

## Tabla de Contenido

Agradecimientos.....	v
1 Introducción.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Principal.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Alcances.....	3
1.4 Estructura de la Memoria.....	5
2 Antecedentes.....	6
2.1 Planificación minera.....	6
2.2 Métodos de Explotación Subterráneos Selectivos.....	8
2.2.1 Room & Pillar.....	8
2.2.2 Bench & Fill.....	10
2.3 Dilución.....	13
2.3.1 Equivalent Linear Overbreak/Slough (ELOS).....	14
2.3.2 Método empírico de diseño (Pakalnis, Vongpaisal).....	16
2.4 UDESS.....	18
3 Metodología.....	20
3.1 Recopilación de datos.....	20
3.2 Calibración del Modelo.....	20
3.3 Caso de Estudio.....	22
3.4 Análisis y Conclusiones.....	22
4 Calibración del modelo.....	23
4.1 Room & Pillar.....	23

4.1.1	Actividades y precedencias .....	24
4.1.2	Plan de producción (Enfoque tradicional).....	26
4.1.3	Plan de producción considerando dilución (Enfoque integrado).....	27
4.1.4	Plan de producción considerando razón de exposición (Enfoque integrado).....	28
4.1.5	Análisis caso de prueba Room & Pillar.....	29
4.2	Bench & Fill.....	32
4.2.1	Actividades y precedencias .....	33
4.2.2	Plan de producción (Enfoque tradicional).....	36
4.2.3	Plan de producción considerando dilución (Enfoque integrado).....	37
4.2.4	Plan de producción considerando razón de exposición (Enfoque integrado).....	38
4.2.5	Análisis caso de prueba Bench & Fill .....	39
5	Caso de estudio.....	43
5.1	Antecedentes generales.....	43
5.1.1	Alcances.....	47
5.1.2	Método de Explotación.....	48
5.1.3	Consideraciones operacionales y económicas.....	51
5.2	Modelamiento de Bench & Fill.....	52
5.2.1	Actividades .....	52
5.2.2	Precedencias .....	53
5.3	Resultados.....	55
5.3.1	Plan de producción (Enfoque tradicional).....	55
5.3.2	Plan de producción considerando dilución a través de ELOS (Enfoque integrado)	57
5.3.3	Plan de producción considerando dilución a través de la razón de exposición (Enfoque integrado).....	59
5.3.4	Análisis de resultados .....	61
6	Conclusiones.....	67

7	Recomendaciones y trabajo futuro .....	69
	Bibliografía.....	70
	Anexos .....	72
	A1. Casos de prueba .....	72
	A.1.1 Room & Pillar.....	72
	A.1.2 Bench & Fill .....	75

## Índice de Figuras

Figura 1: Número y participación del total de trabajadores de la pequeña, mediana y gran minería del cobre. ....	1
Figura 2: Clasificación de la planificación minera. ....	6
Figura 3: Clasificación de los métodos subterráneos. ....	8
Figura 4: Vista en planta de una mina explotada por Room & Pillar.....	9
Figura 5: Vista isométrica de perforación en Room & Pillar. ....	10
Figura 6: Vista en perfil de una explotación Bench & Fill.....	11
Figura 7: Vista isométrica de niveles en un Bench & Fill.....	12
Figura 8: Dilución planificada y no planificada. ....	14
Figura 9: Cuantificación de la sobre excavación en las paredes del caserón, sección transversal. ....	15
Figura 10: Caserones aislados. ....	16
Figura 11: Caserones en echelón.....	17
Figura 12: Caserones rib.....	17
Figura 13: Actividades predecesoras y sucesoras.....	18
Figura 14: Precedencias tipo "o" (izquierda) y tipo "y" (derecha). ....	19
Figura 15: Diagrama de la metodología utilizada. ....	20
Figura 16: Diagrama de flujo de la etapa de calibración. ....	21
Figura 17: Diagrama de flujo de la etapa del caso de estudio. ....	22

Figura 18: Disposición de caserones (izquierda) y distribución de leyes (derecha) para Room & Pillar.....	23
Figura 19: Vista en planta del nivel Room & Pillar y precedencias tipo “o”, caso de prueba. ....	25
Figura 20: Plan de producción, Room & Pillar, caso base. ....	26
Figura 21: Plan de producción, Room & Pillar, caso 2. ....	27
Figura 22: Plan de producción, Room & Pillar, caso 3. ....	28
Figura 23: Variación de la ley media por caserón para los casos 1, 2 y 3, Room & Pillar. ....	30
Figura 24: Secuencias de extracción para los casos base (izquierda), 2 (centro) y 3 (derecha), Room & Pillar, caso de prueba.....	31
Figura 25: Layout mina Bench & