modelo BS

Se presenta la matriz de decisión resultante para la selección de escenario para el Proyecto BS. Se destacan los dos mejores casos en color verde.

TABLA 17 - MATRIZ DE DECISIÓN MODELO BS

		Pond.	1.5 AÑOS						2.15 AÑOS						3 AÑOS					
			MF			TF			MF			TF			MF			TF		
			L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE
VAN	50%	3.0	0.5	-	0.7	0.4	-	0.7	0.5	2.2	0.4	0.5	0.1	3.0	0.5	-	0.7	0.5	-	
	Operativización	12%	0.5	2.5	-	0.5	2.0	-	1.2	3.0	2.0	0.8	2.6	2.8	2.0	2.8	3.0	1.0	2.9	3.0
	Grado de Optimización	10%	1.2	3.0	-	3.0	1.2	-	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Plan	Alim. Planta	14%	2.9	2.8	-	2.7	2.7	-	2.5	2.7	2.7	2.0	2.6	1.5	2.9	2.7	2.4	2.2	2.8	2.4
	Perfil de Equipos	14%	2.7	2.3	-	2.4	2.5	-	2.7	2.0	2.5	2.7	2.6	2.0	2.4	2.3	1.5	2.4	2.3	1.5
	100%	2.5	1.6	-	1.4	1.3	-	1.5	1.5	2.4	1.3	1.6	1.2	2.8	1.6	1.2	1.4	1.6	1.2	

Se observa que los mejores puntajes se asocian a los escenarios que respetaron la secuencia de optimización de L&G y con control de tonelaje de mineral, pero tanto en escenarios con fases pequeñas como con fases de mayor tamaño.

4.4.2.2 Matriz de decisión Modelo JS

También para JS se muestra la matriz de decisión completada, destacando los dos mejores casos en color verde.

TABLA 18 – MATRIZ DE DECISIÓN MODELO JS

		Pond.	1.5 AÑOS						2 AÑOS						3 AÑOS					
			MF			TF			MF			TF			MF			TF		
			L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE	L&G	CREC	CTE
VAN	50%	3.0	3.0	-	2.3	0.7	-	2.4	2.4	-	1.9	1.9	0.1	1.8	1.8	0.0	2.1	2.1	0.5	
	Operativización	12%	0.5	0.5	-	0.5	0.5	-	2.0	2.0	1.5	2.5	2.5	2.0	2.6	2.6	3.0	2.7	2.7	3.0
	Grado de Optimización	10%	1.2	1.2	-	2.0	2.0	-	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Plan	Alim. Planta	14%	2.6	2.6	-	1.9	2.8	-	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.3	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.7
	Perfil de Equipos	14%	2.3	2.3	-	2.7	2.9	-	1.2	1.2	2.0	2.6	2.6	2.0	2.5	2.5	1.0	2.4	2.4	1.0
	100%	2.4	2.4	-	2.1	1.4	-	2.3	2.3	1.0	2.3	2.3	1.1	2.0	2.0	1.2	2.3	2.3	1.4	

De manera similar al modelo anterior, los mejores puntajes se asocian a los escenarios que respetan la secuencia de optimización de L&G y con control de tonelaje de mineral, pero esta vez se enfocan a las fases de menor tamaño, o en otras palabras, mayor número de fases.

4.4.3 ESCENARIOS FINALES

Mediante la aplicación de la Matriz de Decisión se obtienen los escenarios que representan la mejor alternativa. Escogiendo aquel que obtiene el valor máximo en cada caso se tiene que los escenarios a diseñar para cada modelo son los siguientes:

TABLA 19 - ESCENARIOS A DISEÑAR

Modelo	N° de Escenario	Vida Fase	Control Material	Control REM
BS	07	1.5 años	Mineral	Libre (L&G)
JS	01	1.5 años	Mineral	Libre (L&G)

A continuación se detalla la cubicación de las fases de los escenarios seleccionados (Para ver ubicación de todos los escenarios recurrir a Anexos)

TABLA 20 - RESUMEN ESCENARIO SELECCIONADO MOD. BS

BS07			
Fases	Ton Total [Mton]	Ton Mineral [Mton]	REM Fase
FASE 1	17.34	15.14	0.15
FASE 2	25.88	14.09	0.84
FASE 3	25.42	14.39	0.77
TOTAL	68.65	43.63	0.57

TABLA 21 - RESUMEN ESCENARIO SELECCIONADO MOD. JS

JS01			
Fases	Ton Total [Mton]	Ton Mineral [Mton]	REM Fase
FASE 1	9.73	1.56	5.25
FASE 2	10.2	1.58	5.44
FASE 3	10.39	1.61	5.45
FASE 4	13.78	1.58	7.71
TOTAL	44.1	6.33	5.96

5 PARTE II: DISEÑO

Para los escenarios seleccionados se procede a realizar el diseño operacional sobre las fases de explotación correspondientes.

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Considerando las condiciones de los modelos respectivos y de sus escenarios operacionales se determinan los parámetros de diseño apropiados para el proyecto.

5.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO MODELO BS

Se define una altura de banco de acuerdo a las dimensiones del bloque. La berma se mantiene en relación a las dimensiones del bloque y junto al ángulo cada de banco se considera el ángulo global a alcanzar, en este caso 45°.

De acuerdo a una producción de 6.9 Mtpa, se consideran equipos de dimensiones de entre 100 y 200 ton que poseen anchos de 5m a 7m, para estas dimensiones se estima un ancho total de rampa doble vía de 20m. Con esto se estima un espacio mínimo operacional requerido tanto en fondo de pit como interfase de 50m.

TABLA 22 - PARÁMETROS DE DISEÑO MODELO BS

Parámetro	Valor	Unidad
Altura de Banco	10	Metros
Ángulo cara de banco	73	Grados
Ancho de berma	10	Metros
Ancho Rampa	20	Metros
Espacio Operacional	50	Metros
Inclinación Rampa	10	Grados

5.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO MODELO JS

Se define una altura de banco de acuerdo a las dimensiones del bloque. La berma se mantiene en relación a las dimensiones del bloque y junto al ángulo cada de banco se considera el ángulo global a alcanzar, en este caso 53°.

Considerado una producción de 7 Mtpa, rampa doble vía y separaciones de seguridad total de 3m, se consideran camiones de menos de 20ton y dimensiones máximas de 4.3m. Con esto se estima un espacio mínimo operacional requerido, tanto en fondo de pit como interfase, de 50m y un ancho de rampa de 12m.

TABLA 23 - PARÁMETROS DE DISEÑO MODELO JS

Parámetro	Valor	Unidad
Altura de Banco	10	Metros
Ángulo cara de banco	75	Grados
Ancho de berma	5	Metros
Ancho Rampa	12	Metros
Espacio Operacional	30	Metros
Inclinación Rampa	10	Grados

5.2 DISEÑO OPERATIVO

Se realiza el diseño operativo de las fases definidas en los escenarios seleccionados, de acuerdo a los parámetros de diseño recién indicados.

5.2.1 DISEÑO OPERATIVO MODELO BS

En el caso del modelo BS, el escenario seleccionado presenta en buena medida los espacios operacionales necesarios para realizar el diseño operacional, sin embargo existen sectores angostos que obligan a reacomodar las fases.

A pesar de que las fases estén suficientemente distanciadas, al momento de revisar las envolventes se observa que, al tener que fusionar los sectores angostos de la fase 3 con la fase 2 el tamaño de esta última aumenta bastante lo que podría afectar a la flexibilidad del plan y los flujos. Ante esto se decide proponer una segunda opción de diseño que busca respetar la disposición de las fases pero divide la fase tres en dos fases más manejables en términos de extracción.

Se tendrán entonces dos nuevas disposiciones que redefinen los límites entre las fases, una con tres fases y otra con 4 fases. Para ilustrarlo de mejor manera, se presenta un corte en planta donde se muestra las envolventes y sobre ellas las nuevas zonas definidas.

Configuración original de fases

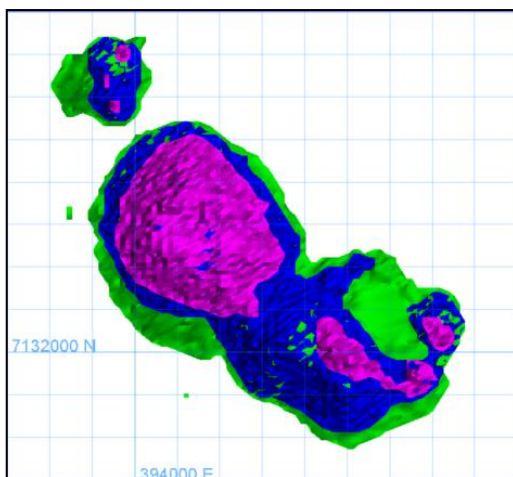


FIGURA 22 - ESCENARIO TEÓRICO BS07

Configuraciones propuestas

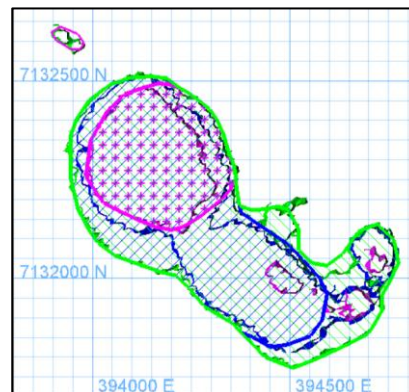


FIGURA 23 - BS07 MODIFICADO CON 3 FASES

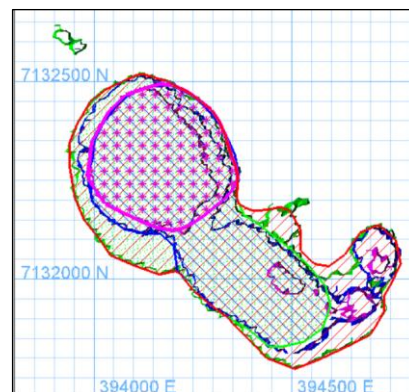


FIGURA 24 - BS07 MODIFICADO CON 4 FASES

5.2.1.1 Diseño Operativo BS 3 Fases

Se presentan los diseños en planta de cada una de las 3 fases y sus cubicaciones.

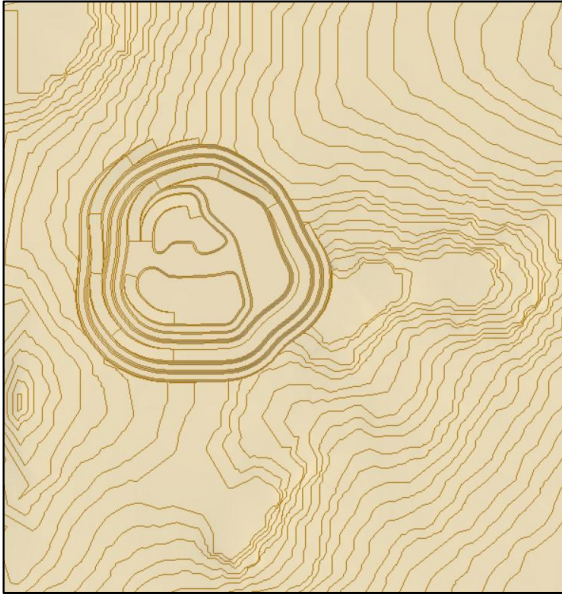


FIGURA 25 - BS07_MOD 3 FASES_ FASE 1

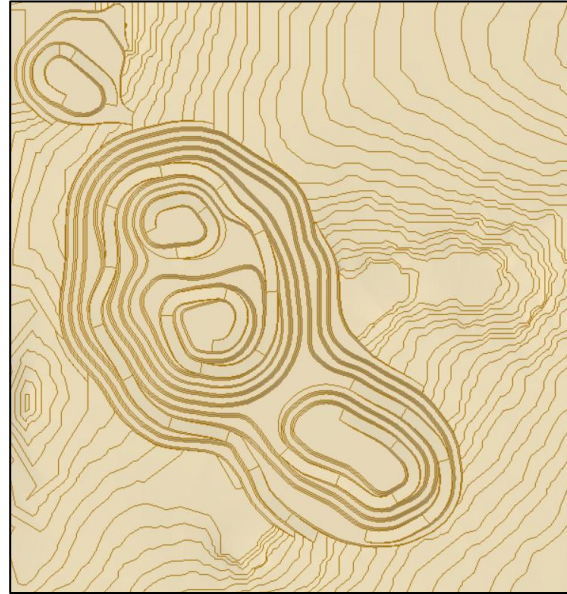


FIGURA 26 - BS07_MOD 3 FASES_ FASE 2

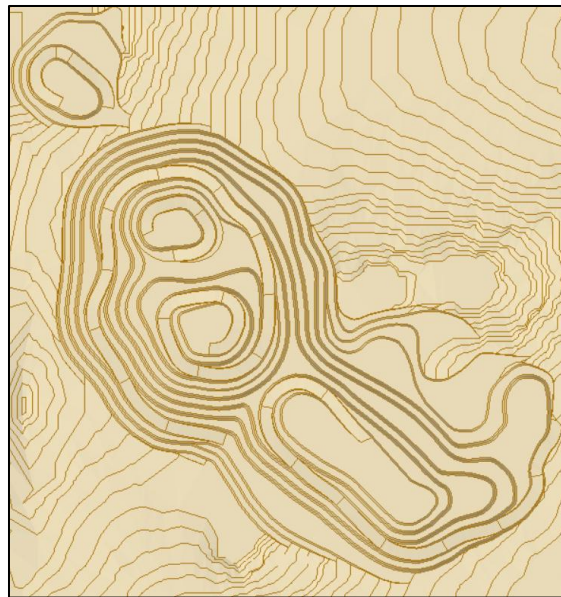


FIGURA 27 - BS07_MOD 3 FASES_ FASE 3

TABLA 24 - CUBICACIÓN FASES BS07_ 3 FASES

Fase	Mineral [Mton]	Total [Mton]	Lm Fase	REM
F1	14.34	20.72	0.60	0.44
F2	21.51	42.26	0.48	1.88
F3	3.70	9.08	0.44	1.45
TOTAL	39.55	72.06	0.52	0.82

Resumen comparativo de fases del escenario original versus el diseño.

TABLA 25 - COMPARACIÓN ESCENARIO ORIGINAL V/S DISEÑO BS07_3F

Fase	Item	Caso base	Diseño BS07_3F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	17.35	20.72	19%
	Ton. Mineral [Mton]	15.14	14.50	-4%
	Ley [%]	0.62	0.60	-2.7%
	REM	0.15	0.43	195%
F2	Ton. Total [Mton]	25.88	42.26	63%
	Ton. Mineral [Mton]	14.09	21.16	50%
	Ley [%]	0.48	0.49	0.3%
	REM	0.84	1.00	19%
F3	Ton. Total [Mton]	25.42	9.08	-64%
	Ton. Mineral [Mton]	14.39	3.70	-74%
	Ley [%]	0.45	0.44	-1.1%
	REM	0.77	1.45	90%
Total	Ton. Total [Mton]	68.65	72.06	5.0%
	Ton. Mineral [Mton]	43.63	39.35	-10%
	Ley [%]	0.52	0.52	1.1%
	REM	0.57	0.83	45%

El diseño respeta el número de fases original y busca ceñirse a ellas, sin embargo es necesario integrar los ajustes indicados en Figura 23 - BS07 Modificado con 3 Fases. Como resultado se tiene un aumento considerable de la REM de las fases y global. Hay un aumento del 5% en el tonelaje total debido básicamente al ensanchamiento de la proyección del pit al integrar el diseño de bancos, mientras la reducción general del 10% del tonelaje de mineral se asocia principalmente en la pérdida de tonelaje ubicado en la base aguda de las envolventes originales debido a la necesidad de generar un fondo de pit operacional, sobre todo en la última fase que presentaba como base pequeños conos cuya recuperación habría significado mayor integración de estéril. Esto se suma al crecimiento de la fase 2 que al ir en búsqueda de mineral (junto con las modificaciones integradas) aporta a reducir la fase 3.

La variación de las leyes de cu a nivel de fases tiene una desviación máxima de 2.7%, mientras que a nivel global mantiene una variación de solo 1.1%.

5.2.1.2 Diseño Operativo BS07 4 Fases

Se presentan los diseños en planta de cada una de las 4 fases propuestas.

