



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

**ESTUDIO DE PERFIL PARA LA EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS SUR  
CODELCO DIVISIÓN EL TENIENTE**

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

**JOAQUÍN ALFONSO OYANADER WILLSON**

**PROFESOR GUÍA:  
PABLO ROJAS GAJARDO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
MARIO SOLARI MARTINI  
MARCELO VARGAS VERGARA**

**SANTIAGO  
2016**

## RESUMEN

En el actual escenario de atraso de la puesta en marcha del Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM), la División El Teniente se encuentra en la necesidad de evaluar diversos proyectos de contingencia que permitan mitigar el déficit de mineral que deberá enfrentar la División durante los próximos años hasta la puesta en marcha y ramp-up del PNNM

Uno de los prospectos de mayor interés se encuentra al sur de la mina Esmeralda, dado que su ubicación permite explotar los recursos mediante la extensión de operaciones cercanas y a su vez a las campañas de sondajes ofrecen un 90% de reservas probadas, suficientes para realizar estudios a nivel de ingeniería de prefactibilidad. Dentro de este margen, se evalúa la factibilidad técnica y económica de la explotación de Recursos Sur para así determinar la conveniencia de continuar los estudios del proyecto en etapas de ingeniería posteriores.

Se recopiló los antecedentes geológicos para identificar las reservas in situ, la litología presente, principales estructuras y el ambiente geotécnico del sector. Junto con esto se analizó la geomecánica del sector, determinándose que el proyecto se encuentra emplazado en un ambiente de esfuerzos similar al del sector de Diablo Regimiento.

Utilizando como base los estándares para estudios de perfil, se analizó la explotación de los recursos mediante Rajo Abierto y Panel Caving. El resultado preliminar determinó que la explotación subterránea posee un mayor potencial económico por lo que se continuó el estudio enfocado el método subterráneo. Se generaron 4 opciones de explotación en función de la envolvente económica de las cuales, en función de su potencial técnico y económico, se eligieron 2; acoplada a Esmeralda denominada Continuidad de Bloques 4 y 5, y desacoplada explotando los recursos como un Caving Virgen.

Dadas las alternativas de explotación, se generó el diseño minero para ambas opciones, el cual se utilizó para realizar un modelo de constructibilidad del sector, con objetivo de entregar la temporalidad del inicio y fin de los desarrollos, obras y construcciones junto con la puesta en marcha para cada estrategia. A su vez el modelo entregó las estimaciones de CAPEX requeridos para cada periodo de desarrollo del proyecto.

Finalmente se realizó una evaluación económica del proyecto, obteniéndose resultados positivos de VAN para ambas estrategias analizadas entregando valores de 284,7 y 235,5 MUS\$ para las opciones de Continuidad de Bloques y Caving Virgen respectivamente.

En función de los antecedentes geológicos y geomecánicos, junto con la planificación, diseño, constructibilidad y análisis económico realizado a lo largo del estudio, se concluyó que la explotación subterránea del proyecto Recursos Sur presenta suficiente robustez técnica y económica para continuar sus estudios en la etapa de ingeniería de prefactibilidad.

Se sugiere continuar los estudios de la opción de Continuidad de Bloques puesto que presenta mayor potencial económico y sinergias de constructibilidad extendiendo la vida de Esmeralda en 17 años. Se recomienda analizar el ambiente de esfuerzos esperado del acople de las cavidades de Esmeralda y Diablo Regimiento y junto con esto realizar campañas de sondajes para la etapa de ingeniería de factibilidad.

## ABSTRACT

In the current scenario, the delay of the start-up of Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM), El Teniente have the necessity to evaluate various contingency projects in order to mitigate the mineral shortage that have to be faced in the following years until the commissioning and ramp up of PNNM.

One of the most interesting prospects is located south of Esmeralda mine, given its location, which allows the exploit of the resources by extending near operations and the current drilling campaigns which offers 90% of proven reserves, enough for prefeasibility studies. In this context is necessary to evaluate the technical and economic feasibility of exploiting Recursos Sur and determinate the need for further studies of the project in subsequent engineering stages.

Geological data were collected in order to identify the in situ reserves, lithology, main structures and geotechnical environment. Along with this, the geomechanics environment was analyzed, determining that the project is located in an environment similar to Diablo Regimiento stresses.

Using standards as a basis for profile studies, exploitation of resources was analyzed by Open Pit and Panel Caving methods. Preliminary results found that underground mining has greater economic potential consequently the study focused in this mining methodology. 4 choices of exploitation were generated based on the economic envelope which, according to their technical and economic potential, 2 were chosen; coupled to Esmeralda called Continuity Blocks 4 and 5, and decoupled exploiting resources as a Virgin Caving.

Given the alternatives of operation, a mine design was generated for both options; the designs were used to develop a constructability model for the sector, with the goal of delivering timing of beginning and end of the development, building and construction with the start-up for each strategy. The model also gave estimates of required CAPEX for the entire project life time.

Finally an economic evaluation was performed, giving positive NPV results for both strategies of MUS \$ 284 and 235 for Block Continuity and Virgin Caving respectively.

With the geological and geomechanical background, together with the planning, design, constructability and economic analysis throughout the study, it was concluded that the underground mining of Recursos Sur's project has sufficient technical and financial strength to recommend the continuation of the studies to further engineering stages.

It is suggested further studies for Blocks Continuity option since it has greater economic potential, constructability synergies and allows the extension of Esmeralda's life in 17 years. It also recommended analyzing the expected stress environment of the coupling cavities of Diablo Regimiento and Esmeralda, along with more drilling campaigns for feasibility engineering stage.

## AGRADECIMIENTOS

Después de un largo tiempo terminando mi trabajo de título, lo más difícil ha sido escribir esta hoja ya que tengo demasiado que agradecer tanto a la vida que se me ha dado como a las personas que han formado parte de ella.

Quiero comenzar agradeciendo a la SDI de El Teniente. A Pablo por su guía y paciencia, a Pedro por la confianza y lo enseñado y a Natalia por su infinita ayuda. Al 26: Paty, Mati, Tomingo, Carlitos, Chipi, Don Marcos y Carlos, por el tiempo, los recreos y los buenos ratos. Al 101-B: Jorge, Mauro, Pio y Caté por la buena onda y haberme enseñado Mine2-4D, Juan Cristóbal por los coachings post presentaciones, a Marcela por hacer que todo funcione, al Isma y Córdova por las risas y al Edu por el apoyo. Gracias por hacer de mi estadía una gran experiencia de crecimiento profesional y personal.

“Dime con quien te juntas y te diré quién eres”. Definitivamente no sé quién sería yo sin ustedes. A los cabros: Jalen, Flo, Javolog Javilog, Diego, Wale, Cami, Pancha, George, Fabi, Mex y Pipo. Gracias por el sin fin de risas, buenos momentos y apoyo. A Los Perones: Matías, Alé, Coloro, Sap, Chamu, Cleme, Nachiro, Mahu, Boby y Kevino. Todos necesitamos momentos de ocio y relajación, y con ustedes lo he tenido de sobra. A mis beauchefianos; Chaica, Chico Javier, Pancha, Memol, Merrill, Zombelia, Lorca, Damm, Labbé, Julito, Nico, Thomas, Martin, Karl y Cara de Kid. Sin ustedes no creo que hubiese durado mucho en la U, pero acá estoy terminando con una sonrisa en la cara. A todos ustedes gracias por todo.

Quiero también agradecer a quienes están lejos y a quienes ya no están: A mi abuela Lucy y mis tías Pamela y Mónica que me observan y cuidan desde el cielo. A mi abuelo Sergio, por fin seré ingeniero. A mi mairina Anny, makita y tommy, mi segunda familia y a mis compañeros y profesores de El Salvador especialmente a la profe Verónica Gutiérrez que me ayudó más de lo que ella cree.

Dejando lo más importante para el final, quiero agradecer a mi familia. A mis padres Patricio y Sandra: Es imposible expresar en palabras lo infinitamente agradecido que estoy de ser su hijo. Gracias por su incondicional amor, todas sus enseñanzas, su constante preocupación, la vida que me han dado e innumerables experiencias más. Sin ustedes jamás hubiese conseguido ser la mitad de la persona que soy hoy y espero algún día lograr ser la mitad de lo que ustedes son. A mis amadas hermanas Javi y Jose: No hubiese podido desear hermanas más perfectas para completar esta hermosa familia. Su alegría y constantes risas hacen que la vida sea más brillante y sin ustedes definitivamente no podría ser tan feliz como soy.

A todos quienes han contribuido con este trabajo y a los que han compartido un buen momento o alguna sonrisa conmigo ¡¡Gracias por todo!!



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE GRÁFICOS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo Principal.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos .....	2
1.2 Alcances y Limitaciones.....	2
1.3 Justificación del Estudio.....	2
1.4 Metodología .....	3
2 ANTECEDENTES GENERALES .....	4
2.1 Antecedentes de la Mina El Teniente .....	4
2.2 Ubicación y Accesos .....	4
2.2.1 Clima.....	5
2.3 Geología.....	5
2.3.1 Marco Geológico Distrital .....	5
2.3.2 Unidades Geológicas .....	6
2.4 Plan de Producción.....	10
2.4.1 Sectores en Producción .....	11
2.5 Block Caving .....	12
2.6 Panel Caving .....	14
2.6.1 Variantes de Planificación.....	14
3 ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO.....	18
3.1 Definición de un Proyecto .....	18
3.2 Ciclo de Vida de un Proyecto .....	18
3.2.1 Aspectos Generales de la Ingeniería de Perfil.....	20
3.2.2 Aspectos Generales de la Ingeniería Conceptual .....	20
3.2.3 Aspectos Generales de la Ingeniería Básica.....	20
3.2.4 Aspectos Generales de la Ingeniería de Detalle .....	21
4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE RECURSOS SUR.....	22

4.1	Ubicación de Recursos Sur .....	22
4.2	Altura de Columna .....	22
4.3	Tipo de Material.....	23
4.4	Litología.....	24
4.5	Estructuras .....	24
4.6	Geotecnia y Hundibilidad .....	25
4.7	Recursos.....	26
4.8	Riesgo de Ingreso Agua-Barro.....	28
5	GEOMECÁNICA DEL SECTOR .....	29
5.1	Ambiente Geomecánico .....	29
5.2	Ambiente de Esfuerzos.....	29
5.2.1	Estimación del Esfuerzo Vertical .....	29
5.3	Estimación del Campo Tensional .....	29
5.4	Secuenciamiento Minero y Punto de Inicio/Área Crítica .....	31
5.4.1	Calidad del Macizo .....	32
5.4.2	Actualización del Ábaco de Laubscher .....	32
5.5	Riesgos Geomecánicos.....	33
5.5.1	Análisis Sísmico .....	33
6	PLANIFICACIÓN Y DISEÑO MINERO .....	35
6.1	Opción Cielo Abierto .....	35
6.1.1	Modelo de Bloques .....	35
6.1.2	Parámetros de Optimización .....	36
6.1.3	Resultados de la Optimización .....	38
6.2	Opción de Explotación Subterránea.....	39
6.2.1	Análisis de Malla de Extracción.....	39
6.2.2	Orientación y diseño de sectores cercanos.....	44
6.2.3	Selección de malla .....	46
6.2.4	Envolvente Económica .....	46
6.3	Polígonos de Explotación Subterráneos .....	49
6.3.1	Opción Acoplada: Continuación Bloque 4 y Bloque 5 de Esmeralda.....	49
6.3.2	Opción Acoplada: Continuación Bloque 4 de Esmeralda.....	49
6.3.3	Opción Desacoplada: Inicio desde Diablo Regimiento .....	50
6.3.4	Opción Desacoplada: Caving Virgen .....	50
6.4	Planificación .....	51
6.4.1	Secuencia de Explotación y Régimen Productivo.....	51
6.4.2	Plan de Producción e Incorporación de Área .....	53

6.5	Selección de Opciones Subterráneas .....	56
6.6	Diseño Minero .....	57
6.6.1	Nivel de Hundimiento .....	58
6.6.2	Nivel de Producción .....	59
6.6.3	Nivel de Ventilación .....	61
6.6.4	Nivel de Transporte Intermedio .....	62
7	MODELO DE CONSTRUCTIBILIDAD .....	65
7.1	Parámetros de Entrada del Modelo de Constructibilidad .....	65
7.2	Consideraciones del Modelo de Constructibilidad .....	67
7.2.1	Consideraciones Generales .....	67
7.2.2	Criterios de Constructibilidad del Nivel de Hundimiento .....	67
7.2.3	Criterios de Constructibilidad del Nivel de Producción .....	69
7.2.4	Criterios de Constructibilidad del Nivel de Transporte .....	72
7.2.5	Criterios de Constructibilidad del Subnivel de Ventilación.....	72
7.3	Resultados del Modelo de Constructibilidad .....	73
7.3.1	Constructibilidad de Opción Continuidad de Bloques 4 y 5.....	73
7.3.2	Constructibilidad de Opción Caving Virgen.....	75
8	EVALUACION ECONÓMICA .....	78
8.1	Estimación de CAPEX .....	78
8.1.1	Inversiones de Infraestructura y Planta.....	78
8.1.2	Inversión de Equipos .....	78
8.1.3	Inversión de Preparación Minera.....	80
8.2	Estimación de OPEX.....	83
8.3	Evaluación Económica .....	84
8.4	Análisis de Sensibilidad .....	85
8.5	Programa de Ejecución del Proyecto .....	86
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	88
9.1	Conclusiones de Estrategia de Explotación y Diseño Minero .....	88
9.2	Conclusiones de Planificación y Constructibilidad.....	88
9.3	Conclusiones del Análisis Económico .....	89
9.4	Recomendaciones.....	89
10	BIBLIOGRAFÍA .....	91
	ANEXO A: Esfuerzos Estimados por la Caverna de Diablo Regimiento .....	93
	ANEXO B: Máximos Potenciales de Alternativas de Explotación Subterráneas.....	94
	ANEXO C: Detalle de Planes de Producción Subterráneos .....	95
	ANEXO D: Planos de Recursos Sur.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Escenario Productivo DET.....	1
Figura 1.2 Prospectos de proyectos de contingencia.....	3
Figura 2.1 Ubicación Mina El Teniente.....	5
Figura 2.2 Unidades litológicas El Teniente PND 2015.....	7
Figura 2.3 Producción por sectores PND 2015 DET.....	10
Figura 2.4 Esquema de ubicación mina El Teniente.....	12
Figura 2.5 Esquema General de explotación por Block Caving (2).....	13
Figura 2.6 Esquema Panel Caving Convencional (4).....	15
Figura 2.7 Esquema Panel Caving Avanzado (4).....	16
Figura 2.8 Esquema Panel Caving Avanzado al Límite (4).....	16
Figura 3.1 Etapas de un proyecto (6).....	18
Figura 3.2 Características de las etapas de un proyecto (6).....	19
Figura 4.1 Ubicación del Polígono Recursos Sur.....	22
Figura 4.2 Perfil de Altura de Columna Sección 650 S.....	23
Figura 4.3 Perfil de Altura de Columna Sección 1000 E.....	23
Figura 4.4 Proyección 3D del Material del Sector.....	23
Figura 4.5 Unidades Litológicas del Sector.....	24
Figura 4.6 Principales Sistemas de Fallas.....	25
Figura 4.7 Principales Estructuras Presentes.....	25
Figura 4.10 Zonación geotécnica del sector.....	26
Figura 4.11 Recursos Subterráneos del Sector.....	26
Figura 4.12 Categorización de Recursos.....	27
Figura 4.13 Matriz de Sustentabilidad de Reservas Mineras.....	27
Figura 4.14 Riego Agua Barro.....	28
Figura 5.1. Estimación del Esfuerzo Vertical.....	29
Figura 5.2. Cavidades Simplificadas años 2015 y 2020 (8).....	30
Figura 5.3. Resultado Estado Tensional Recursos Sur.....	30
Figura 5.4. MRMR Recursos Sur.....	32
Figura 5.5. Determinación del Radio Hidráulico para Proyecto Recursos Sur.....	33
Figura 5.6. Riesgos Geomecánicos.....	33
Figura 6.1 Configuración Modelo Integrado Recursos Sur.....	35
Figura 6.2 Topografía de Inicio.....	36
Figura 6.3. Ángulos de talud Rajo Sur y Matancillas.....	36
Figura 6.4 Ábaco de Laubscher Calidad del Macizo vs Diámetro del Elipsoide.....	41
Figura 6.5 Espaciamiento Entre Puntos de Tiraje.....	42
Figura 6.6 LHD 7 y3 con malla 15x20 m.....	43
Figura 6.7 LHD 10 yd <sup>3</sup> con malla 15x20 m.....	43
Figura 6.8 Pilares remanentes de mallas.....	44
Figura 6.9 Diseño de Esmeralda Sur.....	45
Figura 6.10 Diseño Diablo Regimiento.....	45
Figura 6.11 Modelo Diluido Recursos Sur Subterráneo.....	48
Figura 6.12 Altura de Columna del Modelo Diluido.....	48

Figura 6.13 Esquema de Recursos Sur con Pilar 90 m.....	49
Figura 6.14 Envolverte Alternativa Continuación Bloque 4 y Bloque 5 .....	49
Figura 6.15 Envolverte Alternativa Continuación Bloque 4.....	50
Figura 6.16 Envolverte Alternativa Inicio desde Diablo Regimiento .....	50
Figura 6.17 Envolverte Alternativa Caving Virgen.....	51
Figura 6.18 Secuencia Productiva Continuación Bloque 4 y Bloque 5.....	51
Figura 6.19 Secuencia de Explotación Alternativa Continuación Bloque 4.....	52
Figura 6.20. Secuencia de Explotación Alternativa Inicio desde Diablo Regimiento .....	52
Figura 6.21. Secuencia de Explotación Alternativa Caving Virgen .....	53
Figura 6.22 Diseño de Parada de Socavación .....	58
Figura 6.23 Diseño del Nivel de Hundimiento, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 ...	59
Figura 6.24 Diseño de Nivel de Hundimiento, Opción Inicio Caving Virgen.....	59
Figura 6.25 Diseño de Batea .....	60
Figura 6.26 Diseño Nivel de Producción, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5.....	61
Figura 6.27 Diseño Nivel de Producción, Opción Caving Virgen.....	61
Figura 6.28 Diseño Subnivel de Ventilación, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	62
Figura 6.29 Diseño Subnivel de Ventilación, Opción Caving Virgen .....	62
Figura 6.30 Ubicación de Piques 22, 23 y 24 .....	63
Figura 6.31 Diseño Nivel de Transporte Intermedio, Opción Continuidad de B 4 y 5.....	63
Figura 6.32 Diseño Nivel de Transporte Intermedio, Opción Caving Virgen .....	64
Figura 7.1 Consideraciones de Constructibilidad, Perforación de Pozos.....	68
Figura 7.2 Consideraciones de Constructibilidad, Fracturamiento Hidráulico.....	68
Figura 7.3 Consideraciones de Constructibilidad, Interacción con Nivel de Producción .	69
Figura 7.4 Criterios de Constructibilidad, Orientación de Calles Continuidad de B .....	70
Figura 7.5 Criterios de Constructibilidad, Orientación de Calles Caving Virgen.....	70
Figura 7.6 Criterios de Constructibilidad, Constructibilidad de Calles.....	70
Figura 7.7 Criterios de Constructibilidad, Chimeneas Piloto .....	71
Figura 7.8 Criterios de Constructibilidad, Tronadura de Bateas.....	71
Figura 7.9 Criterios de Constructibilidad, Desarrollo de Galerías SNV .....	73
Figura 7.10 Carta Gantt de Constructibilidad Continuidad Bloques 4 y 5 .....	74
Figura 7.11 Modelo de Constructibilidad Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	75
Figura 7.12 Perfil de Manejo de Marinas, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	75
Figura 7.13 Carta Gantt de Constructibilidad Caving Virgen.....	76
Figura 7.14 Modelo de Constructibilidad Opción Caving Virgen .....	77
Figura 7.15 Perfil de Manejo de Marinas Opción Caving Virgen .....	77
Figura A.1 Esfuerzos Vs Distancia Dirección Sur .....	93
Figura A.2 Esfuerzos Vs Distancia Dirección Sureste .....	93
Figura D.1 Planos Nivel de Producción Continuidad B 4 y 5 .....	97
Figura D.2 Planos Nivel de Producción Caving Virgen.....	98
Figura D.3 Planos Nivel de Hundimiento Continuidad B 4 y 5.....	99
Figura D.4 Planos Nivel de Hundimiento Caving Virgen .....	100
Figura D.5 Planos Subnivel de Ventilación Continuidad B 4 y 5.....	101
Figura D.6 Planos Subnivel de Ventilación Caving Virgen .....	102
Figura D.7 Planos Subnivel de Ventilación Continuidad B 4 y 5 .....	103
Figura D.8 Planos Subnivel de Ventilación Caving Virgen .....	104

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1. Magnitud de los Esfuerzos Principales de Recursos Sur (9).....	31
Gráfico 5.2 Frecuencia de Eventos y Estallidos de Roca Teniente 4 Sur.....	34
Gráfico 6.1 Factor de Ajuste al Costo Mina .....	38
Gráfico 6.2 Plan de Producción Rajo Sur con Recursos Sur .....	39
Gráfico 6.3 Plan de Producción Continuación Bloque 4 y Bloque 5 .....	53
Gráfico 6.4 Plan de Producción Continuación Bloque 4 .....	54
Gráfico 6.5 Plan de Producción Inicio desde Diablo Regimiento.....	54
Gráfico 6.6 Plan de Producción Caving Virgen .....	55
Gráfico 6.7 Resumen de Planes de Incorporación de Área .....	55
Gráfico 8.1 Vector de Equipos Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	79
Gráfico 8.2 Vector de Equipos Opción Caving Virgen .....	80
Gráfico 8.3 Resumen de CAPEX opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	82
Gráfico 8.4 Resumen de CAPEX Opción Caving Virgen .....	82
Gráfico 8.5 OPEX Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	83
Gráfico 8.6 OPEX Opción Caving Virgen .....	84
Gráfico 8.7 Gráfico Tornado Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	85
Gráfico 8.8 Gráfico Tornado Opción Caving Virgen .....	86
Gráfico 8.9 Programa de Ejecución Proyecto Recursos Sur.....	87
Gráfico B.1 Máximo Potencial de Producción Subterráneo .....	94
Gráfico B.2 Máximo Potencial de Ley de Cu .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Reservas Mina PND 2015 .....	11
Tabla 2.2 Características de Sectores Productivos DET.....	11
Tabla 2.3 Proyectos Futuros DET .....	12
Tabla 2.4 Disponibilidad de área por variante .....	14
Tabla 4.1 Resumen del Tipo de Material del Sector .....	24
Tabla 4.2 Resumen de Categorización de Recursos.....	27
Tabla 6.1 Configuración Modelo de Bloques .....	35
Tabla 6.2 Parámetros Optimización .....	37
Tabla 6.3 Resultados Optimización.....	38
Tabla 6.4 Presencia y clase de unidades litológicas (8).....	40
Tabla 6.5 Parámetros Base de Planificación de Panel Caving.....	46
Tabla 6.6 Resumen de Recursos del Modelo Diluido .....	48
Tabla 6.7 Matriz de decisión .....	57
Tabla 6.8 Factores de Diseño de Socavación.....	58
Tabla 6.9 Factores de Diseño de Bateas .....	60
Tabla 7.1 Rendimiento de Actividades y Desarrollos .....	66
Tabla 7.2 Obras Requeridas en el Nivel de Hundimiento .....	67
Tabla 7.3 Obras Requeridas en el Nivel de Producción .....	69
Tabla 7.4 Obras Requeridas para Sistema de Traspaso .....	72
Tabla 7.5 Obras Subniveles de Ventilación .....	72
Tabla 8.1 Parámetros del Vector de Equipos .....	78
Tabla 8.2 Estimación de Equipos Opción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	79
Tabla 8.3 Estimación de Equipos Opción Caving Virgen .....	80
Tabla 8.4 Resumen General de Cubicación de Modelo de Constructibilidad .....	81
Tabla 8.5 Resumen de Costos .....	83
Tabla 8.6 Resultados de la Evaluación Económica.....	84
Tabla C.1 Plan de Producción Continuidad de Bloques 4 y 5 .....	95
Tabla C.2 Plan de Producción Continuidad Bloque 4.....	95
Tabla C.3 Plan de Producción Inicio Diablo Regimiento.....	96
Tabla C.4 Plan de Producción Caving Virgen .....	96
Tabla E.1 Evaluación Económica Continuidad de Bloques 4 y 5.....	105
Tabla E.2 Evaluación Económica Caving Virgen.....	106

# 1 INTRODUCCIÓN

La División El Teniente (DET) es uno de los complejos minero - metalúrgicos de la Corporación Nacional de Cobre (CODELCO). Ubicado en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, centra sus operaciones en la explotación subterránea y a cielo abierto de cobre y sus subproductos, alcanzando una producción diaria de 140.000 toneladas de mineral.

Frente al futuro agotamiento de los sectores productivos de la DET, la continuidad operacional de la mina dependía principalmente del Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) el cual, junto al proyecto Recursos Norte, elevaría la producción diaria de la división de 140 a 180 ktpd y aseguraría la oferta de mineral durante las próximas décadas.

Actualmente se han reportado atrasos de la puesta en marcha del PNNM lo que pone en riesgo el futuro de la operación debido a la disminución de producción que deberá enfrentar, lo cual se reflejará en la capacidad disponible de las plantas de la división.

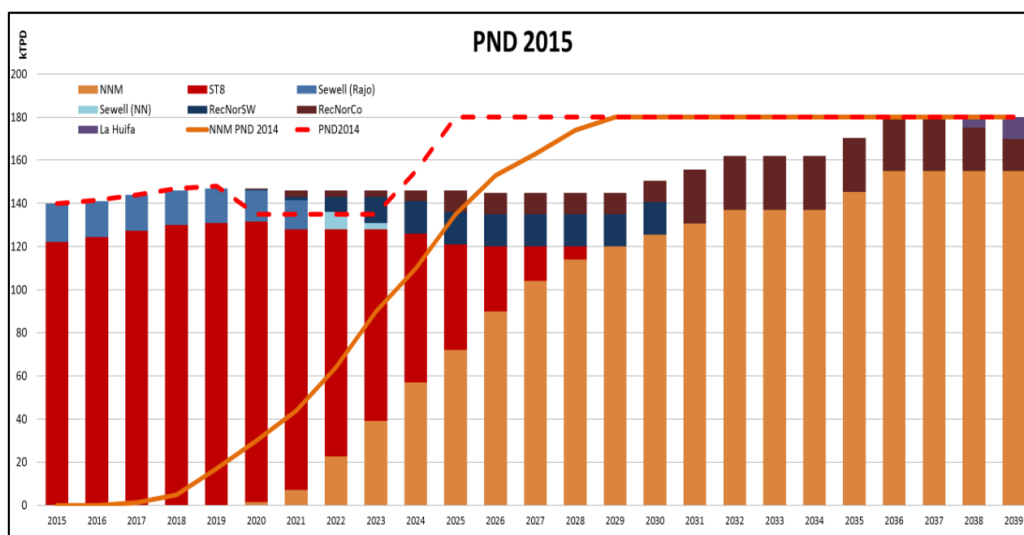


Figura 1.1 Escenario Productivo DET

En vista de este nuevo escenario de atraso del PNNM, que ha modificado el plan minero, la compañía se ha encontrado en la necesidad de aumentar la oferta de mineral. Para ello se han impulsado múltiples proyectos de contingencia que permitan mantener la producción constante hasta la puesta en marcha, ramp-up y alcance del régimen del PNNM.

El presente trabajo pretende detallar el proceso realizado para generar una ingeniería de perfil para la explotación de los recursos ubicados al sur de la mina Esmeralda entregando un valor agregado mediante un modelo de constructibilidad del sector en estudio.



## **1.1 Objetivos**

Los objetivos que busca conseguir este trabajo se detallan a continuación en forma de su objetivo principal y los objetivos específicos que se lograrán con su desarrollo.

### **1.1.1 Objetivo Principal**

Desarrollar un estudio de ingeniería a nivel de perfil, que determine la factibilidad técnica y el potencial económico que poseen los recursos minerales ubicados al sur de la mina Esmeralda de la División El Teniente de Codelco.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

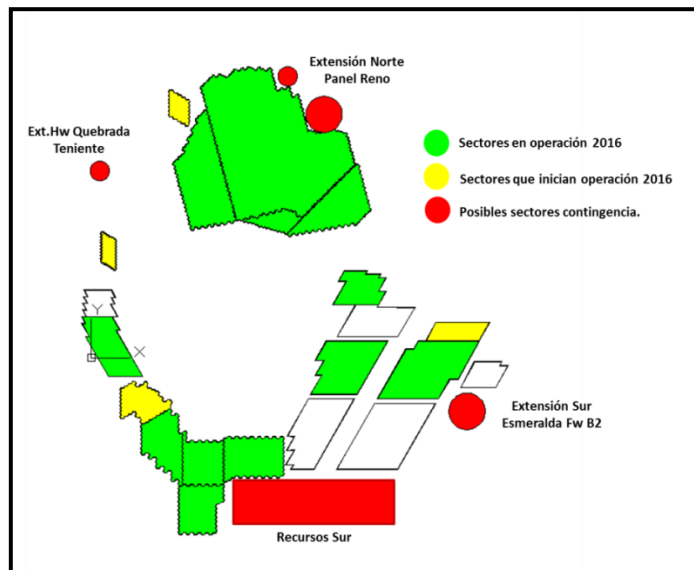
- Desarrollar estudios de explotación subterránea y rajo abierto.
- Determinar distintas estrategias de explotación dentro de las opciones subterráneas para los recursos en estudio.
- Precisar las estrategias que presentan mayores beneficios de explotación en función de su constructibilidad, reservas y valor actual.
- Construir el diseño de los niveles requeridos para una explotación mediante panel caving de las distintas opciones de explotación.
- Crear un modelo de constructibilidad utilizando los software Mine2-4D y EPS para los prospectos de explotación.
- Realizar un análisis económico para los casos estudiados.
- Generar un análisis de sensibilidad para los resultados obtenidos en el modelo económico.

## **1.2 Alcances y Limitaciones**

- Para el desarrollo del modelo de constructibilidad se considerarán las tasas de desarrollo de la mina Esmeralda.
- Dentro de la evaluación económica se considerarán los costos de desarrollo de DET 2015.
- Se considerarán como requerimientos mínimos los estándares para estudios de perfil determinados por el SIC-P-002.
- El desarrollo de este estudio se construirá en base a los antecedentes entregados por el Plan de Negocios Divisional 2015 (PND 2015).
- No se estudiará el efecto de interacción entre las cavidades de la mina Esmeralda Sur y Diablo Regimiento.
- No se considerará la interacción de la sala de chancado sizer de Diablo Regimiento con el nivel de producción de Recursos Sur.
- Debido a políticas de confidencialidad de Codelco Chile, los parámetros y resultados entregados en este informe no corresponden a los valores reales, estos se encuentran ponderados por un factor entre 0 y 1 reflejando de igual manera el escenario en el que se encuentran envueltos.

## **1.3 Justificación del Estudio**

El actual escenario de la División El Teniente tiene como prioridad identificar y desarrollar proyectos que permitan aumentar la oferta de mineral no comprometida en el PND, con énfasis en el periodo de inicio y crecimiento del PNNM. La División ha determinado distintos sectores de interés, sobre Teniente 8, como posibles proyectos de contingencia.



**Figura 1.2 Prospectos de proyectos de contingencia.**

Dentro de los prospectos de contingencia, Recursos Sur es uno de los que presenta mayores proyecciones. El sector posee recursos in situ de 125 Mt, con una ley promedio de 0.67% Cu, junto con esto y debido a los estudios geológicos realizados previamente, el sector posee una categorización de recursos de un 60% de mineral medido, calidad de información suficiente para una ingeniería de pre factibilidad.

Estratégicamente, la ubicación de Recursos Sur abre la posibilidad de ser explotado como continuidad de las operaciones aledañas y también acoplarse a las líneas de transporte de las mismas.

Dadas las condiciones, el sector Recursos Sur sugiere suficientes atractivos para llevar a cabo un estudio de perfil para determinar la factibilidad técnica y económica de la explotación de los recursos ahí encontrados y así evaluar la necesidad de continuidad de estudios a etapas de ingeniería posteriores.

#### **1.4 Metodología**

Pará lograr satisfacer el objetivo de determinar el potencial técnico y económico del sector en estudio a nivel de una ingeniería de perfil se tomaron como base los mínimos estándares para estudios de perfil otorgados por la división.

En términos generales, se procedió a recopilar los antecedentes geológicos y geomecánicos del sector, lo cuales fueron utilizados como base para este estudio. Posteriormente, y utilizando el modelo de bloques de Recursos Sur, se compararon los valores netos estimados de explotar los recursos mediante operaciones de rajo abierto y subterráneas. Lo anterior permite generar estrategias de explotación y planes mineros con los cuales es posible construir diseños que permitan extraer los recursos.

Los diseños y planes son utilizados para generar modelos de constructibilidad, los cuales permiten determinar la factibilidad operacional de construcción de la mina, así como obtener estimaciones certeras de CAPEX. Gracias a esto se procede a generar un modelo económico que permita determinar el potencial del sector estudiado.

## **2 ANTECEDENTES GENERALES**

En la presente sección se pretende entregar el contexto general de la operación en la cual se encuentra inmerso el estudio, destacando principalmente la geología distrital, la producción y sectores productivos de la mina y sus métodos de explotación, todo esto en el margen del Plan de Negocios y Desarrollo 2015 (1).

### **2.1 Antecedentes de la Mina El Teniente**

El yacimiento El Teniente es el depósito de cobre-molibdeno más grande del mundo siendo La División El Teniente, complejo minero-metalúrgico de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) la encargada de explotarlo. Dentro de los activos de la División se considera la mina subterránea y de cielo abierto junto con las instalaciones productivas y de infraestructura requeridas para la concentración y refinación de los minerales de cobre y molibdeno.

Los primeros registros de explotación del yacimiento datan del año 1819, tiempo en el cual el mineral era escogido manualmente y transportado mediante animales, principalmente del sector conocido como Fortuna. Alrededor del año 1900 y en función de la baja de las leyes, los propietarios del yacimiento buscaron financiamiento extranjero para continuar la explotación de la mina siendo los primeros interesados W. Braden junto con E. W. Nash, quienes formaron el año 1904, la primera compañía propietaria del yacimiento El Teniente denominada “Braden Copper Company”. Dicha compañía construyó el campamento minero Sewell junto con la línea ferroviaria que unía el complejo con la ciudad de Rancagua. En 1915 la compañía “Kennecott Copper Corporation” adquiere los derechos de la mina logrando una producción de 36 ktpd.

En Abril de 1967, el estado chileno adquiere el 51% de Braden Copper Company, constituyéndose así la Sociedad Minera El Teniente. Bajo este convenio, el año 1970 se materializó una gran expansión de la mina en conjunto a la construcción de la planta concentradora Colon, con la cual se logró elevar la producción a 63 ktpd.

A contar de 1971 la Mina El Teniente pasa a ser propiedad del estado chileno y posteriormente, junto a la formación de la Corporación Nacional del Cobre de Chile en 1976, la mina se transforma en la actual División El Teniente, la cual ha logrado producciones por sobre las 100 ktpd.

Actualmente la División El Teniente procesa cerca de 140 ktpd, las cuales se utilizan para refinar 450.000 toneladas de cobre fino al año, transformándola así en un pilar fundamental en el crecimiento económico del país.

### **2.2 Ubicación y Accesos**

El yacimiento de cobre-molibdeno El Teniente, se ubica en la Cordillera de los Andes, a 76 km al sureste de Santiago y 42 km al noreste de Rancagua, en la VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins, Provincia de Cachapoal. Sus coordenadas son 70°21’ longitud oeste y 34°14’ latitud sur, entre las cotas 2.000 y 3.200 m.s.n.m.

El acceso al yacimiento se realiza desde Rancagua a través de la carretera Eduardo Frei Montalva, localmente conocida como carretera “el Cobre”, la cual permite acceder a las instalaciones industriales ubicadas en Sewell, Colón, Caletones, Coya y a las oficinas ubicadas en Millan, Rancagua. La mayor parte de éstas están ubicadas a altitudes que bordean los 2.000 a 2.500 m.s.n.m.



Figura 2.1 Ubicación Mina El Teniente

## 2.2.1 Clima

El clima que caracteriza a la región del yacimiento es de tipo templado a cálido, con abundantes precipitaciones de lluvia que bordean los 600-700 mm/a, nieve invernales y estación estival seca prolongada. Las temperaturas mínimas que se alcanzan en la estación de invierno son de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-6^{\circ}\text{C}$  y las máximas en verano alcanzan los  $32^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura promedio anual de  $15^{\circ}\text{C}$ .

## 2.3 Geología

La geología del yacimiento en conjunto con su mineralización de cobre y molibdeno, dan un indicio de una génesis relacionada a una evolución compleja dada por la intrusión de cuerpos subvolcánicos máficos y félsicos, los cuales están estrechamente asociados con brechas magmáticas e hidrotermales. Estos cuerpos poseen una extensión de tres kilómetros de largo por dos kilómetros de ancho y una expresión vertical aproximadamente de dos mil metros, debido a esto, el yacimiento está clasificado dentro de los que se conoce en la literatura geológica como “Depósito Gigante de Mineral”.

### 2.3.1 Marco Geológico Distrital

El marco geológico distrital de El Teniente, está conformado principalmente por rocas de origen intrusivo y extrusivo principalmente pertenecientes a la Formación Farellones. Estas rocas estratificadas de origen volcánico, volcánico – sedimentarias, continentales y piroclásticas abarcan un área aproximada de  $675 \text{ Km}^2$ .

Las rocas de origen extrusivo corresponden a una secuencia de coladas de lava de composición basáltica a riolítica y rocas volcanoclásticas, con diques, sills y stocks de carácter máfico que la intruyen, cuyos espesores sobrepasarían los 2.5 km.

En las cercanías del yacimiento se reconocen tres miembros de rocas en la Formación Farellones, separados entre sí por discordancias angulares de carácter local. Uno de ellos, el Miembro Inferior, conformado por flujos andesíticos y aglomerados volcánicos que se

encuentran intruídos por un stock diorítico, un pórfido dacítico, diques de latita y por lamprófidos. El otro corresponde al Miembro Medio, que se localiza en la cabecera del Rio Coya y compuesto por andesitas epidotizadas con intercalaciones de rocas sedimentarias lacustres. Y por último se encuentra el Miembro Superior ubicado en la ladera oeste de la Quebrada Coya, el cual está formado por coladas andesíticas y basálticas intercaladas con aglomerados y piroclastitas.

En el yacimiento, las denominadas “Andesitas de la Mina” son las rocas que se encuentran en mayor abundancia y consisten en una unidad geológica que corresponde al Miembro Inferior de la Formación Farellones, las cuales están fuertemente alteradas mineralizadas y brechizadas. Estudios petrológicos y Mapeos de superficie realizados recientemente demuestran que estas andesitas constituyen un complejo de rocas intrusivas máficas, desde gabros a pórfidos basalto-andesíticos. Estas rocas forman un lacolito e intruyen a efusivos de la Formación Farellones.

Por su parte, en el sector del depósito existen dos grandes plutones félsicos que intruyen las rocas máficas existentes en el lugar y corresponden a la Diorita Sewell y Al Pórfido El Teniente, en donde ambos presentan brechas hidrotermales. Posteriormente en una etapa más tardía se forma la chimenea de Brechas Braden, la cual interrumpe violentamente la normal evolución del sistema hidrotermal constituyendo el colapso y fin del sistema de formación del yacimiento.

### **2.3.2 Unidades Geológicas**

La litología del yacimiento El Teniente, está compuesta en su mayoría por rocas máficas, asignadas al Miembro Inferior de la Formación Farellones. Éstas se encuentran intruidas por cuerpos félsicos de composición, forma y dimensiones variables, en la Figura 2.2 se pueden apreciar estas características.

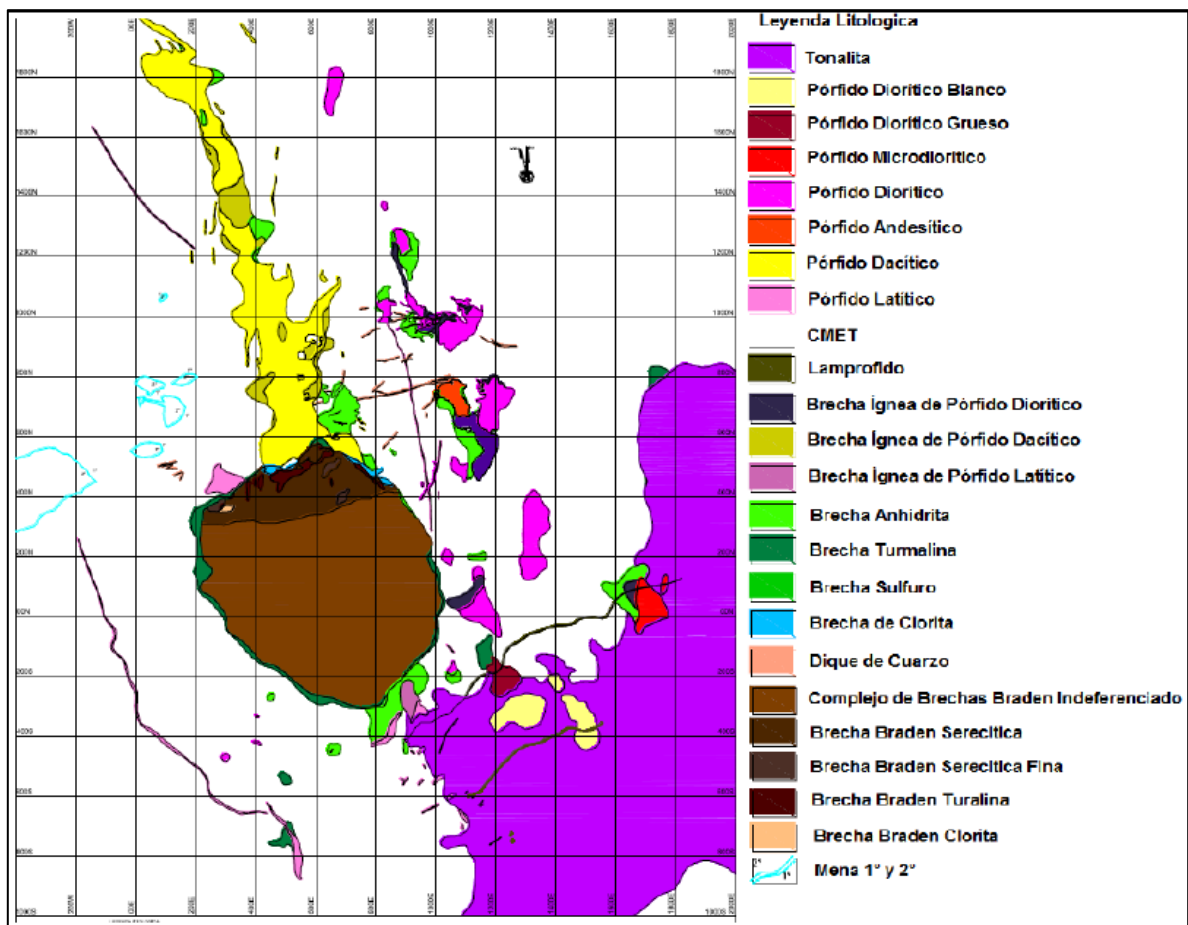


Figura 2.2 Unidades litológicas El Teniente PND 2015

Las unidades litológicas que conforman El complejo minero El Teniente, las cuales además intruyen la Formación Farellones, se describen en los siguientes puntos.

### 2.3.2.1 Complejo Máfico El Teniente

Bajo esta denominación se agrupan diabasas, gabros y pórfidos basálticos que se han descrito regularmente como “andesitas” en el pasado. Esta unidad corresponde a un complejo subvolcánico de composición básica color pardo oscuro a negro, que tiene una extensión vertical de más de 2 km de alto, 2,4 km de ancho y 1,2 km de largo. Estas rocas corresponden a las de mayor distribución en el yacimiento y alojan el 80% de la mineralización, presentando diferentes grados de biotización que anulan en forma macroscópica, las características texturales originales.

