

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Alcances	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Marco global de la mina	4
2.2. División Chuquicamata, Codelco, Chile	5
2.3. Geología y Geotecnia de Chuquicamata Subterránea	6
2.4. Método de Explotación	7
2.5. Diseño de la mina	16
2.6. Disminución del área disponible	18
2.7. Dilución	19
2.8. Indicadores de Calidad de Extracción	23
2.9. Disminución en la calidad de extracción	29
3. Metodología de Trabajo	30
3.1. Simulación de estrategias de extracción	30
3.2. Comparación de Estrategia Seleccionada vs Estrategia Actual	37
3.3. Definición de Uniformidad mínima resistida por el macizo rocoso	37
3.4. Definición de Estándar Final de extracción ante eventos no Planificados	39
3.5. Cálculo del beneficio económico de la aplicación del estándar	40
4. Resultados y Análisis	41
4.1. Simulación de Estrategias de Extracción	41
4.2. Estrategia Optimizada vs Estrategia Actual	45
4.3. Uniformidad mínima resistida por el macizo rocoso	48
4.4. Estándar Final de extracción ante eventos no Planificados	49
4.5. Beneficios económicos de la aplicación del estándar	52
5. Conclusiones	54
6. Bibliografía	56
Anexos	58
Anexo A.1 Geología Global	58

Anexo A.2 Equipos	63
Anexo A.3 Resultado de las Simulaciones.....	66
Anexo A.4 Simulación vs Realidad	67
Anexo A.5 Datos y Resultados Sobre el Estudio de la Dilución	67
Anexo A.6 Cuantificación Económica.....	72
Anexo A.7 Variables de Entrada para las simulaciones.....	73

Tabla de Figuras

Figura 1 Unidades Geotécnicas Básicas y VIF macro bloques centrales, cota 1.841.	6
Figura 2 Orientación de los esfuerzos principales. Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2014.	7
Figura 3 Método de Block Caving.....	8
Figura 4 Tipos de fragmentación.....	9
Figura 5 Modelo teórico del proceso de caving (Duplancic and Brady, 1999).....	11
Figura 6 Distribución de los macro bloque en el primer nivel de producción.	12
Figura 7 Método de hundimiento y su variante a aplicar en Chuquicamata Subterránea.....	14
Figura 8 Objetivos en cada una de las zonas definidas.	14
Figura 9 Panel caving convencional típico con sistema LHD. Fuente: Cavieres (1999).....	15
Figura 10 Cota de cada nivel de la mina (Fuente: Codelco).	16
Figura 11 Vista en planta macro-bloque N01-S01 (Fuente: Codelco).....	17
Figura 12 Mapa con el nombre de cada PEX. Elaboración Propia.	17
Figura 13 Mapa del MB, en verde los puntos actualmente disponibles. Elaboración Propia.	18
Figura 14 Fenómeno de Rilling. DeWolfe, 1981.....	20
Figura 15 Comparación dilución esperada vs dilución real. Fuente: GRMD, Codelco (Febrero, 2022).	22
Figura 16 Comportamiento de la entrada de dilución (Susaeta, 2004).	25
Figura 17 Relación de entrada de Dilución (flujo aislado) y el porcentaje de tonelaje extraído por columna en Andina. Susaeta 2004.....	27
Figura 18 Disminución de la calidad de extracción a medida que se cuentan con menos horas de operación (elaboración propia).....	29
Figura 19 Parte de una Cartilla de Tiraje típica de Chuquicamata Subterránea.	30
Figura 20 Secuencia de extracción en la estrategia actual, las flechas azules indican la completa extracción de un punto correspondiente a un turno dado.....	31
Figura 21 Secuencia de extracción en la estrategia optimizada.	33
Figura 22 Secuencia de extracción en la estrategia por bloques.	35
Figura 23 Secuencia de extracción en la estrategia intercalada.	36
Figura 24 Proceso de Simulación.	37
Figura 25 Dilución real vs Dilución planificada.....	38
Figura 26 Uniformidad planificada vs Uniformidad real para los meses de Mayo a Septiembre del 2021.	38
Figura 27 En rojo la cantidad de mineral extraído por punto hasta Octubre del 2021.	39
Figura 28 Utilización en el tiempo alcanzada por cada simulación.	41
Figura 29 Adherencia en el tiempo alcanzada por cada simulación.....	42
Figura 30 Uniformidad en el tiempo alcanzada por cada simulación.	43