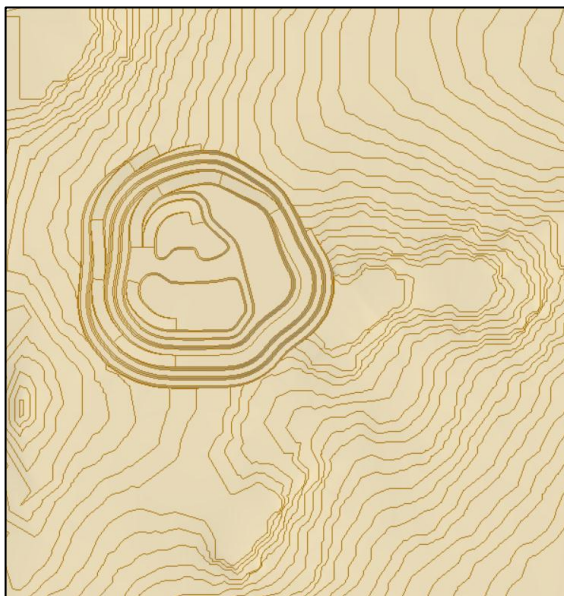


FIGURA 28 - BS07_MOD 4 FASES_ FASE 1

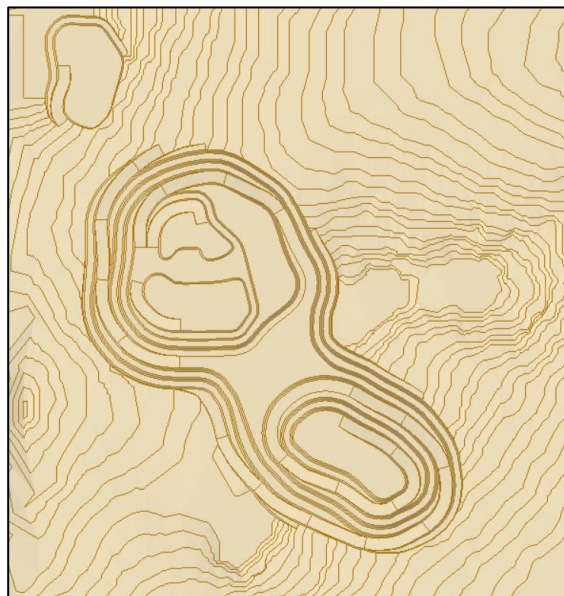


FIGURA 29 - BS07_MOD 4 FASES_ FASE 2

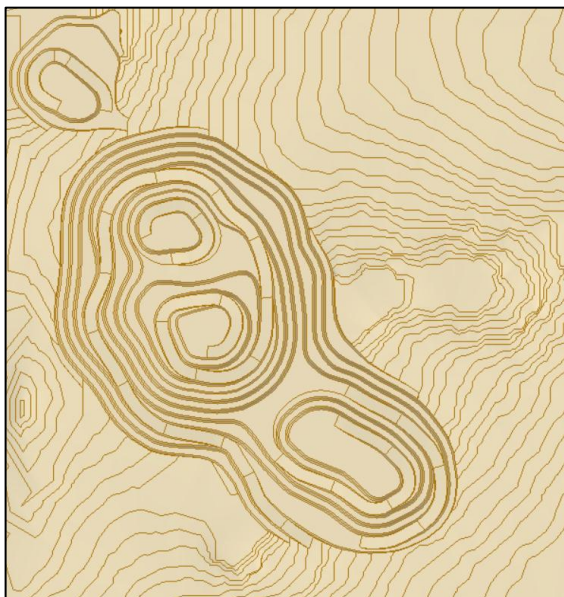


FIGURA 30 - BS07_MOD 4 FASES_ FASE 3

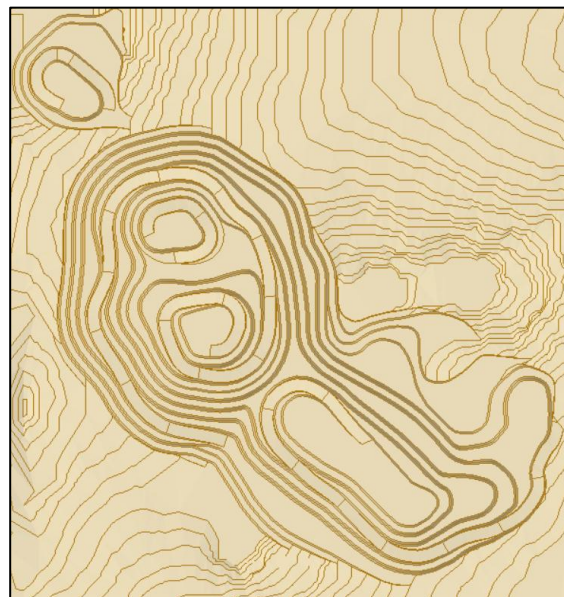


FIGURA 31 - BS07_MOD 4 FASES_ FASE 4

TABLA 26 - CUBICACIÓN FASES BS07_ 4 FASES

Fase	Mineral [Mton]	Total [Mton]	REM
F1	13.70	20.72	0.51
F2	5.56	15.28	1.75
F3	16.35	26.98	0.65
F4	3.75	9.08	1.42
TOTAL	39.35	72.06	0.83

El diseño propuesto define 4 fases producto de la división de la segunda fase original en dos partes, lo cual buscar dar mayor flexibilidad al plan.

TABLA 27 - COMPARACIÓN ESCENARIO ORIGINAL V/S DISEÑO BS07_4F

Fase	Item	Caso base	Diseño BS07_4F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	17.35	20.72	19%
	Ton. Mineral [Mton]	15.14	13.70	-10%
	Ley [%]	0.62	0.60	-2%
	REM	0.15	0.51	252%
F2	Ton. Total [Mton]	25.88	15.28	-41%
	Ton. Mineral [Mton]	14.09	5.56	-61%
	Ley [%]	0.48	0.45	-6%
	REM	0.84	1.75	109%
F3	Ton. Total [Mton]	25.42	26.98	42%*
	Ton. Mineral [Mton]	14.39	16.35	40%*
	Ley [%]	0.45	0.49	7%*
	REM	0.77	0.65	79%*
F4	Ton. Total [Mton]		9.08	
	Ton. Mineral [Mton]		3.75	
	Ley [%]		0.44	
	REM		1.42	
Total	Ton. Total [Mton]	68.65	72.06	5.0%
	Ton. Mineral [Mton]	43.63	39.35	-10%
	Ley [%]	0.52	0.52	0.1%
	REM	0.57	0.83	45%

()Para el escenario diseño estos valores fueron calculados considerando la fase 3 y 4 como una sola para poder compararlos con la fase 3 del escenario original como un total.*

La división de la fase 2 genera dos fases, la primera en general reducida en tonelajes y ley lo que se traduce en un gran aumento de la REM, y la segunda de mayor tamaño pero aumentada en mineral y ley respecto a la anterior. Como conjunto estas dos nuevas fases diseñadas tienen una cantidad de tonelaje y REM prácticamente idéntica a la fase 2 del diseño BS07_3F.

Al comparar el presente diseño con el anterior se tiene que de manera global la diferencia en tonelaje total y de mineral se mantiene en 5% y -10% respectivamente. En cuanto a la ley la diferencia baja a 0.1%, pero en valor esto representa una diferencia de solo 0.01 puntos de ley entre ambas. La REM se mantiene muy parecida. Dado que no se observan diferencias notorias entre ambos casos en el global, tendrá mayor relevancia la diferencia producida a nivel de plan extractivo.

5.2.2 *DISEÑO OPERATIVO MODELO JS*

El caso del modelo JS es más complejo que el anterior debido a la geometría del yacimiento, que es angosto y muy enclavado lo que genera envolventes muy próximas, paredes comunes que aumentan la frecuencia de inserción de switchbacks y cualquier desviación de una fase afecta rápidamente a la siguiente y desplaza el diseño incorporando estéril.

En el escenario seleccionado esta complejidad se ve fielmente plasmada ya que considera cuatro fases con pared común. Es por eso que se proponen dos diseños posibles, los cuales son mostrados ilustrativamente en las imágenes inferiores.

Para mostrar las nuevas disposiciones se realiza un corte en la cota 1920 m. donde se puede observar el borde de las envolventes y las nuevas zonas definidas. Para diferenciarlas mejor, en las imágenes se muestran estas zonas achuradas con distintos patrones y siguiendo los colores correspondientes al escenario original.

La primera propuesta considera, en virtud de aumentar los espacios operativos entre fases, la fusión de las fases 2 y 3 definiendo una nueva fase intermedia a las mencionadas y manteniendo las fases 1 y 4. Como resultado se pretende respetar la disposición pero disminuyendo en uno el número de fases.

La segunda propuesta respeta el número de fases, manteniendo cuatro volúmenes, pero necesariamente alterando su disposición para otorgar los espacios operacionales requeridos eliminando las paredes angostas que no son posible de extraer en la práctica. Para esto, del volumen total de la fase se mantiene en ella solo la porción más grande o de mayor superficie en cada cota, mientras que los sectores más pequeños son fusionados con la fase anterior o próxima según corresponda.

Esta opción implica mantener una pared común para las cuatro fases y exige un mayor cuidado en la ubicación de switchbacks.

Este tipo de modificaciones, agudizadas por la geometría del yacimiento, sugieren llevar las fases a pared final lo cual puede repercutir en el desfase del tiempo de extracción de este material, perdiendo paredes delgadas de mineral que no son factibles de extraer operacionalmente con su ancho original. Todo esto se expresará en una potencial caída de beneficio.

En las siguientes imágenes se ilustran las nuevas disposiciones propuestas para las fases a diseñar, diferenciadas con distintos patrones: Fase 1 con patrón de cruces, Fase 2 con patrón de puntos y Fase 3 y 4 con diseño de líneas perpendiculares entre ellas. Los colores se asocian a los colores utilizados para cada fase en la Figura 32 - Escenario Teórico JS01. Figura 32 - Escenario Teórico JS01

Configuración original de fases

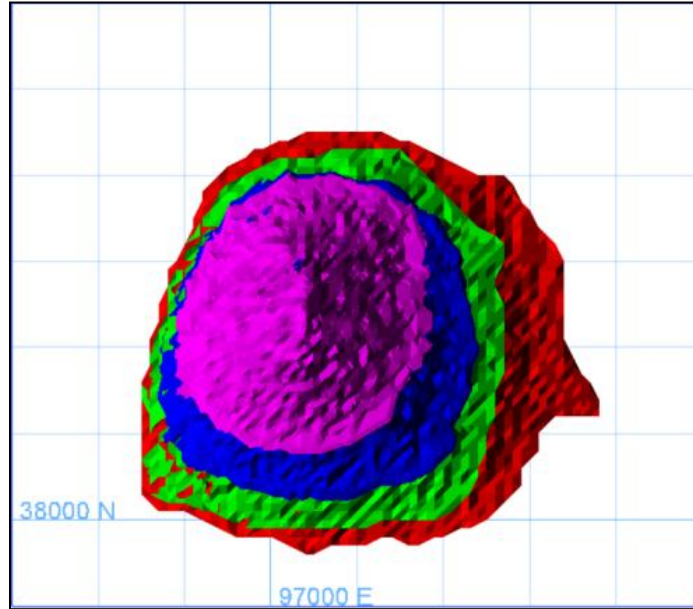
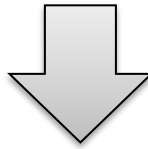


FIGURA 32 - ESCENARIO TEÓRICO JS01



Configuraciones propuestas

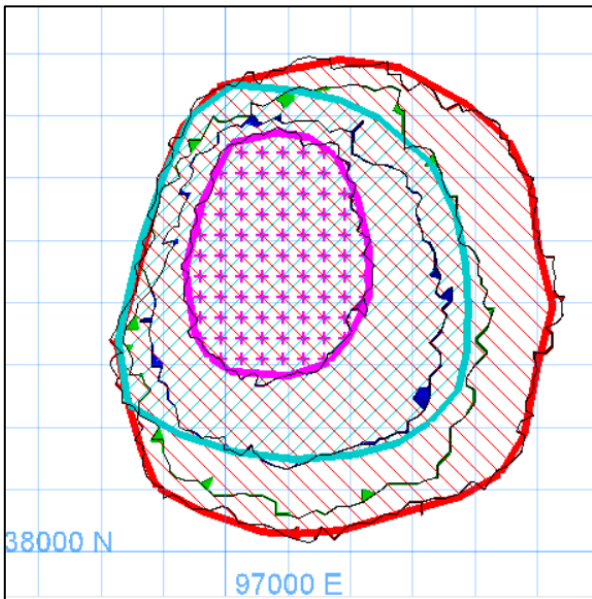


FIGURA 33 - JS01 MODIFICADO CON 3 FASES

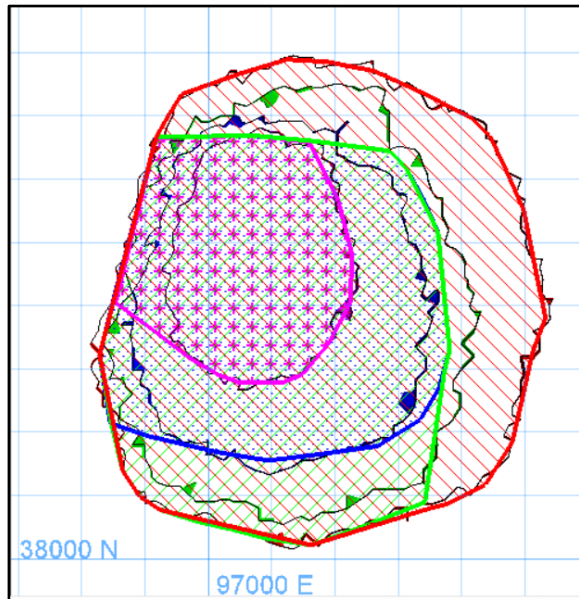


FIGURA 34 - JS01 MODIFICADO CON 4 FASES

5.2.2.1 Diseño Operativo JS 3 Fases

Se presentan los diseños en planta de cada una de las 3 fases propuestas.

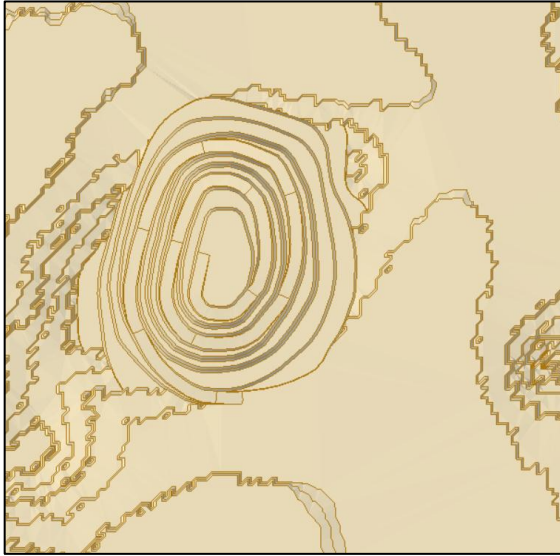


FIGURA 35 - JS01_MOD 3 FASES_FASE 1

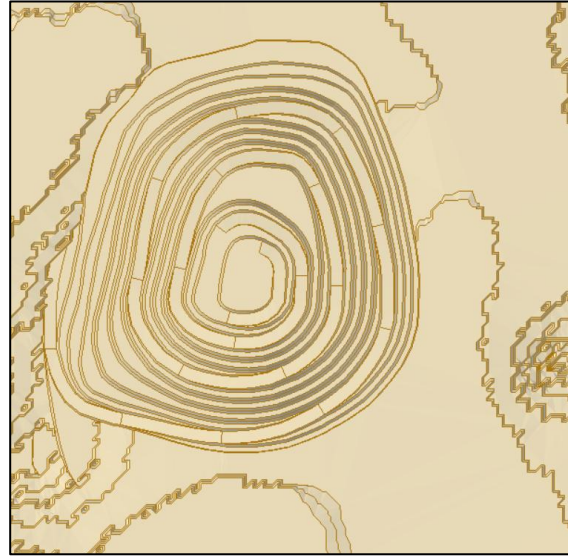


FIGURA 36 - JS01_MOD 3 FASES_FASE 2

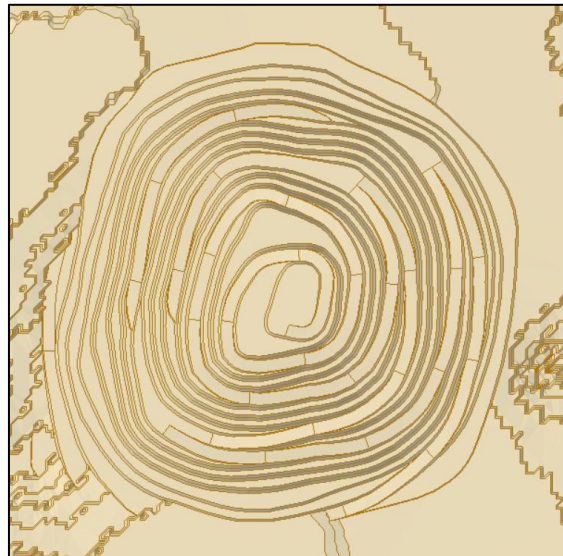


FIGURA 37 - JS01_MOD 3 FASES_FASE 3

TABLA 28 - CUBICACIÓN JS01_3F, OPERATIVO

Fase	Mineral [Mton]	Total [Mton]	REM
F1	1.49	9.57	5.42
F2	2.47	17.62	6.14
F3	1.86	19.01	9.23
TOTAL	5.81	46.20	6.95

El diseño de fases propuesto se compara respecto a las fases originales del escenario, en cuanto a tonelaje total, tonelaje de mineral ley de cobre y relación estéril/mineral. Considerando que este escenario sugiere una modificación respecto del original, se espera una mayor diferencia a nivel de fases pero mayor semejanza a nivel global, ya que el objetivo es mejorar la operación de extracción respetando el negocio del proyecto.

Se presenta la comparación de fases en la siguiente tabla.

TABLA 29 - COMPARACIÓN ESCENARIO ORIGINAL V/S DISEÑO JS01_3F

Fase	Item	Caso base	Diseño JS01_3F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	9.73	9.57	-2%
	Ton. Mineral [Mton]	1.56	1.49	-4%
	Ley [%]	1.39	1.07	-23%
	REM	5.25	5.42	3%
F2	Ton. Total [Mton]	10.20	17.62	73%
	Ton. Mineral [Mton]	1.58	2.47	56%
	Ley [%]	1.69	1.63	-3%
	REM	5.44	6.14	13%
F3	Ton. Total [Mton]	10.39	19.01	-21%
	Ton. Mineral [Mton]	1.61	1.86	-42%
	Ley [%]	1.89	1.83	16%
	REM	5.45	9.23	45%
F4	Ton. Total [Mton]	13.78		
	Ton. Mineral [Mton]	1.58		
	Ley [%]	1.26		
	REM	7.71		
Total	Ton. Total [Mton]	44.10	46.20	4.8%
	Ton. Mineral [Mton]	6.33	5.81	-8.2%
	Ley [%]	1.56	1.55	-0.5%
	REM	5.96	6.95	16%

()Para el escenario diseño estos valores fueron calculados considerando la fase 3 y 4 como una sola para poder compararlos con la fase 3 del escenario original como un total.*

Como resultado se tienen tres fases con tonelaje total, ley y REM creciente. La Fase 1 (f1) diseñada es la que mantiene mayor semejanza con la f1 original, mientras los diseños de f2 y f3 absorbieron la f3 original por lo cual presentan diferencias altas de tonelaje alcanzando un 93% para la fase 2. La calidad de ley de cu decae en cada una de las fases mientras la REM aumenta sostenidamente. Sin embargo en el resultado global estas brechas caen a un -6% para mineral, 2% en tonelaje total y -0.3% para la ley.

5.2.2.2 Diseño Operativo JS 4 Fases

Se presentan los diseños en planta de cada una de las 4 fases.