La diabasa es una roca de color gris oscuro a negro, con textura porfídica, fenocristales de plagioclasa tabulares entre 5% a 40 % aprox. Generalmente los fenocristales tienen un largo mayor a 2 mm, y la “masa fundamental” corresponde a cristales de plagioclasa de menor tamaño (< 1mm).

Los gabros son rocas de color gris oscuro a negro, con textura equigranular. Los cristales son tabulares a aciculares, con cristales de plagioclasa de 1mm de largo y piroxenos en forma subordinada. También puede presentar biotita secundaria, anhidrita, clorita y turmalina.

Los pórfidos basálticos son rocas de color gris oscuro a negro, con textura porfídica. Presenta fenocristales tabulares de plagioclasa (5 a 20%), con largo mayor a 2mm. Puede presentar fenocristales de piroxeno o bien relictos de ellos en la masa fundamental.

### **2.3.2.2 Unidades de Pórfidos Félsicos**

- **Pórfido Dacítico**

En el yacimiento se presenta como un cuerpo con características de dique orientado en dirección norte-sur a norte-noroeste y mateo sub-vertical. Ubicado al norte del depósito, con una longitud de 1.500 m y una potencia que varía entre 50 m en superficie y 300 m en el nivel teniente 8. Hacia el sur se encuentra interrumpido por la Brecha Braden, la cual lo intruye incorporando gran cantidad de fragmentos de esta unidad.

El Pórfido Dacítico, corresponde a un cuerpo compuesto por dos fases intrusivas, producto de la diferenciación del magma al momento del emplazamiento del intrusivo y que posteriormente en la etapa tardimagmática acentuaron sus diferencias, generando diferentes texturas de enfriamiento. A estas fases se les denominó Pórfido Dacítico Idiomorfo (PDI) y Pórfido Dacítico Hipidiomorfo (PDH).

Las leyes de cobre que presenta son similares a la andesita, pero entre las coordenadas 900N y 1000N aproximadamente existe una fuerte disminución en las leyes, encontrando valores que bordean el 0,6% de CuT. Bajo el nivel teniente-7 las leyes promedian valores entre el 0,8 y 0,9% de CuT.

- **Tonalita**

Corresponde a un stock que se conoce con el nombre de Diorita Sewell. Se presenta principalmente en la mitad sur-este del yacimiento, comprometiendo los sectores teniente-4 LHD y la porción sur de la mina Esmeralda. Este cuerpo presenta leyes de Cobre bajas, con valores medios de CuT bajo el 1%.

Además se caracteriza por ser una roca holocristalina de textura hipidiomórfica granular, con cristales que varían entre 0,5 a 6 mm de plagioclasa (andesina-oligoclasa), biotita, anfíbolos alterados, cuarzo y posiblemente feldespatos potásicos.

- **Pórfido Diorítico**

Se ubica en la parte central y norte del yacimiento específicamente en los sectores Esmeralda y Reservas Norte, en donde se presenta como una serie de cuerpos y diques menores alineados en dirección N30°W, con una gran extensión vertical desde los niveles más altos (teniente-1) hasta bajo la cota 1.200 (teniente-8). También es posible encontrar en el lugar brechas hidrotermales y/o brechas ígneas, debido al contacto entre este cuerpo con el Complejo Máfico El Teniente.

Presenta una textura de tipo porfídica, con presencia de fenocristales de plagioclasa, biotita, y relictos de anfíbola en una masa fundamental de cuarzo, microlitos de plagioclasa y en una menor medida feldespatos potásicos.

- **Pórfido A (Pórfido Microdiorítico)**

Está ubicada en el sector central-este del depósito, específicamente en el sector Fw del teniente-4 LHD. Este cuerpo corresponde a una diorita de grano fino con abundantes xenolitos del Complejo Máfico El Teniente, brecha de biotita y tonalita.

También presenta contactos con la Tonalita y el Complejo Máfico El Teniente, generando un volumen importante de brechas ígneas e hidrotermales de anhidrita, las que son responsables de las altas leyes de cobre en el lugar, constituyendo tal vez un centro de mineralización independiente.

- **Pórfidos Latíticos**

En el yacimiento se presentan normalmente como filones de poca potencia que varían entre los dos a seis metros, conformando cuerpos de cierta magnitud en profundidad en la parte sur del depósito, más específicamente en el sector Regimiento, en donde alcanza espesores de 15m.

Poseen una textura porfídica, con un 60% de fenocristales de biotita y plagioclasa, anfibolita alterada y ojos de cuarzo en una masa fundamental de cuarzo y feldespato.

### **2.3.2.3 Unidades de Brechas**

Existe un complejo de brechas en el yacimiento que poseen diferentes características y composiciones, lo que las diferencian y le da un nombre característico a cada una. Se distinguen Brechas Ígneas, Brechas de Biotita, Brechas Hidrotermales de Anhidrita y Turmalina y el Complejo de Brechas Braden.

- **Brechas Ígneas**

En los contactos entre el CMET y los distintos pórfidos que la intruyen se ubican preferentemente las Brechas Ígneas, éstas desarrollan potencias que varían desde algunos centímetros a decenas de metros y es posible observar habitualmente en ellas fragmentos de rocas máficas en una matriz de tonalita o pórfido diorítico.

- **Brechas de Biotita**

Las Brechas de Biotita se asocian a una alteración de tipo biotítica, las cuales pueden ser identificadas en distintos sectores del yacimiento. Se han definido dos unidades, una que se ubica en la ex Diorita Sewell, en donde la biotita se encuentra como cemento con cristalización euhedral tipo pegmatita y la otra unidad forma parte de la Brecha Ígnea del sector Esmeralda.

- **Brechas Hidrotermales de Anhidrita y Turmalina**

Éstas se encuentran preferentemente en los contactos de los pórfidos que intruyen al CMET, incorporando fragmentos de rocas máficas y de pórfido. Según el cemento que forma la matriz rocosa de la brecha, éstas se clasifican en Brecha Hidrotermal de Anhidrita que corresponde a una roca con fragmentos de andesita en una matriz de anhidrita (10-20% de anhidrita) y en Brecha Hidrotermal de Turmalina, en donde el componente más abundante en el cemento es la turmalina acompañada de anhidrita, cuarzo, calcopirita, bornita y pirita.

- **Brechas Braden**



Poseen una forma de cono invertido con un diámetro aproximado de 1.2 km en superficie y una profundidad reconocida de 1.8 km. Esta unidad está compuesta por fragmentos redondeados en una matriz de polvo de roca y cemento de sericita con cantidades menores de turmalina, calcita y sulfuros. El contenido de cobre que presentan es escaso, en consecuencia, no se ha desarrollado una explotación masiva de este complejo, pero dada la estabilidad que presenta se han realizado construcciones en su interior, que permiten ubicar la infraestructura relevante de apoyo.

## 2.4 Plan de Producción

El plan de producción PND 2015 está determinado en gran medida en base a los riesgos que presenta el desarrollo del Proyecto Nuevo Nivel Mina, dado que éste determina la ruta de crecimiento y el régimen al largo plazo de la división El Teniente.

Dentro de este plan se considera un régimen de explotación de 180 ktpd, alcanzado por el complemento del PNNM y los proyectos Recursos Norte y posteriormente La Huifa.

Los principales hitos del plan son los siguientes:

- La planta Sewell operará hasta el año 2030, para así aplazar las inversiones requeridas para la ampliación de la planta Colon. Sewell será alimentada por la producción del Rajo Sur desde el 2015 al 2021, para luego procesar la producción del sector Reservas Norte entre los años 2020 y 2030.
- Se contempla un régimen de aporte de recursos superficiales de 19 ktpd por parte del Rajo Sur hasta el año 2021.
- El inicio del Nuevo Nivel Mina el año 2020 tendrá un Ramp Up de 15 años, tras el cual se alcanzará un régimen de 155 tpd el año 2033.
- El inicio de producción de Recursos Norte el año 2020, con un Ramp Up de 6 años para alcanzar una producción de 25 ktpd el año 2025.
- Agotamiento de las actuales minas en producción, sobre Teniente 8, para el año 2028
- A partir del año 2036 se pronostica un régimen de 180 ktpd mediante los proyectos NNM, Recursos Norte y posteriormente La Huifa.

El plan de producción por sector de los próximos 25 años se muestra en el Figura 2.3.

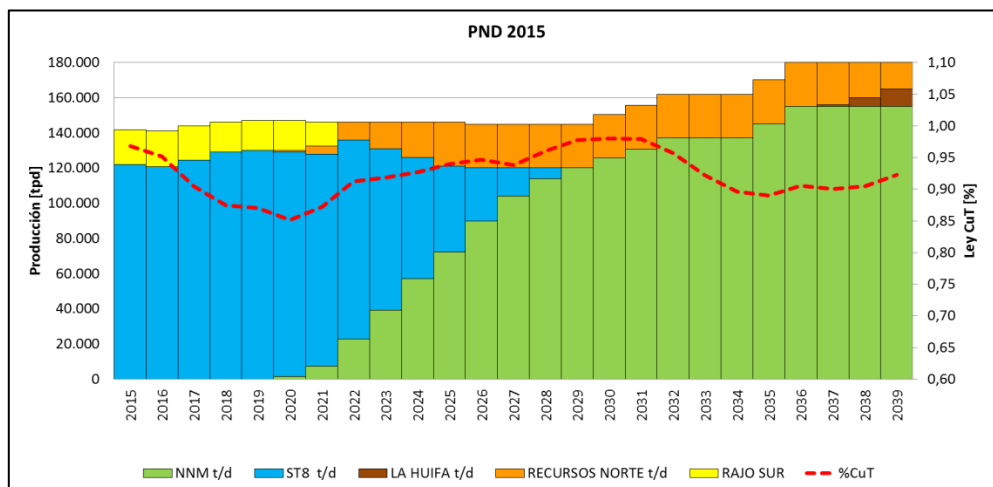


Figura 2.3 Producción por sectores PND 2015 DET

El plan de producción mina del PND de los próximos 25 años se encuentra resumido en la Tabla 2.1

**Tabla 2.1 Reservas Mina PND 2015**

	Unidad	Total	2015-2019	2020-2024	2025-2039
<b>Mineral ROM</b>	Mt	4,501	259	263	868
<b>Ley Cu</b>	%	0,82	0,91	0,9	0,93
<b>Ley Mo</b>	%	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Ley As</b>	ppm	61	85	90	50

#### 2.4.1 Sectores en Producción

En la actualidad, el complejo El Teniente cuenta con 11 minas en operación, de las cuales una es una explotación superficial de cielo abierto y las restantes 10 son explotadas de manera subterránea.

A continuación se entrega una breve descripción de los sectores en operación y de los proyectos que contempla el PND 2015.

**Tabla 2.2 Características de Sectores Productivos DET**

Sector	Método de Explotación	Cota NP (m.s.n.m)	Producción (t/d)	Año Término	Ley Media Cu (%)
<b>Rajo Sur</b>	Rajo	2.740	19.000	2022	0,65
<b>Pipa Norte</b>	PCHC	2.190	3.000	2015	1,18
<b>Teniente 4 Sur</b>	PCHC	2.354	10.000	2016	0,92
<b>ReNo</b>	PCHC y PCHA (FH)	2.102	35.000	2025	1,28
<b>Panel ReNo</b>	PCHA (FH)	2.084	3.500	2016	0,97
<b>Corbata</b>	PCHC	2.102	3.500	2016	1,08
<b>Pilar Norte</b>	PCHC	2.102	1.000	2019	1,3
<b>Dacita</b>	PCHC (FH + DDE)	2.102	3.000	2025	1,75
<b>Esmeralda Sur</b>	PCHC (FH)	2.193	30.000	2028	1,05
<b>Panel 1 Esmeralda</b>	PCHA (FH)	2.179	5.000	2018	1,15
<b>Diablo Regimiento</b>	PCHA (FH)	2.191	30.000	2024	0,82

La

Tabla 2.3 Proyectos Futuros DET muestra los proyectos que entrarán a producción a futuro dentro de la división:

Tabla 2.3 Proyectos Futuros DET

Proyecto	Método de Explotación	Cota NP (m.s.n.m)	Inicio Producción	Año Término	Ley Media Cu (%)
New Det	PCHA	2.190	2015	2017	0,88
Extención Pipa Norte	PCHA	2.102	2016	2020	0,84
Panel 2 Esmeralda	PCHA (FH)	2.179	2016	2026	1,05
Pacífico Superior	PCHC (FH)	2.247	2016	2022	0,89
Extensión Norte	PCHC (FH)	2.193	2017	2024	1,05
Esmeralda Fw	PCHC (FH)	2.193	2018	2023	0,59
Recursos Norte	PCHC (FH)	2.102	2020	2041	0,75
Nuevo Nivel Mina	PCHC (FH)	1.880	2020	2070	0,99

La disposición de los sectores en producción y de los proyectos y futuros de la división El Teniente se muestra en la Figura 2.4.

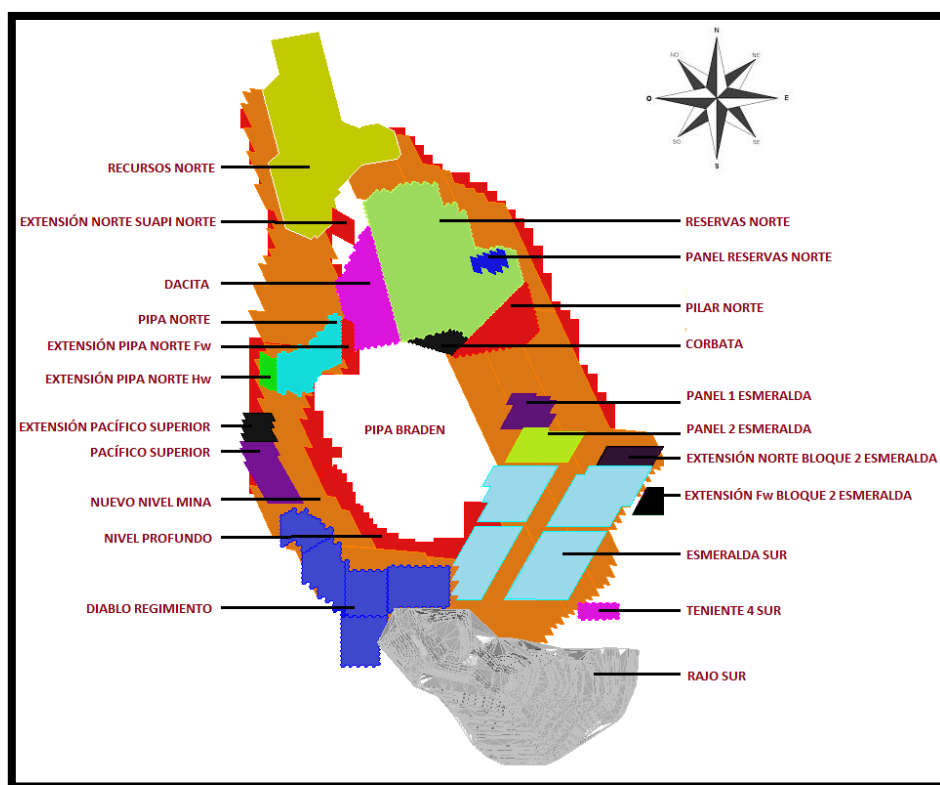


Figura 2.4 Esquema de ubicación mina El Teniente

## 2.5 Block Caving

Block Caving es un sistema de minería masivo, el cual usa la gravedad para fracturar un bloque de mineral no soportado, permitiéndole ser extraído mediante puntos de extracción. Para que esto sea posible es necesario remover la base del bloque, conocido como socavación, eliminando el soporte vertical de la columna y permitiendo la fragmentación del mineral.

En general el block caving se subdivide en 2 métodos de explotación en función de su frente de avance:

- Al dividir el depósito mineral en bloques de producción discretos, generando un frente de avance estático. A este método se le conoce como Block Caving.
- Cuando se posee un frente de explotación único o una serie de éstos (paneles), los cuales avanzan a través del cuerpo mineralizado, generando áreas de producción nuevas, mientras que las áreas antiguas se terminan, se tiene un frente de avance dinámico. A este método se le conoce como Panel Caving.

El block caving es un método que permite una alta producción una vez han sido construidos los desarrollos y se ha alcanzado el ramp-up. El tiempo requerido para generar los desarrollos necesarios previos a la producción es largo, en general va entre 5 y 10 años dependiendo del lapso de construcción del acceso principal. La inversión requerida para este método, así como el tiempo de retorno de esta es muy alto debido principalmente a la gran cantidad de desarrollos e infraestructura requerida antes de iniciar la extracción. Luego de que la mina ha alcanzado su máxima producción, el costo de operación tiende a ser bajo, siendo el menor de todos los métodos subterráneos, con un mínimo de infraestructura necesaria para mantener los altos volúmenes de producción.

El layout genérico de una mina de block caving consiste en una serie de niveles operativos horizontales, siendo los principales el nivel de hundimiento o UCL (Under Caving Level) donde se genera la socavación de los bloques o paneles, nivel de ventilación y servicios, nivel de producción donde se extrae el mineral de los puntos de extracción y nivel de transporte donde se lleva el mineral proveniente del nivel de transporte hacia la planta ya sea en superficie o bajo tierra. Dependiendo de la presencia de agua puede requerirse un nivel de drenaje.

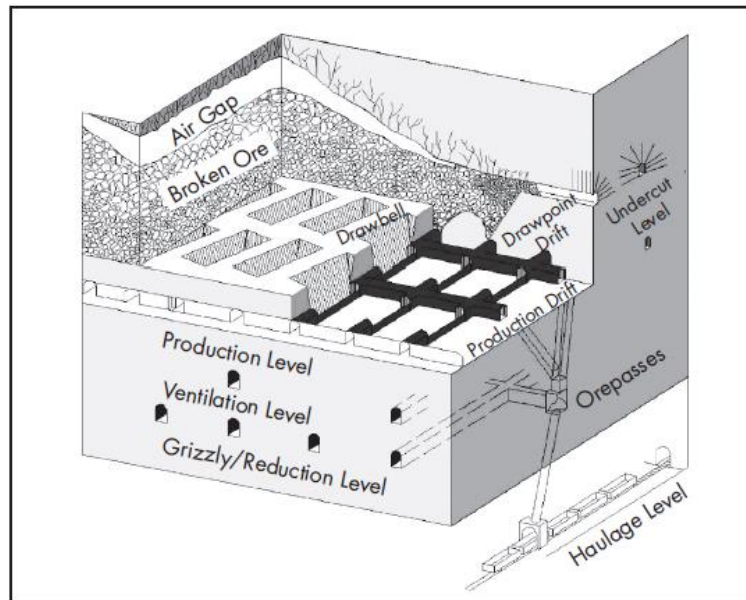


Figura 2.5 Esquema General de explotación por Block Caving (2)

## 2.6 Panel Caving

El panel caving es un método de extracción masivo en el cual se socava, mediante perforación y tronadura, la base de un panel de producción, con un frente de avance comúnmente llamado frente de hundimiento o socavación, la cual define el ingreso del área a producción y cuya planificación va acorde al área que se va agotando. Corresponde a una variante evolucionada del método Block Caving, diseñado principalmente para la explotación de macizo rocoso primario.

Se reconocen 4 variantes del panel caving las cuales difieren en la secuencia operacional de explotación. Estas son panel caving con hundimiento convencional (PCHC), previo (PCHP), avanzado (PCHA) y avanzado al límite (PCHAL). En la actualidad la división El Teniente utiliza principalmente Panel caving convencional y avanzado, Solo el sector New Det presenta hundimiento avanzado al límite.

### 2.6.1 Variantes de Planificación

El plan minero está en función de la velocidad efectiva de extracción, el área abierta del sector y principalmente la disponibilidad del área existente, según las características de cada variante se pueden obtener las siguientes disponibilidades de área (3).

Tabla 2.4 Disponibilidad de área por variante

Indicador	Variante de Panel Caving		
	Convencional	Avanzado al Limite	Avanzado
Disponibilidad de área (%)	60 - 75	65 - 80	70 - 85

La disponibilidad de área depende de la cantidad de puntos de extracción de la zona que se encuentran operativos (aptos para la extracción), reabiertos (puntos detenidos anteriormente), cerrados (puntos inoperativos por reparaciones o barro u otras razones) y colgados (puntos inoperativos por arcos de colgadura)

El daño que sufre un punto de extracción depende directamente de la variante de hundimiento que se esté utilizando. Esto se debe principalmente a que el paso del frente genera continuos cambios en el campo de esfuerzos en magnitud y orientación lo que afecta el punto de extracción. Estos daños pueden afectar directamente los elementos que lo componen (marcos de acero u hormigón, etc.), el macizo rocoso reflejándose principalmente en la visera de roca que se localiza entre el punto de extracción y la batea.

En base a esto se deduce que construir el punto de extracción delante del frente genera mayores daños y por tanto un mayor descaste y reparaciones en ellos que si hubiesen sido construidos “atrás” del frente. Por esto el PCHP presenta mejor disponibilidad de área, ya que sus puntos de extracción son construidos bajo la sombra (zona de relajación)

En el caso del PCHC y PCHAL pasa lo contrario ya que al pasar el abutment stress por los puntos de extracción se generar mayores daños en las viseras generando una menor área disponible debido a las reparaciones requeridas en el nivel.

De acuerdo a lo anterior una conclusión apresurada sería decir que la variante óptima de para cumplir la producción es el PCHP, pero no se está considerando la capacidad de constructibilidad de los métodos lo cual permite evaluar otros escenarios, debido a que el PCHP origina mayores interferencias operacionales en el nivel de producción debido al pequeño frente que se tiene por construir bajo sombra. Lo contrario ocurre con los otros métodos de hundimiento, los cuales permiten un mejor cumplimiento de las obras establecidas y optimizan el tiempo de la preparación minera.

### 2.6.1.1 Panel Caving con Hundimiento Convencional

Variante más antigua del panel caving. Se caracteriza principalmente en que el avance de su frente de socavación y de extracción coinciden y que el nivel de producción está completamente desarrollado delante del frente de socavación. Esta variante está diseñada para dar mayor flexibilidad a la preparación y construcción del nivel de producción, pero considera una baja disponibilidad de área por reparaciones asociadas. Es la mejor variante de panel caving en el secuenciamiento de obras.

#### Secuencia operacional



Figura 2.6 Esquema Panel Caving Convencional (4)

- 1- Los desarrollos para todos los niveles se encuentran adelantados respecto al frente de socavación a una distancia que depende de las características del sector productivo. NP: calle, armada y conexión del pilar.
- 2- Se preparan las bateas, primero se desarrollan las chimeneas piloto y luego hace ingreso el jumbo para perforar la zanja, ambos desarrollos no son conectados con UCL
- 3- Se procede a volar la zanja en 2 fases dejando una losa de 3 metros
- 4- Se avanza el frente de socavación previo perforación radial. La socavación de paradas termina de abrir las bateas con lo que se receptiona el esponjamiento.

### 2.6.1.2 Panel Caving con Hundimiento Avanzado

En esta variante el frente de socavación va adelantado respecto al frente de extracción y algunas de las labores del NP (fundamentalmente calles de producción, sistemas de traspaso y accesos) están desarrolladas por delante del frente de socavación, sin embargo las bateas no se abren hasta que se ubiquen bajo el área socavada

Esta variante da flexibilidad en la preparación minera respecto al hundimiento convencional y hundimiento previo. Presenta 3 situaciones de preparación de desarrollo y obras.

- 1- Hundimiento avanzado mediante calles
- 2- Hundimiento avanzado mediante calles y armada de zanjas

### 3- Hundimiento avanzado mediante calles, armada de zanjas y construcción de PE

En esta variante existe la posibilidad de construir el punto de extracción después del frente de socavación o bajo la sobra. La opción depende de la disponibilidad de área que se desea considerar y la capacidad de construcción. En resumen es el método más flexible.

#### Secuencia operacional

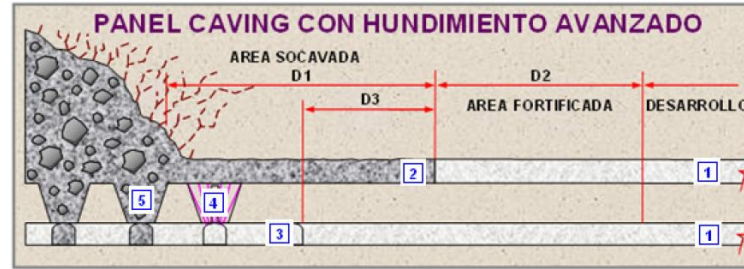


Figura 2.7 Esquema Panel Caving Avanzado (4)

- 1- Se realizan los desarrollos del UCL y solo algunas labores del NP (armada de zanjas sin conectar pilar).
- 2- Se socava el UCL avanzando el frente de socavación hasta que este se ubica a cierta distancia por delante del futuro frente de extracción.
- 3- Si se utiliza HA solo por calles entonces se desarrollan las restantes labores del nivel de producción en el sector bajo el área socavada.
- 4- Se realiza la perforación y la voladura de la zanja bajo el área socavada
- 5- Se inicia la extracción del mineral.

#### 2.6.1.3 Panel Caving con Hundimiento Avanzado al Límite

En esta variante el nivel de producción está completamente preparado y desarrollado delante del frente de socavación, sin embargo la batea se incorpora bajo el área socavada.

Este método da una mayor flexibilidad a la preparación y construcción del NP considerando una menor disponibilidad de área debido a reparaciones en el nivel. Se consideran bateas conectadas al UCL y socavación baja.

#### Secuencia operacional



Figura 2.8 Esquema Panel Caving Avanzado al Límite (4)

- 1- Desarrollos para todos los niveles se encuentran adelantados respecto al frente de socavación a una distancia que depende de cada sector productivo.

- 2- Se socava el nivel de hundimiento hasta que este se encuentra por delante del futuro frente de extracción
- 3- Se realiza una perforación y posterior voladura de zanja bajo el área socavada
- 4- Se inician las actividades de extracción a una cierta distancia entre los frentes de socavación y preparación.



### 3 ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO

#### 3.1 Definición de un Proyecto

Según la guía para la dirección de proyectos (5) se define un proyecto como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”. El carácter temporal de los proyectos indica que poseen un principio y un final definidos.

De acuerdo a la definición anterior, los proyectos de minería subterránea son de carácter temporal, en donde el inicio del proyecto está marcado por los antecedentes previos necesarios para desarrollar o elaborar los entregables y actividades requeridas para completar formalmente el proyecto.

Los productos, servicios o resultados de los proyectos mineros son los entregables de los estudios de ingeniería que definen los lineamientos necesarios para que el proyecto se desarrolle acorde a lo establecido, dentro de los márgenes definidos, en los plazos proyectados e incluso y que a futuro generen la rentabilidad esperada por los interesados en el proyecto.

#### 3.2 Ciclo de Vida de un Proyecto

La Guía PMBOK define lo siguiente: “El ciclo de vida del proyecto es un conjunto de fases del mismo, generalmente secuenciales y en ocasiones superpuestas, cuyo nombre y número se determinan por las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación”.

En base a la definición anterior, el ciclo de vida del proyecto está compuesto por fases las cuales corresponden a las etapas de estudio (ingeniería de perfil, ingeniería de pre-factibilidad, ingeniería de factibilidad, ingeniería de detalle) las cuales poseen un carácter secuencial. El final de cada etapa o fase está marcado por la transferencia de productos o entregables que sirven de antecedentes para iniciar la ingeniería posterior.

La Figura 3.1 muestra las etapas del ciclo de vida de un proyecto minero:

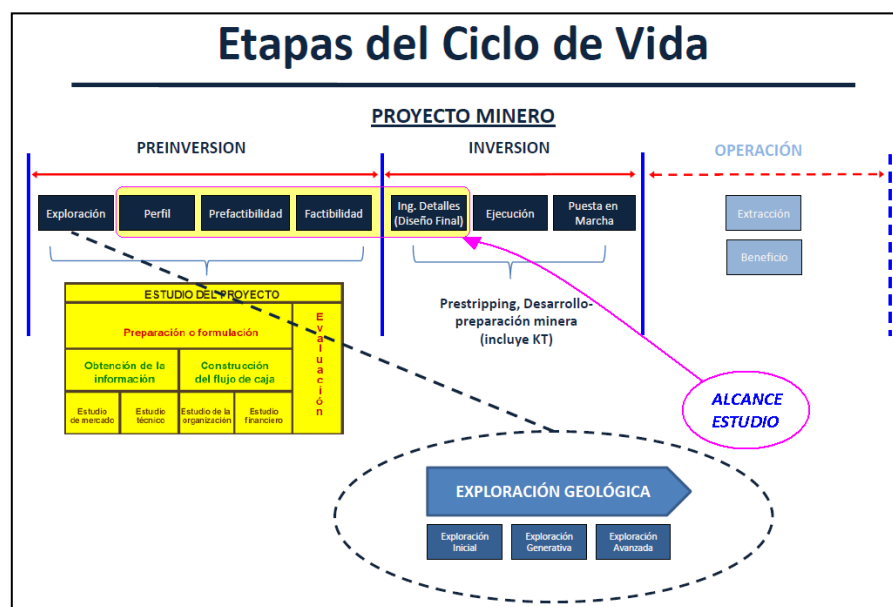


Figura 3.1 Etapas de un proyecto (6)

La ingeniería de perfil debe ser respaldada con los antecedentes de la exploración geológica, de mercado e información referencial y en base a ello se establece la existencia de un potencial negocio. En esta etapa el nivel de certidumbre de los datos es baja o escasa pero el aporte al valor del proyecto es el más alto.

En la ingeniería de pre-factibilidad, se efectúa un análisis de alternativas para desarrollar el proyecto, en esta instancia se debe seleccionar aquella que califique como la mejor dentro de un marco técnico-económico la que se evaluará posteriormente en la etapa de factibilidad. En esta etapa la precisión de los datos es mayor que en perfil y el aporte al valor del proyecto es alto.

En factibilidad se debe optimizar la alternativa seleccionada y se establecen los presupuestos para el financiamiento del proyecto, la precisión de los datos es alta y el aporte al Valor Presente Neto es menor que en pre-factibilidad.

En la ingeniería de detalles se elabora el diseño final del proyecto, se establecen los lineamientos para la construcción y operación de la mina y se define con mayor exactitud las cotizaciones y licitaciones del estudio.

La Figura 3.2 muestra las distintas etapas que conforman el ciclo de vida del proyecto, en donde se distingue el aporte de cada etapa al resultado final del proyecto y el costo asociado a cada una.

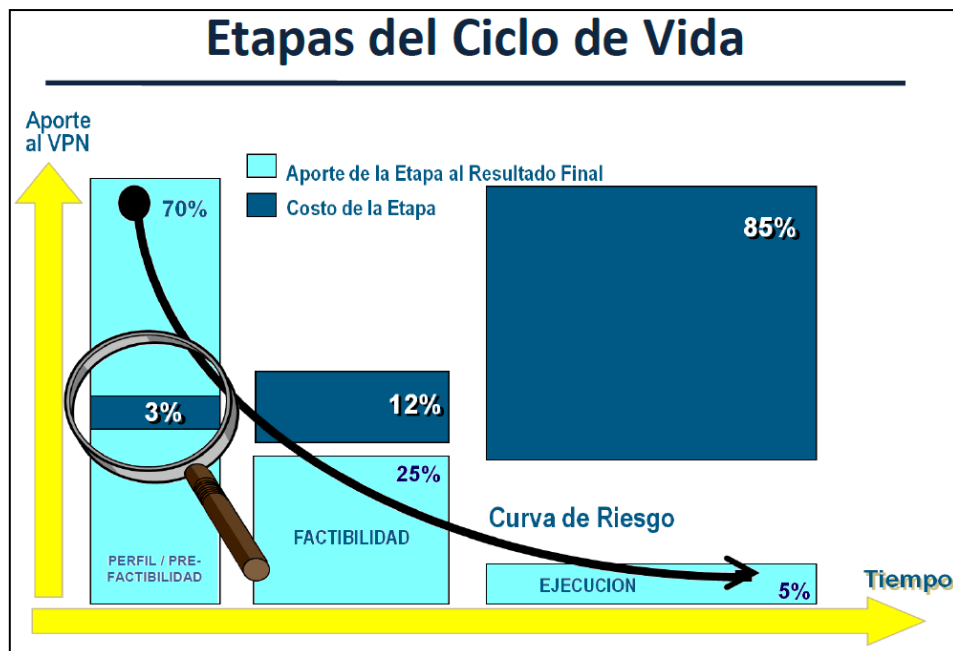


Figura 3.2 Características de las etapas de un proyecto (6)

Se puede observar que las etapas más tempranas del proyecto generan un aporte mayor al resultado final del mismo y su costo asociado es bajo, por lo cual es de suma importancia establecer una correcta definición del proyecto dado que un cambio en estas fases de ingeniería tiene una implicancia significativa para las etapas futuras.

La curva de riesgo que se muestra en la Figura 3.2 es decreciente en el tiempo, la razón de aquello es que el nivel de incertidumbre disminuye conforme se avanza en el ciclo de vida del proyecto, la toma de decisiones en los inicios del proyecto es fundamental dado el alto riesgo que presenta y en gran medida el aporte al resultado final. Por su parte, los costos de las etapas son

crecientes en el tiempo dado que los requisitos de inversión son mayores en las fases más tardías del proyecto.

### **3.2.1 Aspectos Generales de la Ingeniería de Perfil**

En este estudio se revisan los temas claves que se abordarán en las etapas del proyecto, se recopilan antecedentes de informes técnicos, de mercado y de la exploración geológica en donde se emplazará el proyecto. Se establecen los primeros cálculos preliminares a través de análisis comparativos (benchmarking) y se definen criterios y parámetros dentro de un marco general.

El nivel de definición del perfil corresponde aproximadamente a 0%-5% de la ingeniería completa, representando un costo de la etapa bajo dado el poco nivel de inversión que requiere. Los datos son en su mayoría el resultado de la extrapolación de información, por lo cual la incertidumbre de los mismos es alta y requerirán un análisis más acabado en la medida que el proyecto se desarrolla.

Su aporte al valor del negocio es importante producto del alto riesgo que implica la toma de decisiones en las primeras etapas del proyecto.

El resultado del estudio de la ingeniería de perfil es, en primer lugar, proporcionar una guía con los aspectos generales del proyecto, la definición de los aspectos y criterios relevantes, y actividades que deben ser realizadas en etapa de pre-factibilidad. Finalmente, la ingeniería de perfil tiene como objetivo encontrar un caso de negocio que no presente un error fatal.

### **3.2.2 Aspectos Generales de la Ingeniería Conceptual**

La Ingeniería Conceptual o prefactibilidad es la etapa donde se desarrolla la planificación estratégica para evaluar las principales opciones, corresponde a la primera prueba de viabilidad del proyecto. Por lo mismo, es la etapa que aporta un mayor valor al negocio, debido a que se toman las grandes decisiones, es valorado el proyecto, son definidas las grandes guías generales y se establecen las condiciones técnicas para dar respuesta a las interrogantes de viabilidad y factibilidad técnica de explotación.

En esta instancia se ha completado entre el 5% al 15% de la ingeniería, aumenta el nivel de costos y la precisión de los datos en relación a la etapa de perfil es mayor.

### **3.2.3 Aspectos Generales de la Ingeniería Básica**

La ingeniería básica o factibilidad es la última instancia en el período preinversional y se preocupa de optimizar la propuesta seleccionada en la etapa previa de pre-factibilidad, vale decir, es un estudio refinado para determinar la viabilidad del proyecto. En esta etapa se realiza un análisis detallado de todos los factores que afecten la viabilidad del proyecto, permite tomar la decisión de “seguir” o “no seguir” con el proyecto y es requerido para obtener respaldo financiero.

En esta instancia se ha completado aproximadamente el 25% de la ingeniería del proyecto y el costo de la etapa bordea el 12% del proyecto completo, la precisión de los datos es del orden de los  $\pm 15\%$  y se realizan múltiples cotizaciones (equipos, suministros de materiales y construcción) con precios verificados.

### **3.2.4 Aspectos Generales de la Ingeniería de Detalle**

La Ingeniería de detalles es la instancia posterior a la etapa de factibilidad y su inicio está marcado por un hito de decisión inversional en donde se ha logrado la aprobación del proyecto. En esta etapa el alcance es completo y detallado, se desarrolla el diseño final del proyecto y se elaboran los planes para la ejecución del mismo. La flexibilidad en las decisiones es baja dado que el proyecto ha sido aprobado para el financiamiento y es poco factible gestionar cambios a estas alturas.

En esta instancia se ha completado entre un 30% a un 70% de la ingeniería del proyecto (este porcentaje dependerá de cómo se ha gestionado el proyecto en las etapas anteriores). El nivel de incertidumbre de los datos es bajo, bordeando desde -2% a 8% y el costo de la etapa se encuentra entre un 10% a 25%.

## 4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE RECURSOS SUR

El primer paso de un proyecto minero corresponde a la realización de la exploración de un sector mediante una campaña de sondajes, la cual determina la existencia de un potencial yacimiento. Una vez determinado esto se procede a aumentar la densidad de los sondajes para así disminuir la incertidumbre del sector en estudio.

Una vez se ha alcanzado una densidad suficiente de sondajes, estos son analizados con objetivo de determinar las principales unidades geológicas, estructuras, fallas, y características de la roca presente, las cuales son utilizadas como base para los estudios posteriores tanto geológicos como geomecánicos. Durante el presente capítulo se entrega la recopilación de los antecedentes geológicos entregados por la Superintendencia de Geología de la División El Teniente.

En el presente capítulo se presentan los resultados de estos estudios, los cuales darán cimiento a los análisis posteriores para completar la ingeniería de perfil del proyecto.

### 4.1 Ubicación de Recursos Sur

El sector de interés se encuentra ubicado entre las coordenadas mina 600–1400 Este y 500–800 Sur.



Figura 4.1 Ubicación del Polígono Recursos Sur

Como puede apreciarse en la Figura 4.1, el polígono se sitúa cerca de 2 operaciones subterráneas; Esmeralda Sur ubicada al norte y Diablo Regimiento al este del polígono, a su vez la operación Rajo Sur se encuentra directamente sobre el sector.

### 4.2 Altura de Columna

En este sector la altura de columna a superficie se encuentra en torno a 600 m, sin embargo ésta aumenta hacia el lado Fw hasta alcanzar aproximadamente 800 m, en la Figura 4.2 y Figura 4.3 se aprecian perfiles del sector de interés.

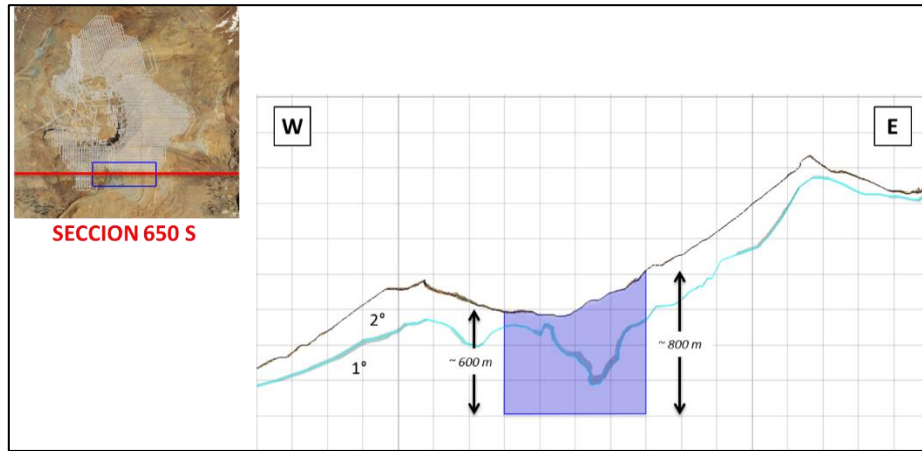


Figura 4.2 Perfil de Altura de Columna Sección 650 S

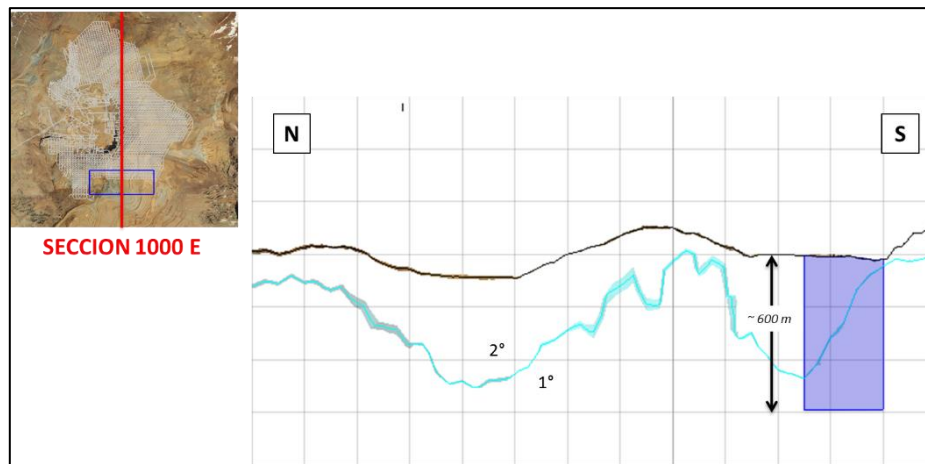


Figura 4.3 Perfil de Altura de Columna Sección 1000 E

### 4.3 Tipo de Material

La proyección del polígono desde la cota 2210 hacia la superficie muestra que el sector está compuesto en mayor cantidad por roca primaria (66%) y roca secundaria junto con material fragmentado de la cavidad (34%).

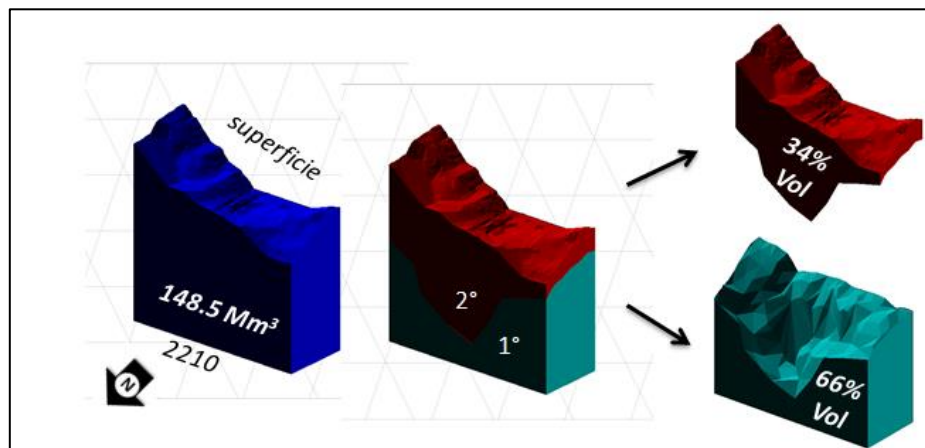


Figura 4.4 Proyección 3D del Material del Sector

El volumen total del de las reservas asciende a 148,5 Mm<sup>3</sup>. La Tabla 4.1 Resumen del Tipo de Material del Sector muestra el aporte volumétrico del material presente.

Tabla 4.1 Resumen del Tipo de Material del Sector

Tipo de material	Primario	Secundario Y Quebrado	Total
Volumen [m <sup>3</sup> ]	98.561.387	49.932.349	148.493.736
Presencia [%]	66%	34%	100%

#### 4.4 Litología

Las unidades litológicas en las que el sector en estudio se encuentra emplazado principalmente son el Complejo Máfico El Teniente (CMET) y Tonalita, a su vez es posible encontrar una presencia menor de Latita y Brecha de Anhidrita como se observa en la Figura 4.5.