Figura 31 Producción en el tiempo alcanzada por cada simulación.	44
Figura 32 Comparación entre Simulación Optimizada y Operación Actual para 18 a 24 horas de operación.	45
Figura 33 Comparación entre Simulación Optimizada y Operación Actual para 12 a 18 horas de operación.	46
Figura 34 Comparación entre Simulación Optimizada y Operación Actual para 6 a 12 horas de operación.	46
Figura 35 Comparación entre Simulación Optimizada y Operación Actual para menos de 6 horas de operación.	47
Figura 36 Uniformidad real del macro bloque central en el tiempo.	48
Figura 37 Dilución vs Uniformidad hasta Febrero del 2022.....	48
Figura 38 Estándar Final para la extracción de PEX ante eventos no planificados.	50
Figura 39 Ingreso económico por estrategia.	52
Figura 40 Diferencia entre el beneficio alcanzado cuando los puntos no son limitados por dilución no planificada.	53
Figura 41 Vista 3D de la forma del rajo de Chuquicamata.....	58
Figura 42 Vista en planta de la ubicación geográfica y forma del rajo Chuquicamata.	59
Figura 43 Dominios estructurales proyecto Mina Chuquicamata Subterránea.....	62
Figura 44 Límites Dominios Estructurales nivel 1841 con la identificación de Estructuras Limite.	62
Figura 45 Equipo Sandvik LH621.	63
Figura 46 Equipo Sandvik LH514.	64
Figura 47 Equipo Caterpillar R3000H.	65
Figura 48 Correlación entre dilución, uniformidad y porcentaje de extracción por PEX en diciembre del 2021.....	68
Figura 49 Correlación entre dilución, uniformidad y porcentaje de extracción por PEX en noviembre del 2021.....	68
Figura 50 Correlación entre dilución, uniformidad y porcentaje de extracción por PEX en octubre del 2021.....	69
Figura 51 Correlación entre dilución, uniformidad y porcentaje de extracción por PEX en septiembre del 2021.....	69
Figura 52 Mapa de dilución no planificada (Enero 2022).	72
Figura 53 Plan de producción del año 2022.	72

Índice de Tablas

Tabla 1 reservas, productividad y área total de cada macro bloque.	13
---	----

Tabla 2 Fragmentación esperada según factor de esponjamiento.....	21
Tabla 3 Altura teórica zona de interacción.	21
Tabla 4 Rangos de dilución.....	22
Tabla 5 Rangos y clasificación de la Uniformidad.	23
Tabla 6 Matriz de Uniformidad, adaptado de Susaeta (2004).....	26
Tabla 7 Variación porcentual entre caso con evento y casos con eventos (Elaboración propia).....	29
Tabla 8 Priorización de calles en la estrategia actual.....	32
Tabla 9 Cumplimiento promedio histórico de cada calle.....	34
Tabla 10 priorización de calles para la estrategia optimizada.	34
Tabla 11 Especificaciones técnicas del equipo Sandvik LH621.	63
Tabla 12 Especificaciones técnicas del equipo Sandvik LH514.	64
Tabla 13 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia por bloques.....	66
Tabla 14 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia optimizada.....	66
Tabla 15 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia actual.	66
Tabla 16 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia actual más la extracción del 120% por PEX.	66
Tabla 17 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia intercalada.....	66
Tabla 18 Producción y calidad de extracción obtenida por hora con la simulación de la estrategia intercalada más la extracción del 120% por PEX.	66
Tabla 19 Calidad de extracción entre simulación y data histórica cuando se tienen de 18 a 24 horas de operación.	67
Tabla 20 Calidad de extracción entre simulación y data histórica cuando se tienen de 12 a 18 horas de operación.	67
Tabla 21 Calidad de extracción entre simulación y data histórica cuando se tienen de 6 a 12 horas de operación.	67
Tabla 22 Calidad de extracción entre simulación y data histórica cuando se tienen menos de 6 horas de operación.	67
Tabla 23 Puntos con dilución sobre la planificada a Enero del 2022.	67
Tabla 24 Detalle de cada PEX del MB central y sus vecinos. Parte 1.	70
Tabla 25 Detalle de cada PEX del MB central y sus vecinos. Parte 2.	71
Tabla 26 Calculo de ingresos por estrategia.	72
Tabla 27 Tiempos de ciclo promedio por cada PEX en calles 1N, 1S, 2N y 2S.	73
Tabla 28 Tiempos de ciclo promedio por cada PEX en calles 3N, 3S, 4N y 4S.	73