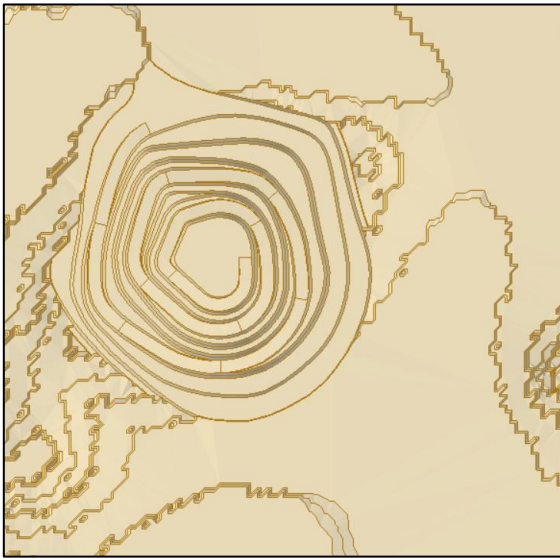


FIGURA 38 - JS01_MOD 4 FASES_FASE 1

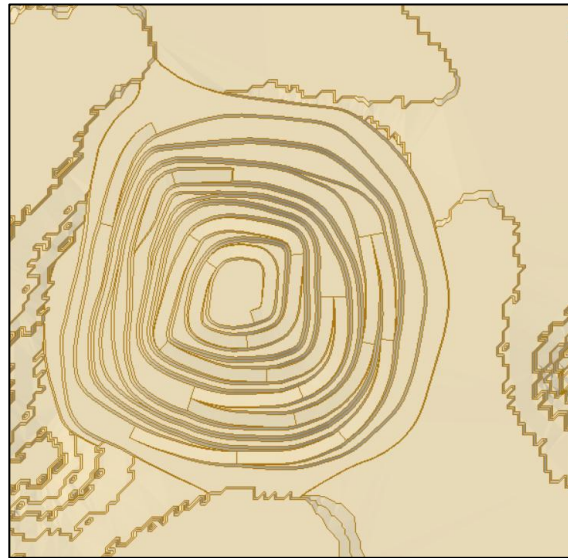


FIGURA 39 - JS01_MOD 4 FASES_FASE 2

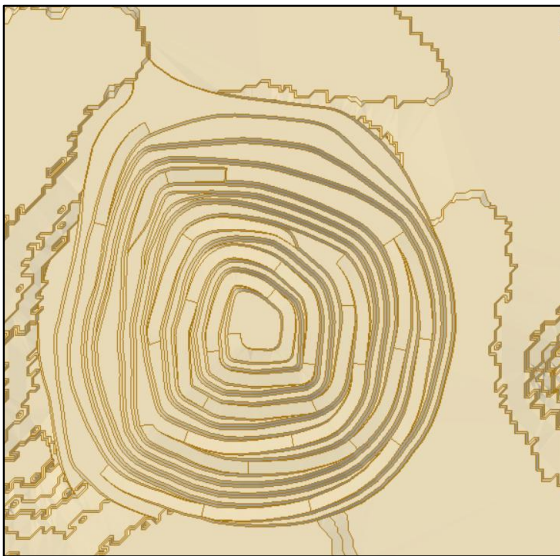


FIGURA 40 - JS01_MOD 4 FASES_FASE 3

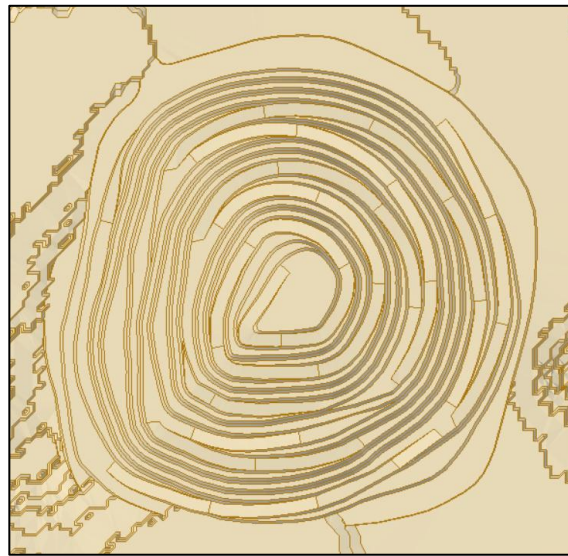


FIGURA 41 - JS01_MOD 4 FASES_FASE 4

TABLA 30 - CUBICACIÓN JS01_4F, OPERATIVO

Fase	Mineral [Mton]	Total [Mton]	REM
F1	1.44	11.01	6.66
F2	1.26	9.87	6.83
F3	0.93	9.74	9.52
F4	2.09	15.94	6.64
TOTAL	5.71	46.56	7.10

Se diseñaron las 4 fases del escenario original según el esquema mostrado en Figura 34 - JS01 Modificado con 4 Fases, la cual incluye algunos ajustes necesarios para dar los espacios operacionales requeridos.

Se presenta la tabla comparativa entre el diseño y el escenario original (JS01).

TABLA 31- COMPARACIÓN ESCENARIO ORIGINAL V/S DISEÑO JS01_3F

Fase	Item	Caso base	Diseño JS01_4F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	9.73	11.01	13%
	Ton. Mineral [Mton]	1.56	1.45	-7%
	Ley [%]	1.39	1.24	-11%
	REM	5.25	6.66	27%
F2	Ton. Total [Mton]	10.20	9.87	-3%
	Ton. Mineral [Mton]	1.58	1.27	-20%
	Ley [%]	1.69	1.73	2%
	REM	5.44	6.83	26%
F3	Ton. Total [Mton]	10.39	9.74	-6%
	Ton. Mineral [Mton]	1.61	0.93	-42%
	Ley [%]	1.89	2.32	23%
	REM	5.45	9.52	75%
F4	Ton. Total [Mton]	13.78	15.94	16%
	Ton. Mineral [Mton]	1.58	2.10	33%
	Ley [%]	1.26	1.36	7%
	REM	7.71	6.64	-14%
Total	Ton. Total [Mton]	44.10	46.56	5.6%
	Ton. Mineral [Mton]	6.33	5.75	-9.2%
	Ley [%]	1.56	1.57	0.2%
	REM	5.96	7.10	19%

Se observa que a nivel de fases las diferencias de tonelaje respecto al escenario original disminuyen comparado con la diferencia del diseño propuesto de 3 fases. Por otra parte, la ley de cobre aumenta en un 0.76% y la REM un 3%.

En este caso, dado que se tienen números globales similares, será interesante observar los implicancias asociadas a la separación entre las fases.

5.3 PLANES OPERATIVOS DE EXTRACCIÓN

Con la misma metodología utilizada en Parte 1, se generan los planes de las fases operativas. Estos planes son ajustados lo suficiente para cumplir con el requerimiento de copar la capacidad de planta lo más posible, pero sin optimizar completamente, por ejemplo no se considera una ley de cabeza, stock pile o un vector de leyes de alimentación decreciente. Las leyes de corte de Cu se utilizan como estrategia para regularizar gruesamente la alimentación a planta y no como optimizador de valor, aplicando solo a los años en que sea críticamente necesario, alterando lo menos posible el tonelaje de mineral. Para el primer año en general se permitió un avance anual de bancos mayor a 10 para favorecer el prestripping.

5.3.1 PLAN OPERATIVO MODELO BS

5.3.1.1 Plan Operativo BS 3 Fases

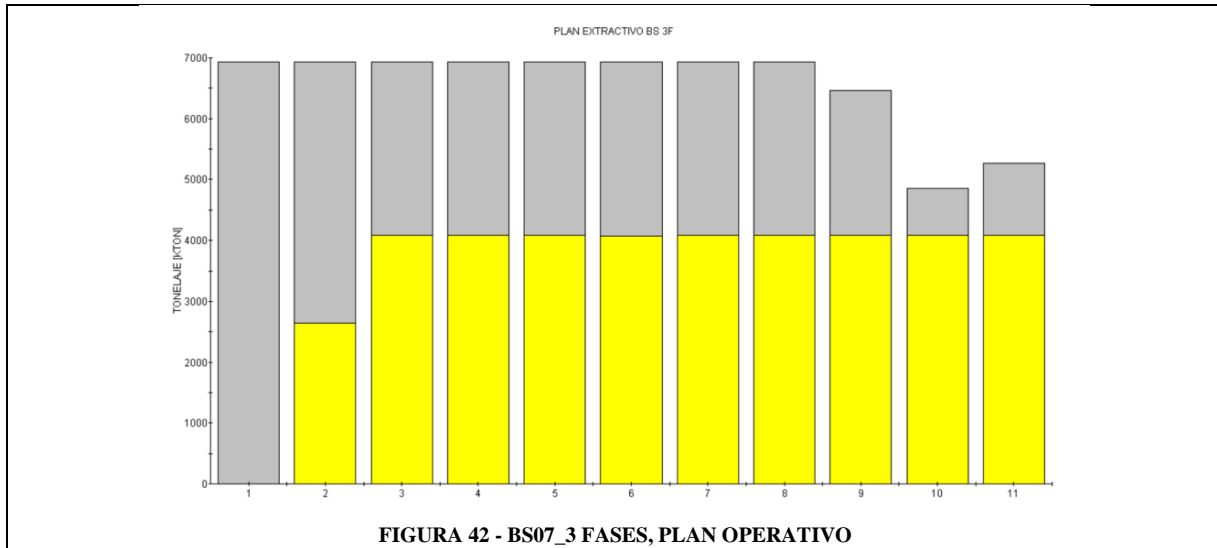


FIGURA 42 - BS07_3 FASES, PLAN OPERATIVO

TABLA 32- MOVIMIENTO ANUAL PLAN BS07_3F

Periodo	REM	N° Fases activas	N° Fases alimentación
1	-	3	-
2	1.62	3	3
3	0.7	2	2
4	0.7	2	2
5	0.7	2	2
6	0.7	2	2
7	0.7	2	2
8	0.7	2	2
9	0.58	2	2
10	0.19	2	2
11	0.29	2	2

TABLA 33 – RESUMEN PLAN BS07_3F

	BS07	BS07 3F	Dif. [%]
Total [Mton]	68.65	72.06	5%
Mineral [Mton]	43.63	39.35	-10%
REM	0.57	0.83	45%
Recuperado [L*t]	18.65	16.90	-9%
Lcut a proceso [%]	0.52	0.52	1%
NPV [MUS\$]	219.36	164.34	-25%
Vida [años]	10.69	11.00	3%

5.3.1.2 Plan Operativo BS 4 Fases (Propuesto)

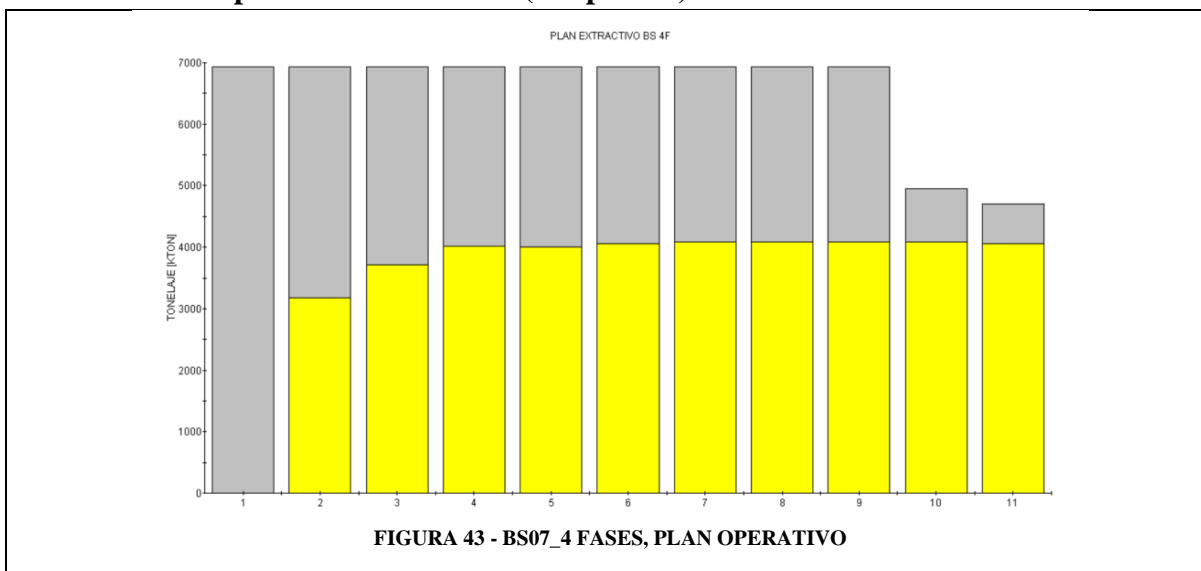


TABLA 34 - MOVIMIENTO ANUAL PLAN BS07_4F

BS07 4F			
Periodo	REM	Nº Fases activas	Nº Fases alimentación
1	-	4	-
2	1.18	4	3
3	0.87	2	2
4	0.73	3	3
5	0.73	3	3
6	0.71	3	3
7	0.7	3	3
8	0.7	2	3
9	0.7	2	2
10	0.21	2	2
11	0.16	2	2

TABLA 35 - RESUMEN PLAN BS07_4F

	BS07	BS07 4F	Dif. [%]
Total [Mton]	68.65	72.06	5%
Mineral [Mton]	43.63	39.35	-10%
REM	0.57	0.83	45%
Recuperado [L*t]	18.65	16.75	-10%
Lcut a proceso [%]	0.52	0.52	0%
NPV [MUS\$]	219.36	161.82	-26%
Vida [años]	10.69	10.99	3%

En ambos casos se da el mayor número de fases activas en los primeros periodos a causa de la gran cantidad de material estéril que debe ser removido. Para el plan con 3 fases se requiere profundizar más rápido el primer año que en el caso de 4 fases debido a la menor flexibilidad posible al trabajar solo con 3 fases activas, así requiere bajar 2 bancos más en dicho periodo. Los dos planes requirieron aplicar leyes de corte (bajas) en los primeros 2 y últimos 2 periodos para regularizar la alimentación a planta.

A pesar de la flexibilidad esperada al agregar una fase más, el plan presentó una complejidad bastante mayor para lograr una alimentación regular a planta en comparación con el primer diseño, requiriendo más iteraciones. El problema recurrente era la baja de alimentación a planta en el quinto año de explotación a causa de la baja cantidad de mineral en la fase 2 del diseño BS07_4F (5.56 Mton) en comparación con la fase siguiente (16.35 Mton).

5.3.2 PLAN OPERATIVO MODELO JS

De igual manera se generan los planes Milawa Balance para los diseños de JS.

5.3.2.1 Plan Operativo JS 3 Fases (Propuesto)

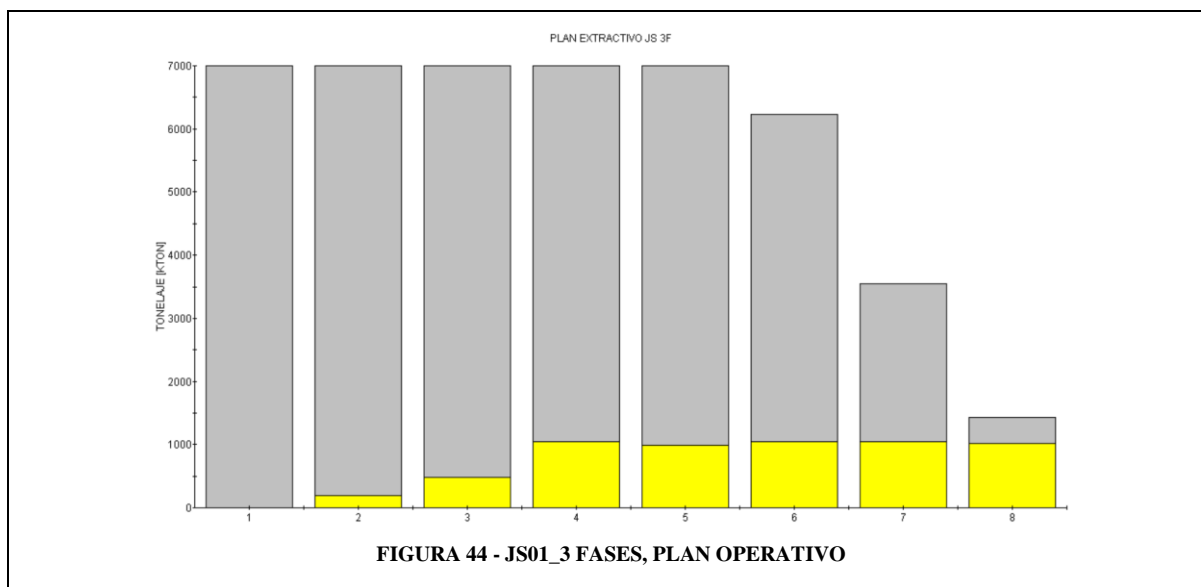


TABLA 36 - MOVIMIENTO ANUAL PLAN JS01_3F

JS01 3F			
Periodo	REM	Nº Fases activas	Nº Fases alimentación
1	-	3	-
2	34.99	3	2
3	13.42	3	2
4	5.73	3	3
5	6.03	3	3
6	4.98	2	2
7	2.41	2	2
8	0.41	1	1

TABLA 37 - RESUMEN PLAN JS01_3F

	JS 01	JS01 3F	Dif. [%]
Total [Mton]	45.29	46.20	2%
Mineral [Mton]	6.18	5.81	-6%
REM	6.33	6.95	10%
Recuperado	8.56	8.04	-6%
Leut a proceso [%]	1.56	1.55	0%
NPV [MUS\$]	226.54	182.80	-19%
Vida [años]	7.53	7.98	-99%

El plan del diseño propuesto representó la mayor simplicidad en su formulación, fueron necesarias mínimas iteraciones y solo se intervino permitiendo una mayor profundización durante el primer año.