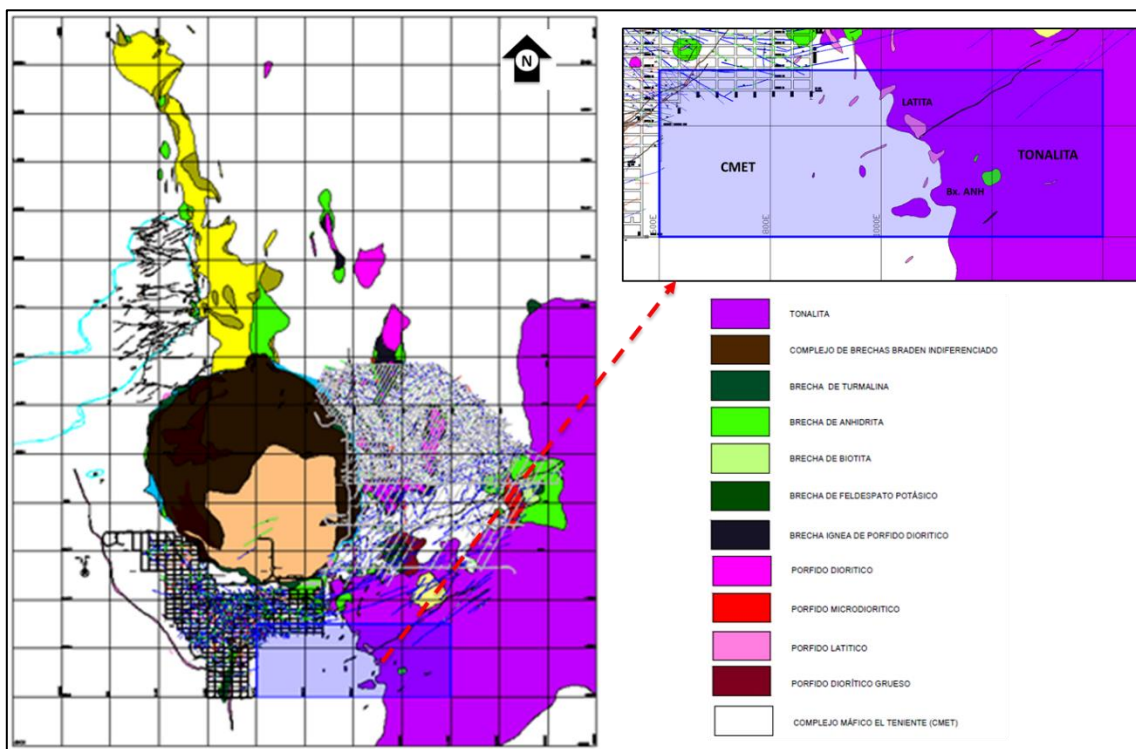


Figura 4.5 Unidades Litológicas del Sector

#### 4.5 Estructuras

Las estructuras han sido estimadas por el área de Geología de la División El Teniente, en base a interpretaciones, proyecciones desde niveles superiores y mapeo geológico de Loop Sur de Acarreo de Esmeralda. Las estructuras principales del sector corresponden al Sistema de Fallas Sur-Sur y Diques de Lampróvido, ambos de orientación preferencial NE, como se pueden observar en la Figura 4.6.



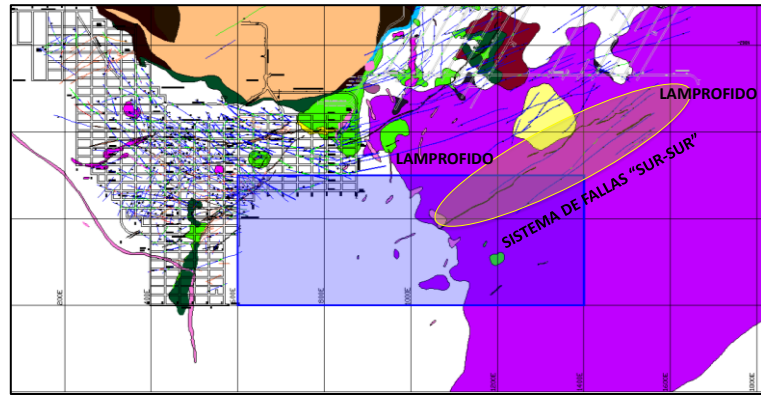


Figura 4.6 Principales Sistemas de Fallas

Las estructuras y fallas presentes en el sector de Recursos Sur tienen una orientación preferencial N50°-70°E con manteos principalmente subverticales. Además de un sistema estructural N20°-60°W, el cual se presenta con mayor expresión una la unidad litológica CMET.

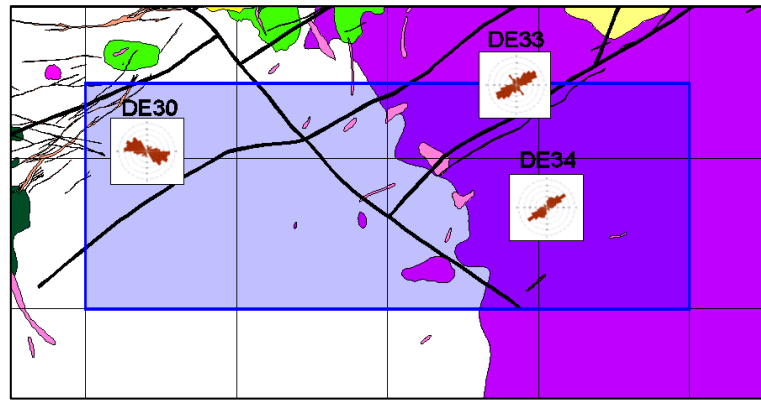


Figura 4.7 Principales Estructuras Presentes

#### 4.6 Geotecnia y Hundibilidad

La hundibilidad de un cuerpo litológico determinado depende de varios factores, los que se podrían dividir en factores geológicos (características de la roca intacta y estructuras geológicas a distintas escalas), factores geotécnicos/geomecánicos (esfuerzos y propiedades de resistencia de la roca intacta y del macizo rocoso) y factores mineros (layout, geometría, tasas de extracción y socavación).



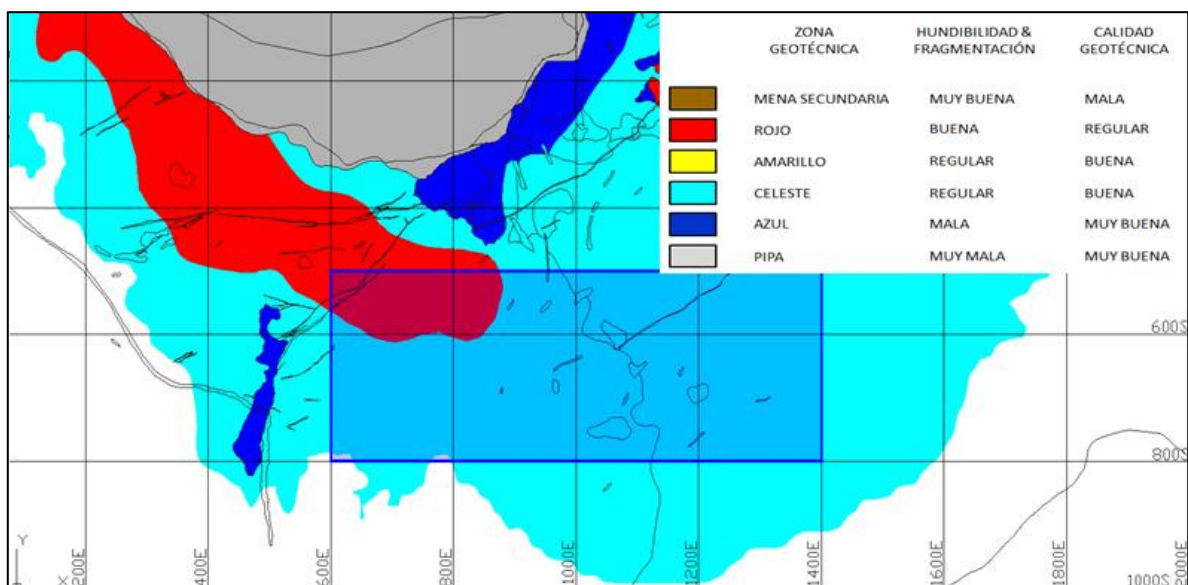


Figura 4.8 Zonación geotécnica del sector

Como puede apreciarse en la Figura 4.8, la hundibilidad y fragmentación del sector a cota 2210 se puede clasificar como Regular en la mayor parte del cuerpo, tendiendo a Buena hacia el Noroeste del cuerpo. En cuanto a la calidad geotécnica del mismo esta se encuentra entre Buena graduando a regular hacia el noroeste del área de interés.

#### 4.7 Recursos

Para la opción subterránea los recursos in-situ del sector son aproximadamente 125 Mt con ley media 0,672 % CuT y 0.013 % Mo, esta estimación de recursos es 300 m sobre la cota 2210, en la Figura 4.9 se observa la distribución de leyes del sector.

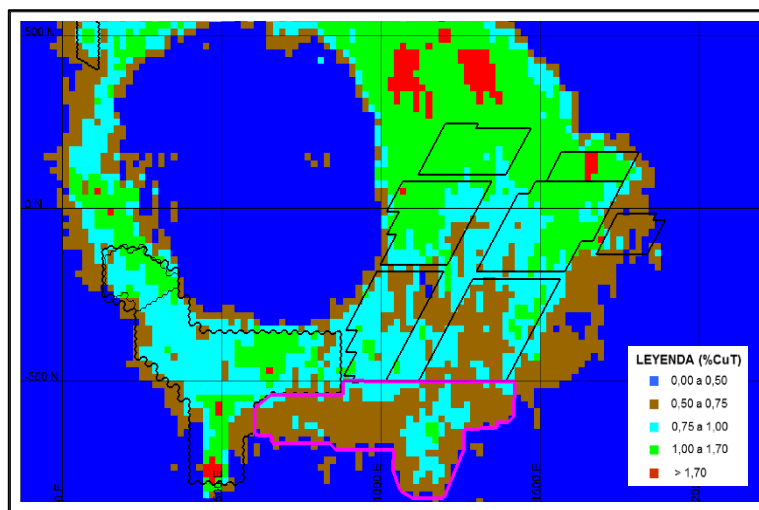


Figura 4.9 Recursos Subterráneos del Sector

En el sector de interés se tienen categorizados los recursos, aproximadamente un 60 % de Recursos Medidos, 29 % de Recursos Indicados y 11 % de Recursos Inferidos, con leyes medias de CuT 0,694 %, 0,658 % y 0,579 % respectivamente.

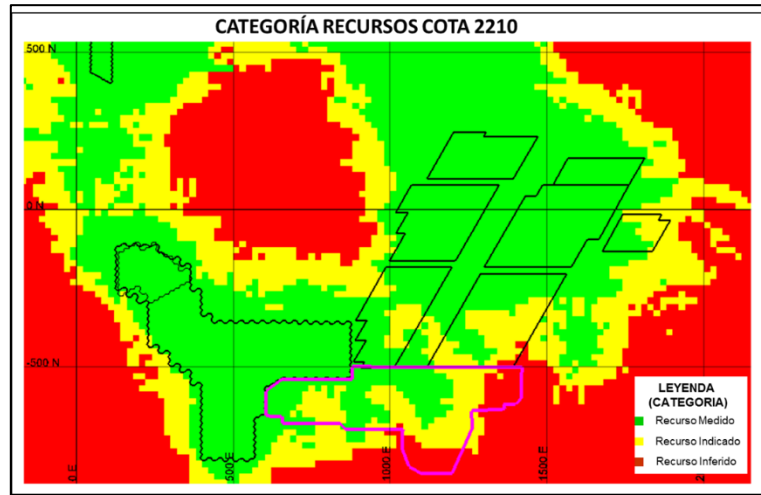


Figura 4.10 Categorización de Recursos

Tabla 4.2 Resumen de Categorización de Recursos

Categoría	Tonelaje		Ley Media CuT [%]	Cu Fino [kt]	Ley Media Mo [%]
	Mt	%			
<b>Medido</b>	76,4	60,9	0,694	530,4	0,014
<b>Indicado</b>	35,9	28,6	0,658	235,9	0,013
<b>Inferido</b>	13,1	10,5	0,579	76,1	0,013
<b>Total</b>	125,4		0,672	842,4	0,013

Con la calidad y cantidad de información disponible, se puede afirmar que es suficiente para realizar una Ingeniería de Pre-factibilidad (7).

En la Figura 4.11 se observa matriz de sustentabilidad al término de una Ingeniería de Pre-factibilidad, la cual requiere un 70 % de Reservas Probables, las que aceptan a Recursos Medidos e Indicados, y de acuerdo a la Tabla 4.2 estos recursos en conjunto son aproximadamente 90 % para el Proyecto Recursos Sur.

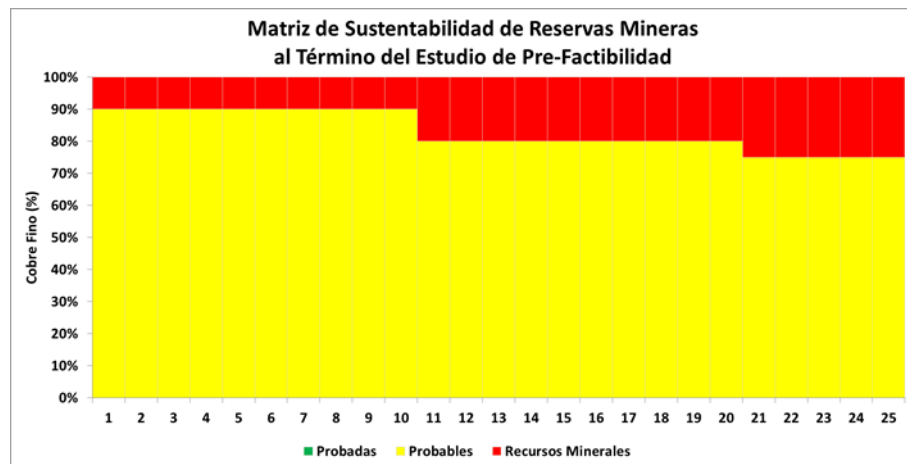


Figura 4.11 Matriz de Sustentabilidad de Reservas Mineras

## 4.8 Riesgo de Ingreso Agua-Barro

El porcentaje de reservas mineral de Proyecto Recursos Sur con riesgo alto de ingreso de agua barro es de 32 %, el porcentaje de riesgo intermedio de ingreso de agua barro es 12 %, y el porcentaje de reservas sin riesgo de ingreso de agua barro es 56 %.

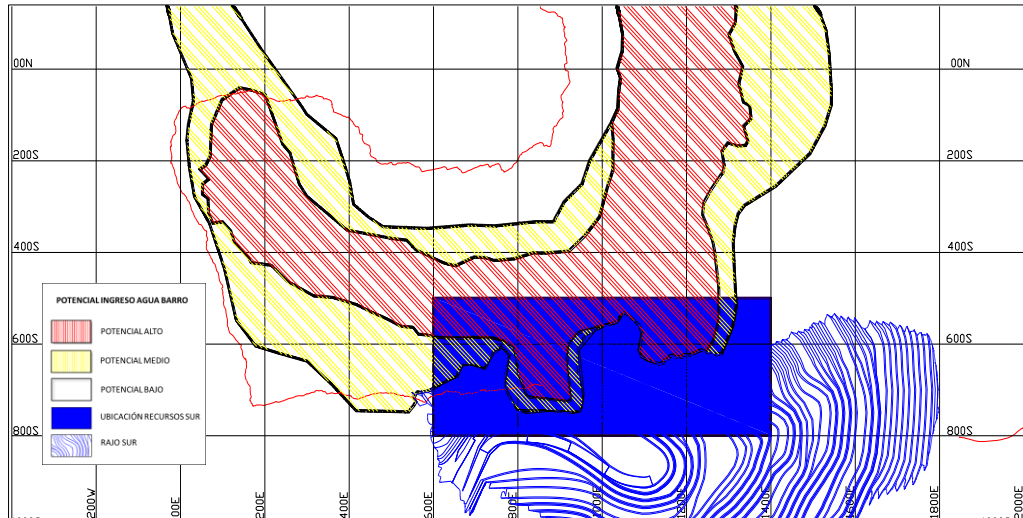


Figura 4.12 Riesgo Agua Barro

## 5 GEOMECÁNICA DEL SECTOR

Para el desarrollo de una ingeniería de perfil es necesario desarrollar un modelo geomecánico conceptual cuyo principal objetivo es definir los aspectos más relevantes que caracterizan el sector en el que se emplaza el proyecto como los riesgos y ambiente geomecánico y el secuenciamiento minera y de este modo determinar la factibilidad de explotar los recursos del sector.

### 5.1 Ambiente Geomecánico

El ambiente Geomecánico queda definido por el estado tensional, previo a ejecutar la minería del sector y por las propiedades del macizo rocoso asociadas a las litologías CMET y Tonalita, el contacto de roca primaria y secundaria y el sistema de Fallas Sur-Sur. Junto con lo anterior debe considerarse la temporalidad de explotaciones cercanas y así determinar cómo éstas modifican el ambiente geomecánico de Recursos Sur, identificando riesgos y parámetros geomecánicos para planificación (Secuenciamiento minero).

### 5.2 Ambiente de Esfuerzos

Para determinar el ambiente de esfuerzos del sector se realizó una descripción comparativa y una estimación cuantitativa de esfuerzos de preminería, este proceso consta de 2 etapas las cuales se describen a continuación

#### 5.2.1 Estimación del Esfuerzo Vertical

Se realizó una estimación del esfuerzo vertical dado por la altura de columna del área del polígono, se puede decir que el esfuerzo vertical aumenta hacia el Fw por la altura de columna de roca, en gran parte del área del proyecto se estima un esfuerzo vertical entre 12 y 16 MPa, como se observa en la Figura 5.1.

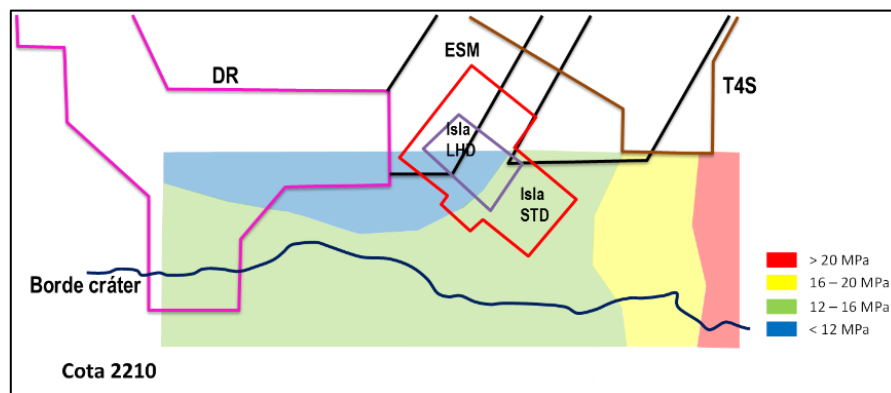


Figura 5.1. Estimación del Esfuerzo Vertical

### 5.3 Estimación del Campo Tensional

En la Figura 5.2 se observan las cavidades simplificadas correspondientes a los años 2015 línea base (estado actual de la mina) y 2020 (estado de la mina cercano al año de inicio del proyecto). Dichas cavidades fueron utilizadas para la estimación del campo tensional del sector, estas estimaciones se realizaron utilizando los modelos numéricos 3D PQ 2014, RENO 2010 y UChile 2014.

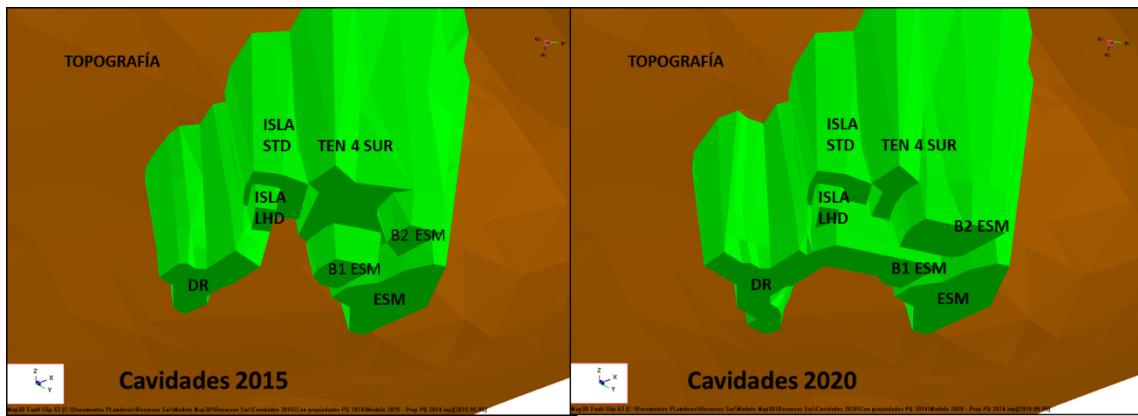


Figura 5.2. Cavidades Simplificadas años 2015 y 2020 (8)

Los resultados obtenidos indican que el sector en estudio se encuentra inducido por el estado tensional de preminería de Diablo Regimiento y Esmeralda en aproximadamente un 50% de su área basal, mientras que el otro 50% tiene se encontraría en un estado in situ.

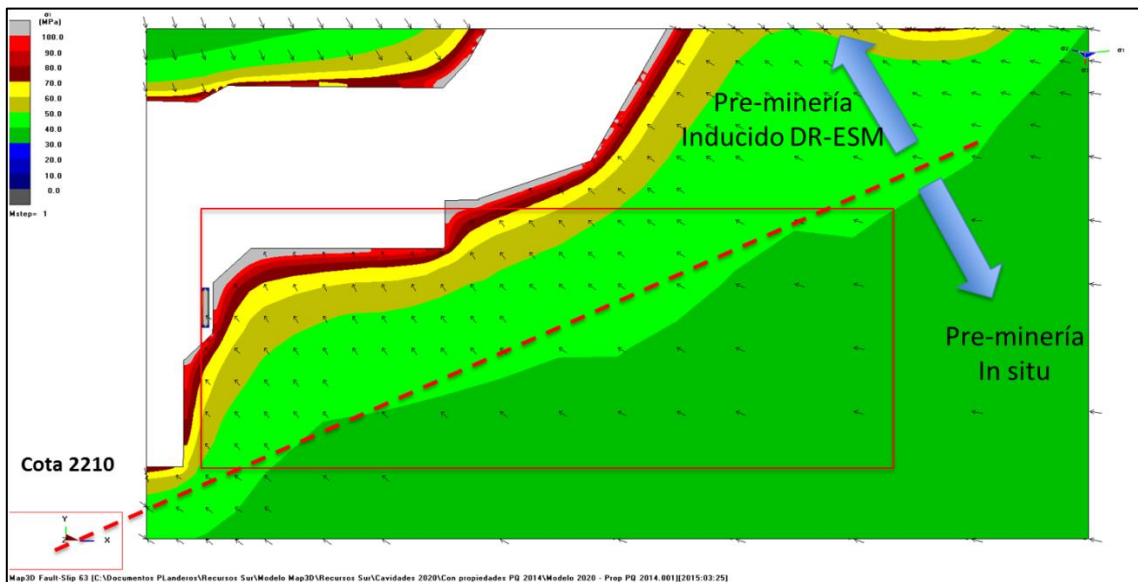


Figura 5.3. Resultado Estado Tensional Recursos Sur

Al graficar los valores de esfuerzos obtenidos a partir de los modelos es posible decir que el estado tensional pre-minería in-situ, se asocia a condiciones similares a las condiciones de inicio de mina Diablo Regimiento, magnitudes menores a la condición de los actuales Bloques de Esmeralda, ver Gráfico 5.1, esperando valores de  $\sigma_1$  entre 35 a 45 MPa y valores de  $\sigma_3$  entre 15 a 30 MPa.

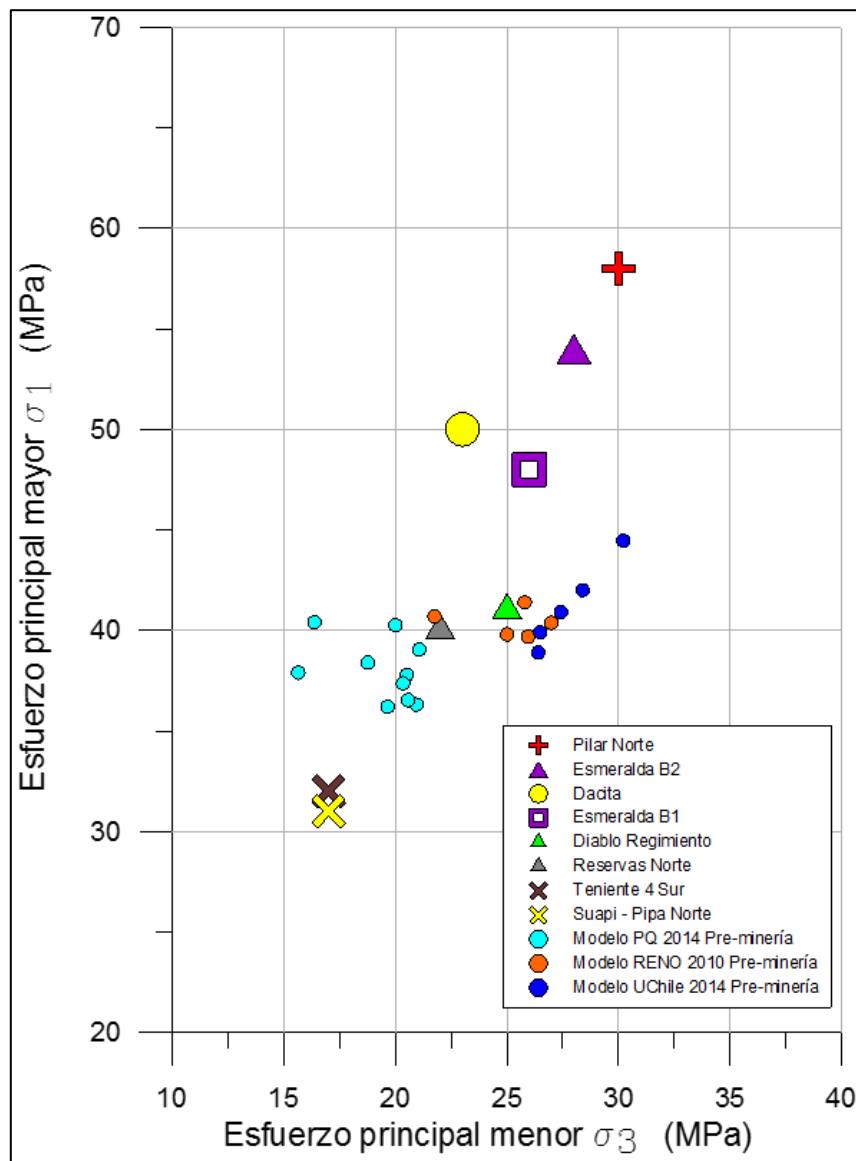


Gráfico 5.1. Magnitud de los Esfuerzos Principales de Recursos Sur (9)

Los esfuerzos esperados para el sector en estudio corresponden a un ambiente en el cual ya se ha realizado minería y por ende considerándose un sector explotable.

#### 5.4 Secuenciamiento Minero y Punto de Inicio/Área Crítica

El proyecto se encuentra emplazado en 2 unidades litológicas principales con distintas características geomecánicas, Tonalita y CMET, En caso de considerarse iniciar una explotación por caving virgen es necesario determinar el punto de inicio más favorable para la explotación así como el área crítica requerida para propagar la socavación en el sector

Para la determinación del área crítica, se realizó un análisis a partir de la calidad geotécnica del macizo rocoso, además de una actualización del ábaco de Laubscher.

### 5.4.1 Calidad del Macizo

En base a las características de la roca in situ se determinó que el sector se tiene índice MRMR para Tonalita de 62 a 65 y 2 rangos para el CMET; el que se encuentra más cercano a Diablo Regimiento tiene un MRMR de 53 a 56, y el más alejado de 58 a 60.

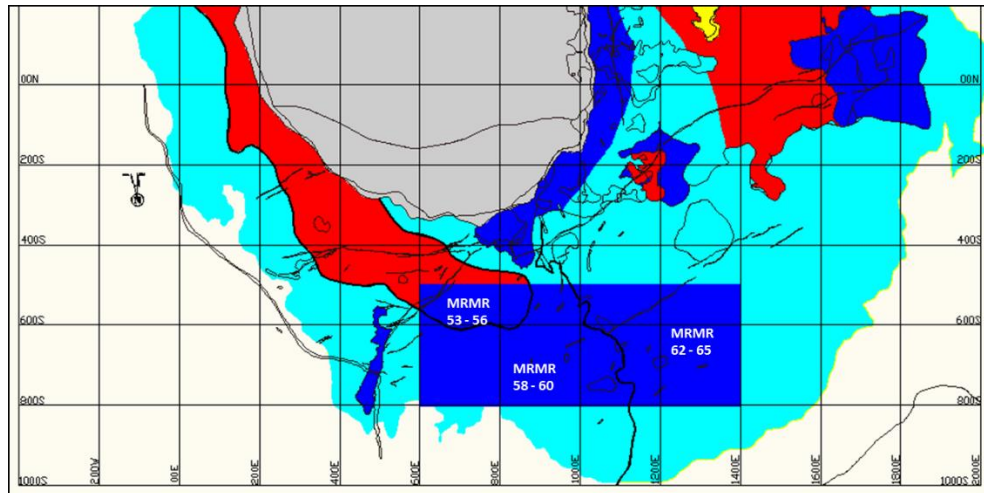


Figura 5.4. MRMR Recursos Sur

### 5.4.2 Actualización del Ábaco de Laubscher

El criterio utilizado para determinar el área crítica es el Ábaco de Laubscher (1993), corresponde a una correlación empírica entre la calidad geotécnica del macizo rocoso y el radio hidráulico del área socavada, se realizó una actualización del ábaco considerando sectores que han tenido caving virgen, y cuál fue el área crítica real y la determinada en ingeniería, además de proyectos que tendrán caving virgen, como se puede ver en la Figura 5.5.

De acuerdo al análisis realizado se determinó que para iniciar en CMET se requieren  $14.000 \text{ m}^2$  de área crítica y en Tonalita  $18.000 \text{ m}^2$ , esto indica que iniciar en Tonalita requiere un 22 % más de área crítica que iniciar en CMET. De lo anterior, en caso de optarse por una explotación iniciando un caving virgen, se recomienda iniciarlo desde la litología CMET.

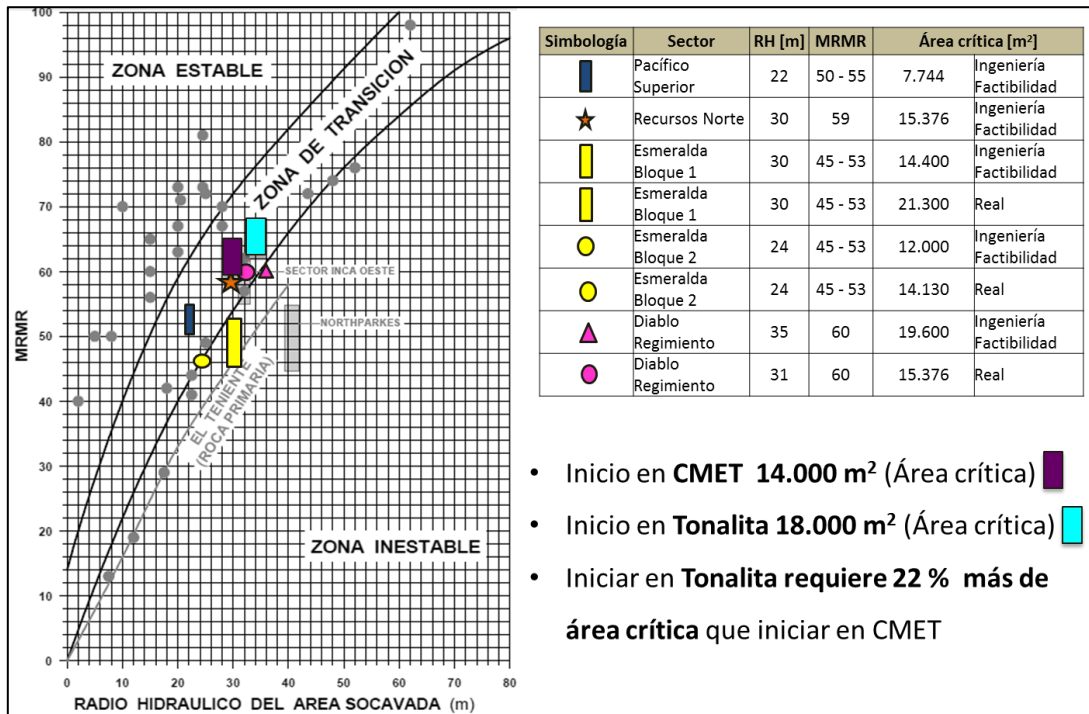


Figura 5.5. Determinación del Radio Hidráulico para Proyecto Recursos Sur

## 5.5 Riesgos Geomecánicos

El análisis de riesgos realizado está asociado a las respuestas del macizo rocoso al proceso minero, en un escenario definido por las condiciones geomecánicas y geotécnicas del sector, los riesgos identificados se pueden ver en Figura 5.6.

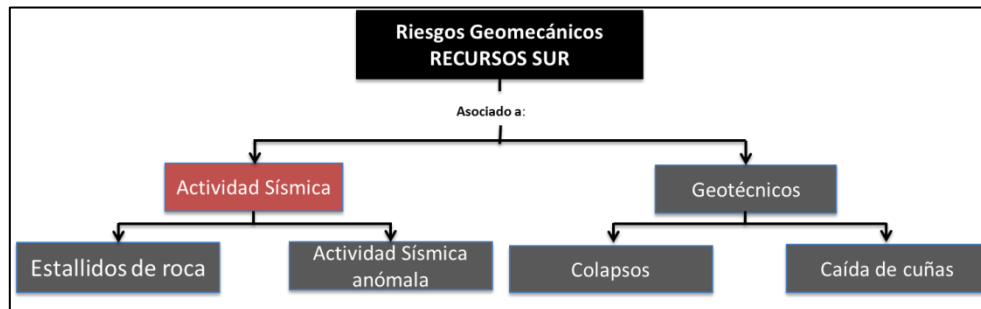
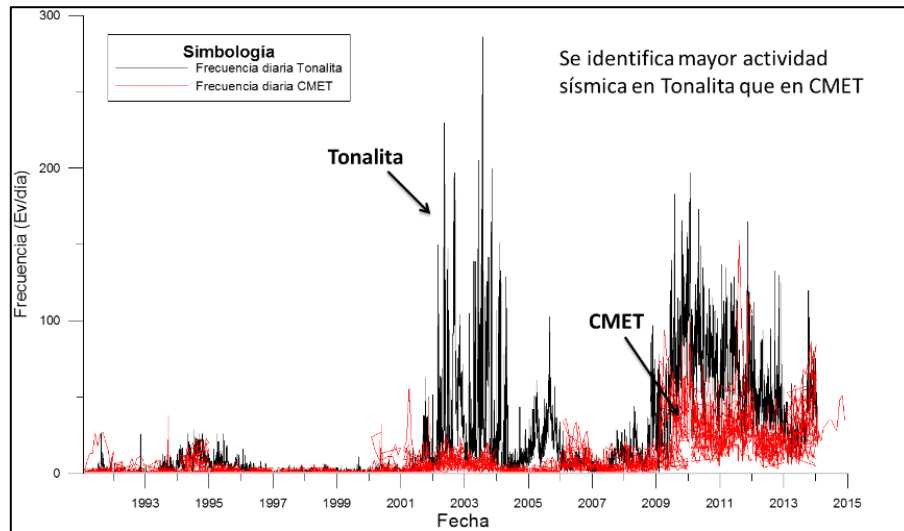


Figura 5.6. Riesgos Geomecánicos

### 5.5.1 Análisis Sísmico

Se realizó un análisis en base a antecedentes históricos de Teniente 4 Sur la frecuencia de eventos y estallidos de roca en CMET y Tonalita, en el Gráfico 5.2. Se observa que comparativamente hay mayor actividad sísmica en Tonalita, además el 50 % de los estallidos de roca ocurrieron a 50 m del contacto CMET/Tonalita, por lo tanto es posible esperar estallidos de roca al cambio de medio, es decir al comenzar a explotar Tonalita, además de un aumento en la actividad sísmica. De acuerdo a lo anterior es posible indicar que la litología influye en la actividad sísmica del sector y que Recursos Sur se puede clasificar como moderado el riesgo de estallido de roca.





**Gráfico 5.2 Frecuencia de Eventos y Estallidos de Roca Teniente 4 Sur**

Al comparar la sismicidad de Tonalita con otras unidades litológicas, ésta tiene un comportamiento similar al CMET Hw que al aumentar el Momento presenta pequeños incrementos en las tasas de liberación de energía. El CMET Hw históricamente ha presentado estallidos de roca por lo tanto es posible esperar algo similar al explotar la Tonalita.

## 6 PLANIFICACIÓN Y DISEÑO MINERO

En la presente sección se definieron distintas opciones de explotación del sector las cuales, conforme a los estándares para estudios de perfil de Codelco (10), se debe considerar la explotación de los recursos por métodos Subterráneos y Cielo Abierto. Se generaron los planes de producción e incorporación de área para dichas opciones las cuales fueron evaluadas para determinar los 2 casos de explotación más favorables. Finalmente se construyó el diseño para dichas opciones de explotación de Recursos Sur.

### 6.1 Opción Cielo Abierto

Para el Proyecto Recursos Sur se realizó un análisis para determinar las potenciales reservas mineras explotables por la modalidad de Rajo Abierto.

#### 6.1.1 Modelo de Bloques

El modelo de Bloques utilizado para la optimización de recursos corresponde a la integración de 2 inventarios; Un inventario Subterráneo bajo la cota 2620 denominado Modelo Sector Sur y el inventario de recursos vigente de la Mina Rajo Sur (Abril 2015) sobre la cota

Tabla 6.1 Configuración Modelo de Bloques

Modelo de Bloques	Este	Norte	Cota
Mínimo	200	-1.800	2.000
Máximo	2.300	40	3.800
Tamaño de Bloque	10	10	10
N° de Bloques	210	184	180

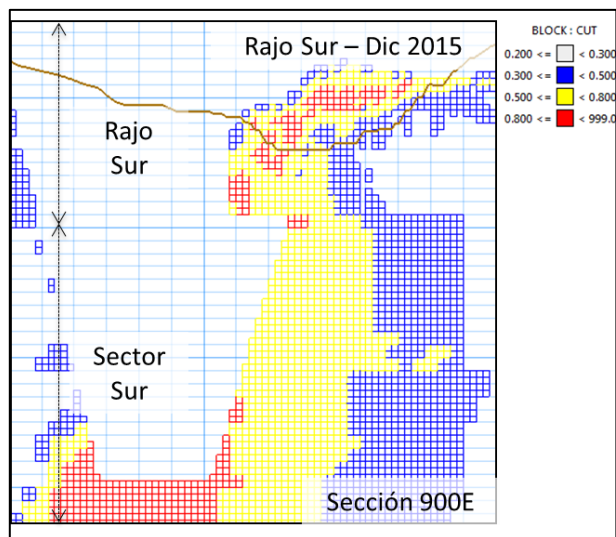


Figura 6.1 Configuración Modelo Integrado Recursos Sur

Al integrar ambos modelos se puede apreciar que se genera una discontinuidad en la mineralización del yacimiento; dicha discontinuidad influye negativamente la optimización de reservas.

## 6.1.2 Parámetros de Optimización

Para el proceso de optimización de reservas se define como Topografía de Inicio la proyección de cierre de Rajo Sur en el año 2021, tomando en cuenta tanto la geometría de la mina rajo como el Botadero Cráter Sur según PND 2015, como se puede ver en la Figura 6.2.



Figura 6.2 Topografía de Inicio

Se utilizaron los ángulos de talud definidos por estudios realizados previamente para la fase 3 del Rajo Sur y el proyecto Matancillas (12), tal como se observa en la Figura 6.3.

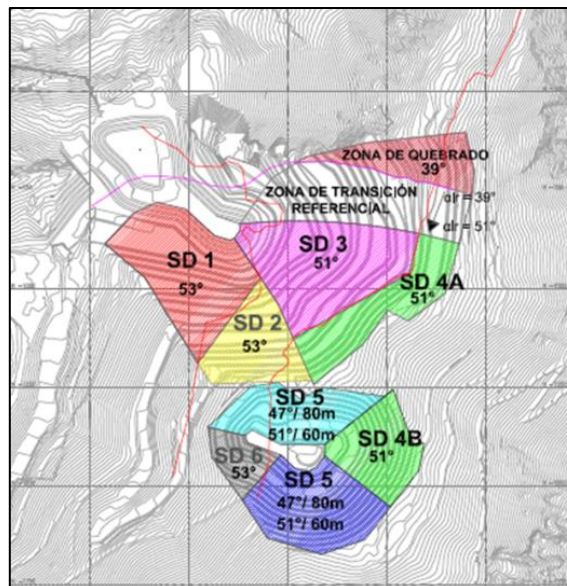


Figura 6.3. Ángulos de talud Rajo Sur y Matancillas

La estimación del proceso de optimización de recursos explotables para Proyecto Rajo Sur se realiza en mayo 2015 con las directrices de OOC del primer semestre 2015 y los

parámetros mina y costos por fuentes disponibles a la fecha, estos parámetros se pueden ver en la Tabla 6.2

**Tabla 6.2 Parámetros Optimización**

<b>Parámetros Económicos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Largo Plazo</b>
<b>Precio Cu</b>	cUS\$/lb	280
<b>Precio Mo</b>	US\$/kg	30
<b>Parámetros Metalurgicos</b>		
<b>Recuperación Cu</b>	%	83
<b>Recuperación Mo</b>	%	62
<b>Costo Mina</b>		
<b>Costo Mina Fijo</b>	US\$/t movida	3,25
<b>Costo Mina Variable Sin Transporte</b>	US\$/t movida	0,52
<b>Costo Transporte</b>	US\$/t movida	0,65
<b>Costo Mina Total Sin Transporte</b>	US\$/t movida	3,77
<b>Costo Mina Total</b>	US\$/t movida	4,42
<b>Costo Tonelada-Kilómetro</b>	US\$/T/km	0,2
<b>Cota de Referencia</b>	m.s.n.m.	2815
<b>Distancia Media de Transporte- Mineral</b>	km	5,3
<b>Distancia Media de Transporte - Estéril</b>	km	0,4
<b>Costo de Referencia Mina Estéril</b>	US\$/t ext	4,34
<b>Costo Referencia Mina Mineral</b>	US\$/t ext	5,32
<b>Diferencial Costo Mina E/M</b>	US\$/t ext	0,98
<b>Costo Planta</b>		
<b>Costo Planta</b>	US\$/t mineral	10,2
<b>Costo Planta Referencia (CP + Diferencial CM)</b>	US\$/t mineral	11,18
<b>Costo Venta</b>		
<b>Costo Venta Total</b>	kUS\$/lb	0,41

Para simular, en el proceso de optimización, el efecto del aumento/disminución de la distancia de transporte de acuerdo al banco de producción programado, se introduce el concepto de Factor de Ajuste (MCAF), el cual es un modelo lineal de ajuste respecto a una cota de referencia, ver Gráfico 6.1.

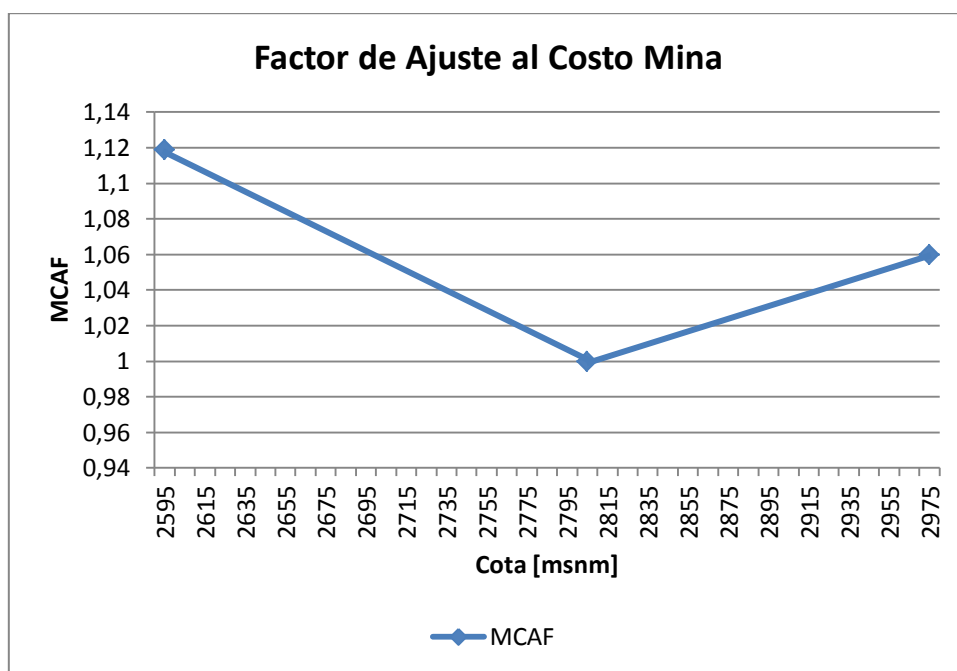


Gráfico 6.1 Factor de Ajuste al Costo Mina

Del gráfico anterior se puede apreciar que el punto de inflexión del MCAF es la cota 2805, la cual corresponde al acceso principal al Rajo Sur y entregando como resultado un factor de ajuste de 0,0006 [m<sup>-1</sup>] al profundizar o elevar la extracción a partir de dicha cota.

### 6.1.3 Resultados de la Optimización

En la Tabla 6.3 se pueden ver los resultados de la optimización:

Tabla 6.3 Resultados Optimización

Sensibilidad	Recursos Totales + Quebrado	Reservas demostradas + Quebrado	Recursos Totales + 55% Quebrado
Precio de Ref [US\$/lb]	2,80	2,80	2,80
Costo Mina [US\$/t ext]	5,05	4,96	5,24
Tasa de Descuento	8%	8%	8%
Mineral [kt]	25.974	18.574	16.031
Ley CuT [%]	0,46	0,46	0,46
Fino Contenido [ktmf]	120	91	80
% Mineral Quebrado [%]	49	65	37
Ley CuT Quebrado [%]	0,6	0,6	0,6
Esteril [kt]	20.291	20.144	4.936
Roca Total [kt]	46.265	38.718	20.967
REM	0,781	1,085	0,308

Los resultados obtenidos por el proceso de optimización de reservas demuestran claramente que los mismos se ven influenciados por la discontinuidad de la mineralización en sección vertical producto de la naturaleza de la información.

De acuerdo al resultado de la optimización existe un potencial de 16 a 25 Mt de mineral in situ más mineral quebrado, a ser económicamente extraídos por el método a cielo abierto, alcanzando la cota 2620, y habilitado por el material de la cavidad (quebrado) remanente en el sector norte de la explotación actual y que no ha sido considerado en ningún plan de Mina Rajo Sur. El mineral in situ se estima en 3,7 Mt con ley de 0,47 % CuT, recursos que permitirían extender la vida de Rajo Sur en aproximadamente 8 meses al mismo ritmo de producción actual de 17 ktpd hasta Mayo del 2022.

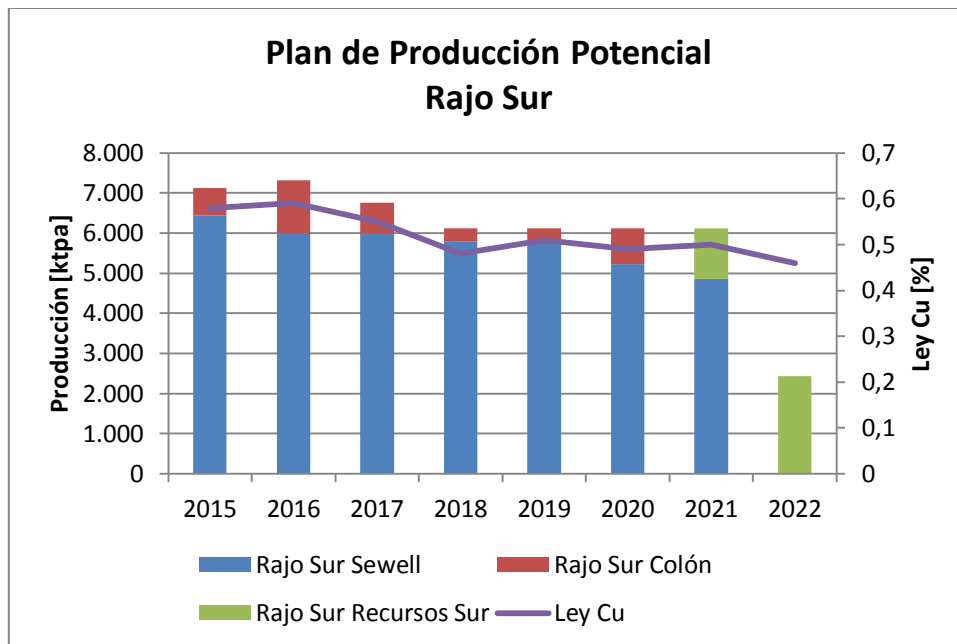


Gráfico 6.2 Plan de Producción Rajo Sur con Recursos Sur

El VAN esperado de la explotación de los recursos in-situ es de 18,5 MUS\$ lo que muestra la factibilidad económica de explotar el sector mediante Rajo Abierto.

## 6.2 Opción de Explotación Subterránea

Continuando con el estudio se procedió a analizar la factibilidad de explotar los recursos mediante de manera subterránea. Para ello se consideró utilizar el método de Panel Caving con Hundimiento Convencional y Fracturamiento Hidráulico. Esto debido a que en la actualidad la división El Teniente se encuentra derivando la mayor parte de sus operaciones y proyectos futuros a este método dado los positivos resultados de estabilidad e incorporación de área que ha tenido los últimos años no presentando estallidos de roca significativos en los últimos 5 años.

### 6.2.1 Análisis de Malla de Extracción

En general para el dimensionamiento de mallas de extracción y el tipo de malla a utilizar se consideran los siguientes pasos:

- Determinación de la calidad geotécnica del material de interés
- Se procede a utilizar los ábacos de Laubscher para obtener una aproximación del espaciamiento entre los puntos de extracción en función a 2 criterios; la metodología del diámetro del tiraje aislado (DTA) y la que relaciona cantidad de sobretamaño (%>2m) con el espaciamiento necesario para el manejo de materiales mediante LHD.
- Análisis de pilares remanentes.
- Conciliación de información de anterior y sectores con características similares.

A continuación analizará el dimensionamiento de la malla de extracción en función de diversos criterios:

### 6.2.1.1 Malla en Base a Litología

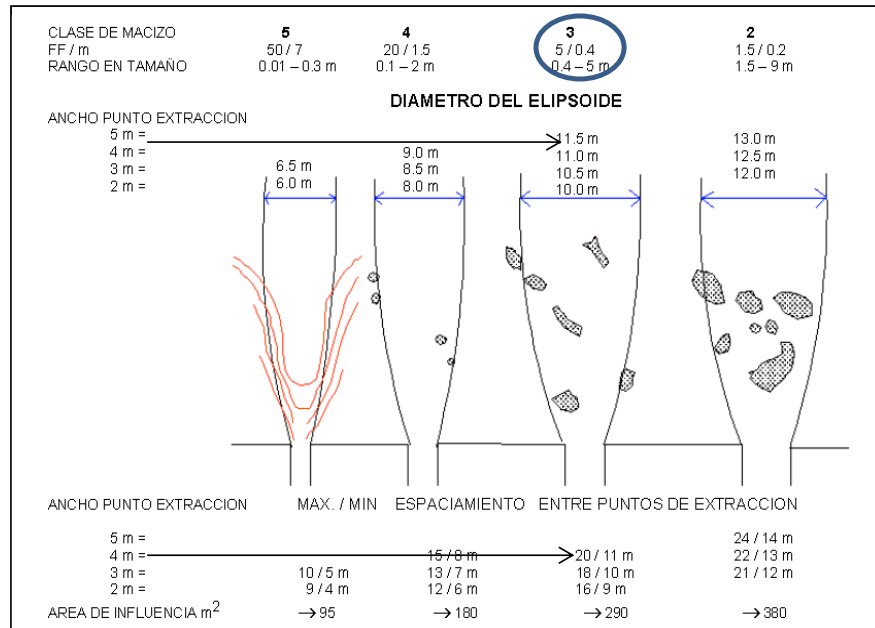
La obtención de mallas de producción se basa en los modelos de interacción generados por D. Laubscher. Esta metodología indica la distancia de separación aproximada entre puntos de extracción para los cuales, al extraer material por los puntos, se produzcan zonas de tiraje interactivo entre las partículas.

En función de los parámetros IRMR de la litología presente y la cubicación en el sector se tienen las siguientes características y presencia de unidades:

**Tabla 6.4 Presencia y clase de unidades litológicas (8)**

Litología	Presencia	Clase
<b>CMET</b>	55%	3
<b>Tonalita</b>	40%	3
<b>Latita</b>	2%	3
<b>Turmalina</b>	2%	5
<b>Otros</b>	>1%	3

De lo anterior se obtiene la categoría media 3 como la clase representativa del sector Recursos Sur. Utilizando esto como entrada base del ábaco de Laubscher se puede obtener la distancia aproximada entre puntos de extracción como se muestra en la Figura 6.4.



**Figura 6.4 Ábaco de Laubscher Calidad del Macizo vs Diámetro del Elipsoide**

Asumiendo un ancho de punto de extracción entre los 4 – 4,5 m. se tiene que el diámetro del tiraje aislado fluctúa entre los 11 – 11,5 m. con un espaciamiento entre puntos entre 20 – 11 m. Considerando el espaciamiento 1.5 veces el diámetro del elipsoide se obtiene un valor de este último entre 16,5 y 17,25 m.

### 6.2.1.2 Malla en Base a Granulometría

En función de las curvas granulométricas de las unidades litológicas, se puede hacer un análisis similar utilizando como input el porcentaje de la unidad que se encuentra sobre los 2 m<sup>3</sup> e intersectando este valor con la curva que representa el ancho del punto de extracción, entregándose como resultado el espaciamiento entre puntos de extracción.



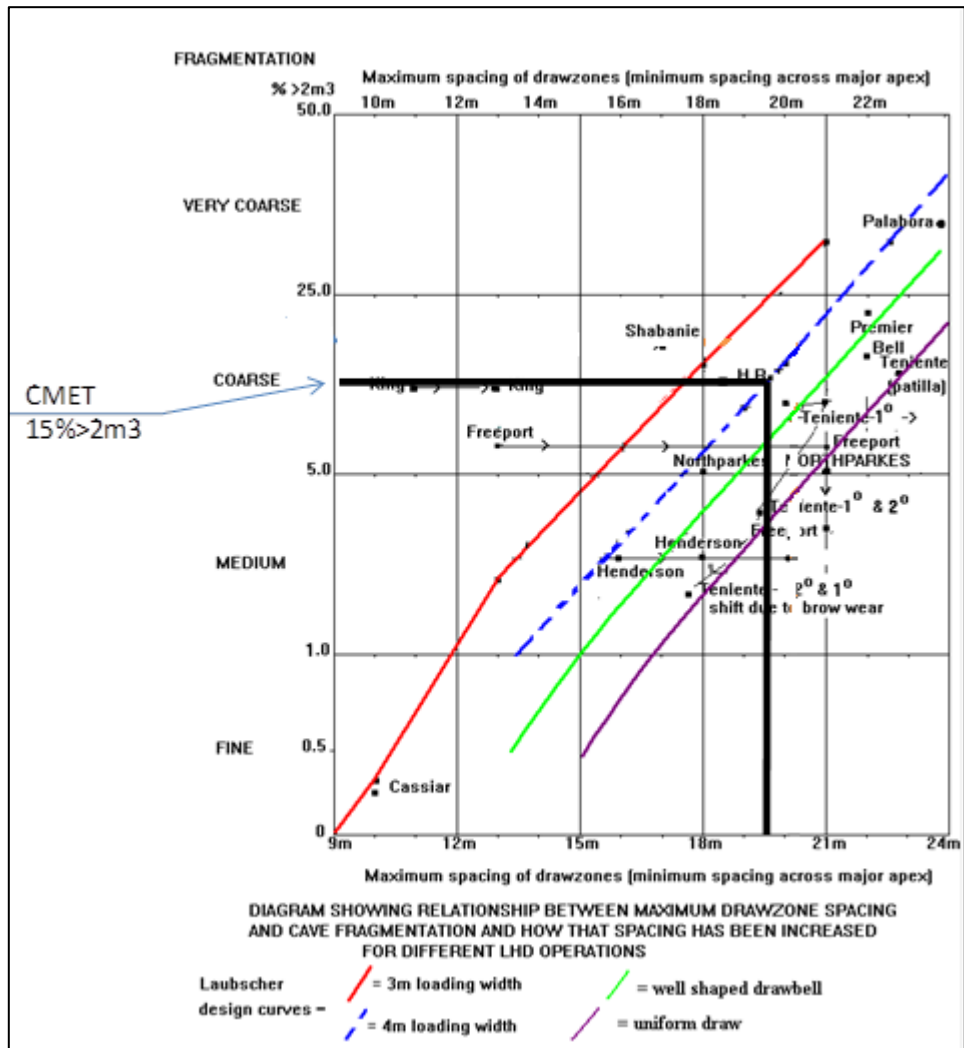


Figura 6.5 Espaciamento Entre Puntos de Tiraje.

Los valores obtenidos en la Figura 6.5 muestran un espaciamento entre los 19 y 20 metros.

Una vez determinada la separación entre puntos de extracción (20 m), las opciones de mallas de extracción se conciben a partir de las dimensiones de los equipos de extracción LHD. En base a estos resultados se muestran los esquemas de mallas de extracción Teniente para equipos LHD de 7 y 10 yd<sup>3</sup>.

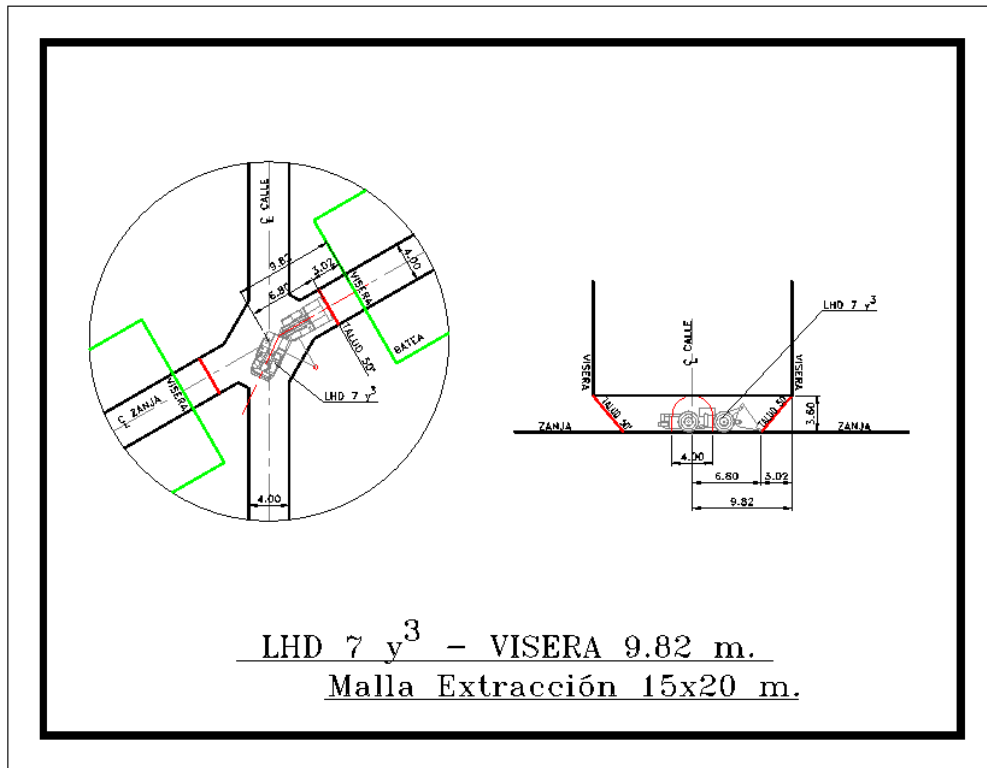


Figura 6.6 LHD 7 yd<sup>3</sup> con malla 15x20 m.

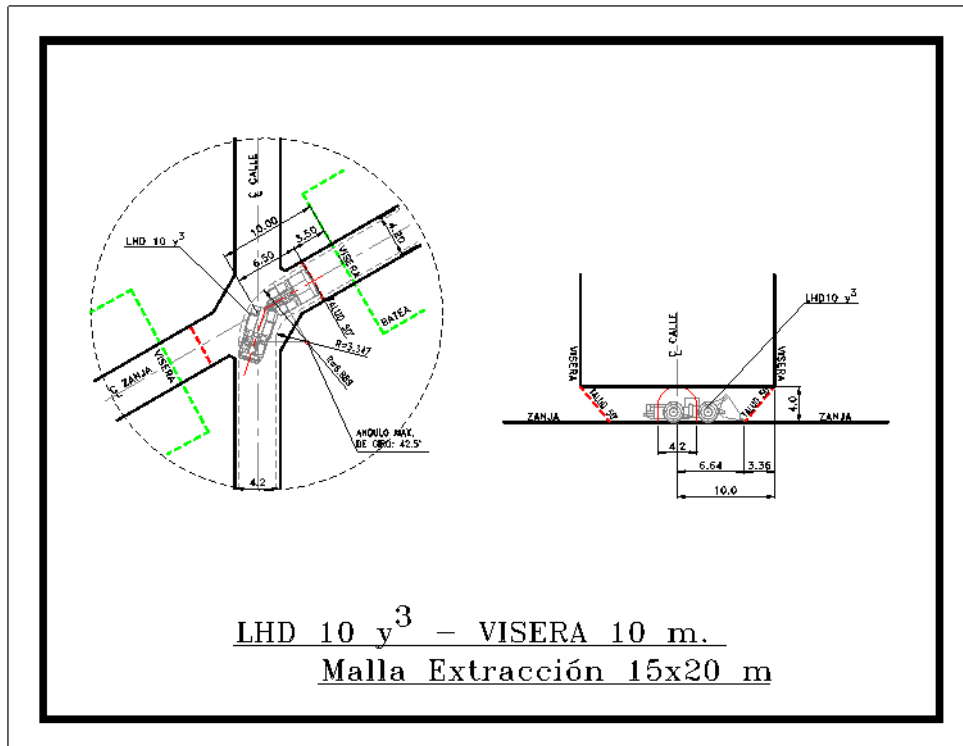


Figura 6.7 LHD 10 yd<sup>3</sup> con malla 15x20 m.

### 6.2.1.3 Análisis de pilares remanentes

A partir de la estimación del diámetro de tiraje interactivo extraído del ábaco de Laubscher, se realizó un análisis sobre las zonas sin interacción que suponen pérdidas de mineral sobre las calles de producción, en cada una de las opciones de mallas de tiraje presentadas en los esquemas de la sección anterior. La Figura 6.8 muestra una vista en planta con las zonas sin tiraje generadas en los casos de los equipos de 7 yd<sup>3</sup> y 10 yd<sup>3</sup>. Esta figura muestra que la malla de 17 x 20, dejan zonas sobre las calles de producción que pueden presentar porcentajes de áreas sin tirar estimada en 17%. Se observa también que en la malla de 15 x 20, correspondiente a los equipos de 7 yd<sup>3</sup> la pérdida de área por el efecto de no tiraje es del orden de 4%, magnitud menor al otro caso analizado. Este hecho indica que desde el punto de vista de la interacción del tiraje, la malla de 15 x 20 con LHD de 7 yd<sup>3</sup> representaría, desde un punto de vista teórico, la configuración con menores pérdidas de mineral por el efecto de zonas sin tiraje.

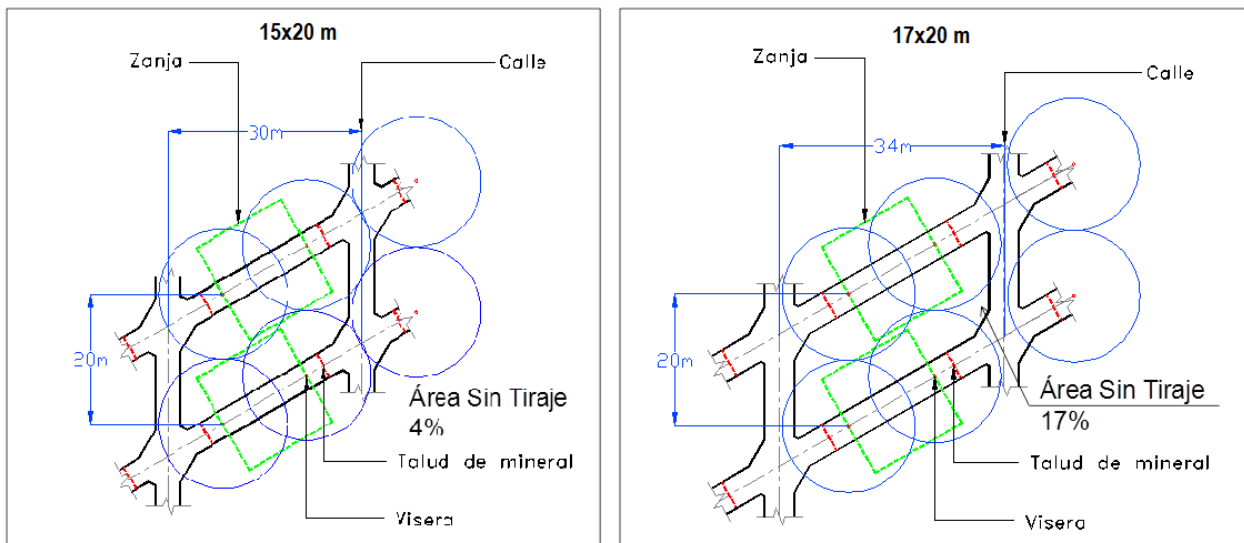


Figura 6.8 Pilares remanentes de mallas.

## 6.2.2 Orientación y diseño de sectores cercanos

Como se mencionó anteriormente, Recursos Sur se encuentra cerca de 2 sectores productivos (Esmeralda y Diablo Regimiento) lo cual entrega la posibilidad de ser explotado como continuidad de la estas operaciones, utilizando la orientación Calle-Zanja de estos niveles de producción. Los sectores mencionados se observan en la Figura 6.9 y la Figura 6.10

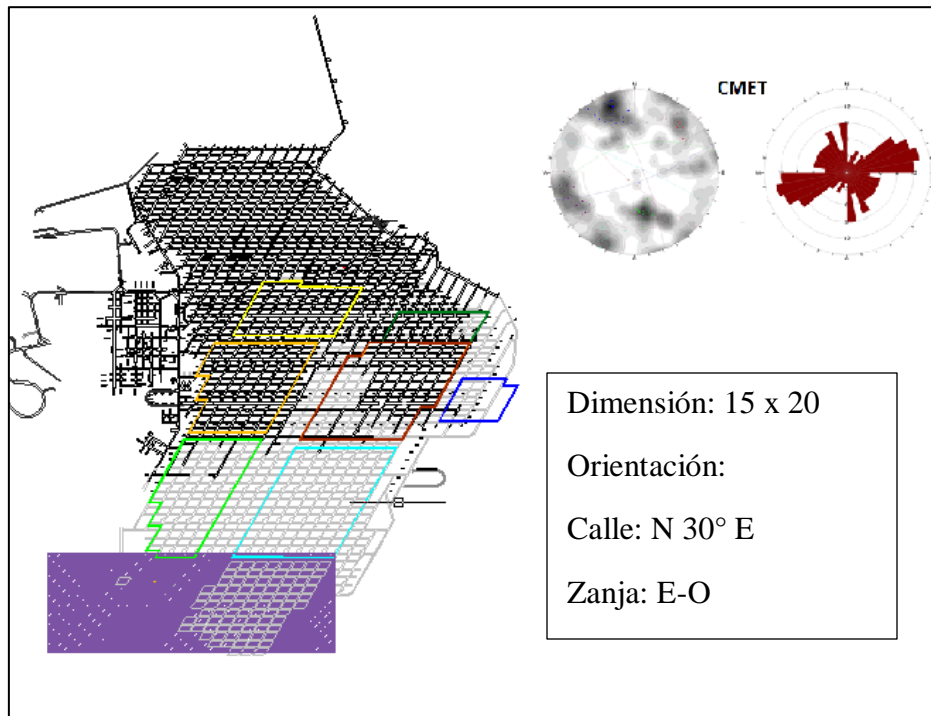


Figura 6.9 Diseño de Esmeralda Sur

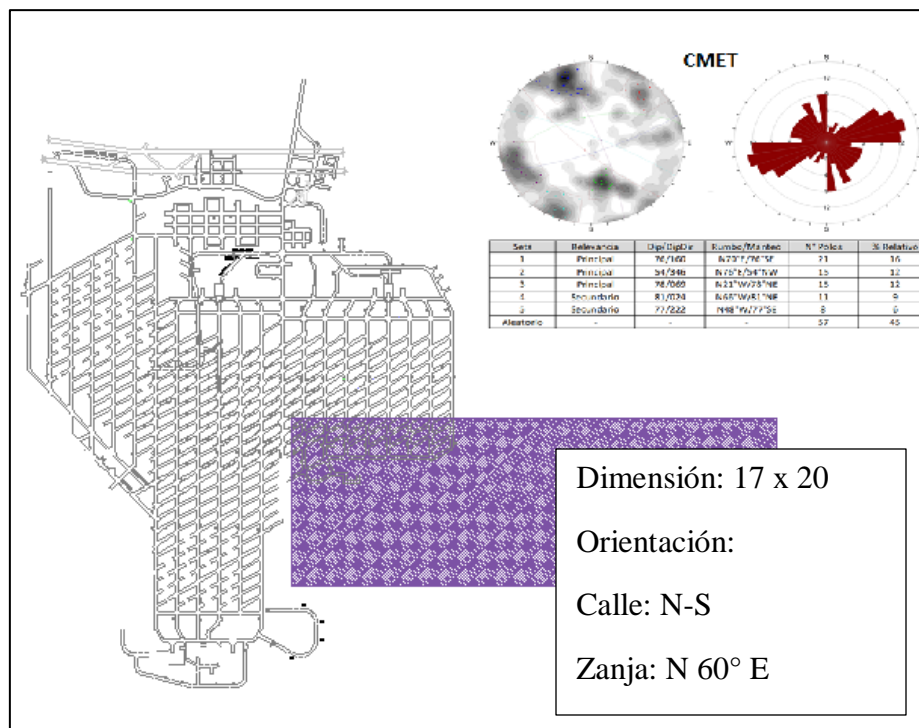


Figura 6.10 Diseño Diablo Regimiento

Si bien el área de estudio es alargada de Este a Oeste, lo cual es favorable para el transporte LHD de Norte a Sur, se puede apreciar que las discontinuidades tienen una orientación N 40° E. Esto implica que mientras más paralelos los desarrollos a esta orientación se requerirá mayor fortificación, esto es principalmente desfavorable en la malla de Diablo Regimiento.

### 6.2.3 Selección de malla

Existe un compromiso entre las dimensiones de la malla considerada, aspectos de estabilidad; costos de construcción y operación; dimensiones de los equipos LHD; y grado de interacción entre los puntos de tiraje. Una malla de dimensiones más pequeñas supone mayores costos de preparación y menor productividad de equipos LHD más pequeños que una malla más amplia, no obstante ésta última supone condiciones de interacción del tiraje menos favorables.

La fragmentación estimada por DET presenta características geológicas, geotécnicas y granulométricas que determinan en esta etapa de la ingeniería la selección de una malla donde sea posible utilizar equipos de alta productividad y bajos costos de producción y preparación. Bajo estas premisas iniciales y considerando que la selección de la malla de tiraje es un tema que está sujeto a revisiones posteriores en las siguientes etapas de ingeniería en función de nueva información se genere, se estima conveniente considerar una malla de 15x20 considerando la opción de continuidad de la explotación de Esmeralda Sur.

### 6.2.4 Envoltente Económica

La determinación de la envoltente económica del sector toma como parámetros de entrada la ley de corte para el método de explotación, el modelo de bloques diluido del sector en estudio y parámetros de planificación en base a rangos históricos de la división.

Tabla 6.5 Parámetros Base de Planificación de Panel Caving

Parámetro	Unidad	Valor
Precio Cu	cUS\$/lb	280
Descuento Cu	cUS\$/lb	30
Recuperación Cu	%	88,8
Precio Mo	US\$/kg	25
Descuento Mo	US\$/kg	1,81
Recuperación Mo	%	68
Tasa de Descuento	%	8
Costo Preparación	US\$/m <sup>2</sup>	3.500
Costo Extracción	US\$/t	9
Costo Planta	US\$/t	9,2
Inversión Mina	US\$/t	2

Utilizando los parámetros de planificación se estimó la ley de corte para la una explotación mediante Panel Caving con Hundimiento Convencional y Fracturamiento Hidráulico utilizando la siguiente formula.

$$\text{Ley de Corte Cu} = \frac{C_m + C_p}{(P - D) * Rec * F}$$

Dónde:

$C_m$  = Costo Mina [US\$/t]

$C_p$  = Costo Planta [US\$/t]

$P$  = Precio Cu [US\$/lb]

$D$  = Descuento Cu [US\$/lb]

$Rec$  = Recuperación Planta [%]

$F$  = Factor de conversión 2204,6 [t/lb]

Se obtuvo como resultado una ley de corte de 0,45% CuT. Dicha ley se utilizó para diluir el modelo de bloques in-situ.

- **Dilución de Modelo de Bloques**

El criterio de dilución utilizado en la conformación del Modelo de Planificación Diluido corresponde al Modelo Volumetrico de Laubscher (14), el cual anticipa el flujo del material diluyente a través de la columna. Dicho parámetro se conoce como Punto de Entrada de Dilución (PED), el cual se define como el “porcentaje de columna de mineral extraída en el Punto de Extracción previo a la aparición del material diluyente” y se representa con la siguiente expresión.

$$PED [\%] = \frac{(H_c * s - HIZ) * dcf}{H_c * s} * 100$$

Dónde:

$H_c$  = Altura de Columna Mineral [m]

$HIZ$  = Altura de Interacción [m]

$dcf$  = Factor de regularidad de tiraje [unidad]

$s$  = Esponjamiento [unidad]

En la práctica, el parámetro PED se refiere a la magnitud de la mezcla esperada para un sector o parte de él. Para el caso del proyecto Recursos Sur se estimó, para cada punto de extracción de una malla tipo esmeralda de 15x20 m, el punto de entrada de dilución mediante la metodología de Laubscher considerando las siguientes particularidades:

- Los puntos de extracción cercanos al sector Diablo Regimiento se consideró por defecto un PED de 20% con finalidad de considerar los efectos de mezcla lateral de sectores agotados.
- Los puntos de extracción por debajo de la ley de corte (criterio económico) se asigna por defecto un PED 20%.

De esta manera, para el modelo de recursos diluido se obtiene un promedio de 30% de PED. Dicho PED se considera conservador, de modo de no aumentar las expectativas del proyecto pero sin castigar las reservas de éste. La Figura 6.11 muestra el resultado de la dilución del modelo.

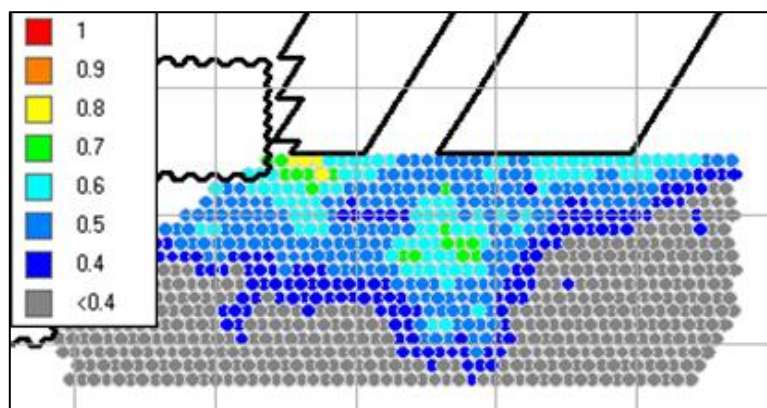


Figura 6.11 Modelo Diluido Recursos Sur Subterráneo

- **Altura de Columna**

Para determinar la altura de columna del sector se utilizaron criterios técnicos y económicos de planificación. Se consideraron alturas de columna inferiores a 400 m para evitar daños excesivos en los puntos de extracción y los pilares del nivel de producción junto con reducir la probabilidad de ingreso de agua-barro junto al costo oportunidad de extracción de los bloques de la columna. Las alturas de columna del sector se aprecian en la Figura 6.12

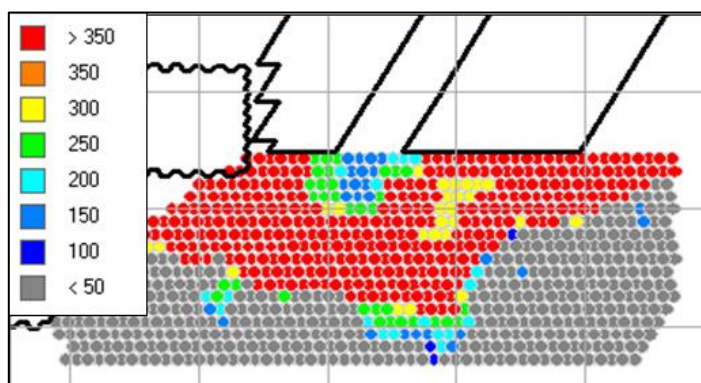


Figura 6.12 Altura de Columna del Modelo Diluido

En base a la altura de columna y la dilución del modelo se determinaron los recursos del sector de estudio las cuales se presentan en la Tabla 6.6

Tabla 6.6 Resumen de Recursos del Modelo Diluido

Parámetro	Valor	Unidad
Recursos	107,03	Mt
Ley Media Cu	0,68	%
Ley Media Mo	0,011	%
Altura	377,23	m
Área	108.524	m <sup>2</sup>

### 6.3 Polígonos de Explotación Subterráneos

Para la explotación de Recursos Sur se consideró mantener el pilar de 90 m. de espesor utilizado en Esmeralda Sur el cual ha permitido la explotación independiente de los bloques 4 y 5. Se tomara en cuenta el pilar continuando su orientación como continuidad del sector, la posibilidad de dejar un pilar en dirección Este-Oeste permitiendo una explotación independiente a Esmeralda y finalmente una combinación de ambas opciones. Las estrategias definidas se muestran a continuación.

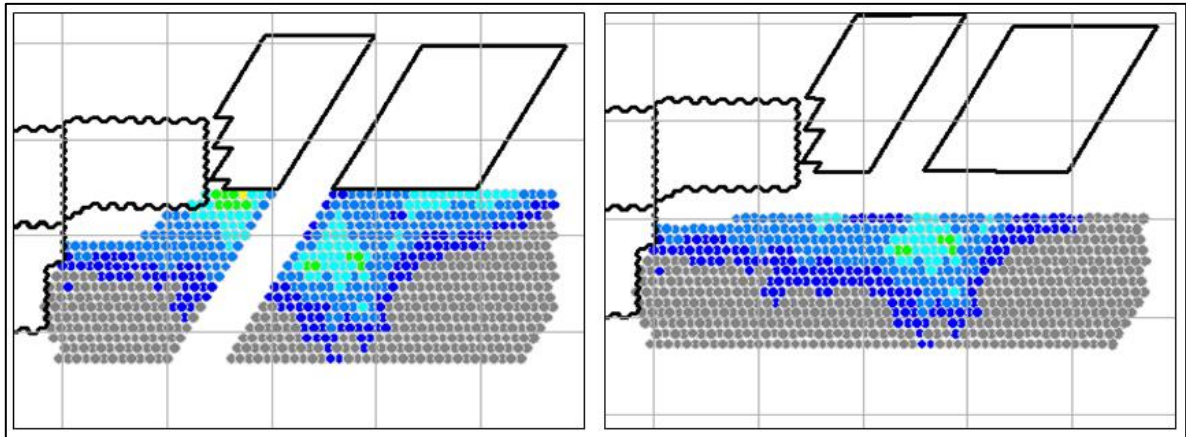


Figura 6.13 Esquema de Recursos Sur con Pilar 90 m.

#### 6.3.1 Opción Acoplada: Continuación Bloque 4 y Bloque 5 de Esmeralda

Esta estrategia de explotación considera crecer con 2 frentes independientes desde el Bloque 4 y Bloque 5 de Esmeralda Sur, tiene 84,3 Mt de recursos, con una ley media de 0,68 % de CuT y 0,011 % Mo, considerando una altura de columna promedio de 342 m, y área de 94.782 m<sup>2</sup>. En la Figura 6.14 se puede observar la distribución de leyes y el polígono de explotación de la opción.

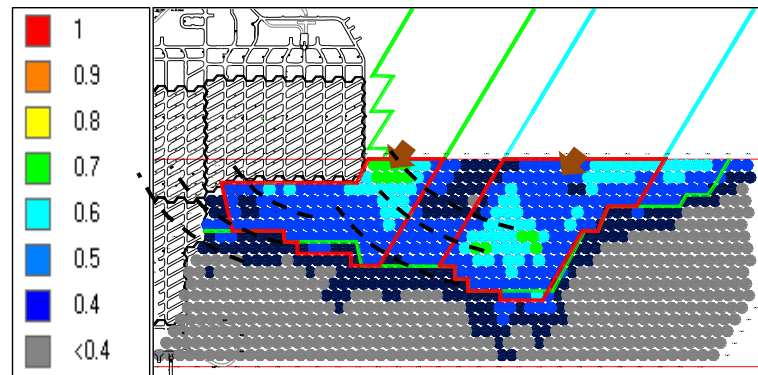


Figura 6.14 Envoltente Alternativa Continuación Bloque 4 y Bloque 5

#### 6.3.2 Opción Acoplada: Continuación Bloque 4 de Esmeralda

Esta estrategia que consiste en continuar la explotación desde el Bloque 4 de Esmeralda hacia el Sur, luego hacia el Hw y posteriormente al Fw como se observa en la Figura 6.15, tiene 77,8 Mt de recursos con ley media 0,68 % de CuT, 0,011 % Mo, altura de columna promedio de



357 m y un área total de 83.362 m<sup>2</sup>. En la Figura 6.15 se puede observar la distribución de leyes y el polígono de explotación de la opción.

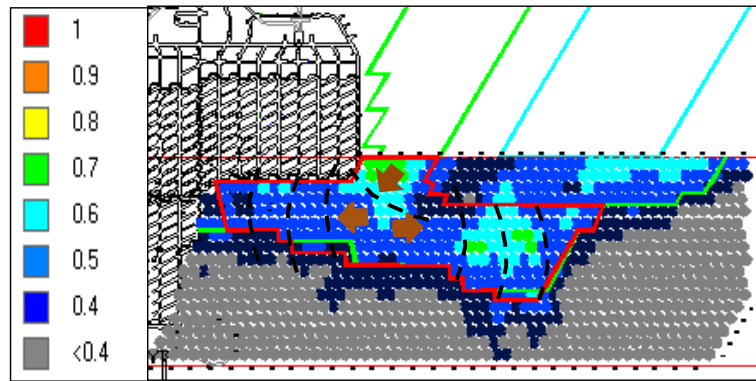


Figura 6.15 Envolverte Alternativa Continuación Bloque 4

### 6.3.3 Opción Desacoplada: Inicio desde Diablo Regimiento

Esta alternativa inicia su explotación desde Diablo Regimiento y crece hacia el Fw, tiene 72,3 Mt de recursos con ley media 0,67 % CuT y 0,011 % Mo, altura de columna promedio de 366 m, la envolverte de esta alternativa tiene un área de 75.165 m<sup>2</sup>. En la Figura 6.16 se puede observar la distribución de leyes y el polígono de explotación de la opción.

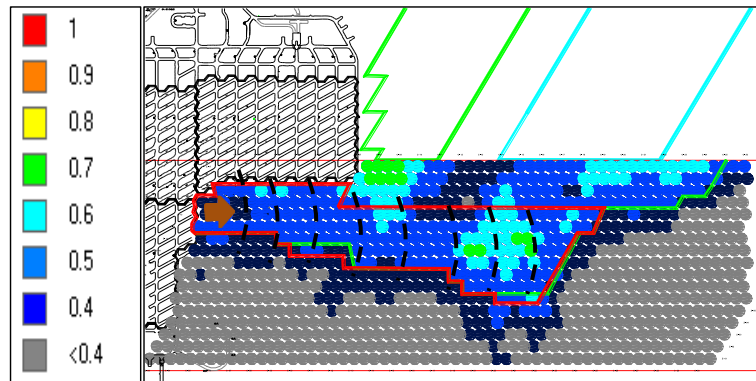


Figura 6.16 Envolverte Alterativa Inicio desde Diablo Regimiento

### 6.3.4 Opción Desacoplada: Caving Virgen

Esta alternativa consiste en iniciar la explotación en la unidad litológica CMET aproximadamente al centro del polígono y crecer con 2 frentes, esta envolverte tiene 72,2 Mt de recursos con ley media 0,67 % CuT y 0,011 % Mo, altura de columna promedio 364 m y un área de 75.855 m<sup>2</sup>. En la Figura 6.17 se puede observar la distribución de leyes y el polígono de explotación de la opción.

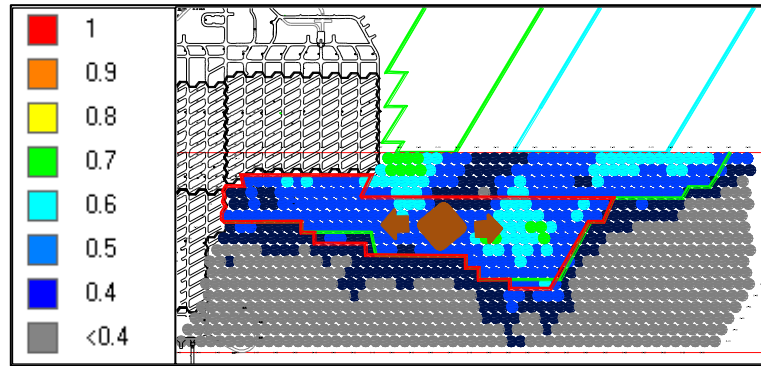


Figura 6.17 Envoltorio Alternativa Caving Virgen

## 6.4 Planificación

En base a los recursos calculados para los 4 polígonos de explotación se procedió a generar los planes de producción para dichas opciones. Para ello se utilizaron los siguientes criterios de planificación:

- Se considera un máximo de 60 m. de ancho en quiebre.
- La envolvente económica de las alternativas acopladas considera la continuación del pilar de 90 m. que existe entre el Bloque 4 y Bloque 5 de Esmeralda y las alternativas desacopladas considera un pilar de 90 m.
- La capacidad productiva está restringida de acuerdo al uso de LHD de 7 yd<sup>3</sup>, capacidad por calle de 3.500 t, además de disponibilidad por litología y Riesgo Agua-Barro.

### 6.4.1 Secuencia de Explotación y Régimen Productivo

Dados los criterios de planificación y la envolvente económica de las 4 opciones, se procedió a generar la secuencia de explotación y determinar la capacidad productiva de cada caso. La secuencia de explotación y régimen productivo de cada opción pretende suplir la baja de producción por el Ramp-Down de Esmeralda Sur, la cual, de acuerdo al PND 2015 comienza a disminuir a partir del año 2023 (Gris).

Para la alternativa de “Continuación Bloque 4 y Bloque 5” se optó por continuar la orientación del frente N60°O de Esmeralda Sur como se observa en la Figura 6.18.

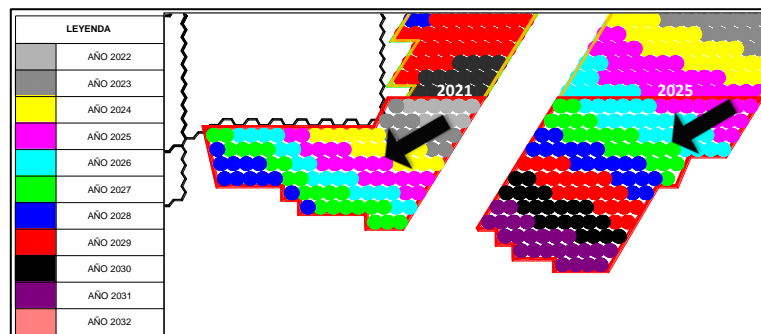
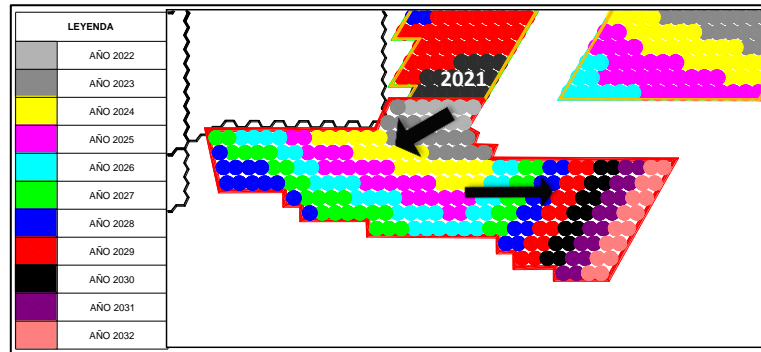


Figura 6.18 Secuencia Productiva Continuación Bloque 4 y Bloque 5

Dada el área del sector y con objetivo de no sobre exigir la preparación mina y se propone un régimen de producción de 25 ktpd o 12,5 ktpd para cada Bloque, similar a la producción actual de Esmeralda, obteniéndose así una vida útil de 17 años.