5.3.2.2 Plan Operativo JS 4 Fases

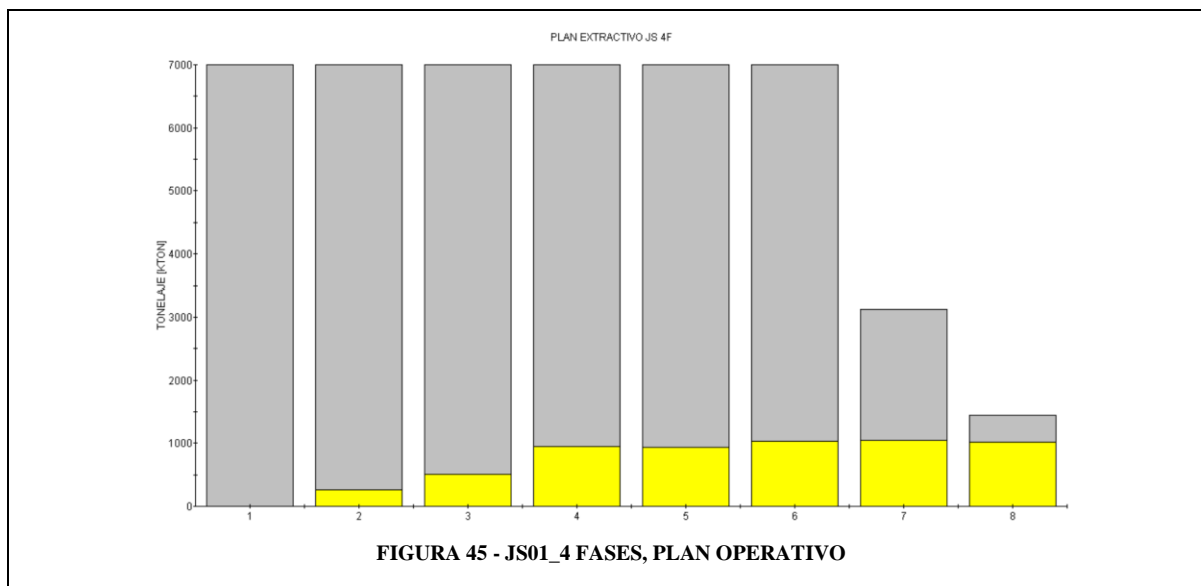


TABLA 38 - MOVIMIENTO ANUAL PLAN JS01_4F

JS01 4F			
Periodo	REM	Nº Fases activas	Nº Fases alimentación
1	-	4	-
2	26.23	4	3
3	12.88	4	3
4	6.37	4	3
5	6.45	4	3
6	5.76	3	3
7	2	2	2
8	0.41	2	2

TABLA 39 - RESUMEN PLAN JS01_4F

	JS 01	JS01 4F	Dif. [%]
Total [Mton]	45.29	46.56	3%
Mineral [Mton]	6.18	5.75	-7%
REM	6.33	7.10	12%
Recuperado	8.56	8.01	-6%
Lcut a proceso [%]	1.56	1.57	1%
NPV [MUS\$]	226.54	182.40	-19%
Vida [años]	7.45	7.99	7%

Ambos planes requieren profundar rápidamente en el primer periodo, sin embargo esta tasa baja en los periodos siguientes.

Se observa que para este proyecto se tiene el máximo posible de fases activas la mayor parte del tiempo de explotación, a diferencia de lo que se ve en el proyecto BS donde se tiene el máximo de fases activas solo para los primeros periodos.

6 ANÁLISIS

De manera general, se tiene la preconcepción de que resulta poco conveniente definir fases que busquen cumplir cierto objetivo, por ejemplo mejor control de la REM, apartándose del resultado de los optimizadores, lo cual resulta lógico al ver que ante escenarios de igual número y tamaño de fase, se tiene que mientras la fase sea definida de manera más fiel al resultado de la optimización mejor es su desempeño económico. Sin embargo, debido a cómo trabaja el algoritmo de optimización, en este caso L&G, se tiende a generar fases con centros compartidos, no necesariamente concéntricas pero sí con crecimientos muy próximos que se deben tener en consideración al momento de hacer una evaluación preliminar de un proyecto, ya que se debe contemplar que probablemente entre más cercano al óptimo (muchas fases y pequeñas) habrá más transgresión de los requerimientos operacionales para llevar a cabo la explotación. Así será necesario modificar estas envolventes al momento de integrar a ellas los parámetros operacionales, anulando de cierta manera la evaluación económica antes realizada.

Por lo tanto es aquí donde surge una base para proponer que no siempre el definir fases ceñidas perfectamente a los resultados optimizados implica necesariamente un mejor resultado, sino que debe ser evaluado en cuanto a la posibilidad de replicación efectiva. Es decir, apostar por una disposición de fases óptima que genere espacios operacionales angostos en el rango límite aceptable, puede ser que dada la complejidad inherente de la labor minera termine en atrapamiento de mineral, cierre de sectores productivos, falta de acceso, entre otros, que terminarán por botar el plus económico del escenario. Y que por otra parte una apuesta más distanciada de las envolventes óptimas pero con mayor consideración operacional puede llevar a un mayor éxito y a una evaluación preliminar más confiable, y está lejos de ser necesariamente un rotundo empeoramiento del negocio.

Lo anterior puede observarse en el hecho que en la segunda etapa del trabajo, donde los escenarios seleccionados fueron configurados con L&G, los diseños propuestos tuvieron que incluir una serie de modificaciones que permitieran llevar el escenario original a un escenario factible de extraer en la práctica. Así la economía de un proyecto está delimitado en gran parte por las restricciones de diseño y los efectos de este sobre la envolvente.

Cabe mencionar que todos los planes presentados son factibles de optimizar con cualquier y alcanzar mejores resultados con estrategias de leyes de corte, ley de cabeza liberación de la restricción de capacidad mina, etc. Sin embargo esto no se realiza para evitar plasmar subjetividades en los resultados y de paso analizar también la complejidad de cada caso para lograr un plan presentable en cuanto a movimiento de estéril y alimentación a planta. Por otra se logra observar que la definición de fases juega un rol importante en la realización de planes ya que puede facilitar o por el contrario atrapar y dificultar la generación de un plan de extracción económicamente atractivo.

6.1 GENERACIÓN DE VOLÚMENES DE FASES

De la etapa de construcción de los volúmenes de fase surge la primera observación. Una de las situaciones consideradas como favorables, que es posible escuchar con mayor frecuencia, es la de tener fases de rajo cuyo contenido tenga REM constante debido a su buen comportamiento respecto a perfiles de equipo y equilibrio de materiales, sin embargo tempranamente fue posible observar la complejidad de construir esta condición. De todos los escenarios construidos, la mayor demanda de tiempo y prolijidad se presentó en las configuraciones con REM constante, tanto para el modelo BS como JS, a pesar de recurrir a distintas herramientas que ayudan a lograr secuenciamientos diferentes. De hecho en ambos proyectos no fue posible cumplir esta condición en todos los escenarios, específicamente en aquellos con mayor número de fases y de menor tamaño.

Para lograr una REM constante en todas las fases, se requiere de una distribución más bien homogénea de leyes o mineral, que facilite crear parcelaciones que compensen los tonelajes de mineral y estéril, lo cual no es una situación común en los yacimientos debido a las concentraciones puntuales y por lo general erráticas de la mena. Además se suma a esto las geometrías de los cuerpos mineralizados, que condicionan los volúmenes y formas de las fases, como es evidente en el caso del proyecto JS, limitando el número de combinaciones posibles.

Siendo de todas maneras algo posible de realizar requiere, en los casos estudiados, una inversión de tiempo mayor al disponible, e incluso es posible extrapolar esta situación a la industria donde el factor “tiempo” es condicionante en los estudios de proyecto volviendo caro o poco admisible tener retrasos por intentar iterativamente llegar a un resultado, que por otra parte no asegura un mejor resultado necesariamente.

Lograr una secuencia de REM creciente en el tiempo (a pesar de estar supeditado a características de distribución de leyes en caso de yacimientos con geometrías agudas o clavadas en profundidad) puede ser un criterio factible de aplicar en un tiempo de procesamiento aceptable.

6.2 PLANES SUAVIZADOS

Los planes son tomados como una herramienta de medición y comparación de los planes y se utiliza un mismo algoritmo de agendamiento con el objetivo de no caer en subjetividades, sin embargo no es este método el mejor y existe evidentemente una opción de mejora de los planes propuestos mediante softwares y herramientas de optimización de planes más desarrolladas. Situación que escapa al alcance del trabajo.

En cuanto a los controles de mineral o tamaño, se tiene que la búsqueda de fases con requerimiento de mineral fijo entrega mejores resultados en el plan, por sobre el control de tamaño total. Esto se debe a que no solo un tamaño menor de la fase es favorable, sino que

lo importante es que las zonas que se vayan abriendo conduzcan y aseguren una cantidad mínima de mineral de la cual el planificador pueda disponer. Por lo tanto no solo es importante tener “juego de piernas” para hacer los planes, sino que las fases deben contener en sí un aporte de valor independiente en los años económicos, a pesar de que se tengan puntos simultáneos de extracción. Esto se puede observar en las tablas Tabla 15 - Resumen VAN Planes BS y Tabla 16 - Resumen VAN Planes JS donde los mejores resultados económicos se concentran en el recuadro de Planes con control mineral.

TABLA 15 - RESUMEN VAN PLANES BS						
BS	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2.15 años	3 años	1.5 años	2.15 años	3 años
L&G	219.83	171.02	219.36	170.82	165.65	170.72
REM Creciente	167.13	166.75	168.25	165.06	168.09	167.37
REM Constante		202.44	157.08		160.03	157.08

TABLA 16 - RESUMEN VAN PLANES JS						
JS	Control Mineral			Control Tonelaje		
	1.5 años	2 años	3 años	1.5 años	2 años	3 años
L&G	226.55	219.53	211.76	218.26	212.92	215.11
REM Creciente	226.55	219.53	211.76	198.79	212.92	215.11
REM Constante		190.07	190.07		191.42	196.28

FIGURA 46 - TABLAS RESUMEN DE PLANES

En dichas tablas también se muestra que los resultados más bajos se ubican en los planes con fases de REM constante, esto se suma a lo mencionado anteriormente a cerca de la complejidad de configurar este tipo de escenarios y permite demostrar que al menos en los casos estudiados este criterio se encuentra lejos de representar los beneficios que a primera vista se suelen deducir comúnmente.

Evaluando el número de fases activas y de alimentación a planta anuales se observó que los escenarios sin control de REM presentan un promedio más bien errático del número de fases activas sin poder identificar una tendencia clara, pero en comparación con los otros dos controles la cantidad de fases en explotación presenta una mayor desviación del promedio.

Por otra parte los escenarios con REM constante tienen en promedio entre 0.5 y 1 fase activa menos que los escenarios con REM creciente. Comparando las triadas de escenarios con fases de igual tamaño y los distintos controles de REM (agrupando por vida de fase), los escenarios de REM creciente presentan en prácticamente todos los casos el promedio máximo de fases activas y de alimentación anual y una menor desviación del promedio. Esto se evidencia en Anexo D “N° de Fases Activas y de alimentación en Planes suavizados”, en estas tablas se presenta el número de fases activas y en alimentación a

planta por periodo. Mirando el anexo D-1 Fases en explotación Planes BS y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar fácilmente esta tendencia al poner atención en los promedios de fases en explotación de cada escenario, mientras que en D-2 Fases en explotación Planes JS y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es menos claro debido a que dicho proyecto tiene menos casos, en varios de ellos el escenario de REM libre y creciente son el mismo y tiene una vida productiva menor, sin embargo los escenarios de REM constante JS08 y JS18 muestran claramente los promedios de fases en explotación más bajos de ese modelo, mientras el plan JS11 de REM creciente presenta el promedio más alto, apoyando esta tendencia.

Analizando este mismo ítem se observa que los máximos de fases activas se dan en los primeros 2 o 3 periodos de explotación, principalmente en el prestripping lo cual se debe a la necesidad de profundizar en el yacimiento para lograr aflorar el mineral para el primer año de producción, ante esto es que se puede deducir que en caso de tener una cantidad de fases mayor a 4 se vuelve relevante que las primeras fases sean de menor tamaño de manera de otorgar mayor flexibilidad en los inicios y permitir la aparición oportuna de mineral ya que fases muy grandes permiten menos frentes activas corriendo el riesgo de que el mineral se postergue. En caso de tener menos fases es importante que estas sean extraíbles simultáneamente desde los primeros años para dar holgura y flexibilidad al plan, manteniendo varias frentes en explotación.

Las desviaciones de este promedio aportan un riesgo considerable en el plan puesto que en los casos de REM constante se puede ver algunos años con 2 o 1 fase activa en la mitad de la vida del proyecto y otros con el máximo de fases activas, lo cual además podría significar una ineficiencia por alto traslado de equipo por la variación de los frentes de carguío, a diferencia de los escenarios de REM creciente donde el número de fases en explotación al año varía a lo más en una fase. En los casos de REM libre se pueden presentar cualquiera de las dos situaciones indicadas anteriormente habiendo mayor incertidumbre en el resultado final de este tipo de configuraciones.

Los buenos efectos de generar fases con control de mineral se refuerzan con los resultados obtenidos en los escenarios que contemplan una fase inicial de prestripping, es decir una fase con contenido estéril. Estos escenarios ven mermado su desempeño económico a medida que aumenta la fase de estéril y es independiente del tiempo de prestripping definido por plan, solo en los casos en que hay fase de estéril en un escenario e REM creciente el resultado puede ser menos desfavorable.

También se puede ver cierta tendencia a que fases de menor tamaño y sin restricción de REM en su definición entregan altos resultados económicos, como por ejemplo los escenarios BS01, BS10, JS01 y JS10, sin embargo no son una exclusividad y también es posible tener buenos resultados al generar fases de mayor tamaño controlando el contenido de mineral de la fase, además dependerá en gran medida de la oportunidad de flexibilizar en

el plan lo cual no solo se asocia al número de fases total sino más bien a la posibilidad de extraer simultáneamente las fases.

6.3 DISEÑOS Y PLANES OPERATIVOS

Para ambos proyectos se pudo observar el efecto importante de la integración del diseño a los planes suavizados. Los parámetros de diseño que son necesarios considerar permiten la futura operación de la mina y debe respaldar su funcionalidad respecto a los equipos extractivos a utilizar y la estabilidad de los taludes, sin esto no hay negocio productivo, pero su integración requiere de modificaciones que alteran la evaluación económica preliminar debido a que, por ejemplo, para dar el fondo (ancho) de pit necesario para la operación del match pala-camión es necesario postergar la extracción de mineral ubicado en la base de la envolvente inicial o en caso de ser fase final, perder dicho tonelaje. Lo mismo sucede con los espacios angostos entre fase que obliga a llevar el diseño a pared final adelantando así estéril o mineral de menor beneficio.

El hecho de tener bancos de extracción obliga a hacer un trade-off entre la profundización en el diseño de la fase y su proyección a superficie que irá integrando cada vez más material subeconómico para la fase. Ante esto la evaluación de utilizar bancos dobles se vuelve atractiva pero siempre supeditada a las restricciones geotécnicas.

Con la experiencia de diseño del proyecto JS se evidenció que el diseño de fases con pared común vuelven complejo el sistema de rampaje, requiriendo mayor prolijidad en empalmes y alta integración de switchbacks, por lo cual se sugiere buscar en general la apertura del rajo permitiendo no solo simplificar el diseño de rampas sino también aumentar las salidas y dar más opciones de viabilidad al diseño.

Se presenta un cuadro comparativo resumen por fase de cada proyecto con sus escenarios diseñados.

TABLA 40 - RESUMEN DISEÑOS Y PLANES OPERATIVOS BS

Fase	Item	Caso BS07	Diseño BS07_3F	Dif [%]	Diseño BS07_4F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	17.35	20.72	19%	20.72	19%
	Ton. Mineral [Mton]	15.14	14.50	-4%	13.70	-10%
	Ley [%]	0.62	0.60	-2.7%	0.60	-2.2%
	REM	0.15	0.43	195%	0.51	252%
F2	Ton. Total [Mton]	25.88	42.26	63%	15.28	-41%
	Ton. Mineral [Mton]	14.09	21.16	50%	5.56	-61%
	Ley [%]	0.48	0.49	0.3%	0.45	-6.3%
	REM	0.84	1.00	19%	1.75	109%

F3	Ton. Total [Mton]	25.42	9.08	-64%	26.98	42%
	Ton. Mineral [Mton]	14.39	3.70	-74%	16.35	40%
	Ley [%]	0.45	0.44	-1.1%	0.49	7.0%
	REM	0.77	1.45	90%	0.65	79%
F4	Ton. Total [Mton]				9.08	
	Ton. Mineral [Mton]				3.75	
	Ley [%]				0.44	
	REM				1.42	
Total	Ton. Total [Mton]	68.65	72.06	5%	72.06	5%
	Ton. Mineral [Mton]	43.63	39.35	-10%	39.35	-10%
	Ley [%]	0.52	0.52	1.1%	0.52	0.1%
	REM	0.57	0.83	45%	0.83	45%
	VAN	219.36	164.34	-25%	161.82	-26%

En la tabla superior se puede observar que el comportamiento de la REM en el diseño con 3 fases resultó ser creciente mientras que es errático para el diseño con 4 fases, al observar el número de fases activas y en alimentación en Tabla 32 y Tabla 34 se ratifica la tendencia de que planes con fases de REM creciente generan un plan con un número anual de fases en extracción mucho más estable y con tendencia al máximo, disminuyendo el riesgo del plan.

Observado estas mismas tablas, y revisando el detalle de los planes suavizados se tiene que lograr extracción con REM anual constante es fácilmente alcanzable en el plan de extracción para los periodos de régimen y que en este tema no hay un aporte positivo por parte de los escenarios de fases con REM cte., por el contrario son los que mayor desviación presentan en la REM anual. Además se puede estabilizar la Rem de los periodos iniciales y finales optimizando el plan con leyes de corte.

Un punto relevante en este diseño era cuidar que el ensanchamiento de una fase no afecte al resto de ellas puesto que tamaños muy pequeños fuera de dar flexibilidad tienen un aporte marginal en el plan, pueden volver estrecha la aparición de mena y generar caídas de alimentación en periodos intermedios de los planes requiriendo mayor tiempo de optimización del plan y probable pérdida de mineral. Más relevante se vuelve el hecho de que las fases al ser varias tengan también cierta homogeneidad. Un ejemplo de esto se ve en los diseños de BS, particularmente en el diseño BS07_4F donde la cuarta fase es muy pequeña y la segunda fase posee bastante menos mineral que la tercera fase generando, como se mencionó anteriormente caídas en el quinto y sexto año del plan y mayor complejidad para alimentar de manera constante a la planta, con consecuencia de pérdida de mineral. Ante esto se podría esperar que una división más homogénea de la fase podría haber conducido a un mejor resultado económico. Por esto, al menos en este caso no es posible observar el beneficio directo de división de una fase de gran tamaño.