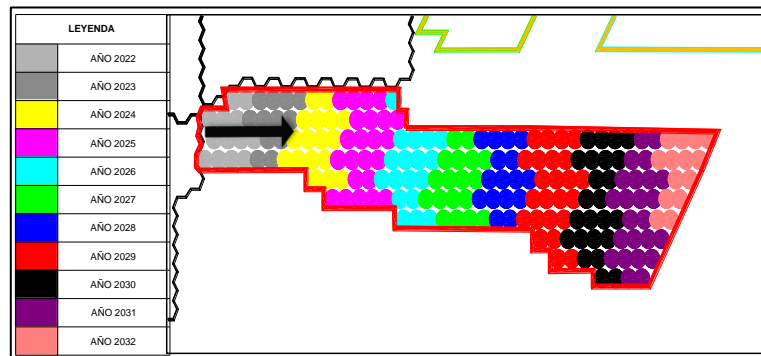
El caso de “Continuación de Bloque 4” consideró un frente de socavación con orientación N60°O durante los primeros 4 años de incorporación de área, para luego crecer con un segundo frente de orientación N30°E como se aprecia en la Figura 6.19.



**Figura 6.19** Secuencia de Explotación Alternativa Continuación Bloque 4

Para este caso de estudio se determinó un régimen de 22 ktpd a contar del quinto año de producción resultando una vida útil de 16 años.

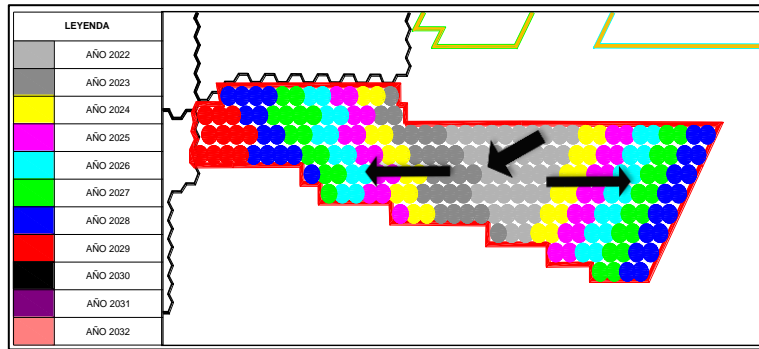
Para la alternativa “Inicio desde Diablo Regimiento” se consideró un frente con orientación N30°E iniciándose desde el Sur de la Fase 2 y el Fw de la Fase 4 de Diablo Regimiento con dirección de crecimiento Hw-Fw como se observa en la Figura 6.20.



**Figura 6.20.** Secuencia de Explotación Alternativa Inicio desde Diablo Regimiento

En función de la envolvente económica y la estrategia de crecimiento se propone un régimen de 15 ktpd alcanzado en el séptimo año de producción con una vida útil de 18 años.

Finamente se analizó la opción “Caving Virgen” la cual considera dos frentes con orientaciones N40°O y N30°E con dirección Hw y Fw respectivamente como se observa en la Figura 6.21.



**Figura 6.21. Secuencia de Explotación Alternativa Caving Vlirgen**

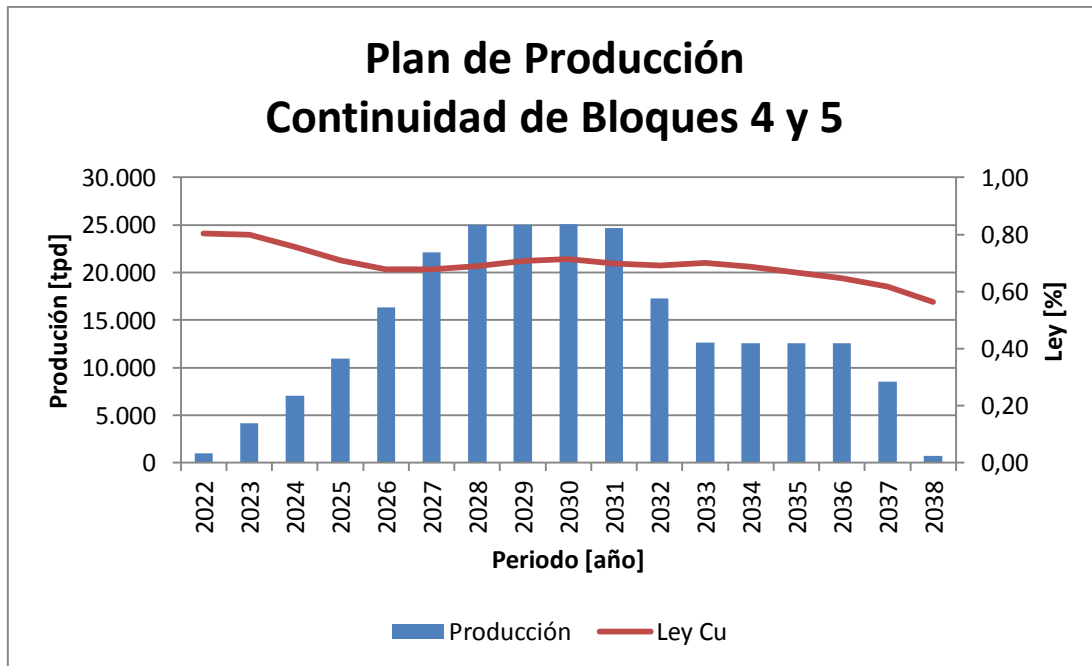
Para la opción Caving Virgen se propuso un régimen de producción de 20 ktpd alcanzado a partir del quinto año y una vida útil de 14 años.

### 6.4.2 Plan de Producción e Incorporación de Área

En base al régimen productivo propuesto en la sección anterior, se determinó el plan de producción para las 4 opciones de explotación subterráneas junto con los requerimientos de incorporación de área para el cumplimiento del plan. Los resultados se muestran en los siguientes gráficos.

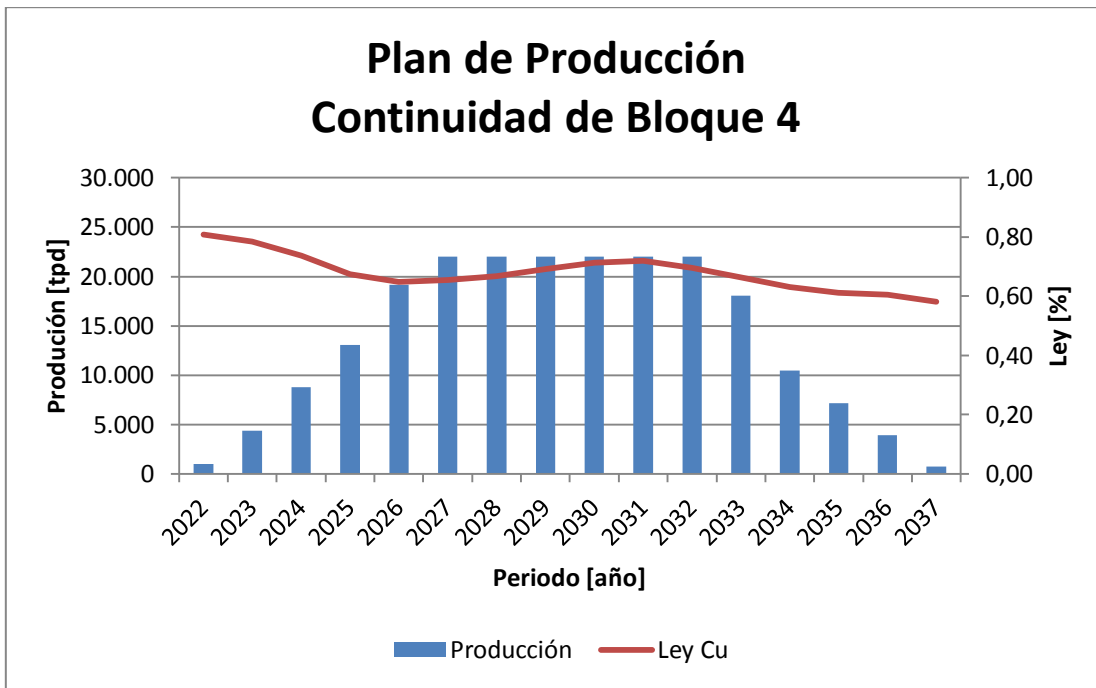
- **Alternativas Acopladas**

En el Gráfico 6.3 se observa el plan de producción propuesto para la alternativa Continuación Bloque 4 y Bloque 5.



**Gráfico 6.3 Plan de Producción Continuidad de Bloques 4 y Bloque 5**

En el Gráfico 6.4 y se observa el plan de producción propuesto para la alternativa Continuación Bloque 4.



**Gráfico 6.4 Plan de Producción Continuación Bloque 4**

- **Alternativas Desacopladas**

En el Gráfico 6.5 se observa el plan de producción propuesto para la alternativa Inicio desde Diablo Regimiento.



**Gráfico 6.5 Plan de Producción Inicio desde Diablo Regimiento**

En el Gráfico 6.6 se observa el plan de producción propuesto para la alternativa de Caving Virgen.

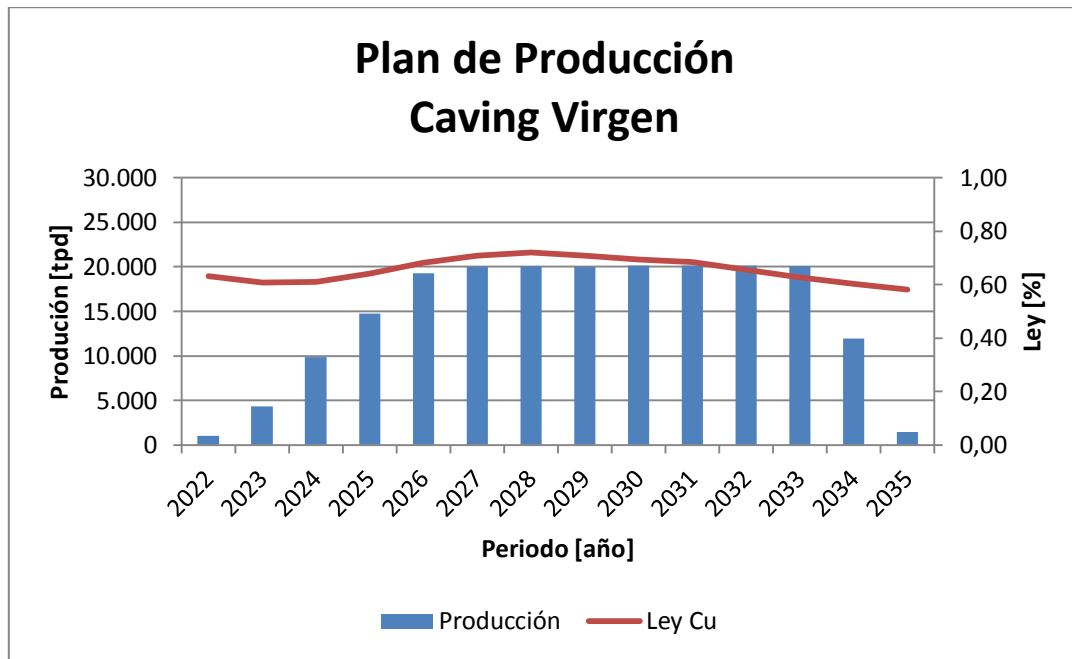


Gráfico 6.6 Plan de Producción Caving Virgen

Dada la temporalidad de los planes mineros de las opciones subterráneas, comenzando el año 2022, se supone posible la explotación los recursos de la opción Rajo Abierto, ya que se considera que la propagación del caving de las alternativas subterráneas no afectará la estabilidad del Rajo antes de su potencial fecha de cierre (Mayo 2022).

Junto con los planes mineros, se obtuvo el requerimiento de incorporación de área para cumplir con la producción y operación de cada estrategia de explotación

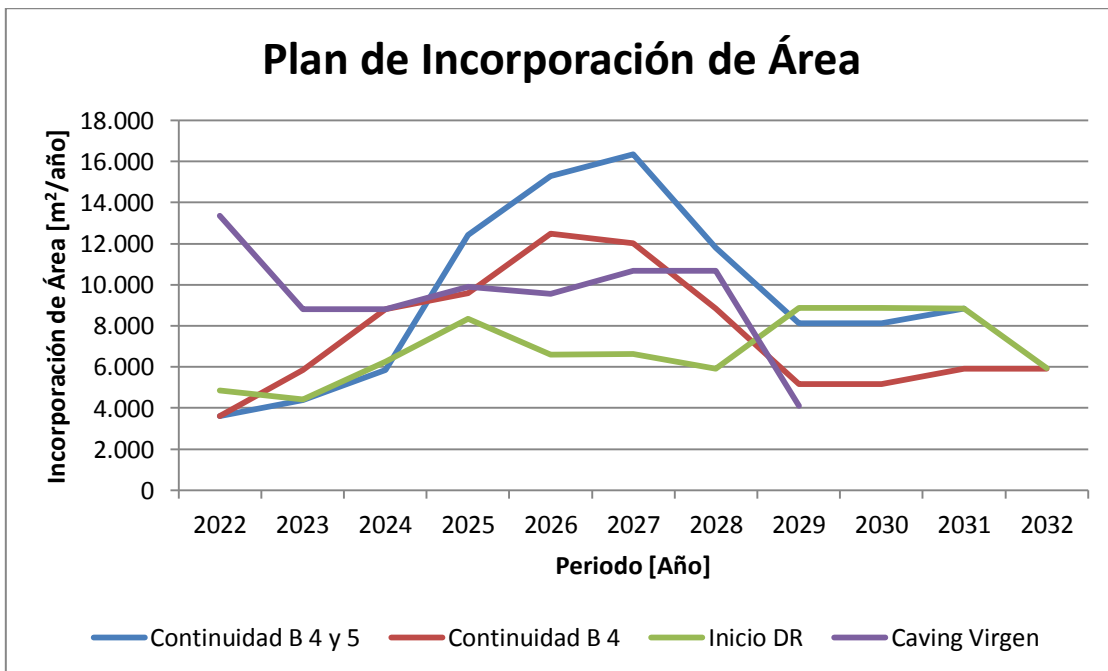


Gráfico 6.7 Resumen de Planes de Incorporación de Área

Respecto a la incorporación de área de las opciones estudiadas se observa que ambas opciones acopladas junto con la alternativa de inicio por Diablo Regimiento, presentan un Ramp Up en su incorporación de área activa lo cual va acompañado con el aumento de producción de éstas y luego desciende alcanzado el régimen. La opción de Caving Virgen en cambio presenta un Ramp Down los primeros años, esto se debe a que se requiere mayor área preparada para poder iniciar el caving de esta opción. Junto con esto se observa que la opción con menor periodo de incorporación de área es el Caving Virgen con 8 años seguido de la Continuidad de Bloques 4 y 5 con 10 años, mientras que las opciones de Inicio desde Diablo Regimiento y Continuidad de Bloque 4 tienen un periodo de incorporación de área de 11 años.

## 6.5 Selección de Opciones Subterráneas

Con objetivo de acotar el estudio, se generó un análisis comparativo de las cuatro opciones estudiadas para determinar así cuales son las que presentan potencialmente los mayores beneficios técnicos y/o económicos, a continuación se describen los criterios utilizados:

- **Recuperación de Recursos:** En función las envolventes determinadas en el punto, se obtuvieron los recursos minerales de cada opción dando un mínimo 73,2 Mt para las opciones desacopladas y un máximo de 85,8 Mt para la Continuidad del Bloques 4 y 5.
- **Ingreso de dilución:** Como criterio de evaluación se consideró el menor punto de ingreso de dilución para la opción Inicio desde Caving Virgen dado que la columna no se encuentra intervenida. La opción Inicio desde Diablo Regimiento obtuvo la peor evaluación ya que inicia el caving en la Fase 4 de DR, la cual se encontrará agotada para el inicio de producción.
- **Independencia de conexión:** Se considera el efecto que tiene el atraso de los desarrollos de los sectores aledaños en la puesta en marcha de las opciones estudiadas. Para las opciones desacopladas este efecto no se aprecia, mientras que el atraso de los desarrollos para las opciones acopladas inciden directamente en su puesta en marcha.
- **Periodo de Incorporación de Área:** Se considera favorable el menor tiempo de incorporación de área y preparación mina para un sector de similar superficie. En el Caso del Caving Virgen y el Inicio desde Diablo Regimiento, con una similar área, sus periodos de incorporación de área son de 9 y 11 años respectivamente.
- **Esfuerzos inducidos por cavidades:** Dentro de este análisis la opción de Caving Virgen es la única que no presenta esfuerzos inducidos por cavidades contiguas.
- **Manejo de marinas:** Se analizó la disponibilidad de rutas para el manejo de marinas, determinándose que las 2 opciones de continuidad de Bloques tienen mayores facilidades para este proceso que las 2 opciones desacopladas.
- **VAN:** Se realizó una evaluación económica preliminar, utilizando costos mina típicos de los sectores productivos, parámetros económicos de las OOC May 2015 y la inversión estimada en base a la preparación minera, obteniéndose el VAN de las opciones estudiadas.

A cada criterio se le asignó un peso en función de la importancia de cada uno y con esto se construyó una matriz de decisión.

Tabla 6.7 Matriz de decisión

Criterio	Peso	Cont. B 4 y 5	Cont. B 4	Diablo Reg	Caving Virgen
Recuperación de Recursos	2	85,3 [Mt]	78,8 [Mt]	73,3 [Mt]	73,3 [Mt]
		2	1	1	1
Ingreso de Dilución	2	Cavidad DR F2	Cavidad DR F2	Cavidad DR F2 y 4	Sin Conexión
		1	1	0	2
Independencia de Conexión	1	Muy Desfavorable	Desfavorable	Desfavorable	Independiente
		0	1	1	2
Esfuerzos Inducidos por Cavidades	2	Desfavorable	Desfavorable	Muy Desfavorable	Favorable
		1	1	0	2
Periodo de Incorporación Área	1	10 años	11 años	11 años	9 años
		2	1	1	2
Manejo de Marinas	1	Por Esm. Sur	Por Esm. Sur	Por Diablo Reg	Rutas Nuevas
		2	2	2	1
VAN	2	273 [MUS\$]	256 [MUS\$]	187 [MUS\$]	220 [MUS\$]
		2	1	0	0
Resultado		16	12	6	15

Favorable	Desfavorable	Muy Desfavorable
-----------	--------------	------------------

De acuerdo a la matriz de decisión, las opciones que presentan mayores beneficios son la Continuidad de Bloques 4 y 5 seguido del Inicio de Caving Virgen. La Continuidad de Bloques se presenta como la opción más viable en función de las facilidades de constructibilidad que presenta al extender los Bloques 4 y 5 de Esmeralda Sur y presentar a su vez un mayor valor esperado en comparación a las otras opciones. Respecto al Caving Virgen, esta se presenta como una opción viable en caso de existir atrasos o colapsos en algún nivel de los bloques de Esmeralda.

En función de éste análisis no se profundizarán los estudios de las opciones de Continuidad de Bloque 4 e Inicio desde Diablo Regimiento, continuando de aquí en adelante con el estudio de las opciones de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen.

## 6.6 Diseño Minero

El diseño del sector a nivel de ingeniería de perfil, consta de los principales desarrollos, construcciones y obras civiles requeridos para la puesta en marcha y operación de Recursos Sur considerando a su vez los accesos necesarios a los niveles de Hundimiento, Producción, Transporte y Ventilación para las opciones de explotación de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen.

Debido a las características de continuidad del proyecto y a la necesidad de reducir las inversiones requeridas, el sector estudiado no consideró la construcción de un barrio cívico, accesos principales, ADITs de ventilación ni piques principales..



### 6.6.1 Nivel de Hundimiento

El nivel de hundimiento se ubica en la cota 2.211 sobre el nivel de producción al cual se accede mediante a rampas ubicadas al Suroeste y Sureste del sector. En diseño del nivel considera galerías de acceso de 4,0 x 4,0 junto con calles y cruzados de dimensión 3,6 x 3,6 las cuales serán utilizadas para el tránsito del personal y equipos. Dado el método de explotación de Panel Caving con Hundimiento convencional se considera el diseño de socavación de mina Esmeralda Sur cuyos parámetros y diseño se muestran en la Tabla 6.8 y la Figura 6.22 Diseño de Parada de Socavación

Tabla 6.8 Factores de Diseño de Socavación

Factor de Barrenadura	Unidad	Parada Estándar
Diámetro de Perforación	pulgada	3
Número de Tiros	unidad	20
Burden	m	2
Distancia de Fondo	m	3,0 - 4,0
Longitud Barrenada	mb	271,2
Volumen Arrancado	m	1.096
Área Incorporada	m <sup>2</sup>	60
Factor de Perforación	mb/m <sup>3</sup>	0,2
Altura de Socavación	m	15,6

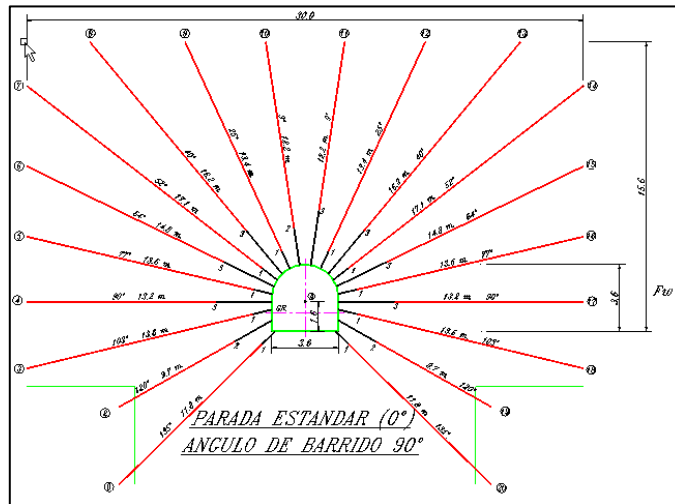


Figura 6.22 Diseño de Parada de Socavación

#### 6.6.1.1 Diseño de Nivel de Hundimiento Continuidad Bloques 4 y 5

El diseño de la opción de Continuidad de Bloques consta de 2 bloques de hundimiento que funcionarán independientemente separados por un pilar de 90 m. El acceso inicial se realiza mediante nivel de hundimiento de los bloques 4 y 5 de Esmeralda Sur, los cuales serán utilizados para iniciar las construcciones y como ruta de marinas. Ambo bloques poseen un cruzado intermedio para agilizar el movimiento de personal y equipos junto con el desarrollo de las construcciones y fracturamiento hidráulico como se observa en la Figura 6.23

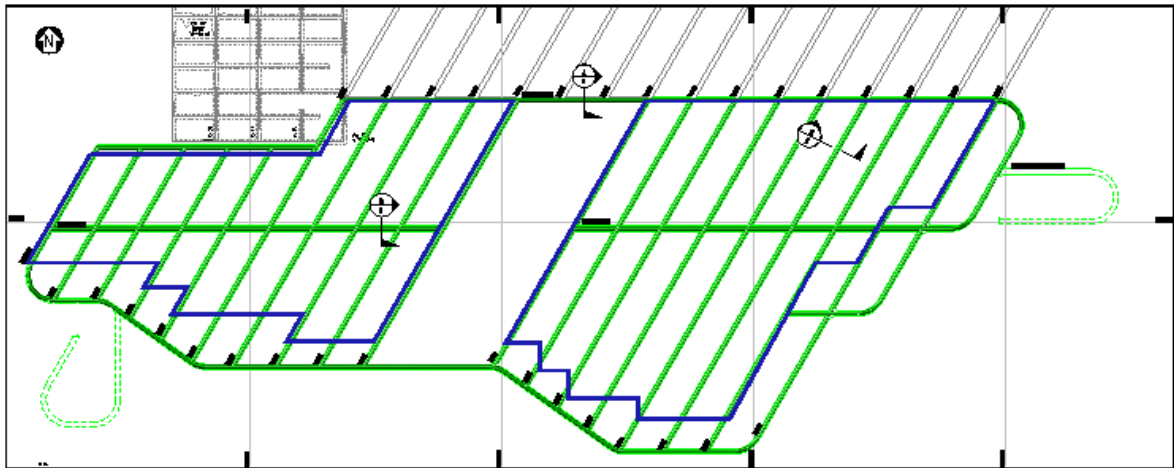


Figura 6.23 Diseño del Nivel de Hundimiento, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

### 6.6.1.2 Diseño de Nivel de Hundimiento Inicio Caving Virgen

El diseño de la opción de Caving Virgen considera un pilar de 90 metros el cual permita independencia de la explotación de Esmeralda Sur. Posee acceso inicial al centro del diseño mediante la construcción de galerías desde el nivel de hundimiento de Esmeralda Sur. El diseño consta de un cruzado intermedio que permite agilizar las construcciones y el tránsito del personal y equipos.

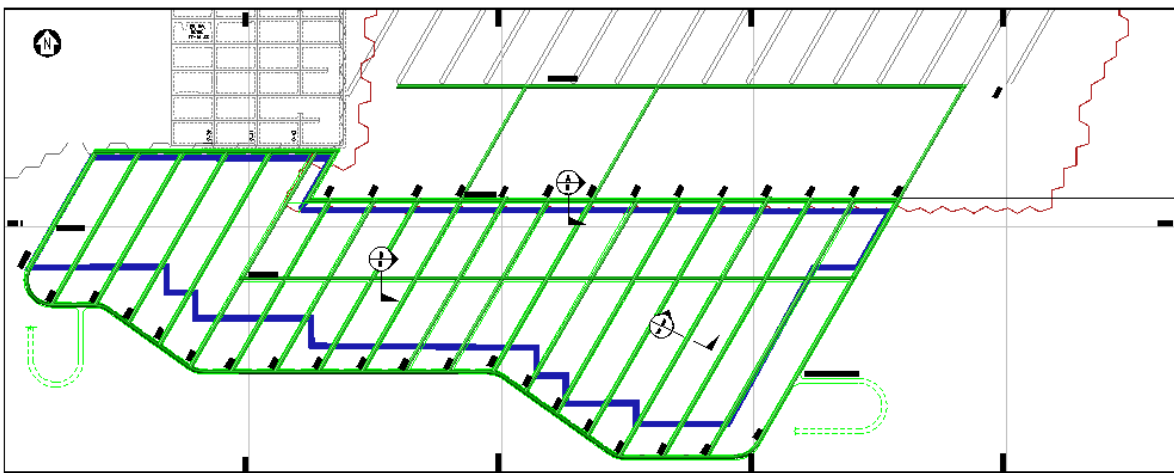


Figura 6.24 Diseño de Nivel de Hundimiento, Opción Inicio Caving Virgen

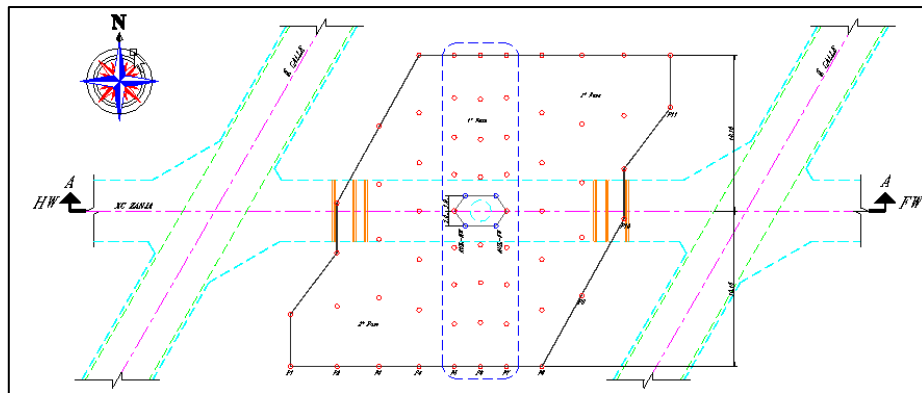
### 6.6.2 Nivel de Producción

El nivel de producción de Recursos Sur se encuentra en la cota 2193, 18 m. bajo el nivel de hundimiento. Para el diseño del nivel se consideró la malla de Esmeralda Sur con un espaciamiento de 15 x 20. Esta malla considera Calles de dimensiones 4 x 4 m, Calles Zanjas de 4 x 3,9 y Cabeceras de 4 x 4 por las cuales circularán equipos LHD de 7 yd<sup>3</sup>. Se utilizó el diseño de bateas de Esmeralda Sur cuyos parámetros se muestran en la

Tabla 6.9 y la Figura 6.25.

**Tabla 6.9 Factores de Diseño de Bateas**

Factor de Barrenadura	Unidad	1° Fase	2° Fase	Total
<b>Diametro de Perforación</b>	pulgada	3	3	
<b>Número de Tiros</b>	unidad	30	36	66
<b>Burden</b>	m	2,3 - 2,4	2,3 - 2,7	
<b>Distancia de Fondo</b>	m	1,7	2,9 - 3,5	
<b>Longitud Barrenada</b>	mb	368	457	825
<b>Volumen Arrancado</b>	m	441	1.637	2.078
<b>Área Incorporada</b>	m <sup>2</sup>			600
<b>Factor de Perforación</b>	mb/m <sup>3</sup>	0,8	0.3	0,4
<b>Altura de Bateas</b>	m			15



**Figura 6.25 Diseño de Batea**

### 6.6.2.1 Nivel de Producción Continuidad Bloques 4 y 5

En el diseño del nivel de producción de la opción de Continuidad de Bloques se aprecian 2 bloques productivos denominados Bloque Hw y Fw separados por un pilar de 90 m, los cuales se acoplan a los Bloques 4 y 5 de Esmeralda Sur respectivamente la última Zanja del footprint de Esmeralda según PND 2015 (Anexo D).

El Bloque Hw cuenta con una rampa al sur con acceso al nivel de hundimiento, 9 puntos de vaciado ubicados al centro de las calles productivas del mismo y 57 bateas; mientras que el Bloque Fw posee una rampa de acceso al Este, 16 puntos de vaciado y 75 bateas, dando un total de 25 puntos de vaciado con una capacidad aproximada de 250 toneladas con una distancia máxima de 80 m. y un total de 132 bateas productivas en el sector representando un área total de 98.780 m<sup>2</sup>. El diseño del nivel se muestra en la Figura 6.26

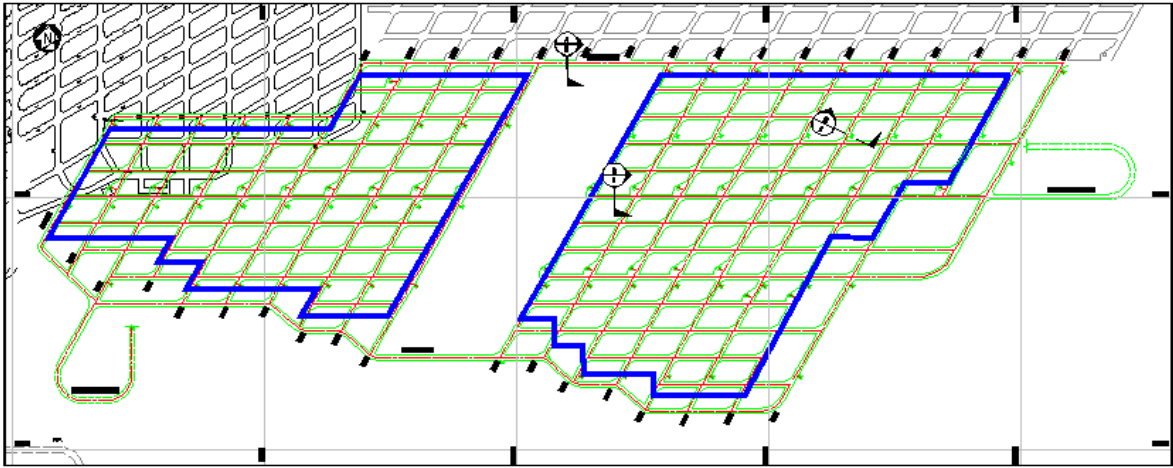


Figura 6.26 Diseño Nivel de Producción, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

### 6.6.2.2 Nivel de Producción Inicio Caving Virgen

El diseño del nivel de producción del Caving Virgen considera un pilar de 90 m. del bloque 4 de Esmeralda el cual permite independencia de las minas. El acceso al nivel sector se realiza mediante galerías provenientes del nivel de producción de Esmeralda Sur.

El diseño cuenta con dos rampas de acceso al Nivel de Hundimiento, 22 puntos de vaciado hacia el nivel de transporte intermedio con una distancia máxima de acarreo de 80 m. y 100 bateas que en su totalidad representan un área de 70.855 m<sup>2</sup>. El diseño del nivel de producción se muestra en la Figura 6.27

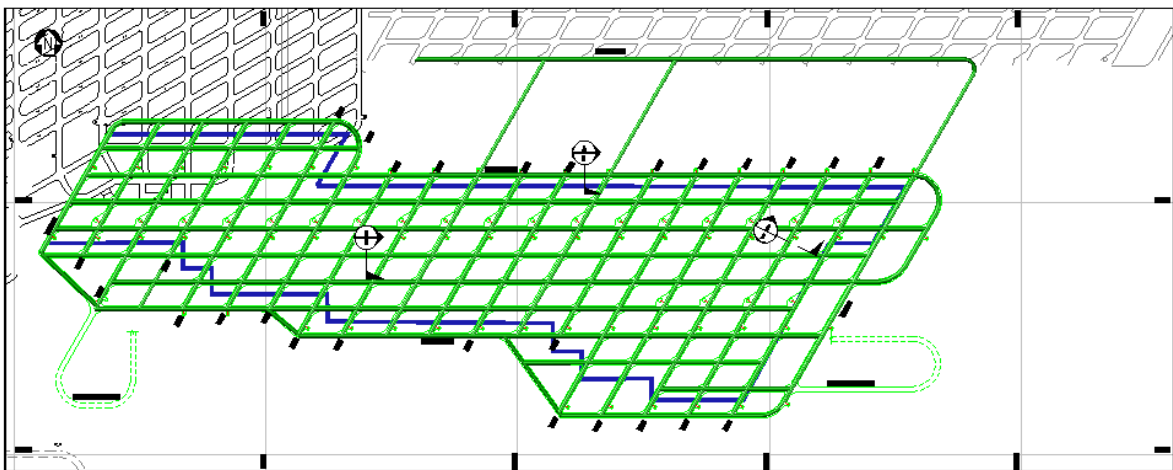


Figura 6.27 Diseño Nivel de Producción, Opción Caving Virgen

### 6.6.3 Nivel de Ventilación

Los subniveles de Inyección y Extracción se ubican en las cotas 2160 y 2148 respectivamente. El diseño de los subniveles para ambas opciones de explotación considera acoplarse al sistema de ventilación de Esmeralda, inyectando aire limpio por el ADIT 64 mediante el uso de ventiladores auxiliares y realizando la extracción del aire viciado por el ADIT 56 ayudado por extractores auxiliares. Las galerías principales tienen dimensión de 6,2 x 6,1 m

mientras que la inyección y extracción se realiza mediante galerías menores de 5,7x5,1 m, las cuales alimentan los distintos sectores mediante chimeneas de diámetro 1,5 m.

A su vez se consideró parte de la infraestructura proyectada para la ventilación Esmeralda Sur para así disminuir los desarrollos requeridos para el proyecto. Los diseños de los subniveles para la opción de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen se muestran en la Figura 6.28 y la Figura 6.29.

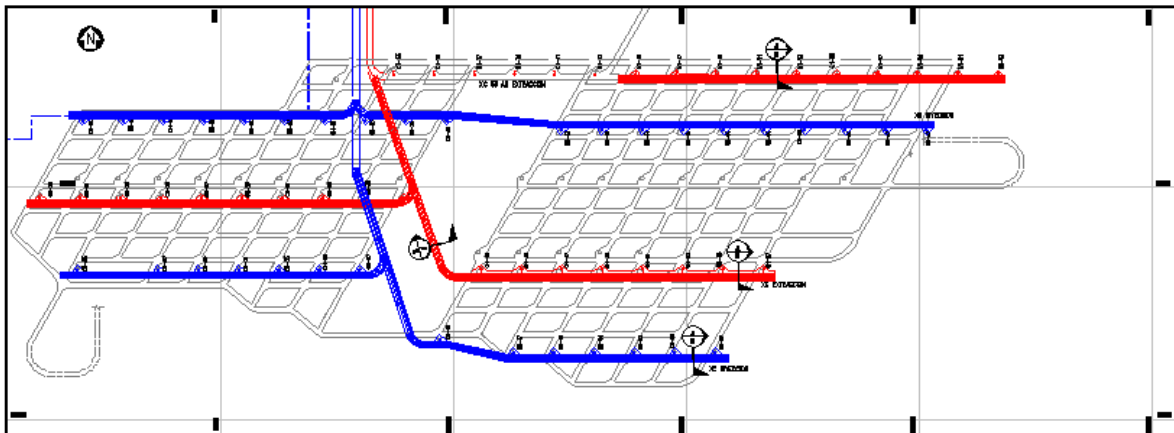


Figura 6.28 Diseño Subnivel de Ventilación, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

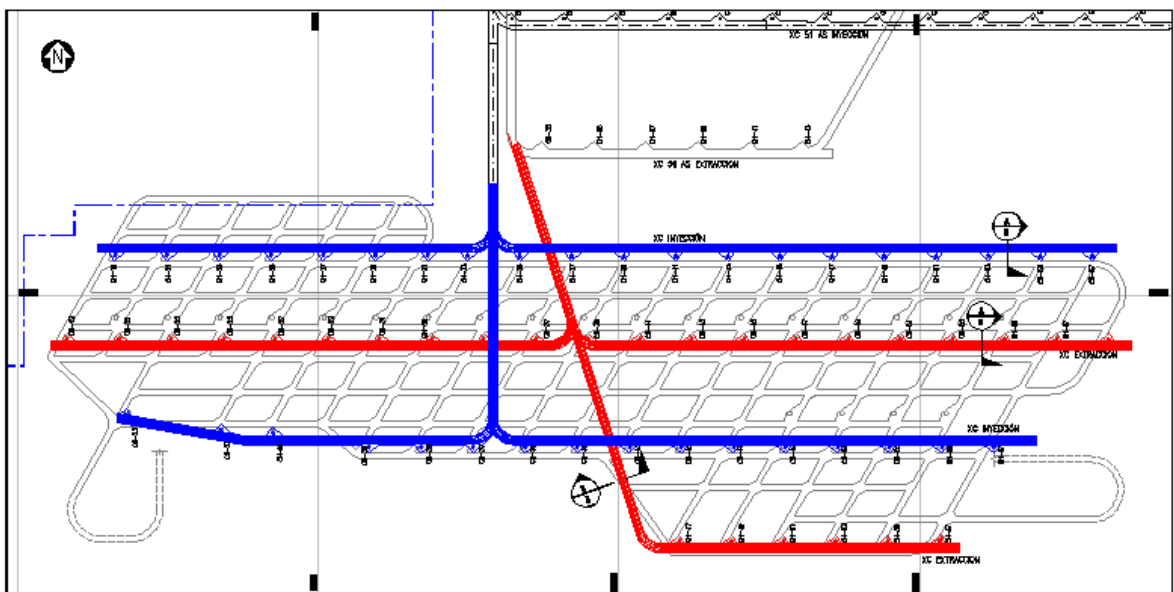


Figura 6.29 Diseño Subnivel de Ventilación, Opción Caving Virgen

#### 6.6.4 Nivel de Transporte Intermedio

El Nivel de Transporte Intermedio se ubica en la cota 2163, 30 m bajo el Nivel de Producción, consiste en el desarrollo de un nuevo cruzado al nivel de acarreo de Esmeralda con dimensiones de 5 x 4,9 m. junto con la habilitación del Cruzado Sur, ubicado al sur del actual nivel de acarreo de Esmeralda, para ser utilizado como punto de descarga de buzones. En este

nivel el mineral proveniente del nivel de producción es transportado hacia los OPs 22, 23 y 24 ubicados al Noroeste del nivel, los cuales transfieren el material hacia el FFCC Teniente 8.

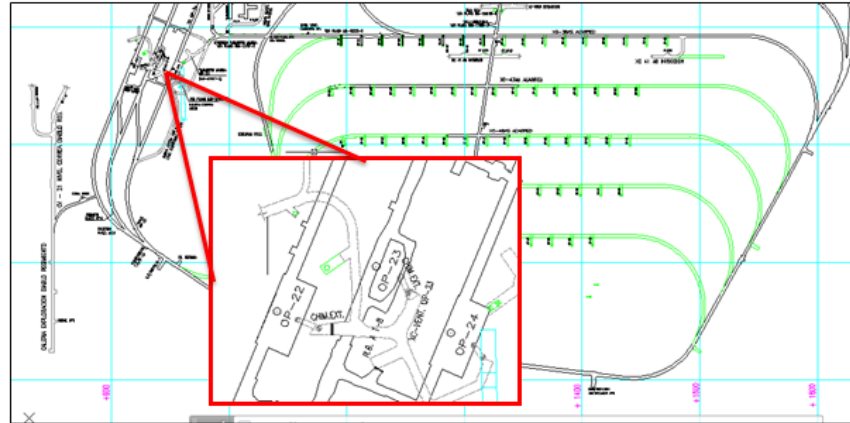


Figura 6.30 Ubicación de Piques 22, 23 y 24

El uso de Teniente 8 como transporte principal junto al acoplamiento al sistema de transporte intermedio de Esmeralda Sur Permite reducir sustancialmente las inversiones al no requerir un sistema de propio.

Dado que el resultado del tiempo de acarreo del ferrocarril Teniente 6 resultan menores en operando mediante Push – Pull que utilizando un loop de acarreo (10), se optó por diseñar un cruzado ciego con suficiente distancia para abarcar todo el ferrocarril al realizar el carguío de buzones.

Los diseños de las opciones de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen se muestran en la Figura 6.31 y la Figura 6.32.

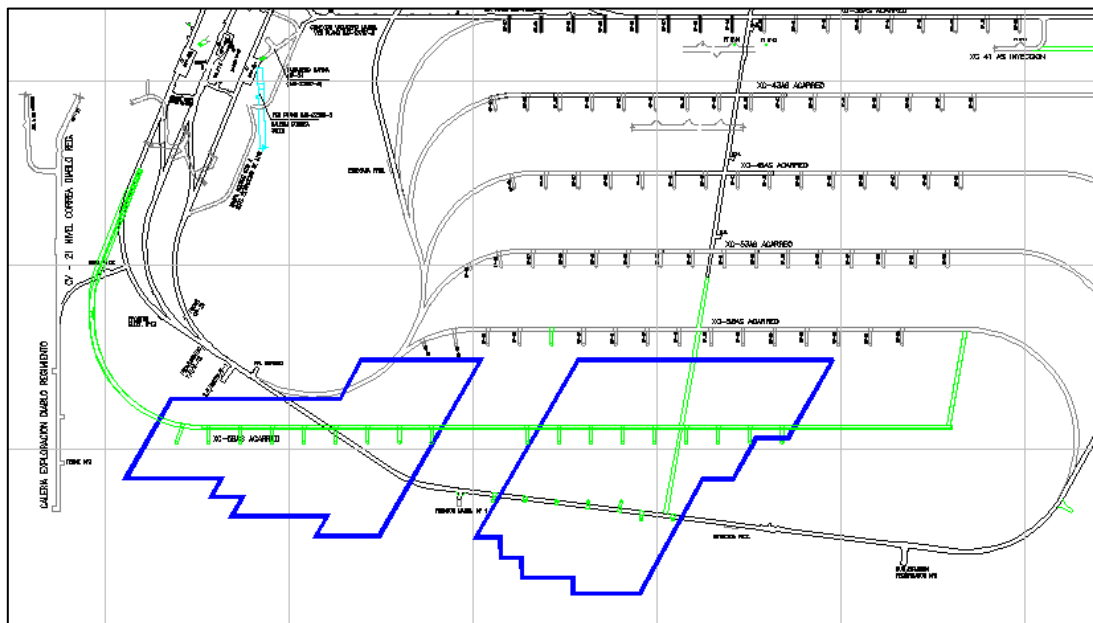


Figura 6.31 Diseño Nivel de Transporte Intermedio, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5



## **7 MODELO DE CONSTRUCTIBILIDAD**

Con objetivo de validar los planes mineros estimados en el acápite 6 junto con determinar el tiempo requerido para realizar los desarrollos y obras necesarias para la puesta en marcha y operación del diseño de perfil del proyecto Recursos Sur, se procedió a generar un modelo de constructibilidad para las opciones de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen utilizando el software Mine2-4D para el manejo de los diseños y secuenciamiento lógico de las construcciones y el software EPS para la programación de actividades y obtención de reportes.