Ambos diseños sufren aun caída del VAN en torno al 25%, asociado principalmente a las modificaciones que debieron integrarse para operativizar el plan y la caída en mineral al requerir un mayor ancho del fondo de pit, esto se podría atacar teniendo distintas flotas que permitan operar en espacios más reducidos y así aumentar la recuperación minera.

TABLA 41 - RESUMEN DISEÑOS Y PLANES OPERATIVOS JS

Fase	Item	Caso JS01	Diseño JS01_3F	Dif [%]	Diseño JS01_4F	Dif [%]
F1	Ton. Total [Mton]	9.73	9.57	-2%	11.01	13%
	Ton. Mineral [Mton]	1.56	1.49	-4%	1.45	-7%
	Ley [%]	1.39	1.07	-23%	1.24	-11%
	REM	5.25	5.42	3%	6.66	27%
F2	Ton. Total [Mton]	10.20	17.62	73%	9.87	-3%
	Ton. Mineral [Mton]	1.58	2.47	56%	1.27	-20%
	Ley [%]	1.69	1.63	-3%	1.73	2%
	REM	5.44	6.14	13%	6.83	26%
F3	Ton. Total [Mton]	10.39	19.01	-21%	9.74	-6%
	Ton. Mineral [Mton]	1.61	1.86	-42%	0.93	-42%
	Ley [%]	1.89	1.83	16%	2.32	23%
	REM	5.45	9.23	45%	9.52	75%
F4	Ton. Total [Mton]	13.78			15.94	16%
	Ton. Mineral [Mton]	1.58			2.10	33%
	Ley [%]	1.26			1.36	7%
	REM	7.71			6.64	-14%
Total	Ton. Total [Mton]	44.10	46.20	4.8%	46.56	5.6%
	Ton. Mineral [Mton]	6.33	5.81	-8.2%	5.75	-9.2%
	Ley [%]	1.56	1.55	-0.5%	1.57	0.2%
	REM	5.96	6.95	16%	7.10	19%
	VAN	226.54	182.80	-19%	182.40	-19%

En el caso del proyecto JS, el diseño propuesto de 3 fases tiene un efecto positivo directo por sobre el diseño de 4 fases, de manera mínima sobre el valor de plan pero notable en cuanto a operatividad. La supresión de una fase permite dejar un mayor espacio interfase favoreciendo el ingreso y ubicación de maquinaria. A pesar de que el diseño 4F buscar cumplir con los espacios operacionales, existen sectores que a pesar de estar dentro del margen son tan límites que se corre el riesgo de que en algún periodo quede algún sector sin acceso temporal. El diseño de 4 fases posee mayor REM ya que la recuperación de mineral de acuerdo a la geometría de las fases tiene como consecuencia un ensanchamiento que se pronuncia en la parte más superficial de la fase, aumentando la incorporación de estéril.

Finalmente estos ejemplos permiten también ver como el diseño puede absorber diferencias o ventajas teóricas/preliminares y tener una influencia determinante en el VAN.

7 CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se tiene que de manera general:

- La geometría y distribución de la mineralización son un factor fundamental para definir una estrategia apropiada de selección de fases, incluso siendo apoyado por softwares optimizadores se debe tener poder de observación de las restricciones que la forma de la mineralización puede presentar.
- Cuando un algoritmo de optimización logra generar fases con amplias separaciones y existen pocos y pequeños sectores estrechos, se debe dar preferencia a obedecer a esta secuencia fusionando los sectores mínimos y respetando las áreas mayores, pues efectivamente estos algoritmos permiten mejorar la toma de decisiones y suelen tener asociados mejores valores económicos cuando pueden ser implementados con propiedad.
- Eso sí, no siempre los resultados optimizados logran capturar la complejidad de un rajo. Dependiendo de las condiciones del proyecto, existe la posibilidad de que la generación de una disposición de envolventes guiada por la operatividad del rajo tenga mejores resultados que las configuraciones que puedan arrojar los optimizadores, como se pudo observar en los diseños propuestos. Esto es siempre una posibilidad y como tal presenta un riesgo, sin embargo cuando predomina la limitante de espacios o la deformación de fases, esta puede ser una buena alternativa mientras vaya de la mano con las exigencias operacionales. Todas estas decisiones tienen una respuesta económica importante asociada.
- Al momento de diseñar fases en espacios estrechos o franjas angostas es clave la apropiada ubicación de los switchbacks para evitar que generen narices difíciles de corregir a medida que se avanza en el diseño. Deben ubicarse en zonas que se observe una posterior expansión de la envolvente, evitar realizarlas cercanas al punto de empalme que suelen ser zonas más pequeñas y pueden quedar como grandes salientes, pero la formación de la plataforma de giro puede ser extendida y favorecer la confección de un buen empalme.

De manera más específica se puede rescatar que:

- El tema recurrente de la idoneidad y lo deseable de construir fases con REM constante no se ve plasmada de manera destacable dentro de los escenarios estudiados (8 con REM cte. de 12 teóricos, 26 en total). Se reconoce como una alternativa posible, pero cabe destacar la complejidad, exigencia de minuciosidad y alta demanda de tiempo que se requiere invertir para lograr su conformación. Esta situación lo vuelve una opción poco viable en la contingencia y condición de tiempo

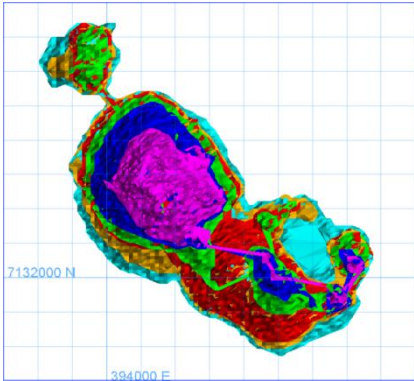
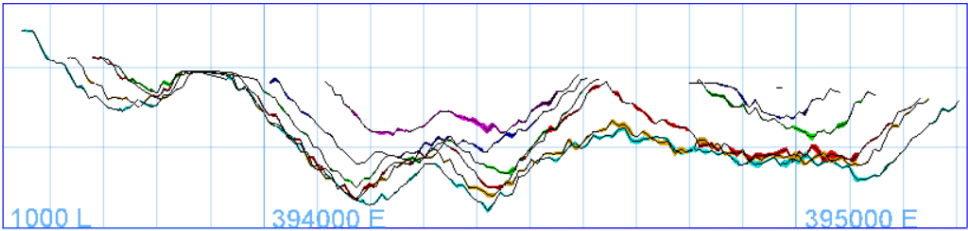
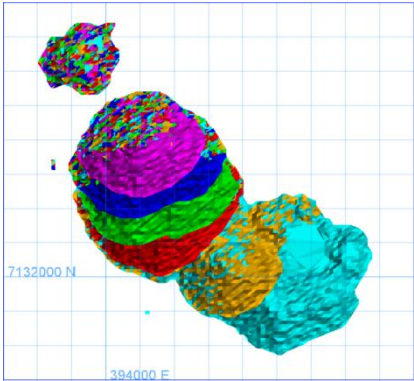
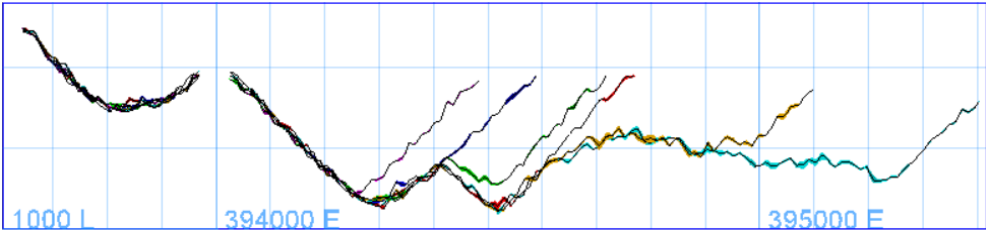
usual que dedica la industria a un estudio preliminar y de factibilidad de un proyecto de rajo.

- Se suma el hecho de que en los ejemplos observados esta configuración no se traduce directamente en un mejor desempeño de los planes, es más, presentaron los peores resultados en cuanto a beneficio, flexibilidad y riesgo. Por otra parte, la generación de fases con REM creciente se dio con menor dificultad y entregando mejor resultado económico, alta flexibilidad y menor riesgo. En cuanto a asegurar una REM anual de extracción constante, es una situación que se regula en la optimización del plan de extracción.
- En los planes de los escenarios con REM constante se observó que poseen el menor y más variable número de fases en extracción por periodo, lo que disminuye la flexibilidad para el planificador y aumenta el riesgo del plan al tener menos “juego de piernas” para alimentar a la planta ante cualquier imponderable que amenace a la explotación de la mina. Por el contrario, los planes de las configuraciones con REM creciente presentan mayor número de fases activas y en alimentación por periodo, disminuyendo el riesgo y aumentando la flexibilidad del plan.
- Independiente del número o tamaño de fases, se debe asegurar el contenido de mineral de la misma. De los casos estudiados presentaron mejor desempeño aquellas configuraciones que controlaban y aseguraban cierto tonelaje de mineral por fase, lo que ayuda a la aparición oportuna de alimentación, bajando el riesgo al tener un porcentaje de independencia de una fase ante contingencias.
- Fases de menor tamaño, y por consiguiente, un mayor número de fases pueden tener un impacto positivo al flexibilizar la realización de los planes, sin embargo se debe verificar la disponibilidad suficiente de espacios para operación y evitar sacrificar área con tal de aumentar en número de fases, ya que una vez llevado a diseño y operación la alteración ejercida por los parámetros operacionales pueden acentuar los estrechos y finalmente perjudicar más que su beneficio previsto.
- Al realizar modificaciones en la disposición de las fases debido a la aplicación del diseño, se deben ubicar los nuevos volúmenes buscando no agrandar o disminuir excesivamente una fase ya que por mucho que se sigan a las envolventes óptimas, un desequilibrio en los tamaños de las fases afecta directamente en el plan en su capacidad de mezcla y movimiento.
- Finalmente, lo más importante que se debe mencionar es que la conversación entre la optimización y los parámetros operacionales se debe dar de manera simultánea desde el primer momento de ejecución de un estudio y no verse como tareas sucesivas, ya que se arriesga no solo en caer en errores sino también a la pérdida de tiempo valioso, a la doble o iterativa realización de tareas y al vicio del proceso.

8 BIBLIOGRAFÍA

- M.S. GALLAGER AND R.M KEAR, 2001. *Split shell open pit design concept applied al De Beers Venetia Mina South Africa using the Whittle and Gemcom software.*
- Mr T D SULLIVAN. *Pit slope design and risk – A view of the current state of the art.*
- ANDREW WETHERELT AND KLAAS PETER VAN DEL WIELSEN. SME Mining Engineering Handbook. *Introduction to Open-Pit Mining. Chapter 10.1.*
- DAVID ARMSTRONG. *Definition of Mining Parameters. Planning and Design of Surface Mines. Chapter 5.1 and Chapter 5.2.*
- Asociación de Ingenieros en Minas del Ecuador., 2003. *Diseño de Explotación a Cielo Abierto.*
- BUSTAMANTE ESPEJO, L. (2010). *Evaluación de métodos de planificación de largo plazo en mina Chuquicamata.* Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- CASTILLO CASTELLÓN, P. (2010). *Modelo para estimar la productividad de equipos de carguío en una mina a cielo abierto. Tesis .* Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- MARAMBIO PIZARRO, G. (2010). *Efecto del diseño minero en la velocidad de los equipos de transporte (Radomiro Tomic).* Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- HUSTRULID, W. A. (1998). *Open pit mine planning & design* (2nd ed., Vol. 1. Fundamentals). Rotterdam.

ANEXO A
 “CONFIGURACIONES DE FASES”
 A-1 CONFIGURACIONES DE FASES CASO BS

Escenario	Vistas
<p style="text-align: center;"><u>BS 01</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - REM libre - Mineral Cte. - 1.5 Años 	<div style="text-align: center;">  <p>7132000 N 394000 E</p> <p>FIGURA 47 – BS01 VISTA SUPERIOR</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1000 L 394000 E 395000 E</p> <p>FIGURA 48 - BS01 CORTE TRANSVERSAL</p> </div>
<p style="text-align: center;"><u>BS 02</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - REM Creciente - Mineral Cte. - 1.5 Años 	<div style="text-align: center;">  <p>7132000 N 394000 E</p> <p>FIGURA 49– BS02 VISTA SUPERIOR</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1000 L 394000 E 395000 E</p> <p>FIGURA 50 - BS02 CORTE TRANSVERSAL</p> </div>