### **7.1 Parámetros de Entrada del Modelo de Constructibilidad**

El desarrollo del modelo de constructibilidad requiere distintos inputs para así lograr reproducir fielmente el desarrollo de las obras involucradas en Recurso sur. Este modelo considera los siguientes parámetros de entrada:

- a) El plan de incorporación de área y macro secuencia de las opciones de Continuidad de Bloques e Inicio de Caving Virgen.
- b) Los diseños mineros de ambas opciones de explotación.

Rendimiento de las actividades y desarrollos requeridos para cada nivel de diseño, los cuales fueron determinados en base a la nota técnica (11) relacionada a rendimientos históricos DET y estimaciones para el NNM los cuales se muestran en la Tabla 7.1



**Tabla 7.1 Rendimiento de Actividades y Desarrollos**

<b>Actividad</b>	<b>Rendimiento</b>
<b>Desarrollos Horizontales</b>	
Nivel de Producción	Máx 240 m/mes
Nivel de Hundimiento	Máx 240 m/mes
SNV	Máx 70 m/mes
Nivel de Transporte	Máx 70 m/mes
<b>Desarrollos Verticales</b>	
Chimenea Piloto	50 m/mes
Piloto Pique	50 m/mes
Chimeneas de Ventilación	50 m/mes
<b>Pre acondicionamiento</b>	
Perforación de pozos	3 pozos/mes
Hidrofracturamiento	Máx 6 pozos/mes
<b>Minería</b>	
Perforación de Bateas	3 un/mes
Perforación Slot	2.000 mb/mes
Perforación de Socavación	4.500 mb/mes
Tronadura de Batea	Máx 2 un/mes
Tronadura de Socavación	Máx 2.000 m <sup>2</sup> /mes
<b>Construcciones</b>	
Punto de Extracción	6 un/mes
Fortificación de Intersección	4 un/mes
Muros	3 un/mes
Carpetas de Rodado	100 m/mes
Desquinche Punto de Vaciado	2 un/mes
Fortificación Punto de Vaciado	2 un/mes
Ruptura de Chiflón	2 un/mes
Construcción de Brocal	2 un/mes
Fortificación y Desquinche de Pique	1 mes
Blindaje de Pique	1 mes
Base de Martillo	2 un/mes
Montaje de Martillo	2 un/mes
Frontón Blind Hole	2 un/mes
Levante de Buzón	1 un/mes
Instalación de Buzón	1 un/mes
Habilitación de Telecomando	1 un/mes

## 7.2 Consideraciones del Modelo de Constructibilidad

Con objetivo de reproducir los lineamientos, desafíos y restricciones dentro de la construcción del proyecto se deben considerar distintas limitaciones determinadas principalmente por la macro secuencia del sector, manejo de marinas, construcción de accesos, exposición a polvorazos y el avance de la zona de transición del sector en el que se está trabajando. A continuación entregan los criterios y consideraciones del modelo de constructibilidad.

### 7.2.1 Consideraciones Generales

- Se consideran facilidades para el desarrollo y construcción de obras mineras incluyendo la disponibilidad de equipos, personal y servicios necesarios.
- El modelamiento de la construcción de desarrollos horizontales y la adquisición de área del sector considera el método de explotación de Panel Caving con Hundimiento Convencional y Fracturamiento Hidráulico.
- Se asume la finalización de los desarrollos de los Bloques 4 y 5 de Esmeralda Sur los cuales serán usados como accesos para los niveles de Hundimiento y Producción de la opción de Continuidad de Bloques.
- Para la opción de Caving Virgen se considera la posibilidad de construir galerías que conecten los niveles de Producción y Hundimiento de los Bloque 4 y 5 a través del pilar que divide los sectores.

### 7.2.2 Criterios de Constructibilidad del Nivel de Hundimiento

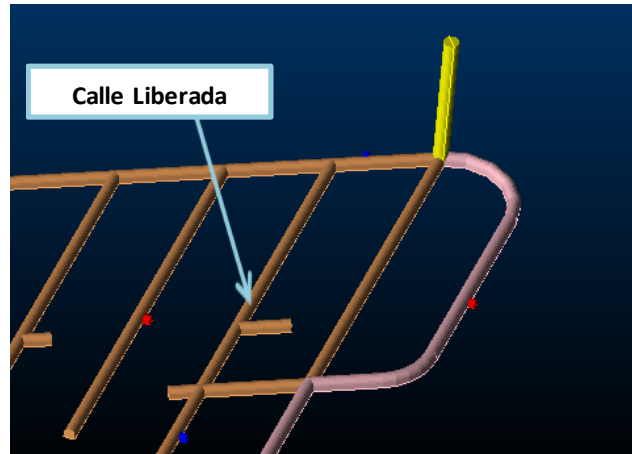
Los criterios utilizados pretenden entregar limitaciones de interacción entre los niveles de hundimiento y producción y a su vez dar lineamientos respecto al desarrollo de las actividades mencionadas en la Tabla 7.2 Obras Requeridas en el Nivel de Hundimiento

Tabla 7.2 Obras Requeridas en el Nivel de Hundimiento

Obras Nivel de Hundimiento
Desarrollos Horizontales
Desarrollos Verticales
Perforación de Socavación
Socavación
Pre-Acondicionamiento
Chimenea Vaciadero de Marina

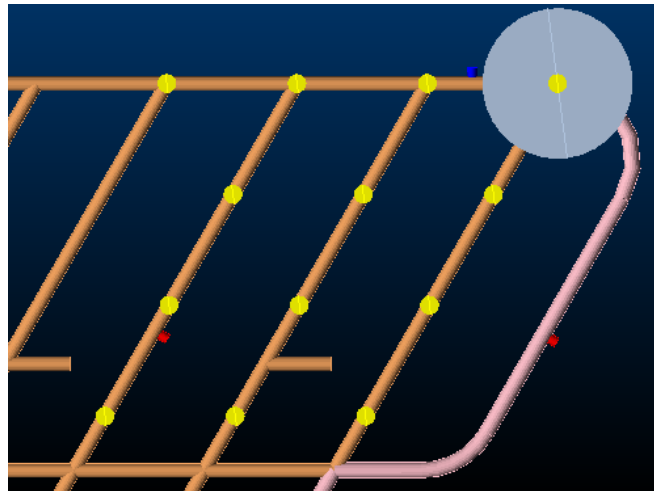
- Respecto a los desarrollos horizontales de la opción Continuidad de Bloques, las calles tendrán orientación S30°O, mientras que sus cruzados tendrán orientación E-O. La opción Inicio Caving Virgen considera calles con orientación S30°O, mientras que sus cruzados tendrán orientación E-O y O-E para los sectores Hw y Fw respectivamente.

- Para comenzar la perforación de pozos de fracturamiento hidráulico se requiere finalizar los desarrollos de las calles contiguas junto con la construcción de los cruzados entre estas calles, esto para permitir la circulación de personal y equipos.

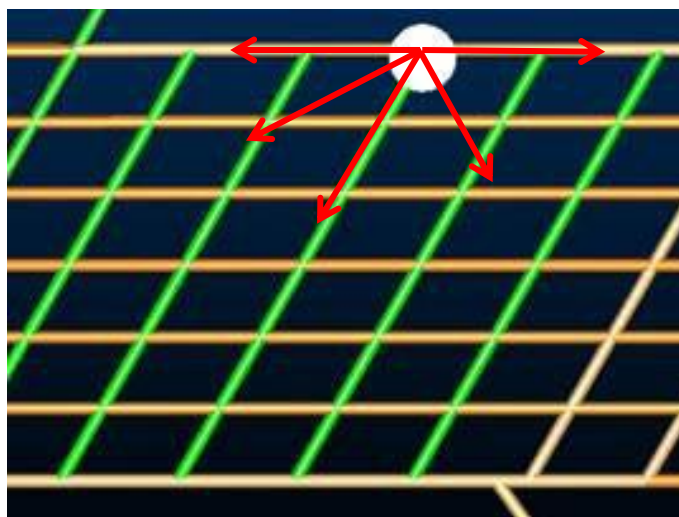


**Figura 7.1 Consideraciones de Constructibilidad, Perforación de Pozos**

- Para iniciar el fracturamiento hidráulico de los pozos se requieren finalizadas las perforaciones de pozos en un radio de 60 m dentro del nivel de hundimiento. Junto con esto se considera finalizar las construcciones del nivel de producción en un radio de 60m. como se observa en la Figura 7.2 y la Figura 7.3.



**Figura 7.2 Consideraciones de Constructibilidad, Fracturamiento Hidráulico**



**Figura 7.3 Consideraciones de Constructibilidad, Interacción con Nivel de Producción**

- Se considera la construcción de vaciaderos de marina utilizando chimeneas piloto desde el Nivel de Producción.

### **7.2.3 Criterios de Constructibilidad del Nivel de Producción**

Los criterios utilizados pretenden entregar limitaciones de interacción entre los niveles de hundimiento y producción, y a su vez dar lineamientos respecto al desarrollo de las actividades mencionadas en la Tabla 7.3

**Tabla 7.3 Obras Requeridas en el Nivel de Producción**

Obras del Nivel de Producción
Desarrollos Horizontales
Desarrollos Verticales
Perforación de Bateas
Voladura de Bateas
Construcción Frontones de Ventilación
Fortificación Intersección Calle/Zanja
Construcción Muros de Confinamiento
Construcción Carpeta de Rodado
Construcción Puntos de Extracción
Excavación y Fortificación Punto de Vaciado

- Respecto a los desarrollos horizontales de la opción de Continuidad de Bloques, las Calles se desarrollaran con orientación S30°O mientras que para las Zanjas la orientación será Fw-Hw para ambos Bloques como se muestra en la Figura 7.4.

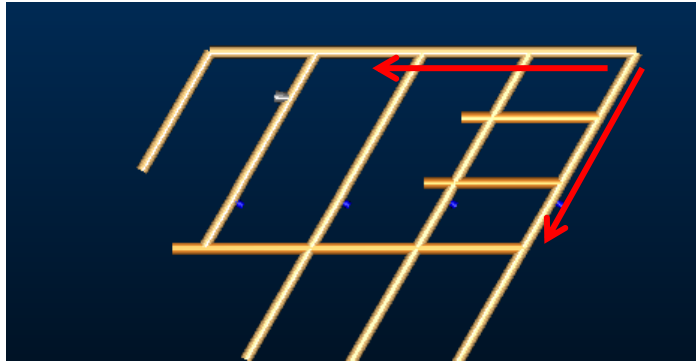


Figura 7.4 Criterios de Constructibilidad, Orientación de Calles Continuidad de Bloques

- Para la opción Inicio Caving Virgen, los desarrollos de las Calles tendrán orientación S30°O, mientras que sus Zanjas tendrán orientación Fw-Hw para el sector Hw del Nivel y orientación Hw-Fw para el sector Fw como se muestra en la Figura 7.5.

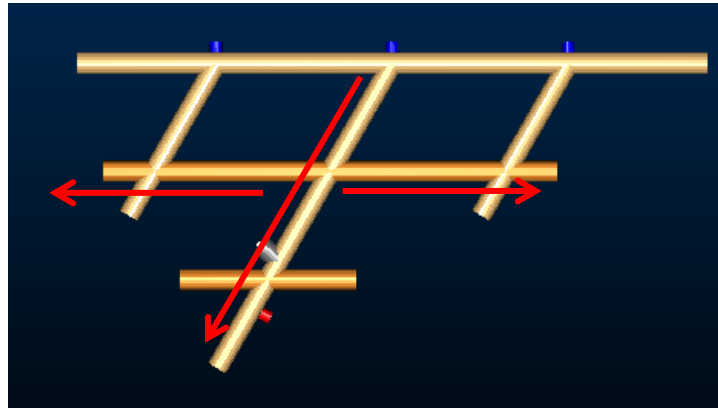


Figura 7.5 Criterios de Constructibilidad, Orientación de Calles Caving Virgen

- Para el inicio de Construcciones de las Calles se requiere construir rutas de evacuación de marinas, a su vez se considera un largo de Construcciones determinado por la Zona de Transición (60 m).

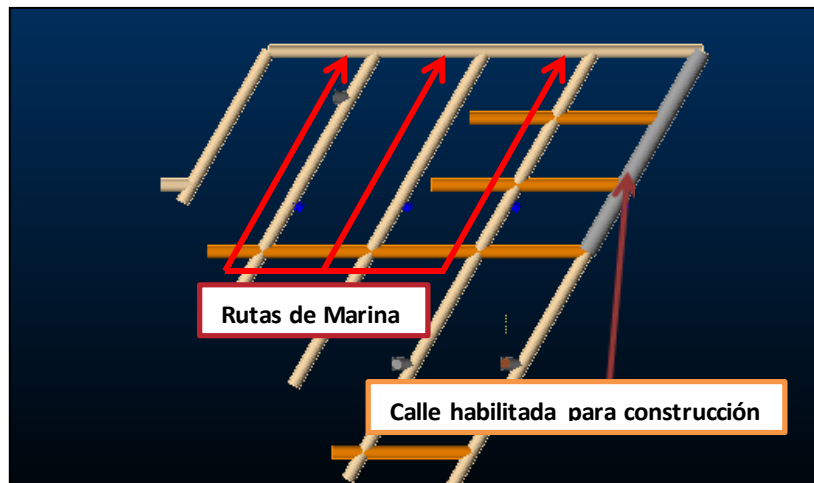


Figura 7.6 Criterios de Constructibilidad, Constructibilidad de Calles

- Para finalizar la Construcción de las Calles se considera el secuenciamiento de las siguientes obras:

Tabla 7.4 Secuencia de Obras Nivel de Producción

Obra	Leyenda
Desarrollo de Calle	
Fortificación de Intersección	
Construcción de Carpeta de Rodado	
Construcción de Muros de Fortificación	
Construcción de Puntos de Extracción	
Entrega de Calle	

- El inicio de la perforación Chimeneas Piloto de batea se realiza una vez terminada las construcciones de una Calle (Verde) y los puntos de extracción de la Calle vecina (Marrón).

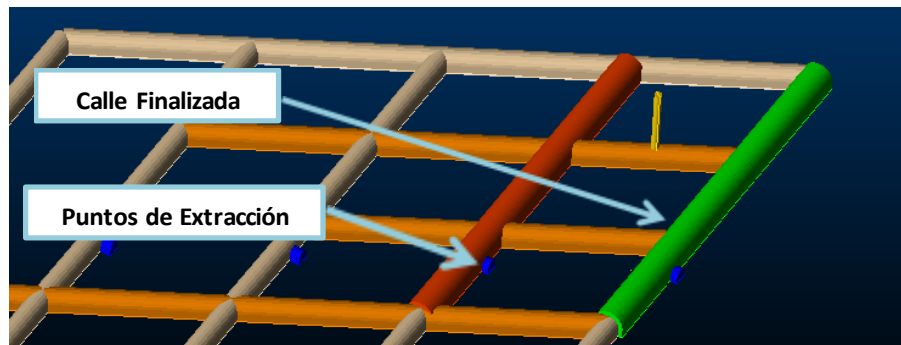


Figura 7.7 Criterios de Constructibilidad, Chimeneas Piloto

- Para el inicio de la Tronadura de Batea se requieren las todas construcciones listas en un radio de 60 metros y la fragmentación hidráulica del nivel de hundimiento terminada en un radio de 70 m.

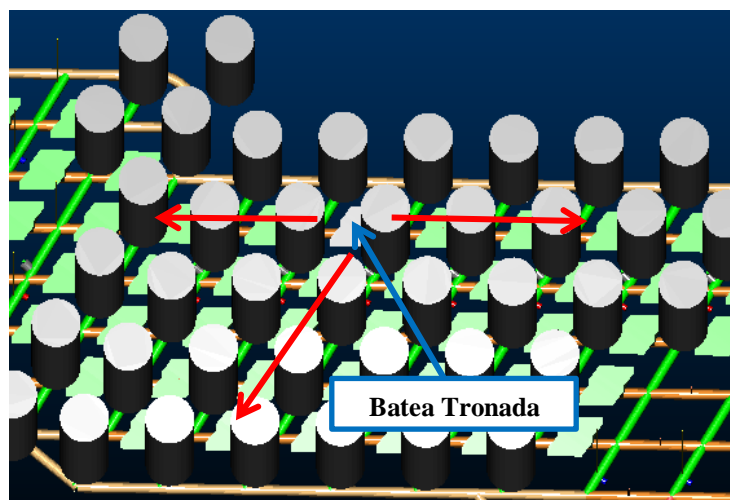


Figura 7.8 Criterios de Constructibilidad, Tronadura de Bateas

#### 7.2.4 Criterios de Constructibilidad del Nivel de Transporte

La construcción del nivel de transporte considera la opción de acoplarse al nivel de transporte de Esmeralda, construyendo cruzados dentro del loop ya existente en el sector y habilitando el Cruzado Sur con buzones de carguío.

Es sistema de traspaso del sector se realiza mediante piques de 25 m. de largo los cuales conectan los niveles de producción y transporte. La construcción de los piques considera obras en ambos niveles las que se expresan en la Tabla 7.5

Tabla 7.5 Obras Requeridas para Sistema de Traspaso

Obras de Nivel de Transporte
Frontón Blind Hole
Piloto Pique
Tronco Pique
Desquinche de Buzón
Obras Civiles
Montaje Buzón
Habilitación Hidráulica Buzón
Habilitación Telecomando Buzón
Obras de Nivel de Producción
Desarrollos Horizontales
Desarrollos Verticales
Ruptura de Chiflón
Construcción de Brocal
Desquinche y Fortificación de Pique
Blindaje Pique
Instalación Martillo
Habilitación de Telecomando

#### 7.2.5 Criterios de Constructibilidad del Subnivel de Ventilación

Los subniveles de ventilación consideran las siguientes obras.

Tabla 7.6 Obras Subniveles de Ventilación

Obras Subniveles de Ventilación
Desarrollos Horizontales
Desarrollos Verticales
Frontones Blind Hole

La construcción de los subniveles de ventilación utiliza los ADITs 56 y 64 como accesos para construir los subniveles de extracción e inyección respectivamente. Las galerías principales se construyen en dirección preferencial Norte-Sur mientras que las galerías de inyección y extracción de construyen en dirección Hw-Fw y viceversa como se observa en la Figura 7.9.

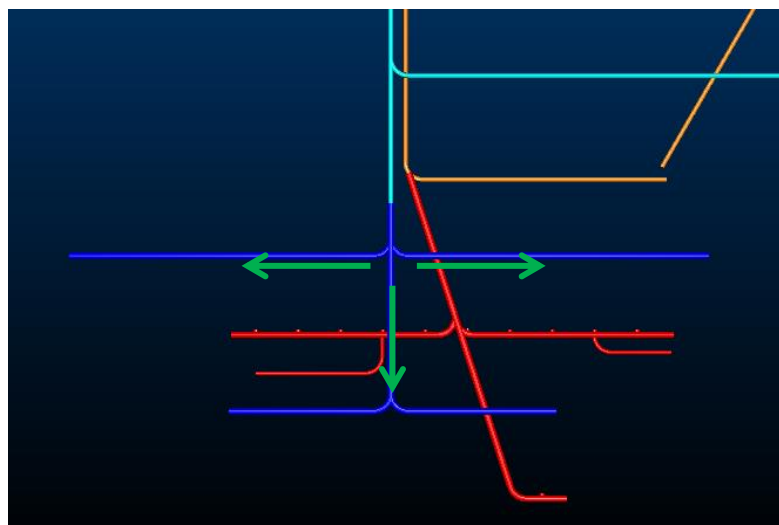


Figura 7.9 Criterios de Constructibilidad, Desarrollo de Galerías SNV

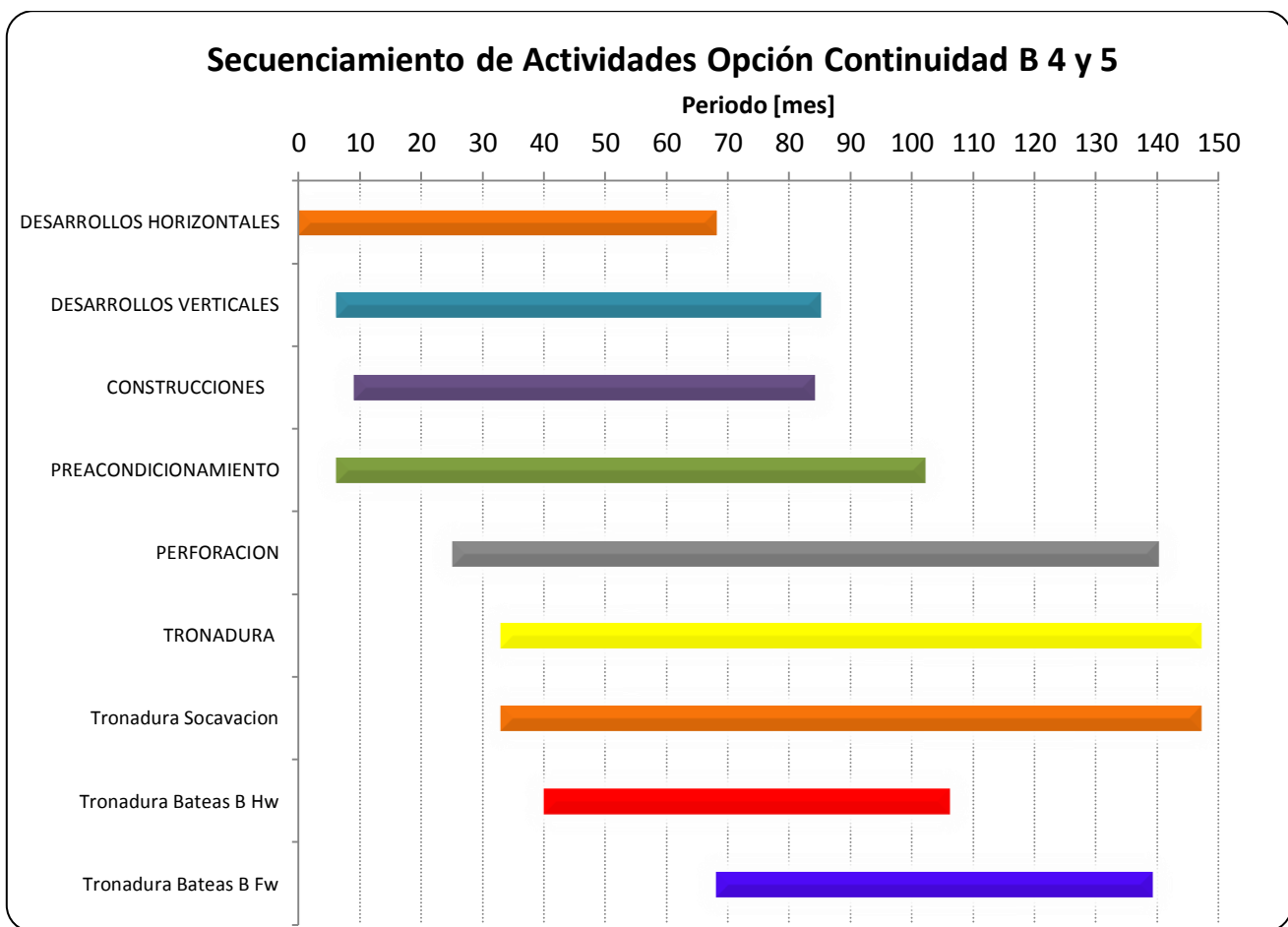
### 7.3 Resultados del Modelo de Constructibilidad

El principal resultado del modelo de constructibilidad es determinar los periodos de inicio y fin de las distintas obras requeridas para la puesta en marcha y funcionamiento del proyecto Recursos Sur. Dichos resultados serán utilizados como base para el cálculo de CAPEX en la evaluación económica de proyecto. Dentro de estos periodos destacan el de pre minería, el cual inicia con la primera tronadura de avance y culmina con la tronadura de la primera batea, y el periodo de Incorporación de Área, el cual termina con la última tronadura de batea en el nivel de producción. A su vez el modelo es utilizado para calcular el requerimiento de marinas durante la construcción del sector.

#### 7.3.1 Constructibilidad de Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

Los resultados del modelo de constructibilidad para la opción de Continuidad de Bloques 4 y 5 se resumen en la Figura 7.10.





**Figura 7.10 Carta Gantt de Constructibilidad Continuidad Bloques 4 y 5**

El secuenciamiento de actividades de la opción de Continuidad de Bloques, muestra que la construcción del sector tiene una duración de 147 meses, de los cuales los primeros 40 corresponden al periodo de preminería y 107 meses de incorporación de área.

El periodo de preminería, de aproximadamente 3,4 años, dicho resultado implica la necesidad de comenzar la construcción del sector anticipadamente o la realización de obras tempranas para la puesta en marcha del sector en la fecha planificada. Respecto al periodo de incorporación de área, este tiene una duración de 9,5 años, el cual es cercano al de 10 años estimado en la sección 6.4.2 en base a rangos históricos de la División El Teniente lo cual valida dichos parámetros.

De determinó que debido a los rendimientos de desarrollos y obras definidos para este análisis, la incorporación de área del plan puede ser aumentada de existir la posibilidad de tronar más bateas al mes. A su vez, dado que la incorporación de área se aleja del máximo potencial del sector, el fracturamiento hidráulico del nivel de hundimiento logra alejarse sobre 100 m del frente de hundimiento, esto permitiría realizar obras de Debilitamiento Dinámico con Explosivos (DDE) o Fracturamiento Intensivo con Explosivos (FIE) para mejorar la granulometría del sector sin aumentar mayormente los tiempos de incorporación de área.

El modelo generado para la opción de Continuidad de Bloques 4 y 5 se puede apreciar en la Figura 7.11.

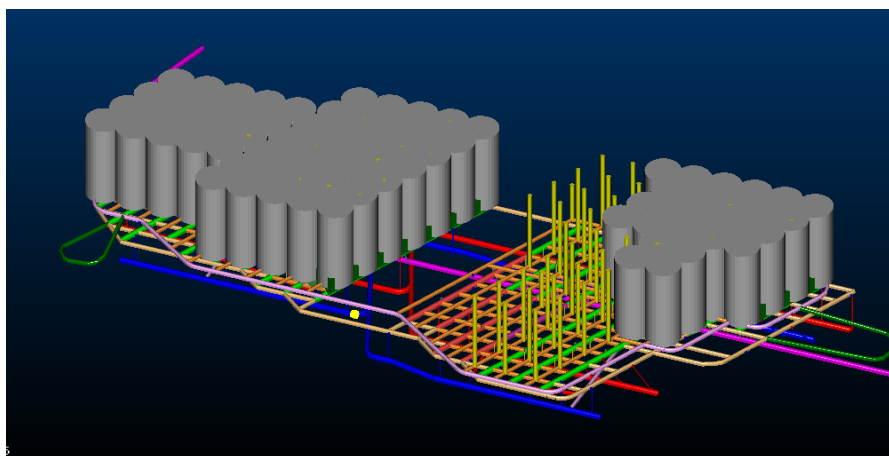


Figura 7.11 Modelo de Constructibilidad Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

### 7.3.1.1 Perfil de Manejo de Marinas Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

En base al modelo de constructibilidad, la densidad promedio del sector ( $2,7 \text{ t/m}^3$ ) y un 10% de sobre excavación, se obtuvo el requerimiento de manejo de marinas para el desarrollo de la opción estudiada.

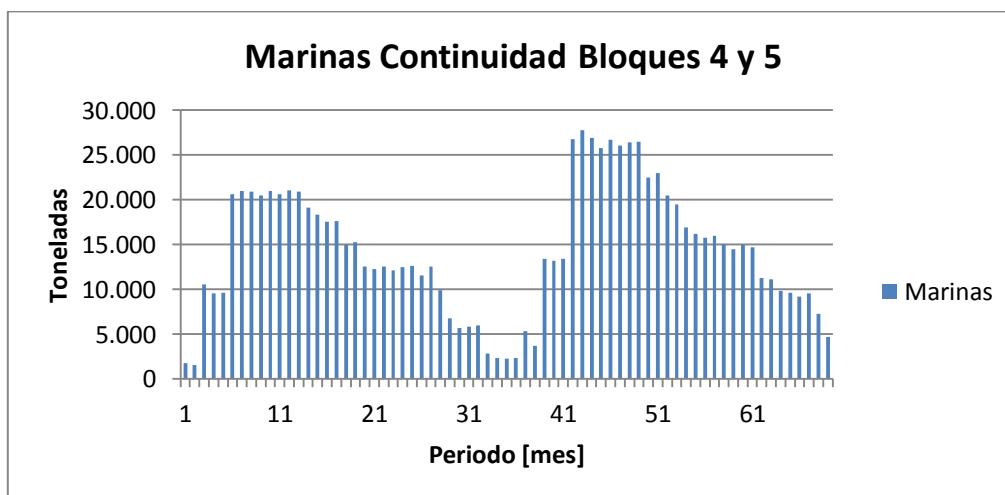
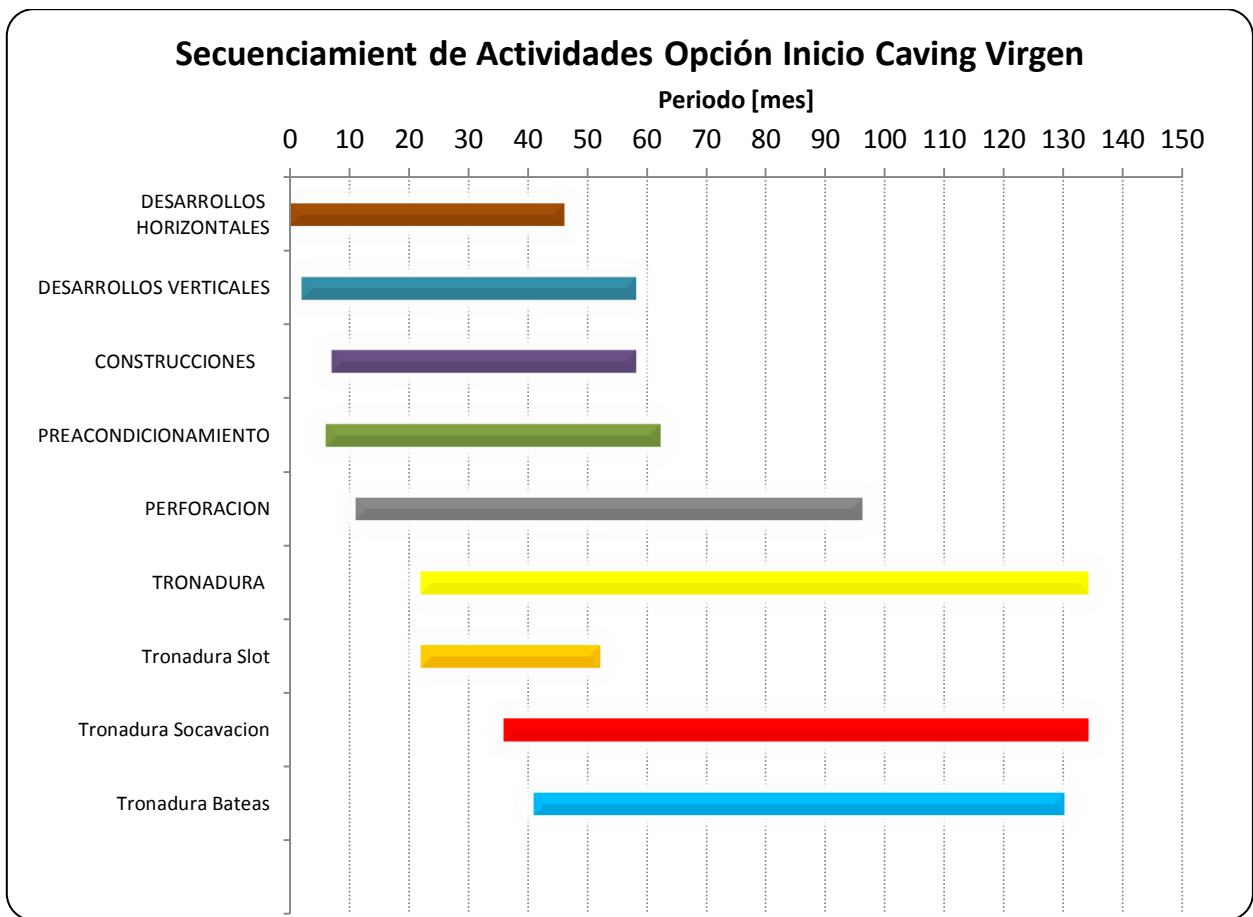


Figura 7.12 Perfil de Manejo de Marinas, Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

Se obtuvo un requerimiento promedio de marinas de 483 tpd y un máximo de 917 tpd. Se puede apreciar un aumento paulatino de marinas en el primer año, lo cual responde a la incorporación de frentes de avance del sector.

### 7.3.2 Constructibilidad de Opción Caving Virgen

Los resultados del modelo de constructibilidad para la opción Caving Virgen se resumen en la Figura 7.13.



**Figura 7.13 Carta Gantt de Constructibilidad Caving Virgen**

Como se observa, la constructibilidad de la opción tiene una duración de 11 años, de los cuales 3,5 corresponden al periodo de pre minería, La incorporación de área de la opción tiene una duración de 98 meses equivalentes a 8.2 años, lo cual se acerca bastante a los 8 años estimados por en el plan de incorporación de área de la sección 6.4.2.

Para poder generar conexión al Caving del sector, durante los primeros 12 meses se incorporaron 22 bateas, lo que representa 13.200 m<sup>2</sup>. Durante el resto del periodo de incorporación se disminuyó este rendimiento a un máximo de 14 bateas/año.

A diferencia de la opción de Continuidad, debido al crecimiento por 3 frentes, los recursos no permiten generar una distancia suficiente entre el fracturamiento hidráulico y el frente de socavación para realizar DDE sin afectar mayormente resultados de este análisis.

El modelo generado se muestra en la Figura 7.14

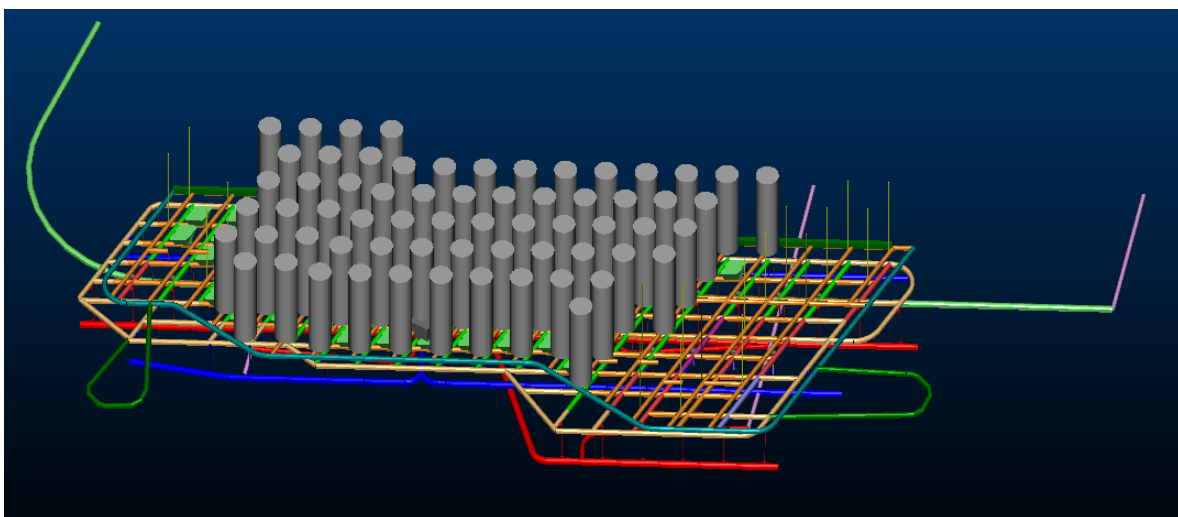


Figura 7.14 Modelo de Constructibilidad Opción Caving Virgen

### 7.3.2.1 Perfil de Manejo de Marinas Opción Caving Virgen

En base al modelo de constructibilidad, la densidad promedio del sector ( $2,7 \text{ t/m}^3$ ) y una sobre excavación de un 10%, se obtuvo el requerimiento de manejo de marinas para el desarrollo de la opción estudiada.

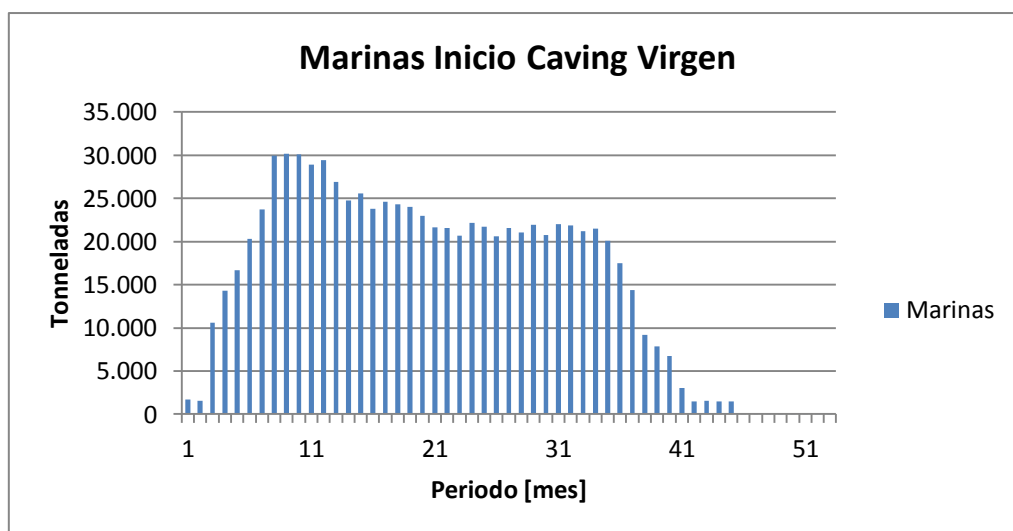


Figura 7.15 Perfil de Manejo de Marinas Opción Caving Virgen

Se obtuvo un requerimiento promedio de marinas de 516 tpd y un máximo de 996 tpd. Se puede apreciar una mayor necesidad de manejo de marinas en comparación a la opción de Continuidad de Bloques, lo cual se debe principalmente al crecimiento por más frentes de la opción de Caving Virgen (3 frentes en Caving Virgen vs 2 frentes en Continuidad de Bloques).

## 8 EVALUACION ECONÓMICA

El objetivo principal del estudio es determinar el potencial económico del sector Recursos Sur. En base a los planes y diseños mineros obtenidos a lo largo del estudio, junto a parámetros de evaluación impuestos por las orientaciones comerciales de Codelco, se procedió a estimar el potencial económico del proyecto y determinar la existencia de un caso de negocio que permita concluir la posibilidad de continuar con estudios de ingeniería posteriores.

### 8.1 Estimación de CAPEX

Los principales componente de inversión general en un proyecto minero corresponden a la inversión en infraestructura, plantas, flota de equipos y preparación minera. La estimación de éstas se describe a continuación.

#### 8.1.1 Inversiones de Infraestructura y Planta

En base a los planes y diseños generados se determinó que no se requieren inversiones de infraestructura ni de planta.

En el capítulo 6 se determinó la posibilidad de utilizar el barrio cívico de la mina Esmeralda, por lo que no se requiere la construcción de un barrio cívico propio del proyecto. Respecto a la infraestructura de transporte, se considera acoplarse al sistema de transporte intermedio de Esmeralda y luego al manejo de materiales principal Teniente 8, por lo que no es requerida la construcción de nueva infraestructura. No se requiere la construcción de infraestructura de ventilación, puesto que no es necesario construir ADITs de inyección y extracción al optarse, por acoplar el diseño al sistema de ventilación de Esmeralda.

En cuanto a la inversión de planta, el objetivo de este proyecto no es aumentar la producción de la División, sino el suplir el déficit de mineral y por ende la eventual capacidad disponible en la planta Colón que dejará el atraso del proyecto Nuevo Nivel Mina, por lo tanto no es necesario incurrir en inversiones de plantas de procesamiento.

#### 8.1.2 Inversión de Equipos

La estimación de inversión obtuvo determinando el vector de equipos requeridos en función de la producción de cada opción, para este cálculo se consideraron los equipos mencionados en la Tabla 8.1, utilizando los rendimientos actuales de la mina Esmeralda en el año 2015.

Tabla 8.1 Parámetros del Vector de Equipos

Proceso de P&T	Costo [kUS\$]	Rendimiento		Disponibilidad
Jumbo Radial	781	60.000	mb/año	80%
<b>Proceso de Producción</b>				
LHD (7 yd <sup>3</sup> )	1.233	2.080	tpd	80%
Jumbo de Reducción 2°	662	10.000	tpd	80%
Equipo Descolgador	899	10.000	tpd	80%
<b>Equipos Auxiliares</b>				
Buzones	171			

### 8.1.2.1 Vector de Equipos Continuación Bloques 4 y 5

Para la alternativa de Continuación de Bloques 4 y 5 se obtuvo el vector de equipos operativos.