BS 04

- REM Libre
- Mineral Cte.
- 2.15 Años

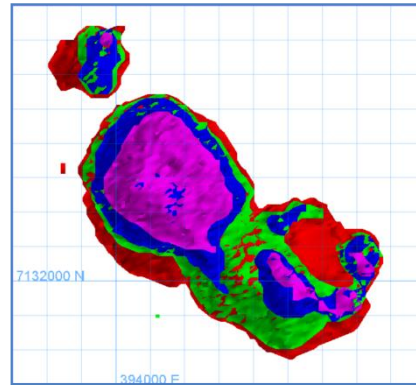


FIGURA 51 – BS04 VISTA SUPERIOR

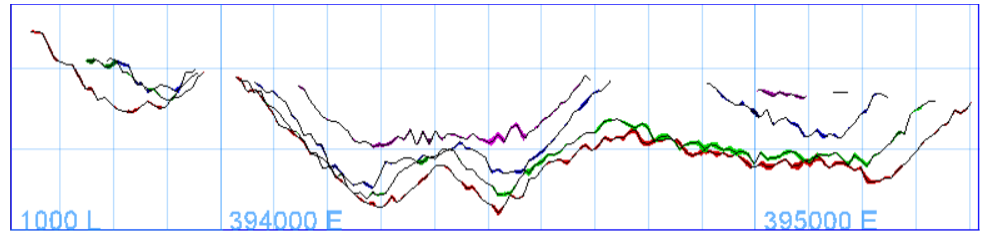


FIGURA 52 - BS04 CORTE TRANSVERSAL

BS 05

- REM Creciente
- Mineral Cte.
- 2.15 Años

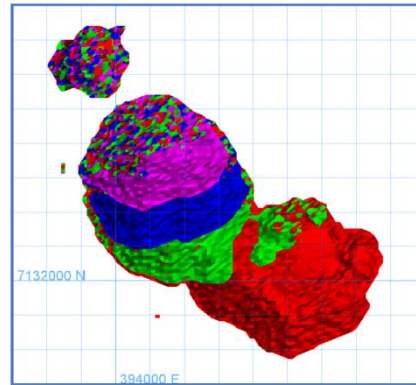


FIGURA 53 – BS05 VISTA SUPERIOR

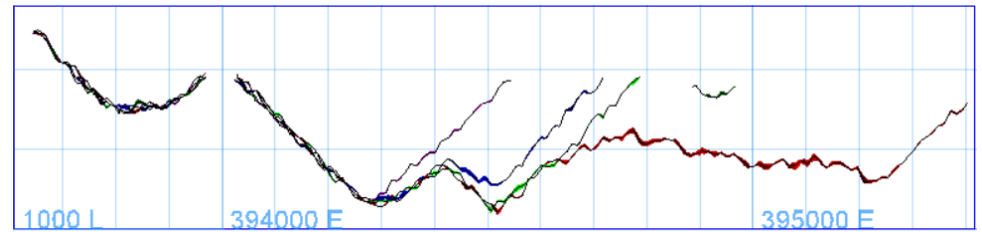


FIGURA 54 - BS05 CORTE TRANSVERSAL

BS 06

- REM Constante
- Mineral Cte.
- 2.15 Años

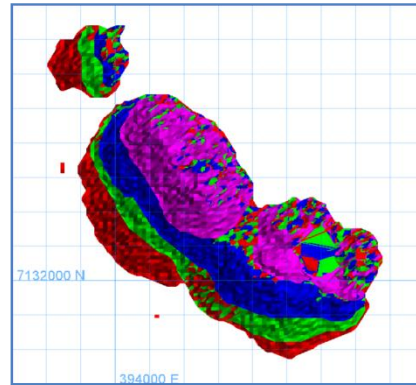


FIGURA 55 – BS06 VISTA SUPERIOR

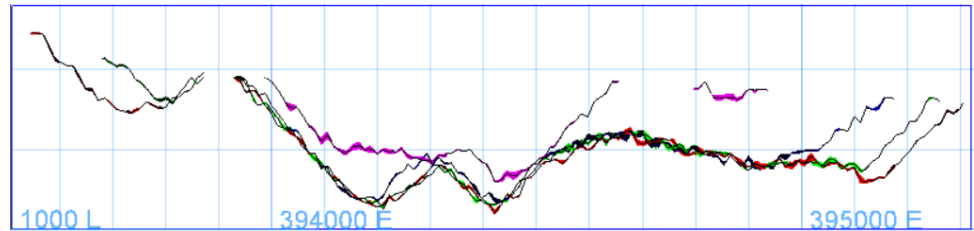


FIGURA 56 - BS06 CORTE TRANSVERSAL

BS 07

- REM Libre
- Mineral Cte.
- 3 Años

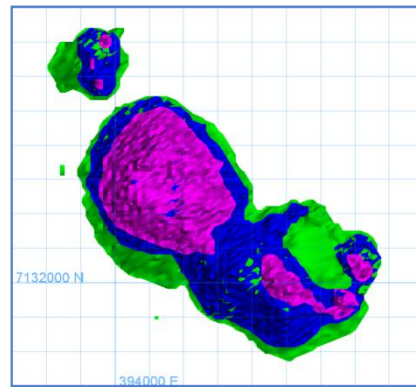


FIGURA 57 – BS07 VISTA SUPERIOR

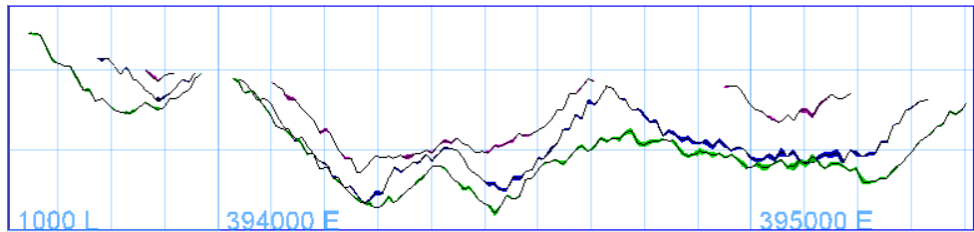


FIGURA 58 - BS07 CORTE TRANSVERSAL

BS 08

- REM Creciente
- Mineral Cte.
- 3 Años

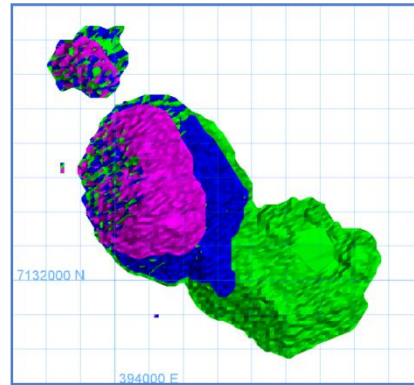


FIGURA 59 – BS08 VISTA SUPERIOR

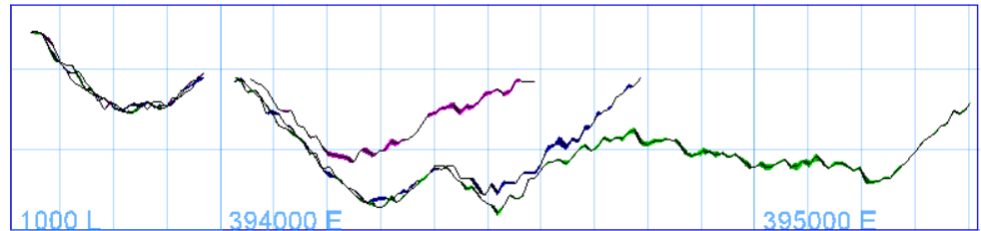


FIGURA 60 - BS08 CORTE TRANSVERSAL

BS 09

- REM Constante
- Mineral Cte.
- 3 Años

BS 18

- REM Constante
- Tonelaje Cte.
- 3 Años

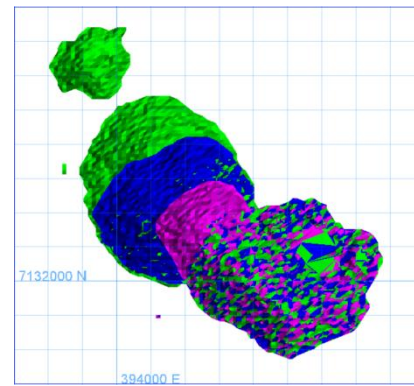


FIGURA 61 – BS09-BS18 VISTA SUPERIOR

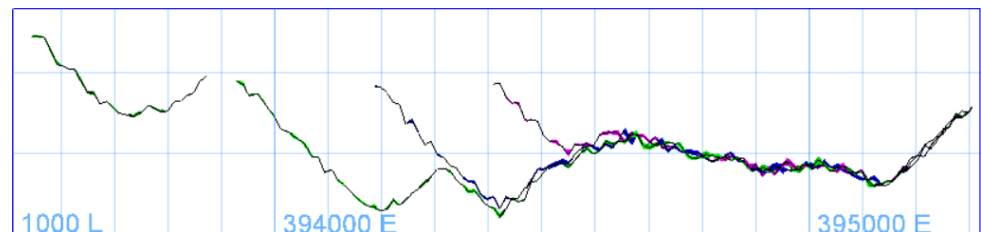


FIGURA 62 - BS09 CORTE TRANSVERSAL

BS 10

- REM libre
- Tonelaje Cte.
- 1.5 Años

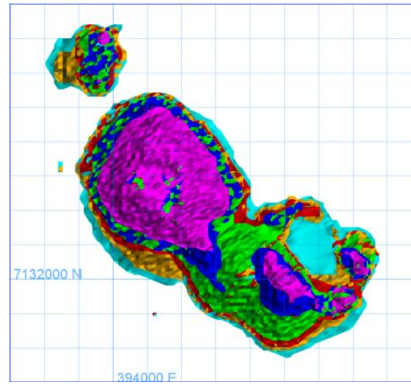


FIGURA 63 – BS10 VISTA SUPERIOR

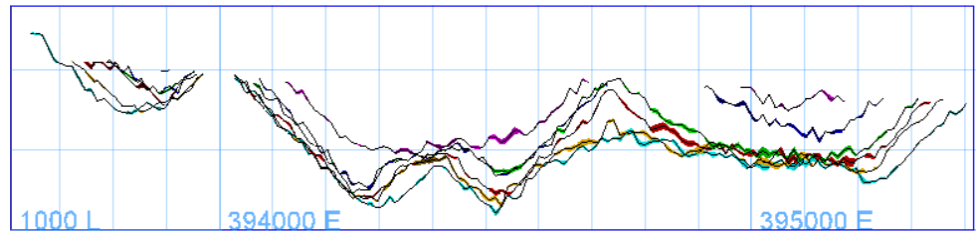


FIGURA 64 - BS10 CORTE TRANSVERSAL

BS 11

- REM Creciente
- Tonelaje Cte.
- 1.5 Años

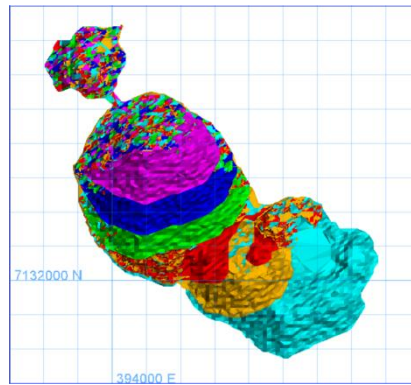


FIGURA 65 – BS11 VISTA SUPERIOR

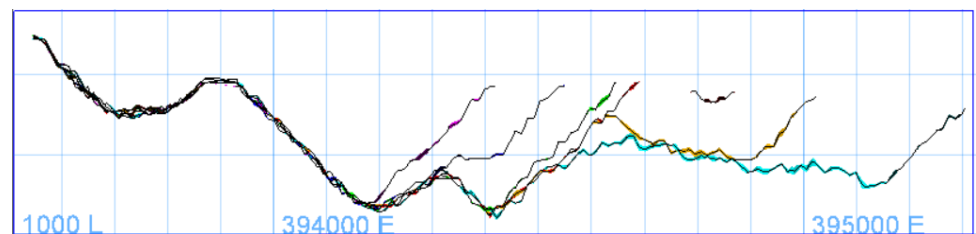


FIGURA 66 - BS11 CORTE TRANSVERSAL

BS 13

- REM Libre
- Tonelaje Cte.
- 2.15 Años

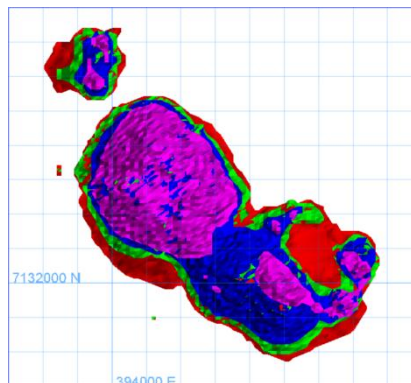


FIGURA 67 – BS13 VISTA SUPERIOR

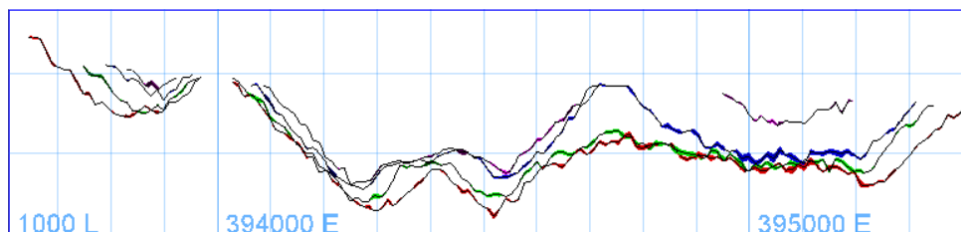


FIGURA 68 - BS13 CORTE TRANSVERSAL

BS 14

- REM Creciente
- Tonelaje Cte.
- 2.15 Años

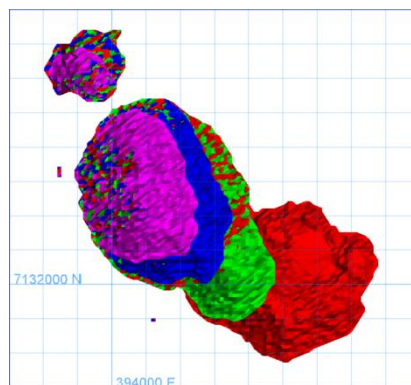


FIGURA 69 – BS14 VISTA SUPERIOR

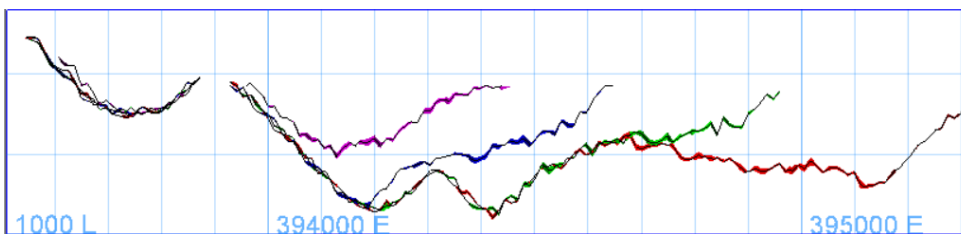


FIGURA 70 - BS14 CORTE TRANSVERSAL

BS 15

- REM Constante
- Tonelaje Cte.
- 2.15 Años

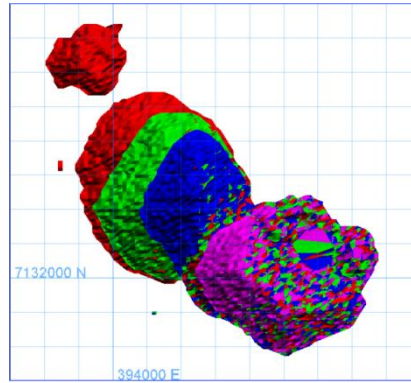


FIGURA 71 – BS15 VISTA SUPERIOR

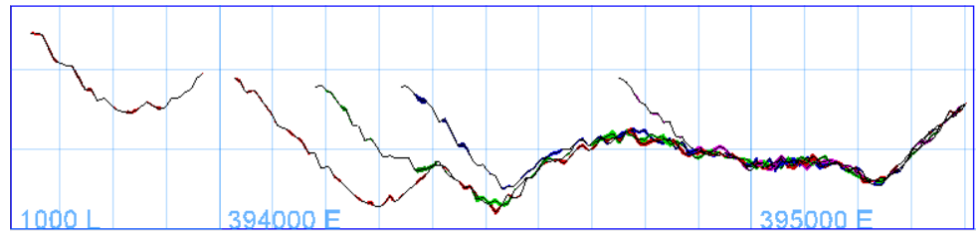


FIGURA 72 - BS15 CORTE TRANSVERSAL

BS 16

- REM Libre
- Tonelaje Cte.
- 3 Años

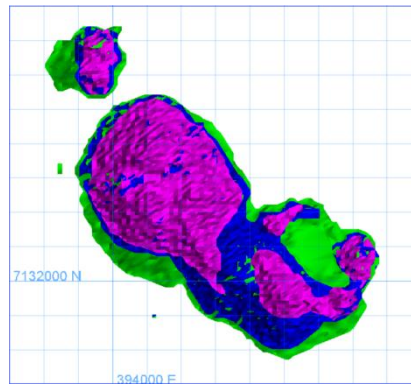


FIGURA 73 – BS16 VISTA SUPERIOR

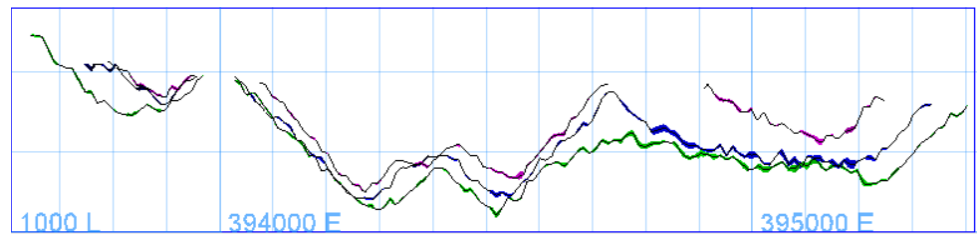


FIGURA 74 - BS16 CORTE TRANSVERSAL

BS 17

- REM Creciente
- Tonelaje Cte.
- 3 Años

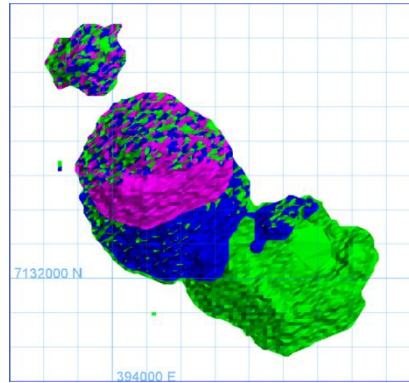


FIGURA 75 – BS17 VISTA SUPERIOR

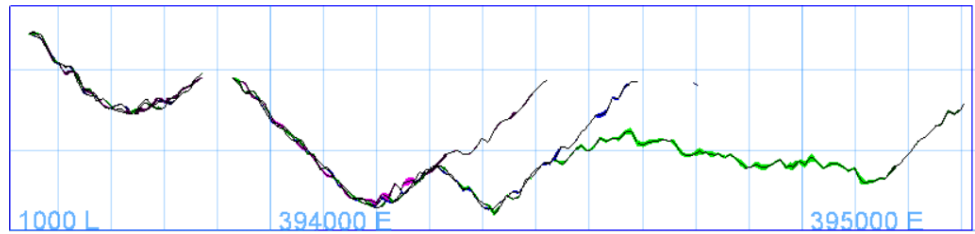
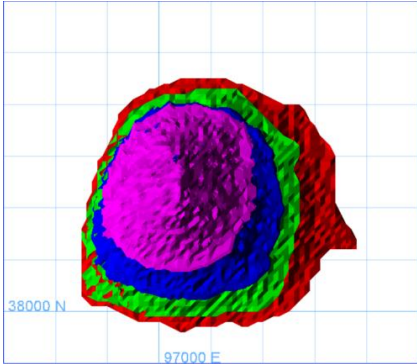
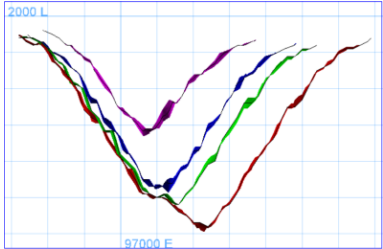
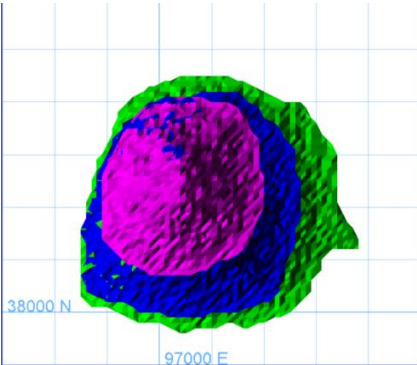
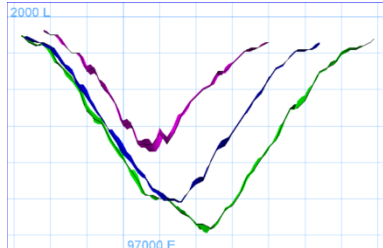
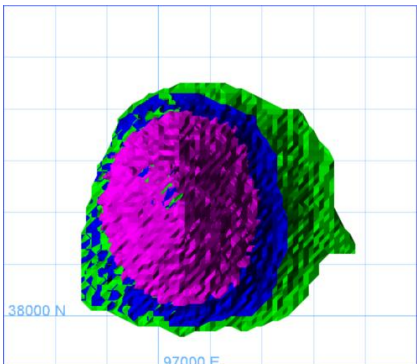
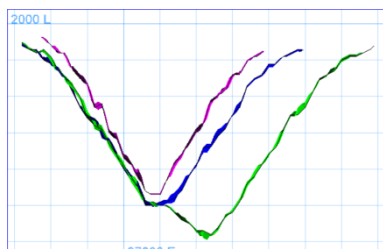


FIGURA 76 - BS17 CORTE TRANSVERSAL

A-2 CONFIGURACIONES DE FASES CASO JS

Escenario	Vista Superior	Vista Transversal
<p style="text-align: center;"><u>JS01/02</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - REM libre - Mineral Constante - 1.5 Años 	 <p style="text-align: center;">FIGURA 77 - JS01 VISTA SUPERIOR</p>	 <p style="text-align: center;">FIGURA 78 - JS01 CORTE TRANSVERSAL</p>
<p style="text-align: center;"><u>JS04/05</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - REM libre - Mineral Constante - 2 Años 	 <p style="text-align: center;">FIGURA 79 - JS04 VISTA SUPERIOR</p>	 <p style="text-align: center;">FIGURA 80 - JS04 CORTE TRANSVERSAL</p>
<p style="text-align: center;"><u>JS06</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - REM Constante - Mineral Constante - 2 Años 	 <p style="text-align: center;">FIGURA 81 - JS06 VISTA SUPERIOR</p>	 <p style="text-align: center;">FIGURA 82 - JS06 CORTE TRANSVERSAL</p>

JS07/08

- REM libre
- Mineral Constante
- 3 Años

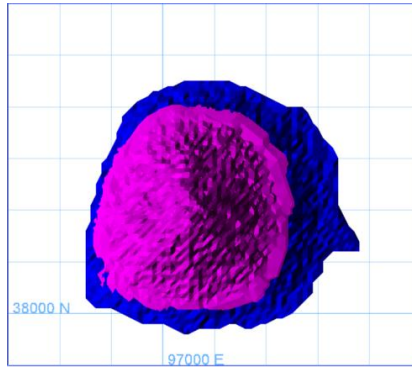


FIGURA 83 - JS07 VISTA SUPERIOR

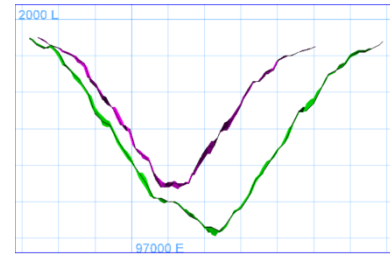


FIGURA 84 - JS07 CORTE TRANSVERSAL

JS09

- REM Constante
- Mineral Constante
- 3 Años

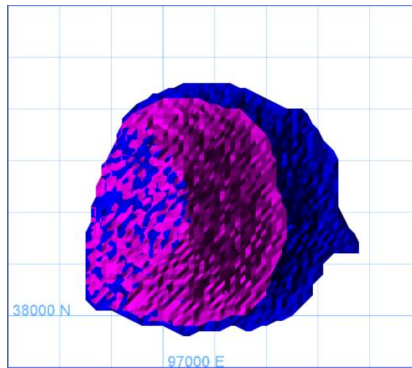


FIGURA 85 - JS09 VISTA SUPERIOR

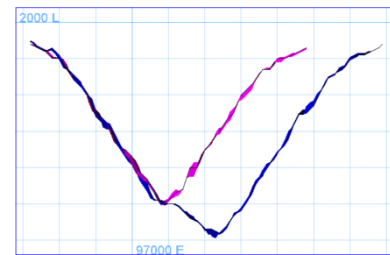


FIGURA 86 - JS08 CORTE TRANSVERSAL

JS10

- REM libre
- Tonelaje Constante
- 1.5 Años

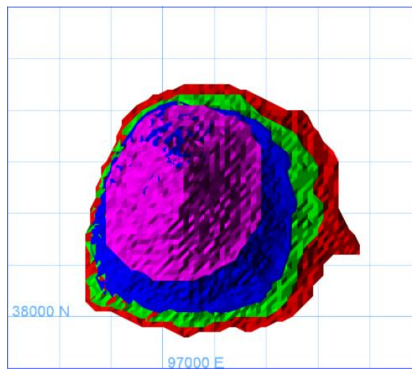


FIGURA 87 - JS10 VISTA SUPERIOR

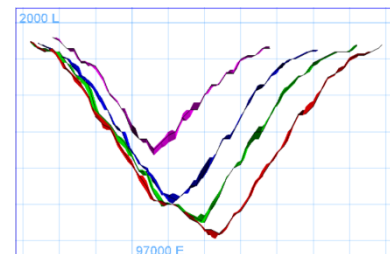


FIGURA 88 - JS10 CORTE TRANSVERSAL

JS11

- REM Creciente
- Tonelaje Constante
- 1.5 Años

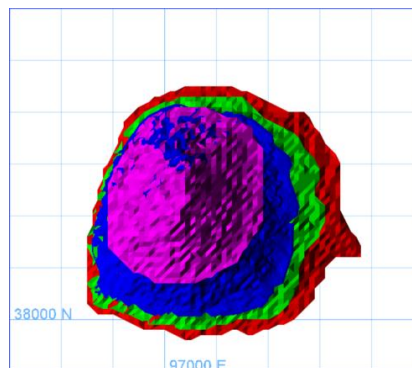


FIGURA 89 - JS11 VISTA SUPERIOR

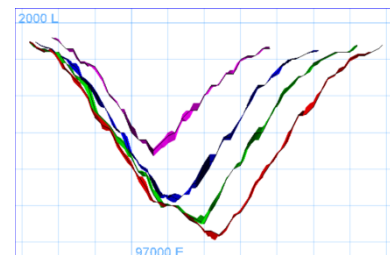


FIGURA 90 - JS11 CORTE TRANSVERSAL

JS13/14

- REM Creciente
- Tonelaje Constante
- 2 Años

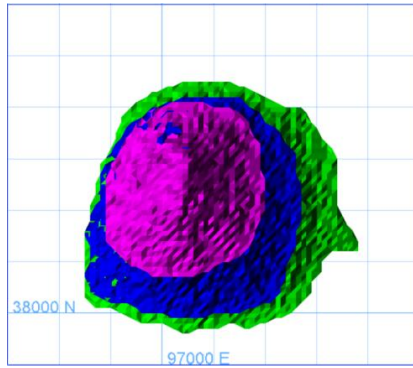


FIGURA 91 - JS14 VISTA SUPERIOR

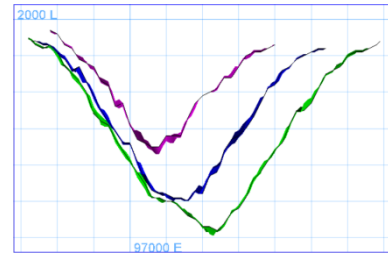


FIGURA 92 - JS14 CORTE TRANSVERSAL

JS15

- REM Constante
- Tonelaje Constante
- 2 Años

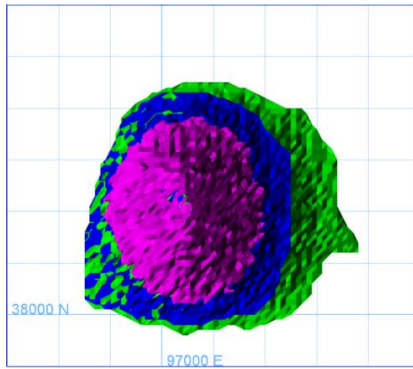


FIGURA 93 - JS15 VISTA SUPERIOR

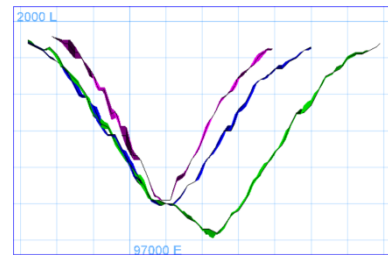


FIGURA 94 - JS15 CORTE TRANSVERSAL

JS16/17

- REM Libre
- Tonelaje Constante
- 3 Años

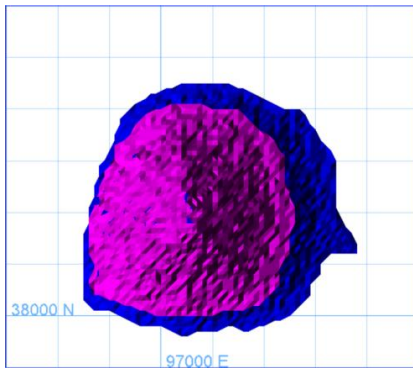


FIGURA 95 - JS16 VISTA SUPERIOR

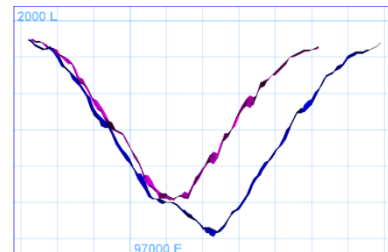


FIGURA 96 - JS16 CORTE TRANSVERSAL

JS18

- REM Constante
- Tonelaje Constante
- 3 Años

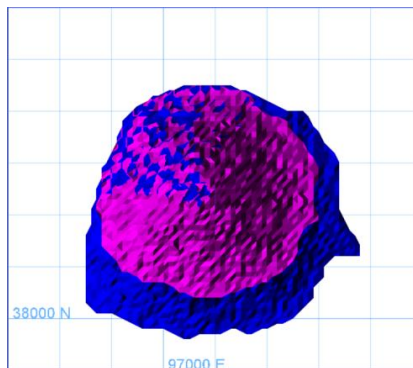


FIGURA 97 - JS18 VISTA SUPERIOR

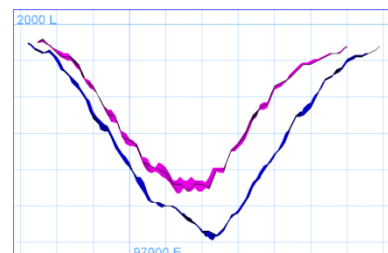


FIGURA 98 - JS18 CORTE TRANSVERSAL

ANEXO B

“TABLA RESUMEN ESCENARIOS”

B-1 ESCENARIOS CASO BS

CONTROL MINERAL

TABLA 42 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS01

1.5 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	5,202,000	6,120,000	7,038,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.605	1		7,798,625		6,371,238	4.1%	0.22	
FASE 2	0.655	8		9,331,645		6,413,475	4.8%	0.46	
FASE 3	0.784	17		8,920,167		6,028,164	-1.5%	0.48	
FASE 4	0.84	27		16,053,549		6,670,860	9.0%	1.41	
FASE 5	0.903	35		13,192,466		6,968,486	13.9%	0.89	
FASE 6	0.98	39		13,357,365		7,015,285	14.6%	0.90	
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 43 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS02

1.5 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	NS								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	5,202,000	6,120,000	7,038,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2728	19	5,700,000	7,987,457		6,918,818	13.1%	0.15	-
FASE 2	0.3205	27		7,719,989		6,558,297	7.2%	0.18	-
FASE 3	0.3622	34		9,507,252		6,654,209	8.7%	0.43	-
FASE 4	0.4039	41		11,065,998		6,514,818	6.5%	0.70	-
FASE 5	0.5231	61		14,835,550		6,958,592	13.7%	1.13	-
FASE 6	1	85		11,837,571		5,848,594	-4.4%	1.02	9.5%

TABLA 44 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS04

2.15 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	7,803,000	9,180,000	10,557,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.625	2		12,850,883		9,678,839	5.4%	0.33	
FASE 2	0.7841	18		13,647,215		9,324,847	1.6%	0.46	
FASE 3	0.881	30		22,483,683		10,293,521	12.1%	1.18	
FASE 4	0.98	39		19,672,036		10,170,301	10.8%	0.93	
				68,653,817		36,467,508			

TABLA 45 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS05

2.15 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	NS								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	7,803,000	9,180,000	10,557,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2967	23	4,000,000	13,335,141		10,038,410	9.4%	0.33	-
FASE 2	0.3622	34		13,579,557		10,092,914	9.9%	0.35	-
FASE 3	0.4993	57		15,199,796		9,393,292	2.3%	0.62	-
FASE 4	1	85		22,539,323		9,928,712	8.2%	1.27	-
				68,653,817		39,453,328			

TABLA 46 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS06

2.15 AÑOS									
REM Cte.									
Direccionamiento	NW-ES			REM Fase 0.72					
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	7,803,000	9,180,000	10,557,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.5125	5		16,059,220		9,897,718	7.8%	0.62	-13.5%
FASE 2	0.5493	39		20,687,950		10,166,549	10.7%	1.03	43.7%
FASE 3	0.5775	46		15,212,755		9,587,442	4.4%	0.59	-18.5%
FASE 4	1	59		16,693,892		9,815,799	6.9%	0.70	-2.7%
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 47 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS07

3 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	10,404,000	12,240,000	14,076,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.68	9		17,344,288		13,059,378	6.7%	0.33	-
FASE 2	0.85	28		25,885,346		13,207,983	7.9%	0.96	-
FASE 3	0.98	1		25,424,183		13,200,147	7.8%	0.93	-
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 48 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS08

3 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	WE								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	10,404,000	12,240,000	14,076,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.619	20	2,800,000	18,756,226		13,246,299	8.2%	0.42	-
FASE 2	0.675	26		20,611,213		12,819,392	4.7%	0.61	-
FASE 3	1	29		26,486,378		13,401,817	9.5%	0.98	-
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 49 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS09

3 AÑOS									
REM Cte.									
Direccionamiento	ES-NW	REM Fase		0.54					
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	10,404,000	12,240,000	14,076,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.535	6	7,000,000	21,358,838		13,330,137	8.9%	0.60	11.5%
FASE 2	0.595	55		21,773,884		13,493,762	10.2%	0.61	13.6%
FASE 3	1	70		18,521,095		12,643,609	3.3%	0.46	-13.9%
				61,653,817		39,467,508			

CONTROL TONELAJE

TABLA 50 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS10

1.5 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	8,840,000	10,400,000	11,960,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.645	6	3,500,000	11,384,557	9.5%	11,158,907		0.02	
FASE 2	0.78	14		10,813,111	4.0%	7,466,163		0.45	
FASE 3	0.786	23		10,797,055	3.8%	3,690,442		1.93	
FASE 4	0.88	29		10,652,536	2.4%	6,278,966		0.70	
FASE 5	0.916	37		10,703,615	2.9%	4,926,002		1.17	
FASE 6	0.98	39		10,802,943	3.9%	5,947,028		0.82	
				65,153,817		39,467,508			

TABLA 51 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS11

1.5 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	NS								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	8,840,000	10,400,000	11,960,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.284748	21	5,200,000	10,157,080	-2.3%	8,459,731		0.20	-
FASE 2	0.338384	30		9,755,396	-6.2%	7,681,104		0.27	-
FASE 3	0.3860608	38		10,628,121	2.2%	7,730,679		0.37	-
FASE 4	0.4992932	57		10,373,897	-0.3%	5,653,102		0.84	-
FASE 5	0.54697	64		11,049,136	6.2%	4,669,739		1.37	-
FASE 6	1	85		11,490,187	10.5%	5,258,973		1.18	13.3%
				68,653,817		39,453,328			

TABLA 52 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS13

2.15 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	13,260,000	15,600,000	17,940,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.72	13	5,200,000	15,161,775	-2.8%	15,121,172		0.00	
FASE 2	0.7844	19		16,078,507	3.1%	7,162,424		1.24	
FASE 3	0.9	32		14,915,540	-4.4%	8,258,686		0.81	
FASE 4	0.98	39		17,297,995	10.9%	8,925,226		0.94	
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 53 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS14

2.15 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	WE								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	13,260,000	15,600,000	17,940,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.61	11	4,000,000	15,476,949	-0.8%	11,674,647		0.33	-
FASE 2	0.65	23		16,927,849	8.5%	9,855,988		0.72	-
FASE 3	0.706	28		17,188,282	10.2%	10,030,120		0.71	0.5%
FASE 4	1	29		15,060,737	-3.5%	7,906,753		0.90	-
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 54 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS15

2.15 AÑOS									
REM Cte.									
Direccionamiento	E-W	REM Fase		0.61					
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	13,260,000	15,600,000	17,940,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.32	4	5,000,000	13,352,363	-14.4%	8,061,129		0.66	7.6%
FASE 2	0.455	9		17,129,634	9.8%	10,674,009		0.60	-0.9%
FASE 3	0.52	12		17,915,655	14.8%	11,033,096		0.62	2.3%
FASE 4	1	14		15,256,165	-2.2%	9,699,274		0.57	-6.1%
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 55 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS16

3 AÑOS									
L&G									
Direccionamiento	L&G								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	17,680,000	20,800,000	23,920,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.784	17	5,200,000	20,850,437	0.2%	18,812,877		0.11	
FASE 2	0.88	29		21,096,822	1.4%	9,781,601		1.16	
FASE 3	0.98	39		21,506,558	3.4%	10,873,030		0.98	
				68,653,817		39,467,508			

TABLA 56 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS17

3 AÑOS									
REM Crec									
Direccionamiento	NS								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	17,680,000	20,800,000	23,920,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.3324244	29	2,500,000	21,188,825	1.9%	15,195,687		0.39	-
FASE 2	0.4814144	54		22,131,523	6.4%	14,054,419		0.57	-
FASE 3	1	85		22,833,469	9.8%	10,203,222		1.24	-
				68,653,817		39,453,328			

TABLA 57 - TABLA RESUMEN ESCENARIO BS18

3 AÑOS									
REM Cte.									
Direccionamiento	ES-NW	REM Fase	0.54						
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo						
	17,680,000	20,800,000	23,920,000						
Fases	RF	Pit Anidado	PS [ton]	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.535	6	7,000,000	21,358,838	2.7%	13,330,137		0.60	11.5%
FASE 2	0.595	55		21,773,884	4.7%	13,493,762		0.61	13.6%
FASE 3	1	70		18,521,095	-11.0%	12,643,609		0.46	-13.9%
				68,653,817		39,467,508			

B-2 ESCENARIOS CASO JS

CONTROL MINERAL

TABLA 58 – TABLA RESUMEN ESCENARIO JS01

1.5 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	1,275,000	1,500,000	1,725,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2855	1	0.9		9,727,969		1,556,910	3.8%	5.25	
FASE 2	0.2925	6	0.89		10,201,131		1,584,898	5.7%	5.44	
FASE 3	0.42	20			10,389,118		1,610,124	7.3%	5.45	
FASE 4	0.94	62			13,782,140		1,582,370	5.5%	7.71	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 59 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS02

1.5 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	1,275,000	1,500,000	1,725,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2855	1	0.9		9,727,969	-	1,556,910	3.8%	5.25	-
FASE 2	0.2925	6	0.89		10,201,131	-	1,584,898	5.7%	5.44	-
FASE 3	0.42	20			10,389,118	-	1,610,124	7.3%	5.45	-
FASE 4	0.94	62			13,782,140	-	1,582,370	5.5%	7.71	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 60 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS04

2 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	1,700,000	2,000,000	2,300,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2875	3			12,588,492		2,200,302	10.0%	4.72	
FASE 2	0.33	11			15,747,106		2,116,567	5.8%	6.44	
FASE 3	0.94	62			15,764,760		2,017,433	0.9%	6.81	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 61 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS05

2 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	1,700,000	2,000,000	2,300,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.29				12,588,492		2,200,302	10.0%	4.72	-
FASE 2	0.33				15,747,106		2,116,567	5.8%	6.44	-
FASE 3	0.94				15,764,760		2,017,433	0.9%	6.81	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 62 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS06

2 AÑOS										
REM Cte.										
Direccionamiento	W-E	REM Fase								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	1,700,000	2,000,000	2,300,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.383	21	1.15z	3,800,000	13,567,481		1,986,263	-0.7%	5.83	12.1%
FASE 2	0.412	38			12,026,666		2,112,736	5.6%	4.69	-9.8%
FASE 3	1	60			14,706,211		2,222,601	11.1%	5.62	8.0%
					44,100,358		6,321,600			

TABLA 63 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS07

3 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	2,550,000	3,000,000	3,450,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2925	6	0.895		20,888,638		3,165,266	5.5%	5.60	
FASE 2	0.94	62			23,211,720		3,169,036	5.6%	6.32	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 64 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS08

3 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	2,550,000	3,000,000	3,450,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1					20,888,638	0	3,165,266	5.5%	5.60	-
FASE 2					23,211,720	0	3,169,036	5.6%	6.32	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 65 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS09

3 AÑOS										
REM Cte.										
Direccionamiento	W-E	REM Fase								
Ton Ore	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	2,550,000	3,000,000	3,450,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.4	31		7,000,000	19,769,888		3,102,838	3.4%	5.37	11.9%
FASE 2	1	60			17,330,470		3,218,762	7.3%	4.38	-8.7%
					44,100,358		6,321,600			