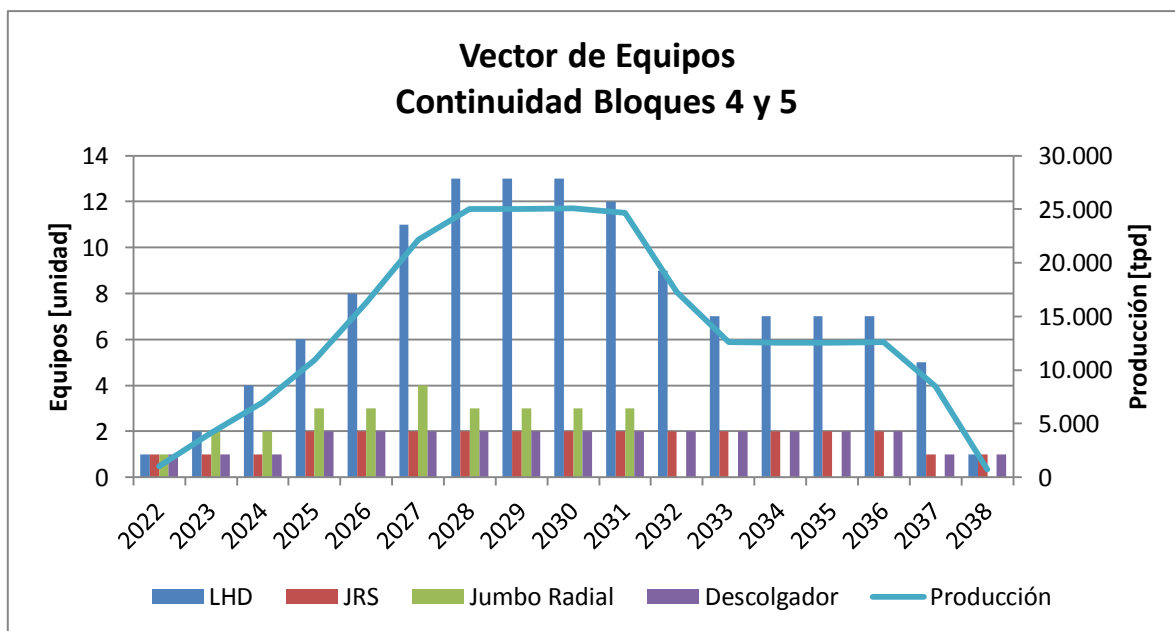


Gráfico 8.1 Vector de Equipos Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

Del Gráfico 8.1 se desprende el requerimiento de equipos operacionales para alcanzar el régimen productivo y el requerimiento total de equipos durante la vida útil del proyecto. Los resultados se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Estimación de Equipos Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

Equipo	Régimen operativo	Adquisiciones Totales
Jumbo Radial	3	6
LHD	13	48
Jumbo Reducción 2°	2	9
Descolgador	2	9
Buzones	2	25

### 8.1.2.2 Vector de Equipos Caving Virgen

Para la alternativa de Caving Virgen se obtuvo el siguiente vector de equipos operativos:

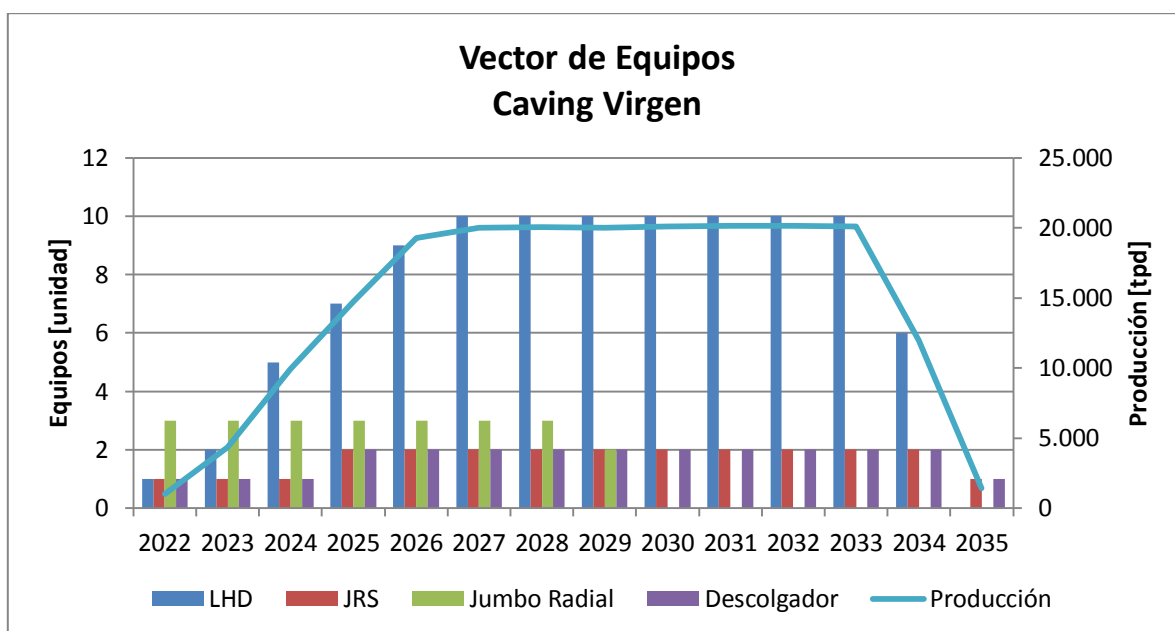


Gráfico 8.2 Vector de Equipos Opción Caving Virgen

Del Gráfico 8.2 se desprende el requerimiento de equipos operacionales para alcanzar el régimen productivo y el requerimiento total de equipos durante la vida útil del proyecto. Los resultados se muestran en la Tabla 8.3

Tabla 8.3 Estimación de Equipos Opción Caving Virgen

Equipo	Régimen operativo	Adquisiciones Totales
Jumbo Radial	2	4
LHD	10	33
Jumbo Reducción 2°	2	6
Descolgador	2	6
Buzones	3	22

### 8.1.3 Inversión de Preparación Minera

Para el cálculo de la inversión requerida en preparación minera se cubió el modelo de constructibilidad utilizado en el Capítulo 7, con lo cual se obtuvo el requerimiento de desarrollos, construcciones y obras de para cada periodo dentro de la vida útil de las opciones de Continuidad de Bloques y Caving Virgen. Los costos de los resultados de la cubicación fueron obtenidos de la Gerencia de Obras Mina de la DET (12) en base a obras realizadas en la Mina Esmeralda en el periodo 2015 los cuales fueron ajustados con contingencias del 35% correspondiente a un estudio de ingeniería de perfil. El resumen general de la cubicación del modelo de constructibilidad se muestra en la Tabla 8.4

**Tabla 8.4 Resumen General de Cubicación de Modelo de Constructibilidad**

Resultados Modelo de Constructibilidad			
Nivel de Hundimiento	Continuidad	Caving Virgen	Unidad
<b>Desarrollos Horizontales</b>			
Accesos (4.0 x 4.0)	1026	972	m
Calle (3.6 x 3.6)	5197	4386	m
Cruzados (3.6 x 3.6)	1213	1152	m
<b>Desarrollos Verticales</b>			
Perforación SLOT ( $\phi=1.5$ )	0	260	m
<b>FH</b>			
Perforación FH	12700	9900	m
Pozos FH	127	99	un.
<b>Socavación</b>			
Perforación	473322	408870	mb
Socavación	111128	78853	m2
<b>Nivel de Producción</b>			
<b>Desarrollos Horizontales</b>			
Cabecera (4.0 x 4.0)	1859	1712	m
Calles (4.0 x 4.0)	4233	3675	m
Zanjas (4.0 x 3.9)	5327	3395	m
Rampa (4.2 x 4.1)	474	486	m
Frontón Inyección (2.5 x 2.5)	118	113	m
Frontón Inyección (2.5 x 2.5)	180	148	m
<b>Desarrollos Verticales</b>			
Chim. Piloto ( $\phi=1.5$ )	132	100	m
<b>Construcciones y Forticación</b>			
Muros	345	240	un
Puntos de Extracción	345	240	un
Puntos de Vaciado	18	22	un
Carpeta Rodado	6281	5387	m
Intersecciones	172	120	un
Bateas	132	100	un
Perforación Bateas	112978	85592	mb
Base de Martillo	25	22	un
<b>Nivel de Ventilación</b>			
<b>Desarrollos Horizontales</b>			
XC Central Iny. (6.2 x 6.1)	208	157	m
XC Inyección (5.7 x 5.1)	1322	1320	m
XC Central Ext. (6.2 x 6.1)	173	271	m
XC Extracción (5.7 x 5.1)	1135	949	m
Frontones BH (3.7 x 3.7)	279	121	m
Accesos NE-NI (4.2 x 4.1)	295	473	m
<b>Desarrollos Verticales</b>			
Chim. Iny. ( $\phi=1.5$ )	1208	1189	m
Chim. Ext. ( $\phi=1.5$ )	1240	1215	m
<b>Nivel de Transporte</b>			
<b>Desarrollos Horizontales</b>			
Cruzados (5.0 x 4.9)	1146	1171	m
Accesos (3.7 x 3.7)	483	550	m
Frontón BH (3.7 x 3.7)	108	96	m
<b>Desarrollos Verticales</b>			
Piques de Traspaso ( $\phi=1.5$ )	852	718	m
Desquinche de Pique ( $\phi=3$ )	852	718	m
Fortificación Pique ( $\phi=3$ )	852	718	m
<b>Construcciones y Forticación</b>			
Cámara Buzón	25	22	un
Montaje Buzón	25	22	un
Habilitación Hidráulica	25	22	un
Telecomando	25	22	un
Fortificación Inter.	25	22	un



Al considerar las estimaciones de CAPEX de los puntos anteriores se obtuvieron los siguientes perfiles de inversiones requeridos en el Life of Mine (LOM) de ambas opciones.

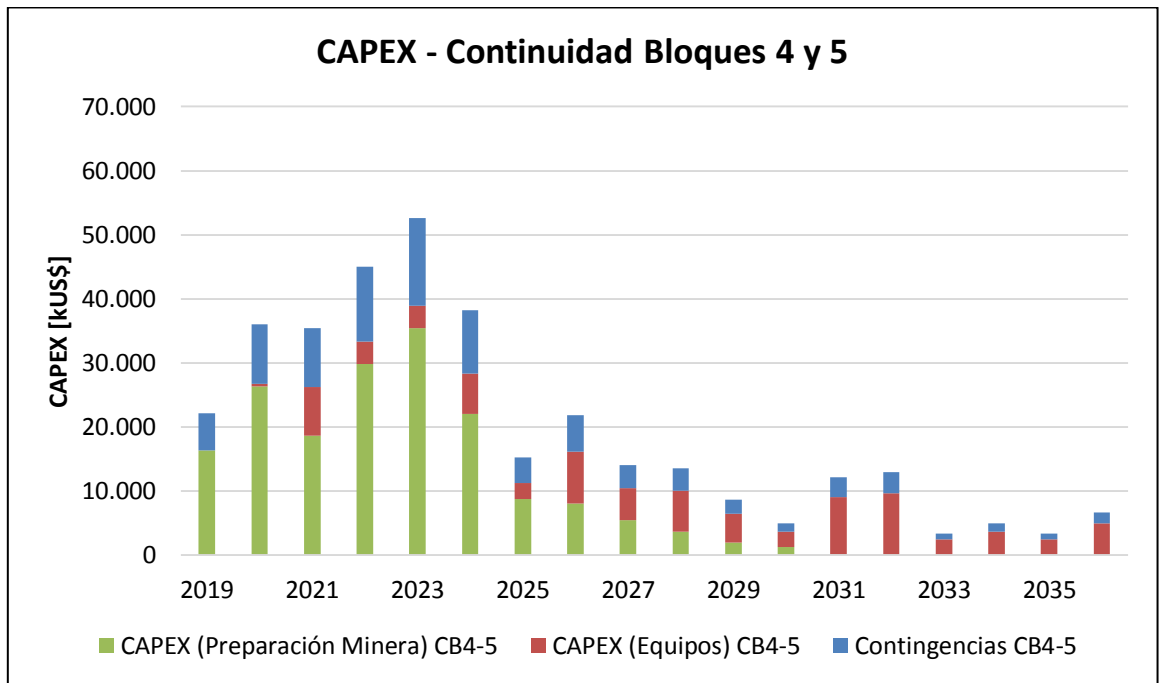


Gráfico 8.3 Resumen de CAPEX opción Continuidad de Bloques 4 y 5

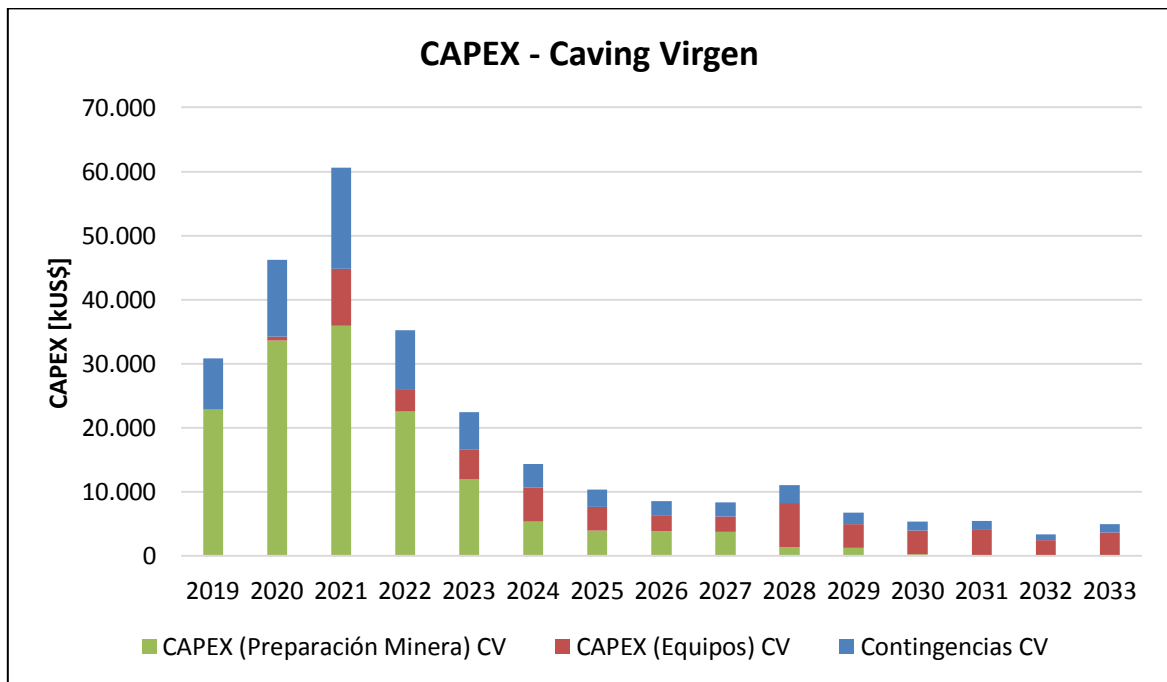


Gráfico 8.4 Resumen de CAPEX Opción Caving Virgen

El CAPEX requerido sin considerar contingencias de MUS\$ 260 y 202 para las opciones de Continuidad de Bloques y Caving Virgen respectivamente. Cabe destacar que las inversiones de pre minería (los primeros 3,5 años) equivalen a MUS\$ 70 para la Continuidad de Bloques y MUS\$ 102 para el Caving Virgen. Esta diferencia de inversiones se debe principalmente al

mayor requerimiento de área preparada para iniciar un caving independiente, lo que aumenta el capital requeridos los primeros años, en comparación a la opción que se acopla al caving ya existente del sector.

## 8.2 Estimación de OPEX

Para la estimación del OPEX del proyecto se consideraron los costos operacionales a la fecha de la mina Esmeralda, debido a que la operación del proyecto se llevará a cabo en condiciones similares a la actual operación de éste sector, puesto que se plantea acoplarse a los servicios de ventilación y transporte y se utilizarán diseños similares en el nivel de producción y hundimiento. El OPEX considera los costos acumulados de mina y procesamiento de la Planta Colón (13).

Tabla 8.5 Resumen de Costos

	Valor	Unidad
Costo Mina	7,2	US\$/t
Costo Planta	9,2	US\$/t

En función de los costos utilizados y los planes de producción se obtuvieron las estimaciones de OPEX de las 2 opciones de explotación, las cuales se muestran en el Gráfico 8.5 y Gráfico 8.6.

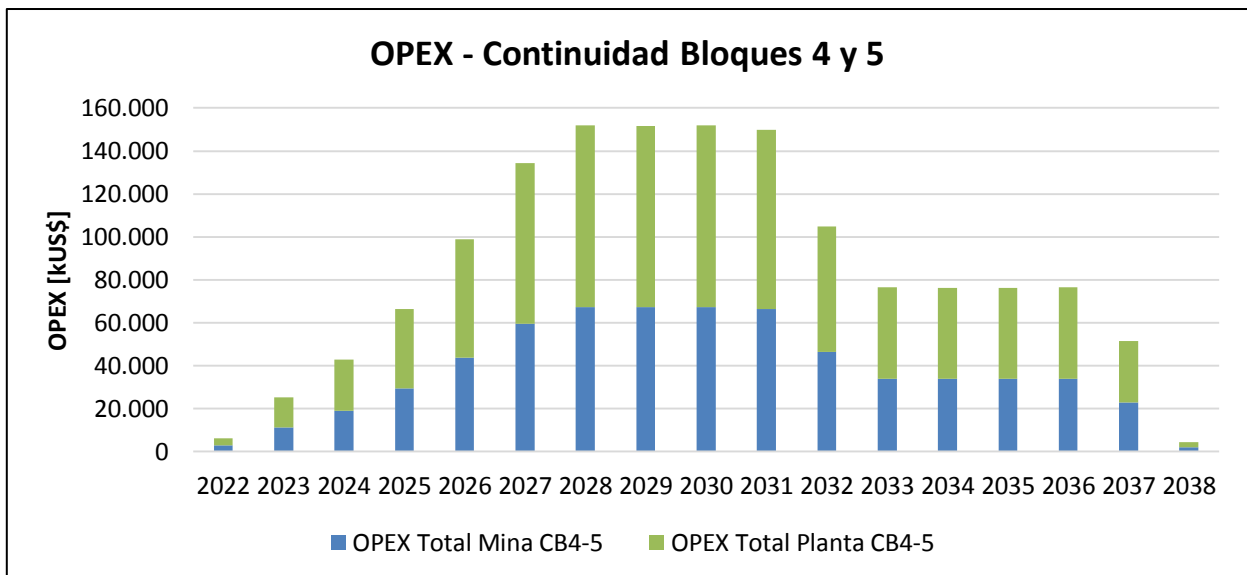


Gráfico 8.5 OPEX Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

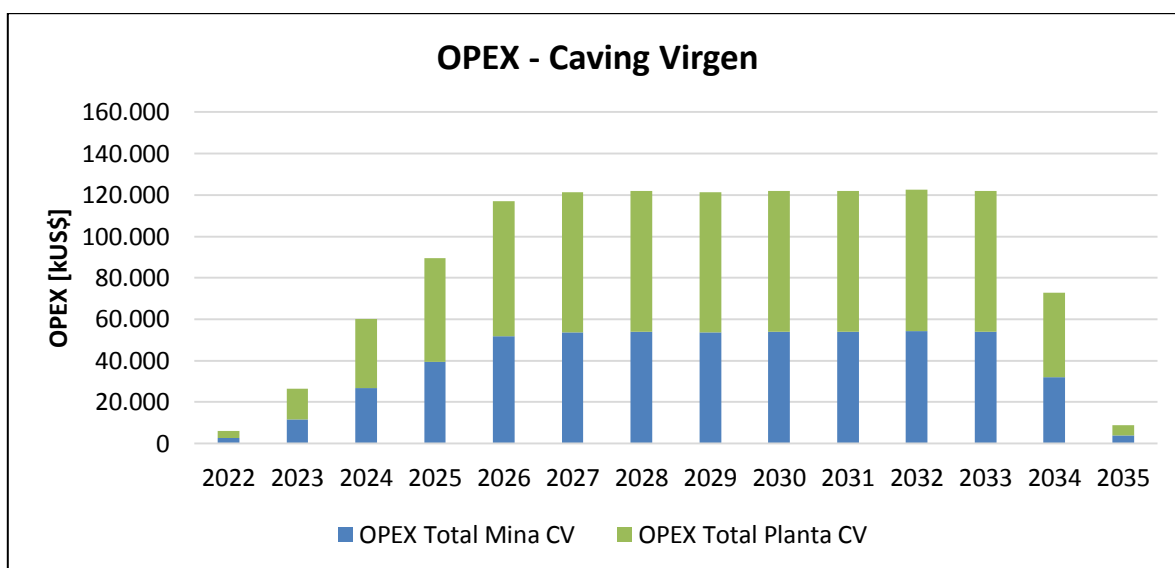


Gráfico 8.6 OPEX Opción Caving Virgen

### 8.3 Evaluación Económica

La evaluación económica del estudio se realizó basada en los estándares de Codelco, utilizando un precio medio del cobre de 280 cUS\$/lb entregados por la Actualización de Orientaciones Comerciales de Octubre 2015 (15) y considerando una tasa de interés del 8% para la actualización de los flujos de caja. La evaluación económica no considera impuestos ni la obtención de financiamiento para el proyecto.

En base a las estimaciones de CAPEX y OPEX junto con los parámetros de evaluación entregados en el presente acápite, se realizó el análisis económico para opciones de explotación de Continuidad de Bloques y Caving Virgen.

Dada la temporalidad de la explotación subterránea del proyecto, la propuesta de mineral in situ de explotación por Rajo Abierto se consideró al momento de evaluar el proyecto. Los resultados se observan en la Tabla 8.6

Tabla 8.6 Resultados de la Evaluación Económica

Indicador	Unidad	Continuidad B 4 y 5	Caving Virgen
<b>VAN</b>	MUS\$	284,7	235,5
<b>Inversión PEM</b>	MUS\$	68,8	101,9
<b>Inversión Total</b>	MUS\$	259	200
<b>TIR</b>		29%	26%
<b>IVAN</b>		1,10	1,18

El resultado de la evaluación económica entregó valores actualizados netos de 284 y 235 MUS\$ para las opciones de Continuidad de Bloques y Caving Virgen respectivamente.

## 8.4 Análisis de Sensibilidad

Para analizar la sensibilidad del proyecto frente a diversos escenarios se generó un modelo tornado, en el cual se analizó la robustez del proyecto frente a la variación de los parámetros más importantes de la evaluación económica. Se consideraron los siguientes parámetros:

- **Variación de OPEX:** Se consideró una variación de un  $\pm 20\%$  del costo total de producción.
- **Precio del Cobre:** Se consideró una variación de  $\pm 20\%$  del precio del cobre en base al valor medio entregado por las Orientaciones Comerciales de Codelco (15),
- **Tasa de Interés:** Se evaluó el proyecto base con tasas de descuento de 6, 8 y 10%.
- **Puesta en marcha:** Se consideraron atrasos de la puesta en marcha de 1 y 2 años.
- **CAPEX:** Se consideró una variación de las inversiones de preparación mina y equipos de un  $\pm 20\%$

Los resultados de los modelos tornados se muestran en el Gráfico 8.7 y Gráfico 8.8.

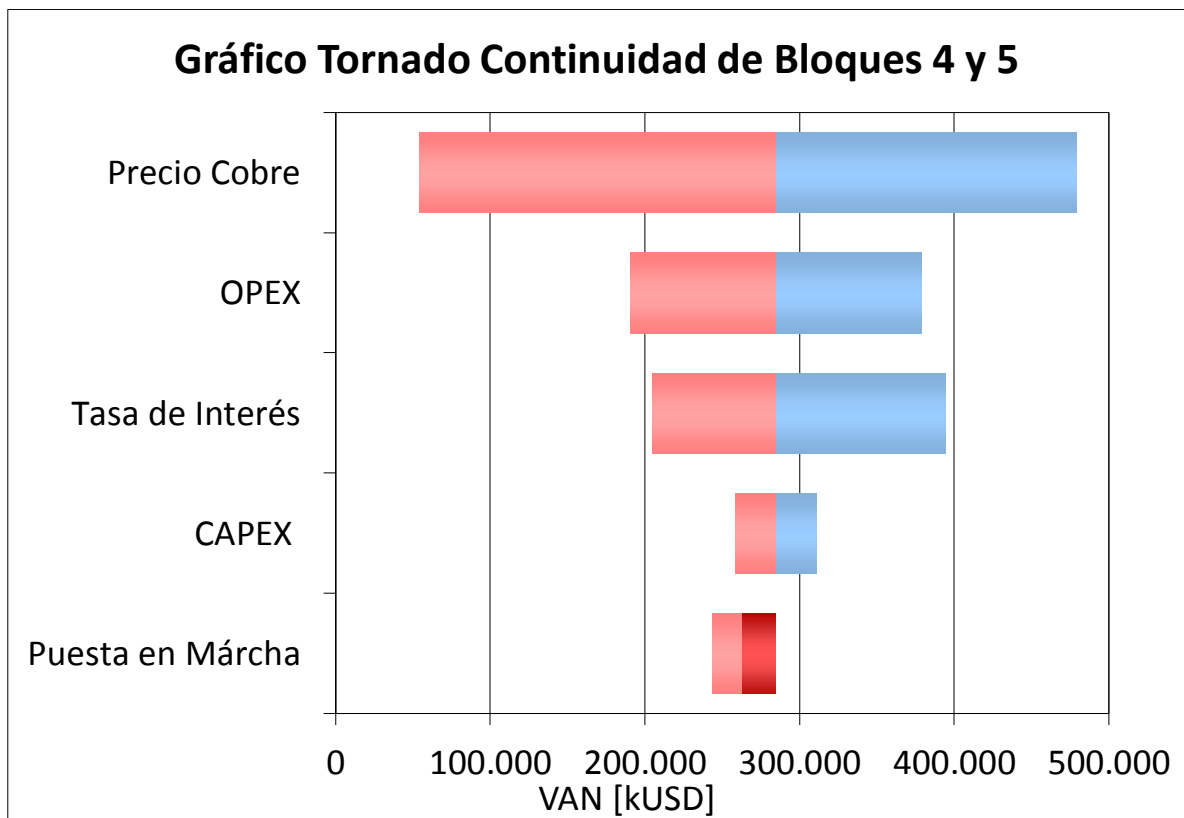


Gráfico 8.7 Gráfico Tornado Opción Continuidad de Bloques 4 y 5

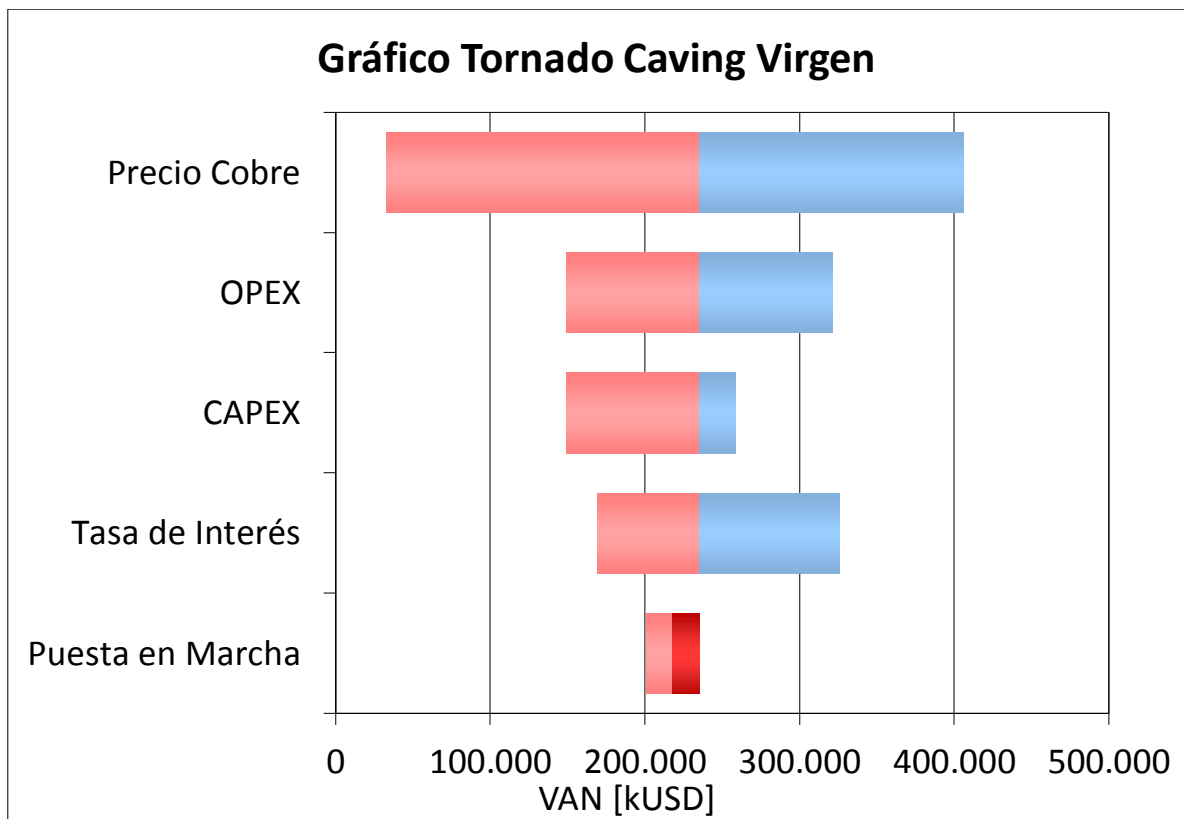


Gráfico 8.8 Gráfico Tornado Opción Caving Virgen

En general, se observa que ambas opciones mostraron resultados positivos en su VAN indiferente de las variaciones de parámetros evaluadas. Para ambos casos, la variable más influyente del VAN es el precio del cobre, el cual reduce el valor esperado del proyecto entre un 75% y un 90% en el escenario pesimista.

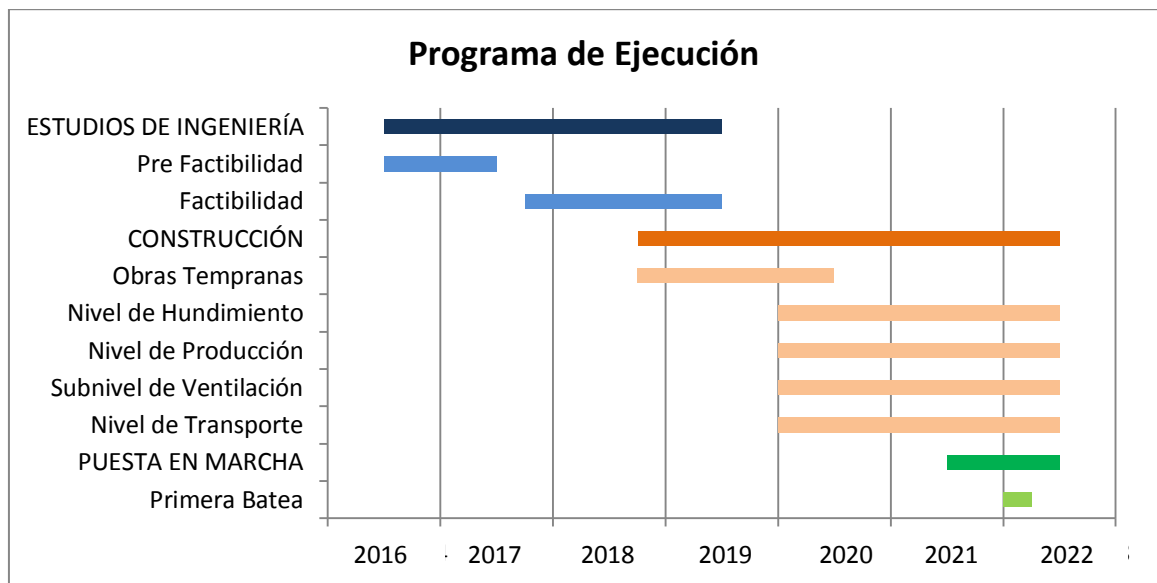
La variable menos influyente del análisis es el atraso de la puesta en marcha, principalmente producto de que las inversiones del proyecto son netamente asociadas a la preparación mina, en consecuencia, graduales en el tiempo y no se debe incurrir en una gran inversión inicial en el periodo cero del análisis.

Se puede apreciar que la opción de Continuidad de Bloques tiene una mayor robustez frente a la variación de CAPEX en comparación al Caving Virgen. Esto se debe a que para un mismo periodo de pre minería, de 3,5 años, la estrategia de Continuidad de Bloques requiere una inversión de MUS\$ 70 mientras que para el Caving Virgen se necesitan MUS\$ 102 por lo que la variación en estos costos tiene un mayor efecto en ésta última.

### 8.5 Programa de Ejecución del Proyecto

Para la ejecución del proyecto y posterior puesta en marcha el 2022, se generó el programa de ejecución estimado para las etapas posteriores requeridas.

Los pasos a seguir para la realización del proyecto son las etapas de estudios de prefactibilidad y factibilidad, junto al inicio de construcción de las obras tempranas.



**Gráfico 8.9 Programa de Ejecución Proyecto Recursos Sur**

Se estimó un período de estudios de ingeniería de 3 años, dentro de los cuales se desarrollarán los estudios preinversionales restantes de prefactibilidad y factibilidad. Con objetivo de agilizar las obras a realizar se recomienda el inicio de obras tempranas del proyecto 1,5 años previos al inicio de construcción de los niveles requeridos para el panel caving.

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusión principal del estudio se tiene que en función de los antecedentes geológicos y geomecánicos, junto con la planificación, diseño, constructibilidad y análisis económico realizado a lo largo del presente trabajo, se determinó que la explotación subterránea del proyecto Recursos Sur presenta suficiente robustez técnica y económica para recomendar su estudio en la siguiente etapa preinversional que corresponde a la prefactibilidad, para así disminuir aún más la incertidumbre del proyecto.

### 9.1 Conclusiones de Estrategia de Explotación y Diseño Minero

- Respecto al ambiente geomecánico y geotécnico del sector, este se considera similar al inicio de Diablo Regimiento con magnitudes de esfuerzos menores al Bloque 1 de Esmeralda, por lo cual se considera conocido y explotable. Respecto al sector Fw del polígono de explotación, este posee esfuerzos verticales similares a los de Pilar Norte, sector el cual presenta una alta actividad sísmica, por lo que debiese considerarse una mayor fortificación en este sector.
- Los diseños de malla de producción y del nivel de hundimiento han sido probados en el sector, específicamente en Esmeralda Sur. Dichos diseños permiten la continuidad de la explotación en el caso de la Continuidad de Bloques y entregan estabilidad suficiente para la operación del sector
- La decisión de acoplarse a los sistemas de ventilación y transporte de Esmeralda Sur permite disminuir sustancialmente la inversión requerida en el proyecto, al no requerirse la construcción de ADITs de inyección y extracción ni de un sistema de transporte propio.

### 9.2 Conclusiones de Planificación y Constructibilidad

- En base a análisis de constructibilidad y plan de ejecución, se estimó el inicio de producción para el año 2022, con un ramp up de 6 años para alcanzar un régimen de 25 ktpd en la opción de Continuidad de Bloques 4 y 5, y un ramp up de 5 años para alcanzar un régimen de 20 ktpd en la opción de Caving Virgen.
- El desarrollo de modelos de constructibilidad utilizando Mine 2-4D y EPS entregan resultados de temporalidad de pre minería y obras de mayor robustez que los estimados por parámetros históricos de la división dado que representan con mayor fidelidad los desafíos, requerimientos y restricciones del proceso de desarrollo, construcción y puesta en marcha de un proyecto.
- El modelo de constructibilidad comprobó la factibilidad de cumplir la adquisición de área determinada en el plan de producción de 107 y 98 meses para la opción de Continuidad de Bloques y Caving Virgen respectivamente.
- Si bien la opción de Caving Virgen requiere 4 veces más área preparada para iniciar producción que la Continuidad de Bloques 4 y 5, el periodo de pre minería es similar para ambas opciones (40 y 41 meses respectivamente), de esto se puede concluir que la limitante más importante para la preparación de ambas opciones es la disponibilidad de frentes, dado que la estrategia de Caving Virgen posee 2 frentes de crecimiento a partir del primer mes, mientras que la Continuidad de Bloques consta con un máximo de 1 frente por bloque.

- Al analizar la constructibilidad de ambas opciones se pudo apreciar que el desarrollo del fracturamiento hidráulico de la opción de Continuidad de Bloques se aleja en más de 100 m. del frente de hundimiento; en base a esto se determinó la posibilidad de realizar Debilitamiento Dinámico con Explosivos en dicha opción, sin afectar mayormente los tiempos de construcción estimados y así disminuir la granulometría esperada del sector.

### **9.3 Conclusiones del Análisis Económico**

- El CAPEX requerido para el desarrollo del proyecto se presenta mayoritariamente como preparación mina (70% de la inversión total). Esto incide principalmente en la robustez del proyecto frente a atrasos de la puesta en marcha, dado que la inversión se realiza gradualmente y no se debe incurrir en una fuerte inversión para dar inicio de la construcción del proyecto.
- Dado que la opción de Caving Virgen presenta un 50% de su inversión en el proceso de pre minería, esta alternativa es más sensible ante un eventual aumento de costos de preparación mina.
- El costo promedio de preparación mina es de 1,56 y 1,83 kUS\$/m<sup>2</sup> para las opciones de Continuidad de Bloques 4 y 5 e Inicio de Caving Virgen respectivamente.
- De las estrategias de explotación estudiadas, la Continuidad de los Bloques 4 y 5 presenta los mayores beneficios económicos (284 MUS\$) debido a la mayor recuperación de recursos y menor CAPEX en el periodo de preminería. Junto con ello, esta opción entrega una mayor sinergia en la construcción, manejo de marinas y desarrollo del proyecto, permitiendo la extensión de la vida útil de Esmeralda Sur, actualmente en producción en 17 años.
- Si bien la opción Caving Virgen tiene un menor beneficio potencial (235 MUS\$), ésta presenta una estrategia viable de explotación independiente de los recursos en caso de colapsos de algún nivel o de eventuales atrasos que pudiera presentar la preparación mina de Esmeralda Sur.
- El análisis de sensibilidad arroja, como era de esperarse, que el parámetro más importante es la variación del precio del cobre, disminuyendo el VAN esperado del proyecto en un 75 y 90% para las opciones de Continuidad y Caving Virgen respectivamente, al disminuir el precio en un 20%. A su vez se calculó que el precio para el cual el proyecto tiene VAN nulo es de 206 y 211 cUS\$/lb respectivamente.

### **9.4 Recomendaciones**

- El modelo de bloques geológico para la matriz de sustentabilidad permite realizar hasta un estudio de pre factibilidad, por lo que se requiere de mayor conocimiento para las siguientes etapas preinversionales del proyecto.
- Se recomienda realizar estudios del al ambiente de concentración de esfuerzos al producirse el empalme entre las cavidades de Diablo Regimiento Fase 2 y Esmeralda Sur Bloque 4, ya que dicho ambiente podría condicionar la estabilidad del sector y su operación.
- Se recomienda analizar con mayor profundidad la estabilidad del pilar de 90 m. para para ambas opciones de explotación



- Dado que el sector en estudio se encuentra amparado por el estudio de Aumento de Capacidad de Beneficio (ACB) 2007 y en calidad de proyecto de expansión de Esmeralda Sur, no se requiere realizar un EIA.
- En función del Artículo N°137 de Permisos y Pronunciamientos Ambientales Sectoriales se establece como requerimiento la aprobación del plan de cierre de la faena. En el caso de la Continuidad de Bloques se recomienda actualizar el estudio existente, mientras que para la estrategia de Caving Virgen se deberá generar un nuevo estudio previo a la puesta en marcha del proyecto.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

1. **Codelco, División El Teniente.** *Plan de Negocios y Desarrollo.* 2015.
2. **Charles A. Brannon, Gordon K. Carlson, y Timothy P. Casten.** *Block Caving.* 2004.
3. **Sougarret, O. Araneda y A.** *Lessons learned in cave mining at the El Teniente mine over the period 1997-2007.* 2008.
4. **Salgado, Jonathan.** *Secuenciamiento Genérico de Obras para la Planificación de Preparación Minera Mina El Teniente.* s.l. : Universidad de Santiago, 2009.
5. **PMBOK, Guía del.** *Fundamentos para la Dirección de Proyectos, Cuarta Edición.* 2008.
6. **Vives, Hernan.** *Evaluación de Proyectos Mineralúrgicos.* 2013.
7. **Codelco, División El Teniente, Gerencia de Recursos Mineros.** *Norma Corporativa Codelco NCC N°31- Categorización de Recursos y Reservas.*
8. **Codelco, División El Teniente, GRMD.** *Estimación del Campo Tensional del Proyecto Recursos Sur.* 2015.
9. **Codelco, División El Teniente, GRMD.** *Determinación de Área Crítica.* 2015.
10. **Codelco, División El Teniente.** *SIC - Mínimo Estandar para Estudios de Perfil.* 2008.
11. **Codelco, División El Teniente, Superintendencia de Geología.** *Nota Interna GRMD-SGL.* 2015.
12. **E-Mining.** *Estudio Geotécnico Rajo Sur Fase 3 y Matancillas, Etapa 1.* 2014.
13. **Codelco, División El Teniente.** *Curvas de fragmentación in situ de la roca primaria API T10E202.* 2014.
14. **Laubscher, D. H.** *Cave Mining- The State of Art.*
15. **TIMINING.** *Simulación del Sistema de Transporte Ferrocarril Teniente 6 Esmeralda.* 2014.
16. **Codelco, División El Teniente.** *Ficha Técnica Rendimientos de Actividades de Preparación Minera DET SIN/GRMD.* 2015.
17. **Codelco, División El Teniente.** *Gerencia de Obras Mina, Presupuesto 2016.* 2015.
18. **Codelco, División El Teniente.** *Informe Mensual de Gestión Operacional. Septiembre 2015.*
19. **Codelco, División El Teniente.** *Actualización de Antecedentes Económicos y Comerciales para Planificación 2016.* 2015.
20. **NCL.** *Ingeniería de Perfil - Proyecto Explotación Subterránea Sector Norte.* 2012.
21. **Codelco, División El Teniente, Superintendencia de Geología.** *Antecedentes Geológicos de Recursos Sur.* 2015.
22. **Codelco, División El Teniente, Gerencia de Recursos Mineros.** *Norma Corporativa Codelco NCC N°31- Categorización de Recursos y Reservas.*