CONTROL TONELAJE

TABLA 66 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS10

1.5 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	8,925,000	10,500,000	12,075,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	1		1	1,500,000	10,434,653	-0.6%	2,066,752		4.05	
FASE 2	0.2925	0.945	6		10,774,530	2.6%	1,365,141		6.89	
FASE 3	0.49		26		10,726,797	2.2%	1,735,904		5.18	
FASE 4	0.94		62		10,664,378	1.6%	1,166,505		8.14	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 67 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS11

1.5 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	8,925,000	10,500,000	12,075,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	1	1			11,934,653	13.7%	2,066,752		4.77	-
FASE 2	0.2925	6	0.95		9,741,771	-7.2%	1,394,756		5.98	-
FASE 3	0.49	26			11,759,556	12.0%	1,706,289		5.89	1.5%
FASE 4	0.94	62			10,664,378	1.6%	1,166,505		8.14	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 68 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS13

2 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	11,900,000	14,000,000	16,100,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.289	5			12,632,436	-9.8%	2,217,207		4.70	
FASE 2	0.35	13			16,034,960	14.5%	2,218,014		6.23	
FASE 3	0.94	62			15,432,962	10.2%	1,899,081		7.13	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 69 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS14

2 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	11,900,000	14,000,000	16,100,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.29		-	-	12,632,436	-9.8%	2,217,207	-	4.70	-
FASE 2	0.35		-	-	16,034,960	14.5%	2,218,014	-	6.23	-
FASE 3	0.94		-	-	15,432,962	10.2%	1,899,081	-	7.13	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 70 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS15

2 AÑOS										
REM Cte.										
Direccionamiento	W-E	REM Fase 5.4								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	11,900,000	14,000,000	16,100,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.38	19	1.2z	3,800,000	12,772,309	-8.8%	1,938,563		5.59	3.5%
FASE 2	0.417	41			13,729,677	-1.9%	2,348,314		4.85	-10.2%
FASE 3	1	60			13,798,372	-1.4%	2,034,723		5.78	7.1%
					44,100,358		6,321,600			

TABLA 71 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS16

3 AÑOS										
L&G										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	17,850,000	21,000,000	24,150,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2925	6		3,500,000	21,583,844	2.8%	3,771,402		4.72	
FASE 2	0.94	62			19,016,514	-9.4%	2,562,900		6.42	
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 72 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS17

3 AÑOS										
REM Crec										
Direccionamiento	L&G									
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	17,850,000	21,000,000	24,150,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.2925			3,500,000	21,583,844	2.8%	3,771,402		4.72	-
FASE 2	0.94				19,016,514	-9.4%	2,562,900		6.42	-
					44,100,358		6,334,302			

TABLA 73 - TABLA RESUMEN ESCENARIO JS18

3 AÑOS										
REM Cte.										
Direccionamiento	NS	REM Fase 4.9								
Ton Total	Ton mínimo	Ton objetivo	Ton máximo							
	17,850,000	21,000,000	24,150,000							
Fases	RF	Pit Anidado	Scale	PS	Ton Total [ton]	Error Ton	Ton Mineral [ton]	Error Min	REM Fase	Error REM
FASE 1	0.52	26		7,000,000	18,567,027	-11.6%	2,962,621		5.27	7.5%
FASE 2	1	44			18,533,331	-11.7%	3,358,507		4.52	-7.8%
					44,100,358		6,321,128			

ANEXO C

“PLANES WHITTLE FASES NO OPERATIVAS”

C-1 PLANES CASO BS

Escenario	Plan	Características
BS01		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.515 % - Ton. a proceso: 44.68Mton - REM: 0.61 - VAN : 219.82 MUS\$ - Vida: 10.95 años
BS02		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.55Mton - REM: 0.69 - VAN : 167.13 MUS\$ - Vida: 10.94 años
BS04		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.516 % - Ton. a proceso: 38.92Mton - REM: 0.76 - VAN : 171.02 MUS\$ - Vida: 10.54 años

<p>BS05</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.27Mton - REM: 0.70 - VAN : 166.75 MUS\$ - Vida: 10.87 años
<p>BS06</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.515 % - Ton. a proceso: 43.63Mton - REM: 0.57 - VAN : 202.43 MUS\$ - Vida: 10.69 años
<p>BS07</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.518 % - Ton. a proceso: 43.63Mton - REM: 0.57 - VAN : 219.36 MUS\$ - Vida: 10.69 años
<p>BS08</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.55Mton - REM: 0.69 - VAN : 168.25 MUS\$ - Vida: 10.94 años

<p>BS09 - BS18</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.521 % - Ton. a proceso: 40.71Mton - REM: 0.69 - VAN : 157.08 MUS\$ - Vida: 11.26 años
<p>BS10</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.517 % - Ton. a proceso: 39.26Mton - REM: 0.75 - VAN : 170.82 MUS\$ - Vida: 10.63 años
<p>BS11</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.517 % - Ton. a proceso: 41.60Mton - REM: 0.76 - VAN : 165.06 MUS\$ - Vida: 11.31 años
<p>BS13</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.517 % - Ton. a proceso: 38.98Mton - REM: 0.76 - VAN : 165.65 MUS\$ - Vida: 10.65 años

<p>BS14</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.66Mton - REM: 0.69 - VAN : 168.10 MUS\$ - Vida: 10.98 años
<p>BS15</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.83Mton - REM: 0.68 - VAN : 160.03 MUS\$ - Vida: 11.28 años
<p>BS16</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.519 % - Ton. a proceso: 39.65Mton - REM: 0.73 - VAN : 170.73 MUS\$ - Vida: 10.78 años
<p>BS17</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 0.523 % - Ton. a proceso: 40.52Mton - REM: 0.69 - VAN : 167.37 MUS\$ - Vida: 10.93 años

C-2 PLANES CASO JS

Escenario	Plan	Características
JS01 - JS02		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.18Mton - REM: 6.33 - VAN : 226.55 MUS\$ - Vida: 7.53 años
JS04 – JS05		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.52 % - Ton. a proceso: 6.41Mton - REM: 5.96 - VAN : 219.53 MUS\$ - Vida: 7.84 años
JS06		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.63 % - Ton. a proceso: 5.89Mton - REM: 6.66 - VAN : 190.07 MUS\$ - Vida: 7.90 años
JS07 – JS08		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.22Mton - REM: 6.19 - VAN : 211.76 MUS\$ - Vida: 7.94 años

		○
JS09	<p>New Schedule Graph</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> ○ CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.22Mton - REM: 6.09 - VAN : 190.52 MUS\$ - Vida: 7.98 años
JS10	<p>New Schedule Graph</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> ○ CUT = 1.52 % - Ton. a proceso: 6.31Mton - REM: 6.09 - VAN : 218.26 MUS\$ - Vida: 7.71 años
JS11	<p>New Schedule Graph</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> ○ CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.23Mton - REM: 6.22 - VAN : 198.80 MUS\$ - Vida: 7.76 años
JS13 – JS14	<p>New Schedule Graph</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> ○ CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.26Mton - REM: 6.13 - VAN : 212.65 MUS\$ - Vida: 7.97 años

<p>JS15</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.22Mton - REM: 6.23 - VAN : 191.42 MUS\$ - Vida: 7.94 años
<p>JS16 – JS17</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.26Mton - REM: 6.13 - VAN : 215.12 MUS\$ - Vida: 7.91 años
<p>JS18</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Ley media alim: <ul style="list-style-type: none"> o CUT = 1.55 % - Ton. a proceso: 6.23Mton - REM: 6.09 - VAN : 196.28 MUS\$ - Vida: 7.76 años

ANEXO D
“N° DE FASES ACTIVAS Y DE ALIMENTACIÓN EN PLANES
SUAVIZADOS”

D-1 FASES EN EXPLOTACIÓN PLANES BS

TABLA 74 - FASES EN EXPLOTACIÓN BS01 A BS06

Periodo	BS01			BS02			BS04			BS05			BS06		
	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM
P1	5	5	0.70	6		-	3		-	4		-	4	3	0.70
P2	5	5	0.70	5	6	0.70	4	3	0.70	3	3	0.70	2	2	0.70
P3	6	5	0.70	6	6	0.70	3	3	0.70	4	4	0.70	4	4	0.70
P4	6	6	0.70	6	6	0.70	4	4	0.70	4	4	0.70	3	3	0.70
P5	4	3	0.70	6	6	0.70	2	2	0.70	4	4	0.70	4	4	0.70
P6	5	5	0.70	6	6	0.70	2	2	0.70	4	4	0.70	3	3	0.70
P7	4	4	0.70	6	6	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70	4	4	0.70
P8	4	4	0.70	6	6	0.63	3	3	0.70	3	3	0.62	3	3	0.70
P9	3	3	0.70	6	6	0.14	2	2	0.53	3	3	0.20	2	2	0.33
P10	2	2	0.29	6	6	0.13	2	2	0.11	3	3	0.16	3	3	0.14
P11	3	3	0.10	6	6	0.09	2	2	0.10	3	3	0.10	3	3	0.09
P12															
Promedio	4.27	4.09		5.91	6.00		2.73	2.60		3.45	3.40		3.18	3.09	

TABLA 75 - FASES EN EXPLOTACIÓN BS07 A BS011

Periodo	BS07			BS08			BS09			BS10			BS11		
	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM
P1	3	2	0.70	3		-	3		-	5		-	5		-
P2	2	2	0.70	3	3	0.70	2	2	0.94	6	6	0.70	6	4	0.70
P3	2	2	0.70	3	3	0.70	2	2	0.96	6	6	0.70	6	5	0.70
P4	3	3	0.70	3	3	0.70	2	2	0.74	6	6	0.70	6	6	0.70
P5	3	3	0.70	3	3	0.70	2	2	0.70	6	6	0.70	6	6	0.70
P6	3	3	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70	5	6	0.70	6	5	0.70
P7	2	2	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70	5	5	0.70	6	5	0.70
P8	2	2	0.70	3	3	0.63	1	1	0.42	5	5	0.70	6	5	0.70
P9	1	1	0.35	3	3	0.14	3	3	0.09	3	3	0.43	5	4	0.70
P10	2	2	0.12	3	3	0.13	3	3	0.05	5	5	0.12	5	4	0.33
P11	2	2	0.09	3	3	0.09	3	3	0.06	5	5	0.09	5	4	0.11
P12							3	3	0.11				5	4	0.12
Promedio	2.27	2.18		3.00	3.00		2.50	2.45		5.18	5.30		5.58	4.73	

TABLA 76 - FASES EN EXPLOTACIÓN BS13 A BS18

Periodo	BS13			BS14			BS15			BS16			BS17			BS18		
	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM
P1	4	-	-	4	-	-	3	-	-	3	-	-	3	-	-	2	-	-
P2	4	4	0.75	4	4	0.70	4	4	0.96	3	3	0.70	3	3	0.70	2	2	0.95
P3	2	2	0.73	4	4	0.70	2	2	0.95	2	2	0.70	3	3	0.70	2	2	0.98
P4	3	3	0.78	4	4	0.70	4	4	0.72	3	3	0.73	3	3	0.70	2	2	0.74
P5	3	3	0.70	3	3	0.72	2	2	0.70	3	3	0.76	3	3	0.70	3	2	0.75
P6	4	4	0.70	4	4	0.70	4	4	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70
P7	4	4	0.70	4	4	0.70	4	4	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70	3	3	0.70
P8	4	4	0.70	4	4	0.59	3	3	0.34	3	3	0.70	3	3	0.64	2	2	0.39
P9	4	4	0.41	4	4	0.14	3	3	0.15	3	3	0.26	3	3	0.14	2	2	0.10
P10	4	4	0.11	4	4	0.14	3	3	0.07	3	3	0.12	3	3	0.13	2	2	0.05
P11	4	4	0.09	4	4	0.09	3	3	0.06	3	3	0.09	3	3	0.09	3	3	0.06
P12							2	2	0.12							2	2	0.11
Promedio	3.64	3.60		3.91	3.90		3.08	3.09		2.91	2.90		3.00	3.00		2.33	2.08	

D-2 FASES EN EXPLOTACIÓN PLANES JS

TABLA 77 - FASES EN EXPLOTACIÓN JS01 A JS09

Periodo	JS01_02			JS04_05			JS06			JS07_08			JS09		
	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM
P1	1	3	-	3	1	43.19	3	0	-	2			2		-
P2	2	4	11.56	3	2	18.88	2	2	13.66	2	2	20.97	2	2	30.18
P3	3	4	5.73	3	2	7.09	3	2	7.82	2	2	8.03	2	2	7.38
P4	3	4	5.74	3	3	5.73	3	3	7.91	2	2	5.74	2	2	5.74
P5	4	4	5.73	3	3	5.74	3	3	7.46	2	2	5.77	2	2	5.86
P6	3	3	4.88	3	3	4.32	3	3	4.88	2	2	4.43	2	2	4.26
P7	2	2	2.85	2	2	1.91	3	3	1.68	1	1	1.77	2	2	1.3
P8	1	1	0.29	2	2	0.19	2	2	0.36	1	1	0.25	2	2	0.21
Promedio	2.38	3.13		2.75	2.25		2.75	2.25		1.75	1.71		2.00	2.00	

TABLA 78 - FASES EN EXPLOTACIÓN JS10 A JS18

Periodo	JS10			JS11			JS13_14			JS15			JS16_17			JS18		
	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM	Fases activas	Fases alim.	REM
P1	3	1	30.86	4	-	-	3	1	-	3	-	-	2	1	-	2	-	-
P2	4	3	22.33	4	2	10.24	3	2	18.93	3	2	17.02	2	1	19.95	2	1	21.74
P3	3	3	6.78	4	3	7.61	3	2	8.61	3	2	7.86	2	2	7.7	2	1	5.75
P4	4	3	5.74	4	4	6.52	3	3	5.73	3	3	5.84	2	2	5.73	2	1	6.01
P5	4	4	5.73	4	4	6	3	3	5.73	3	3	6.27	2	2	5.73	2	2	5.98
P6	3	3	3.97	3	3	4.72	3	3	4.43	3	3	4.77	2	2	4	2	2	4.38
P7	2	2	2.33	2	2	2.03	2	2	1.62	2	2	1.67	2	2	2.13	1	1	1.46
P8	2	2	0.59	3	3	0.24	2	2	0.21	3	3	0.26	2	2	0.2	2	2	0.19
Promedio	3.13	2.63		3.50	3.00		2.75	2.25		2.88	2.57		2.00	1.75		1.88	1.43	

D-3 GRÁFICOS FASES EN EXPLOTACIÓN PLANES SUAVIZADOS

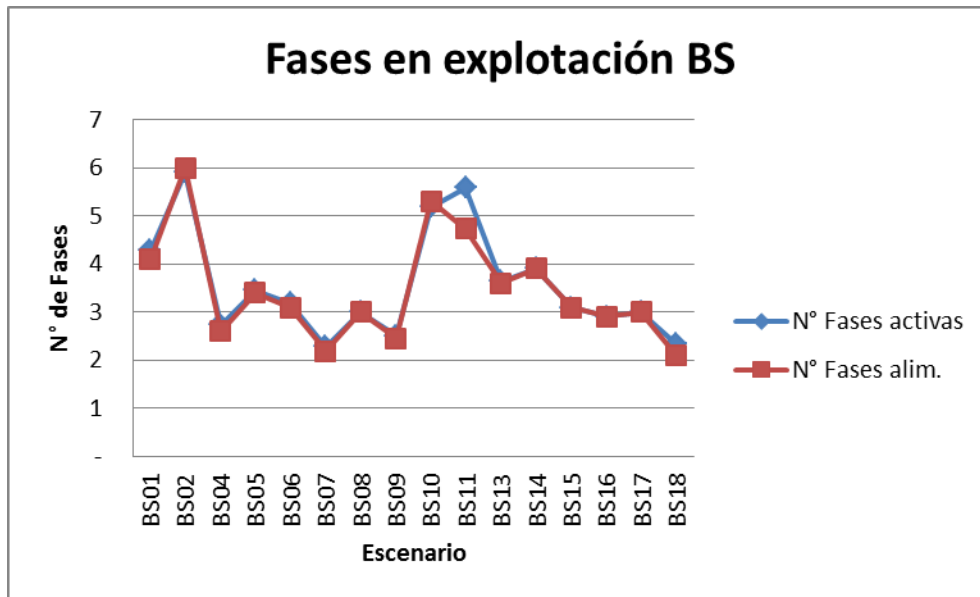


FIGURA 99 - FASES EN EXPLOTACIÓN BS

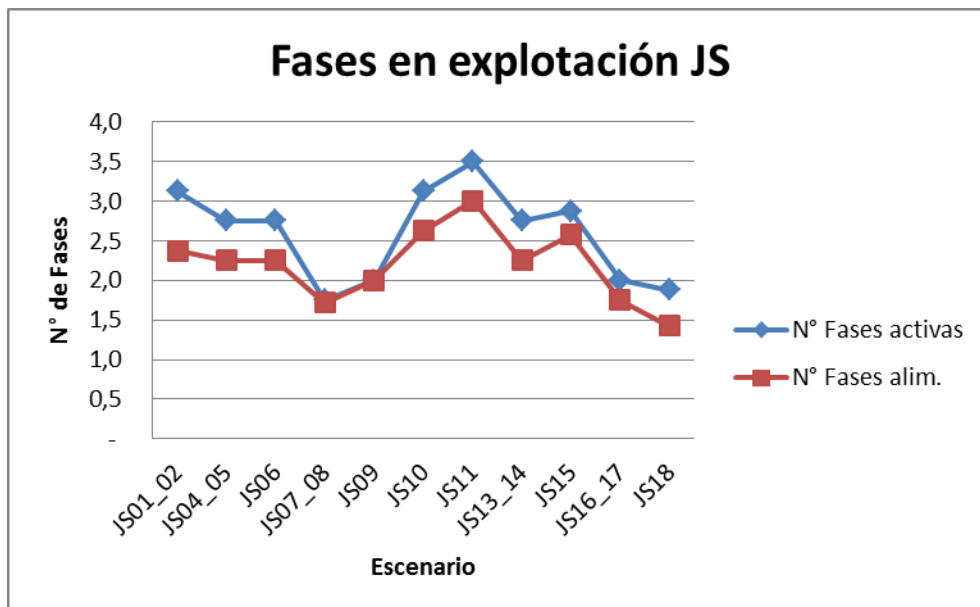


FIGURA 100 - FASES EN EXPLOTACIÓN JS