## **ANEXOS**

## ANEXO A: Esfuerzos Estimados por la Cavity de Diablo Regimiento

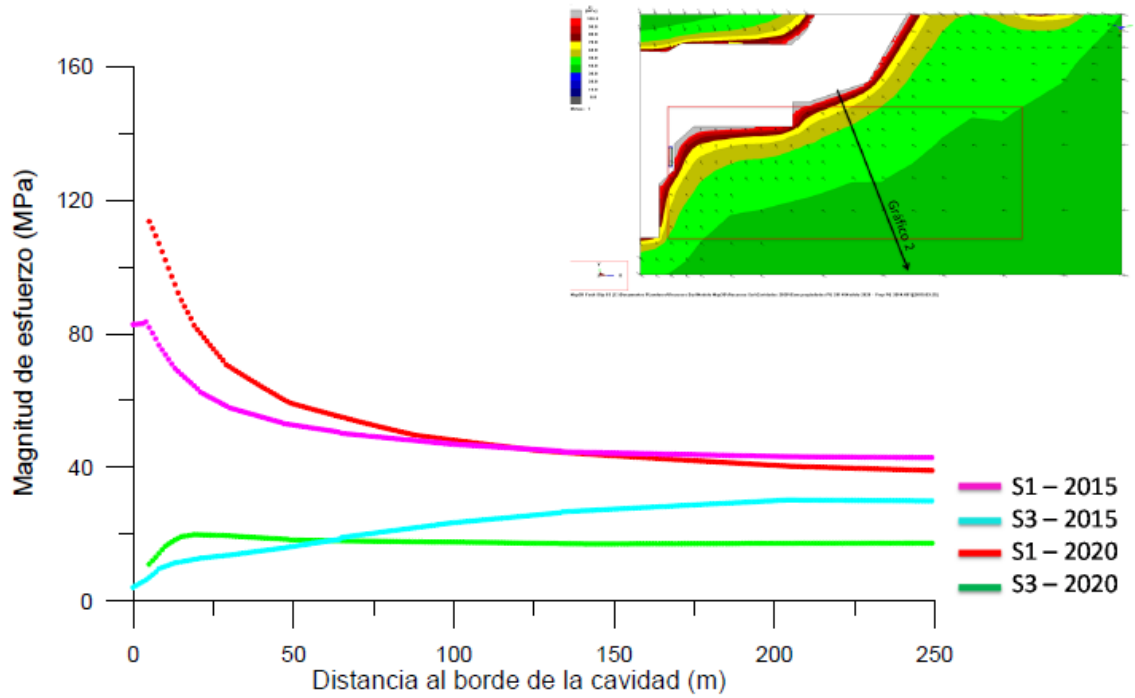


Figura A.1 Esfuerzos Vs Distancia Dirección Sur

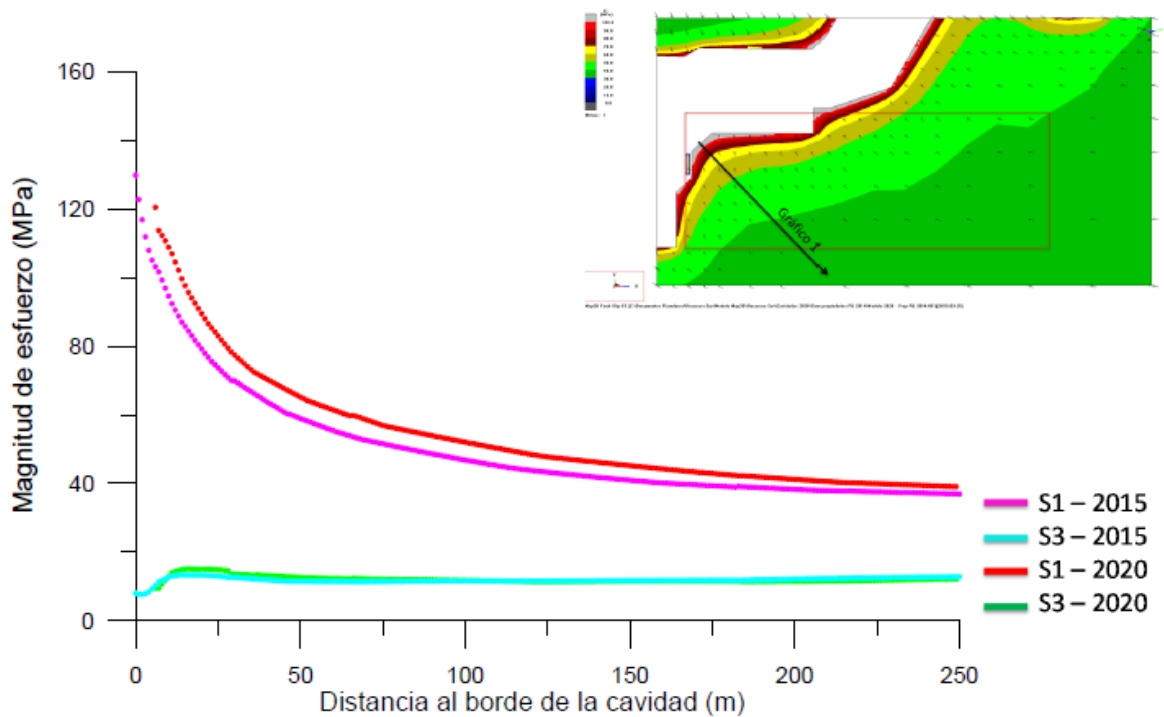


Figura A.2 Esfuerzos Vs Distancia Dirección Sureste

## ANEXO B: Máximos Potenciales de Alternativas de Explotación Subterráneas

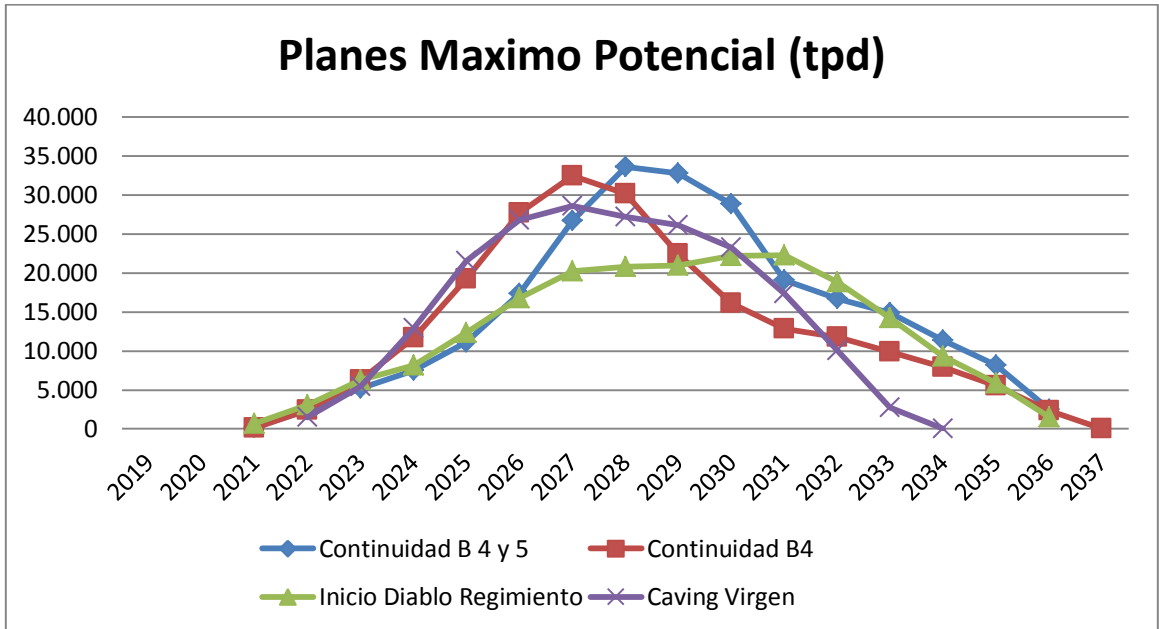


Gráfico B.1 Máximo Potencial de Producción Subterráneo

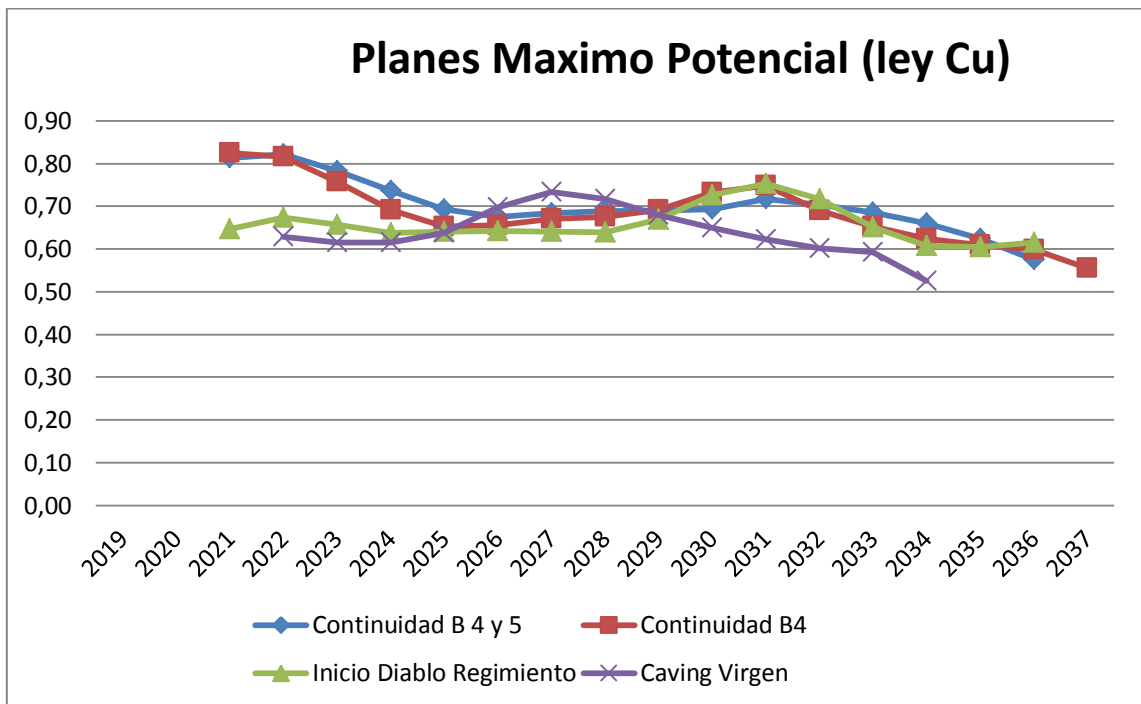


Gráfico B.2 Máximo Potencial de Ley de Cu

## ANEXO C: Detalle de Planes de Producción Subterráneos

Tabla C.1 Plan de Producción Continuidad de Bloques 4 y 5

Año	Días	Producción Diaria [tpd]	Ley CuT [%]	Producción Anual [Mt]	Fino Anual [kt]	Incorporación de área [m2]
2022	360	1.002	0,80	0,36	2,90	3.616
2023	360	4.156	0,80	1,50	11,94	4.396
2024	361	7.023	0,76	2,54	19,18	5.841
2025	360	10.949	0,71	3,94	27,95	12.433
2026	360	16.316	0,68	5,87	39,78	15.278
2027	360	22.150	0,68	7,97	54,06	16.348
2028	361	25.000	0,69	9,03	62,24	11.785
2029	360	25.022	0,71	9,01	63,59	8.131
2030	360	25.066	0,71	9,02	64,32	8.121
2031	360	24.686	0,70	8,89	61,98	8.833
2032	361	17.249	0,69	6,23	43,02	-
2033	360	12.613	0,70	4,54	31,78	-
2034	360	12.563	0,69	4,52	31,09	-
2035	360	12.574	0,67	4,53	30,14	-
2036	361	12.584	0,65	4,54	29,32	-
2037	360	8.495	0,62	3,06	18,89	-
2038	360	715	0,56	0,26	1,45	-

Tabla C.2 Plan de Producción Continuidad Bloque 4

Año	Días	Producción Diaria [tpd]	Ley CuT [%]	Producción Anual [Mt]	Fino Anual [kt]	Incorporación de área [m2]
2022	360	1.002	0,81	0,36	2,92	3.616
2023	360	4.358	0,79	1,57	12,32	5.855
2024	361	8.784	0,74	3,17	23,35	8.819
2025	360	13.051	0,67	4,70	31,65	9.582
2026	360	19.159	0,65	6,90	44,74	12.498
2027	360	22.000	0,66	7,92	51,93	12.002
2028	361	22.000	0,67	7,94	53,16	8.849
2029	360	22.000	0,69	7,92	54,89	5.162
2030	360	22.000	0,71	7,92	56,53	5.162
2031	360	22.000	0,72	7,92	57,20	5.914
2032	361	22.000	0,70	7,94	55,54	5.903
2033	360	18.037	0,66	6,49	43,00	
2034	360	10.463	0,63	3,77	23,41	
2035	360	7.136	0,61	2,57	15,48	
2036	361	3.929	0,60	1,42	8,57	
2037	360	754	0,58	0,27	1,58	

**Tabla C.3 Plan de Producción Inicio Diablo Regimiento**

Año	Días	Producción Diaria [tpd]	Ley CuT [%]	Producción Anual [Mt]	Fino Anual [kt]	Incorporación de área [m2]
2022	360	659	0,65	0,24	1,54	4.844
2023	360	2.674	0,68	0,96	6,51	4.417
2024	361	5.387	0,67	1,94	12,93	6.255
2025	360	8.045	0,65	2,90	18,72	8.348
2026	360	11.655	0,64	4,20	26,86	6.591
2027	360	14.846	0,64	5,34	33,96	6.615
2028	361	15.014	0,63	5,42	34,09	5.924
2029	360	15.040	0,63	5,41	34,33	8.868
2030	360	15.071	0,66	5,43	35,77	8.879
2031	360	15.047	0,72	5,42	38,85	8.833
2032	361	15.061	0,74	5,44	40,32	5.951
2033	360	15.055	0,72	5,42	39,21	
2034	360	15.064	0,71	5,42	38,71	
2035	360	15.073	0,70	5,43	37,88	
2036	361	15.098	0,68	5,45	37,18	
2037	360	15.031	0,64	5,41	34,62	
2038	360	8.441	0,59	3,04	18,08	
2039	360	1.095	0,61	0,39	2,39	

**Tabla C.4 Plan de Producción Caving Virgen**

Año	Días	Producción Diaria [tpd]	Ley CuT [%]	Producción Anual [Mt]	Fino Anual [kt]	Incorporación de área [m2]
2022	360	1.002	0,63	0,36	2,28	13.345
2023	360	4.352	0,61	1,57	9,53	8.795
2024	361	9.896	0,61	3,57	21,83	8.811
2025	360	14.733	0,64	5,30	34,03	9.885
2026	360	19.285	0,68	6,94	47,29	9.543
2027	360	20.021	0,71	7,21	51,08	10.665
2028	361	20.049	0,72	7,24	52,12	10.692
2029	360	20.011	0,71	7,20	51,00	4.119
2030	360	20.109	0,69	7,24	50,27	
2031	360	20.132	0,68	7,25	49,59	
2032	361	20.164	0,66	7,28	47,78	
2033	360	20.085	0,63	7,23	45,27	
2034	360	11.981	0,60	4,31	26,00	
2035	360	1.442	0,58	0,52	3,01	







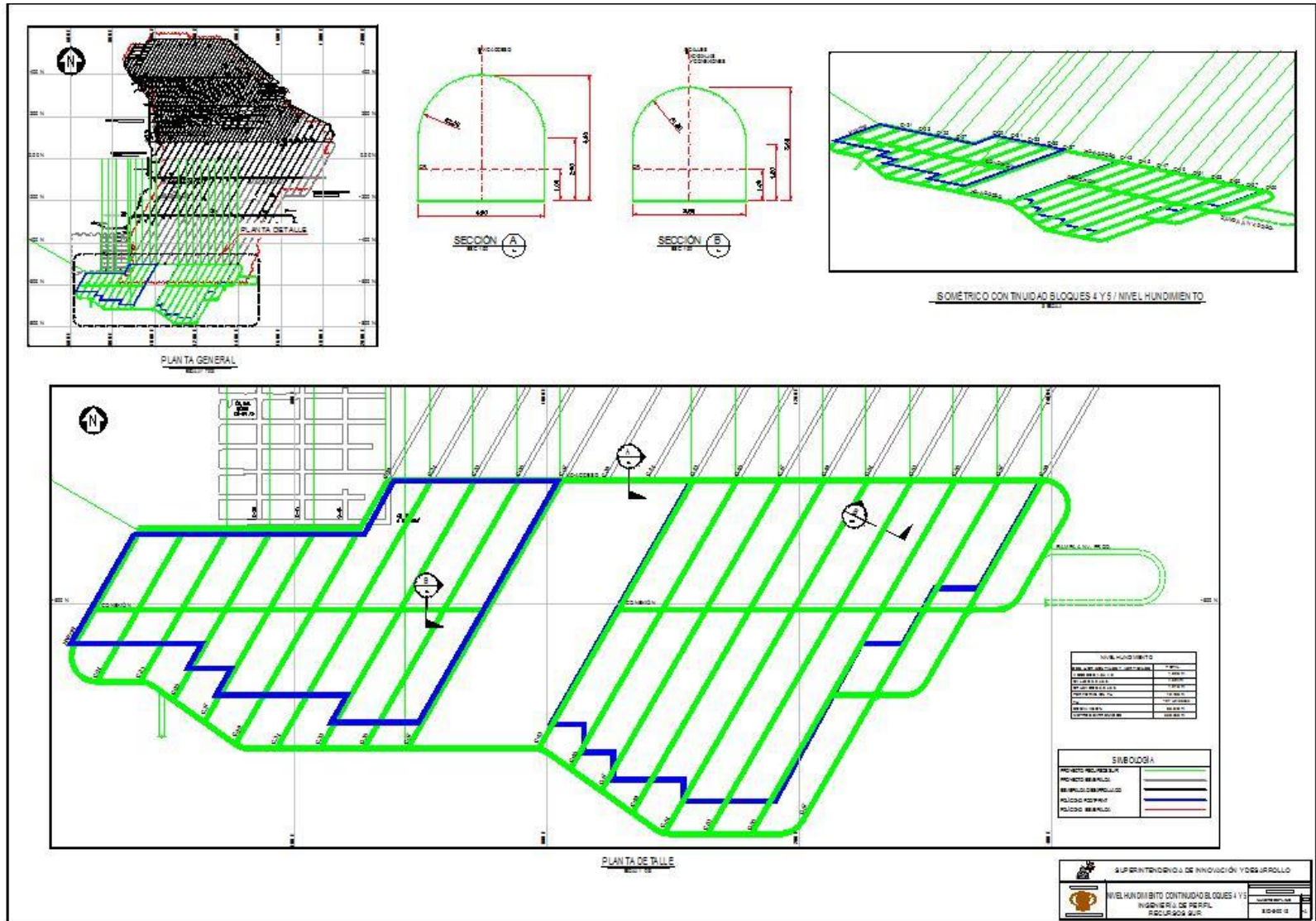


Figura D.3 Planos Nivel de Hundimiento Continuidad B 4 y 5

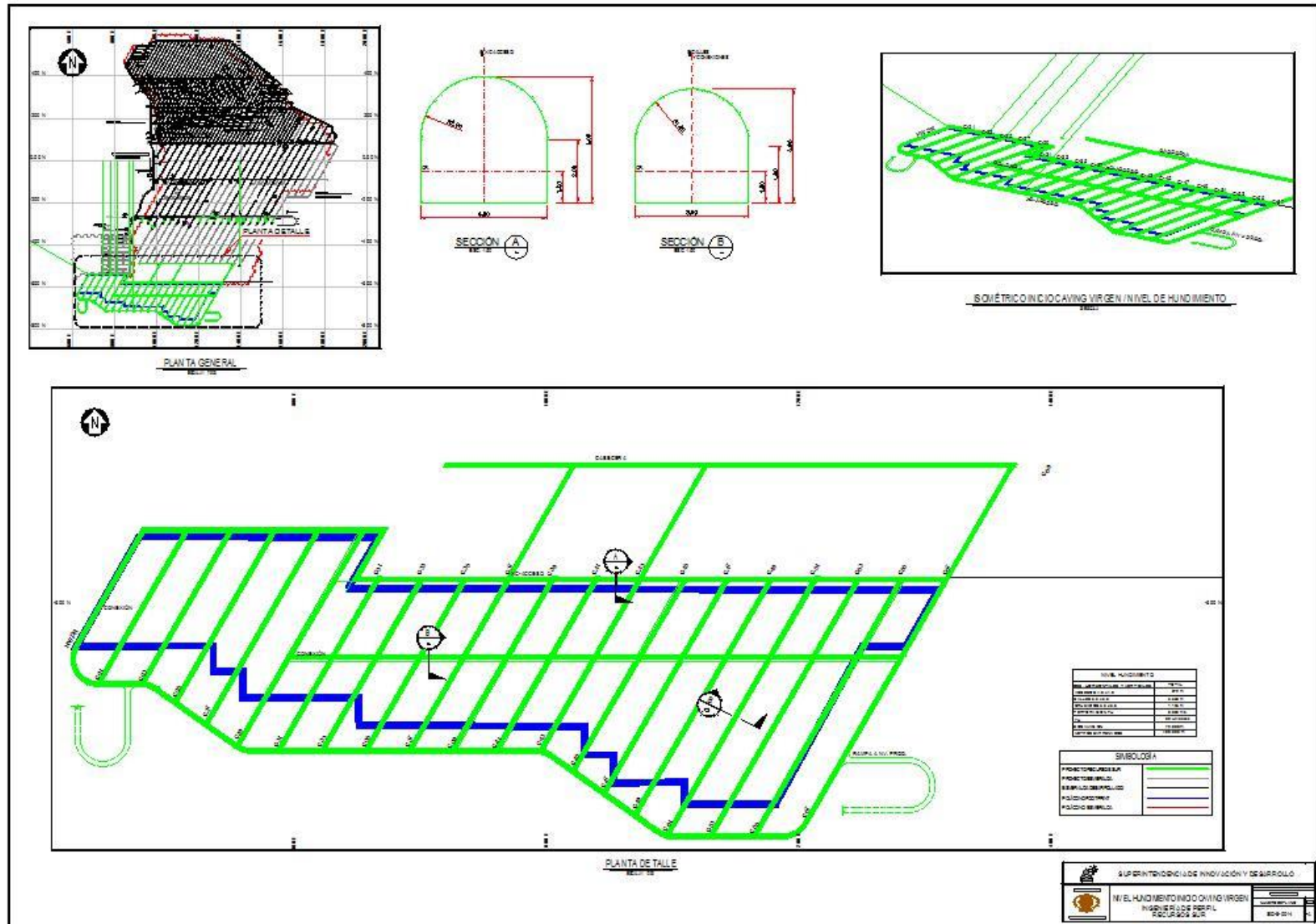


Figura D.4 Planos Nivel de Hundimiento Caving Virgen





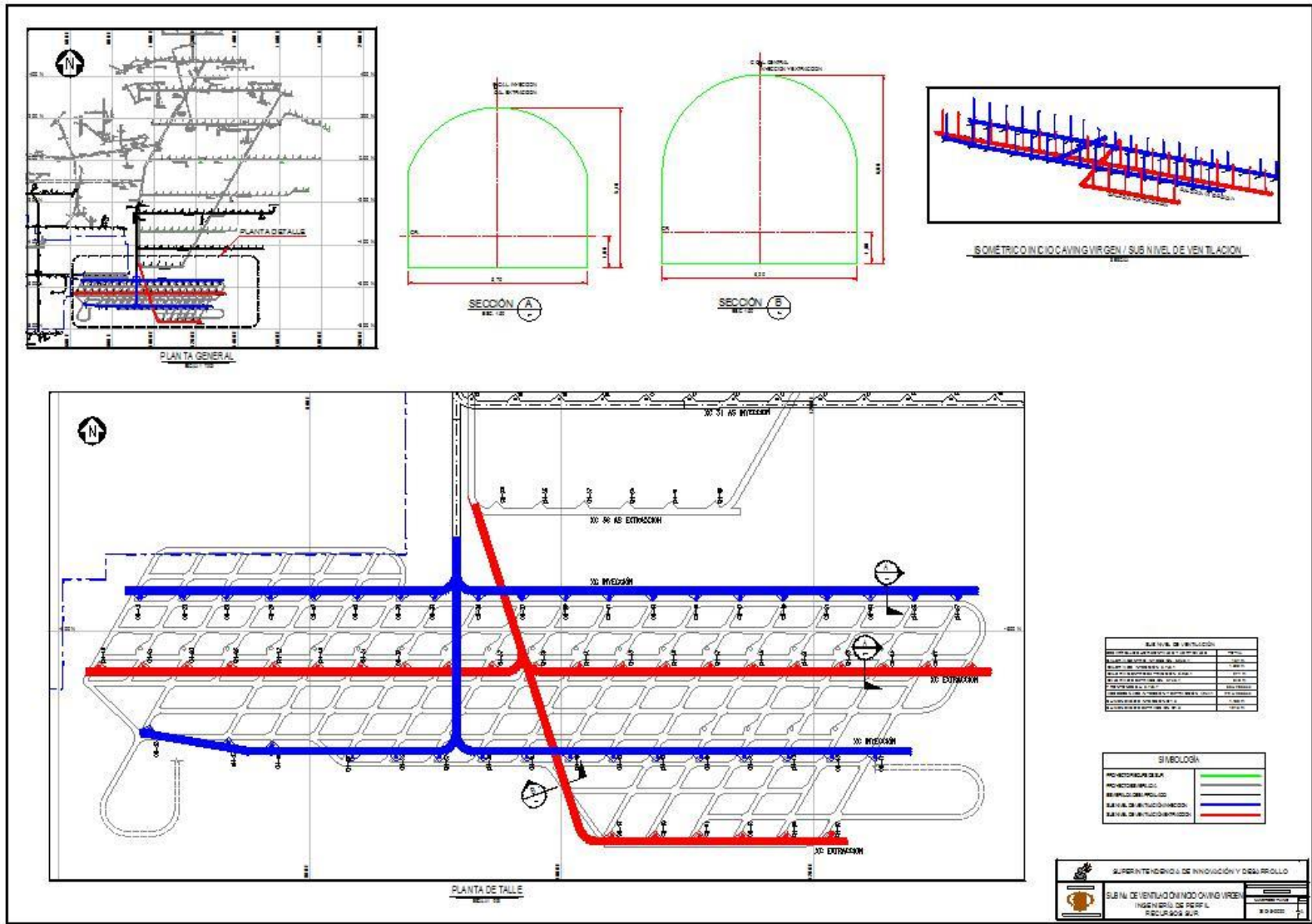


Figura D.6 Planos Subnivel de Ventilación Caving Virgen

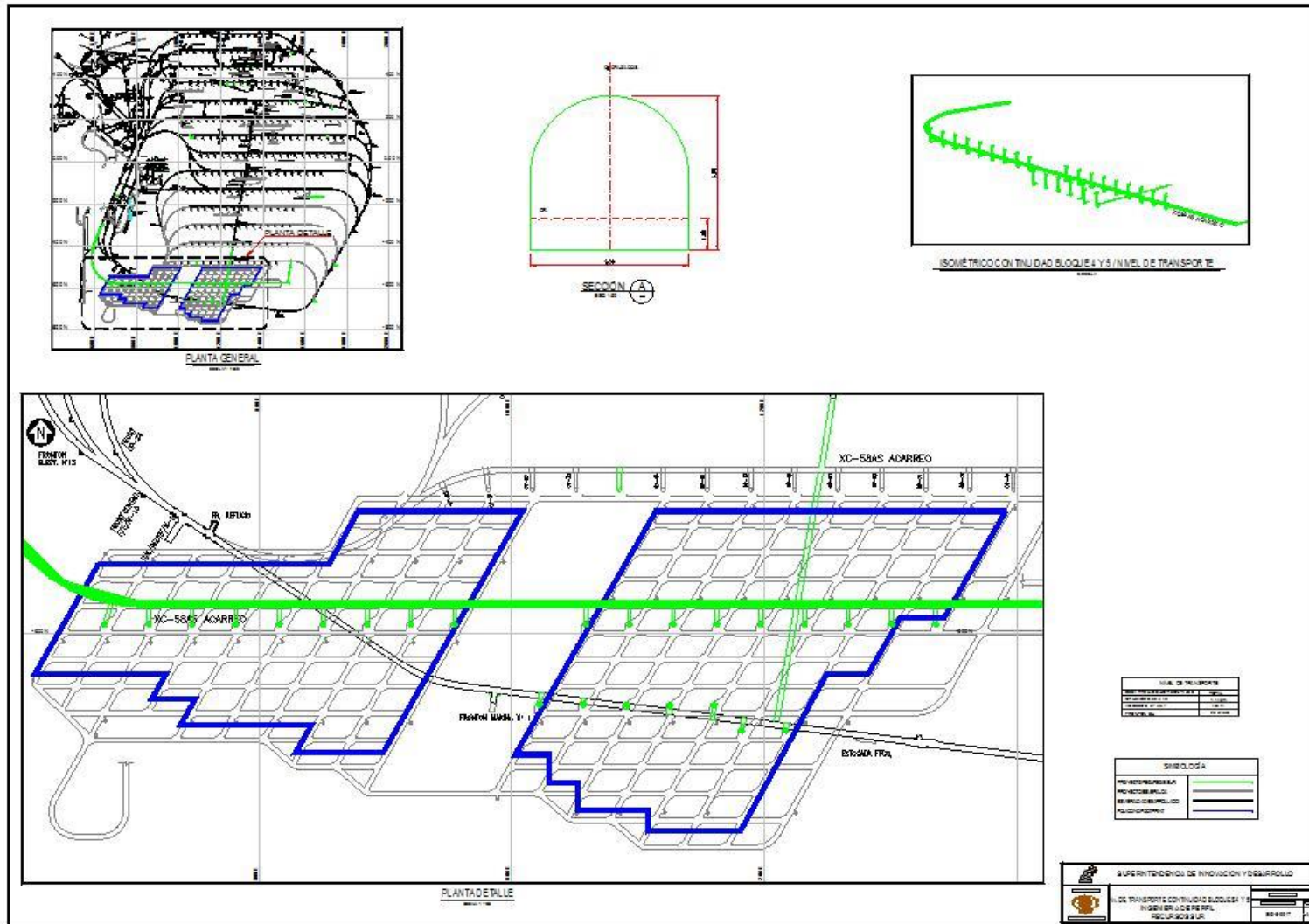


Figura D.7 Planos Subnivel de Ventilación Continuidad B 4 y 5



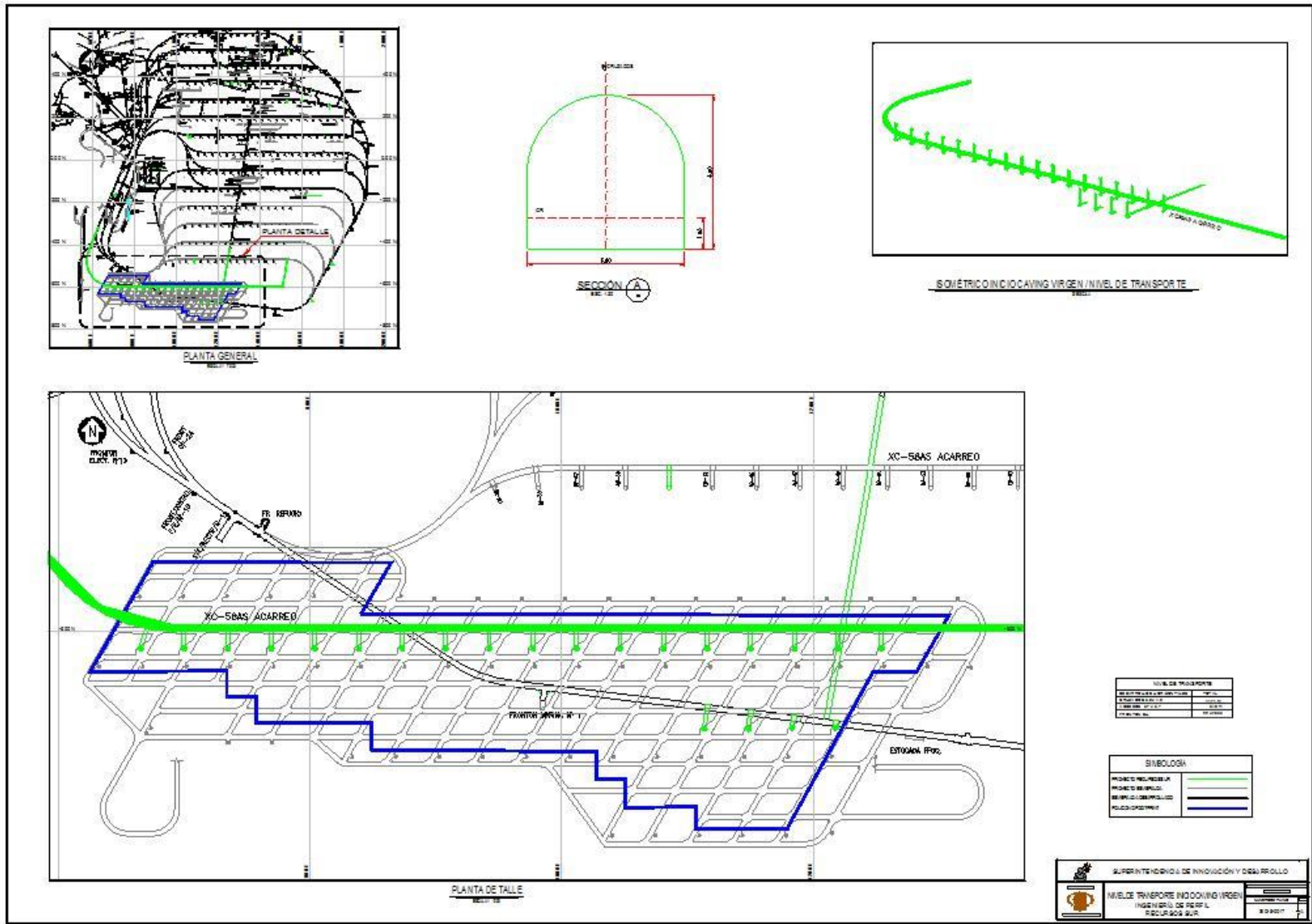


Figura D.8 Planos Subnivel de Ventilación Caving Virgen

# ANEXO E: Evaluación Económica

## Tabla E.1 Evaluación Económica Continuidad de Bloques 4 y 5

Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
Días		360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	
<b>PRODUCCIÓN</b>																										
Plan de Producción	tpd	-	-	-	-	-	-	-	1.002	4.156	7.023	10.949	16.316	22.150	25.000	25.022	25.066	24.686	17.249	12.613	12.563	12.574	12.584	8.495	715	
Ley Cu	%	-	-	-	-	-	-	-	0,80	0,80	0,76	0,71	0,68	0,68	0,69	0,71	0,71	0,70	0,69	0,70	0,69	0,67	0,65	0,62	0,56	
Ley Mo	%	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Mineral Anual	Kton	-	-	-	-	-	-	-	361	1.496	2.535	3.942	5.874	7.974	9.025	9.008	9.024	8.887	6.227	4.541	4.523	4.527	4.543	3.058	257	
Fino Cu	ton	-	-	-	-	-	-	-	2.554	10.510	16.874	24.593	35.005	47.572	54.768	55.962	56.598	54.546	37.858	27.969	27.361	26.525	25.805	16.627	1.274	
Fino Mo	ton	-	-	-	-	-	-	-	72	239	255	325	442	606	689	681	720	731	499	367	349	325	295	174	13	
<b>INGRESOS</b>																										
<b>Precios</b>																										
Cobre	US\$/lb	-	-	-	-	-	-	-	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Molibdeno	USD/ton	-	-	-	-	-	-	-	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
<b>Descuentos</b>																										
Cobre	US\$/lb	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Molibdeno	USD/ton	-	-	-	-	-	-	-	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
<b>Ingresos</b>																										
Cobre	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	12.904	53.107	85.264	124.269	176.876	240.378	276.737	282.775	285.986	275.616	191.296	141.326	138.252	134.031	130.389	84.015	6.439	
Molibdeno	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	1.952	6.445	6.879	8.782	11.936	16.373	18.613	18.377	19.438	19.735	13.484	9.902	9.434	8.765	7.971	4.707	349	
<b>Total Ingresos</b>	<b>kUS\$</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>14.856</b>	<b>59.551</b>	<b>92.143</b>	<b>133.051</b>	<b>188.812</b>	<b>256.750</b>	<b>295.350</b>	<b>301.152</b>	<b>305.424</b>	<b>295.351</b>	<b>204.781</b>	<b>151.228</b>	<b>147.686</b>	<b>142.796</b>	<b>138.360</b>	<b>88.723</b>	<b>6.788</b>	
<b>OPEX</b>																										
<b>Costo Mina</b>	<b>US\$/ton</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	
Sub-Total Mina	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	2.597	10.771	18.255	28.380	42.291	57.412	64.980	64.858	64.971	63.987	44.834	32.694	32.563	32.591	32.709	22.018	1.854	
<b>Costo Planta</b>	<b>US\$/ton</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,2</b>	
Sub-Total Planta	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	3.319	13.763	23.326	36.264	54.039	73.360	83.030	82.873	83.019	81.762	57.288	41.775	41.608	41.644	41.795	28.135	2.369	
<b>TOTAL OPEX</b>	<b>kUS\$</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>5.916</b>	<b>24.534</b>	<b>41.580</b>	<b>64.644</b>	<b>96.330</b>	<b>130.772</b>	<b>148.010</b>	<b>147.731</b>	<b>147.990</b>	<b>145.749</b>	<b>102.122</b>	<b>74.469</b>	<b>74.171</b>	<b>74.235</b>	<b>74.504</b>	<b>50.153</b>	<b>4.223</b>	
<b>CAPEX</b>																										
<b>Preparación Minera</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>16.368</b>	<b>26.108</b>	<b>18.488</b>	<b>29.563</b>	<b>35.356</b>	<b>21.923</b>	<b>8.798</b>	<b>8.012</b>	<b>5.496</b>	<b>3.645</b>	<b>1.942</b>	<b>1.245</b>	<b>70</b>	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Inversiones</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	<b>342</b>	<b>7.574</b>	<b>3.553</b>	<b>3.492</b>	<b>6.212</b>	<b>2.466</b>	<b>8.179</b>	<b>4.932</b>	<b>6.369</b>	<b>4.480</b>	<b>2.466</b>	<b>8.959</b>	<b>9.615</b>	<b>2.466</b>	<b>3.699</b>	<b>2.466</b>	<b>4.932</b>	-	-	
Sub-Total Flota	kUS\$	0	-	-	-	-	342	7.574	3.553	3.492	6.212	2.466	8.179	4.932	6.369	4.480	2.466	8.959	9.615	2.466	3.699	2.466	4.932	-	-	
<b>TOTAL CAPEX</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>16.368</b>	<b>26.450</b>	<b>26.062</b>	<b>33.116</b>	<b>38.848</b>	<b>28.135</b>	<b>11.264</b>	<b>16.191</b>	<b>10.428</b>	<b>10.014</b>	<b>6.422</b>	<b>3.711</b>	<b>9.029</b>	<b>9.615</b>	<b>2.466</b>	<b>3.699</b>	<b>2.466</b>	<b>4.932</b>	-	-	
<b>INGRESOS</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	<b>14.856</b>	<b>59.551</b>	<b>92.143</b>	<b>133.051</b>	<b>188.812</b>	<b>256.750</b>	<b>295.350</b>	<b>301.152</b>	<b>305.424</b>	<b>295.351</b>	<b>204.781</b>	<b>151.228</b>	<b>147.686</b>	<b>142.796</b>	<b>138.360</b>	<b>88.723</b>	<b>6.788</b>	
<b>EXPLORACIÓN</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	<b>225</b>	<b>2.562</b>	<b>2.862</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>COSTOS DE OEPERACIÓN</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	<b>5.916</b>	<b>24.534</b>	<b>41.580</b>	<b>64.644</b>	<b>96.330</b>	<b>130.772</b>	<b>148.010</b>	<b>147.731</b>	<b>147.990</b>	<b>145.749</b>	<b>102.122</b>	<b>74.469</b>	<b>74.171</b>	<b>74.235</b>	<b>74.504</b>	<b>50.153</b>	<b>4.223</b>	
<b>PREPARACIÓN MINERA</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>16.368</b>	<b>26.108</b>	<b>18.488</b>	<b>29.563</b>	<b>35.356</b>	<b>21.923</b>	<b>8.798</b>	<b>8.012</b>	<b>5.496</b>	<b>3.645</b>	<b>1.942</b>	<b>1.245</b>	<b>70</b>	-	-	-	-	-	-	-	
<b>INVERSIONES</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	<b>342</b>	<b>7.574</b>	<b>3.553</b>	<b>3.492</b>	<b>6.212</b>	<b>2.466</b>	<b>8.179</b>	<b>4.932</b>	<b>6.369</b>	<b>4.480</b>	<b>2.466</b>	<b>8.959</b>	<b>9.615</b>	<b>2.466</b>	<b>3.699</b>	<b>2.466</b>	<b>4.932</b>	-	-	
<b>CONTINGENCIAS</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>5.729</b>	<b>9.257</b>	<b>9.122</b>	<b>11.591</b>	<b>13.597</b>	<b>9.847</b>	<b>3.942</b>	<b>5.667</b>	<b>3.650</b>	<b>3.505</b>	<b>2.248</b>	<b>1.299</b>	<b>3.160</b>	<b>3.365</b>	<b>863</b>	<b>1.295</b>	<b>863</b>	<b>1.726</b>	-	-	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	<b>- 225</b>	<b>- 2.562</b>	<b>- 2.862</b>	<b>- 22.097</b>	<b>- 35.707</b>	<b>- 35.184</b>	<b>- 35.767</b>	<b>- 17.428</b>	<b>12.580</b>	<b>53.200</b>	<b>70.624</b>	<b>111.901</b>	<b>133.822</b>	<b>144.751</b>	<b>152.424</b>	<b>137.412</b>	<b>89.678</b>	<b>73.430</b>	<b>68.522</b>	<b>65.232</b>	<b>57.197</b>	<b>38.570</b>	<b>2.566</b>	



Tabla E.2 Evaluación Económica Caving Virgen

Año		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Días		360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360	361	360	360	360
<b>PRODUCCIÓN</b>																						
Plan de Producción	tpd	-	-	-	-	-	-	-	1.002	4.352	9.896	14.733	19.285	20.021	20.049	20.011	20.109	20.132	20.164	20.085	11.981	1.442
Ley Cu	%	-	-	-	-	-	-	-	0,63	0,61	0,61	0,64	0,68	0,71	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,63	0,60	0,58
Ley Mo	%	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mineral Anual	Kton	-	-	-	-	-	-	-	361	1.567	3.573	5.304	6.943	7.207	7.238	7.204	7.239	7.248	7.279	7.231	4.313	519
Fino Cu	ton	-	-	-	-	-	-	-	2.005	8.389	19.206	29.951	41.618	44.954	45.863	44.880	44.236	43.641	42.048	39.837	22.878	2.653
Fino Mo	ton	-	-	-	-	-	-	-	33	131	274	394	518	553	586	619	577	534	491	434	239	26
<b>INGRESOS</b>																						
<b>Precios</b>																						
Cobre	US\$/lb	-	-	-	-	-	-	-	283	283	283	283	283	283	283	283	283	283	283	283	283	283
Molibdeno	USD/ton	-	-	-	-	-	-	-	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
<b>Descuentos</b>																						
Cobre	US\$/lb	-	-	-	-	-	-	-	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Molibdeno	USD/ton	-	-	-	-	-	-	-	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
<b>Ingresos</b>																						
Cobre	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	10.264	42.942	98.319	153.320	213.046	230.125	234.778	229.745	226.449	223.404	215.245	203.930	117.114	13.579
Molibdeno	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	879	3.549	7.398	10.641	13.993	14.936	15.827	16.717	15.567	14.425	13.255	11.721	6.451	709
<b>Total Ingresos</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11144</b>	<b>46491</b>	<b>105716</b>	<b>163960</b>	<b>227040</b>	<b>245061</b>	<b>250605</b>	<b>246462</b>	<b>242016</b>	<b>237829</b>	<b>228500</b>	<b>215650</b>	<b>123566</b>	<b>14288</b>
<b>OPEX</b>																						
<b>Costo Mina</b>	<b>US\$/ton</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>	<b>7,20</b>
Sub-Total Mina	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	2.597	11.280	25.722	38.189	49.988	51.894	52.113	51.867	52.124	52.182	52.410	52.061	31.055	3.737
<b>Costo Planta</b>	<b>US\$/ton</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>
Sub-Total Planta	kUS\$	-	-	-	-	-	-	-	3.319	14.414	32.868	48.797	63.873	66.308	66.588	66.275	66.602	66.677	66.969	66.522	39.681	4.775
<b>TOTAL OPEX</b>	<b>kUS\$</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>5.916</b>	<b>25.694</b>	<b>58.590</b>	<b>86.985</b>	<b>113.861</b>	<b>118.202</b>	<b>118.701</b>	<b>118.142</b>	<b>118.726</b>	<b>118.859</b>	<b>119.379</b>	<b>118.583</b>	<b>70.736</b>	<b>8.512</b>
<b>CAPEX</b>																						
Preparación Minera	kUS\$	0	-	-	-	22.814	33.601	35.927	21.728	10.931	4.646	3.966	3.867	3.734	1.400	1.284	275	-	-	-	-	-
Inversiones	kUS\$	0	-	-	-	-	642	8.939	3.474	4.701	5.260	3.699	2.466	2.466	6.821	3.699	3.699	4.027	2.466	3.699	-	-
Sub-Total Flota	kUS\$	0	-	-	-	-	642	8.939	3.474	4.701	5.260	3.699	2.466	2.466	6.821	3.699	3.699	4.027	2.466	3.699	-	-
<b>TOTAL CAPEX</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>22.814</b>	<b>34.243</b>	<b>44.866</b>	<b>25.202</b>	<b>15.632</b>	<b>9.906</b>	<b>7.665</b>	<b>6.333</b>	<b>6.200</b>	<b>8.221</b>	<b>4.983</b>	<b>3.974</b>	<b>4.027</b>	<b>2.466</b>	<b>3.699</b>	-	-
<b>INGRESOS</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	<b>11.144</b>	<b>46.491</b>	<b>105.716</b>	<b>163.960</b>	<b>227.040</b>	<b>245.061</b>	<b>250.605</b>	<b>246.462</b>	<b>242.016</b>	<b>237.829</b>	<b>228.500</b>	<b>215.650</b>	<b>123.566</b>	<b>14.288</b>
<b>EXPLORACIÓN</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	<b>225</b>	<b>2.562</b>	<b>2.862</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	<b>5.916</b>	<b>25.694</b>	<b>58.590</b>	<b>86.985</b>	<b>113.861</b>	<b>118.202</b>	<b>118.701</b>	<b>118.142</b>	<b>118.726</b>	<b>118.859</b>	<b>119.379</b>	<b>118.583</b>	<b>70.736</b>	<b>8.512</b>
<b>PREPARACIÓN MINERA</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>22.814</b>	<b>33.601</b>	<b>35.927</b>	<b>21.728</b>	<b>10.931</b>	<b>4.646</b>	<b>3.966</b>	<b>3.867</b>	<b>3.734</b>	<b>1.400</b>	<b>1.284</b>	<b>275</b>	-	-	-	-	-
<b>INVERSIONES</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	-	<b>642</b>	<b>8.939</b>	<b>3.474</b>	<b>4.701</b>	<b>5.260</b>	<b>3.699</b>	<b>2.466</b>	<b>2.466</b>	<b>6.821</b>	<b>3.699</b>	<b>3.699</b>	<b>4.027</b>	<b>2.466</b>	<b>3.699</b>	-	-
<b>CONTINGENCIAS</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	-	-	-	<b>7.985</b>	<b>11.985</b>	<b>15.703</b>	<b>8.821</b>	<b>5.471</b>	<b>3.467</b>	<b>2.683</b>	<b>2.217</b>	<b>2.170</b>	<b>2.877</b>	<b>1.744</b>	<b>1.391</b>	<b>1.409</b>	<b>863</b>	<b>1.295</b>	-	-
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>kUS\$</b>	<b>0</b>	<b>- 225</b>	<b>- 2.562</b>	<b>- 2.862</b>	<b>- 30.799</b>	<b>- 46.228</b>	<b>- 60.569</b>	<b>- 28.795</b>	<b>- 306</b>	<b>33.753</b>	<b>66.628</b>	<b>104.629</b>	<b>118.489</b>	<b>120.805</b>	<b>121.593</b>	<b>117.925</b>	<b>113.534</b>	<b>105.792</b>	<b>92.073</b>	<b>52.829</b>	<b>5.776</b>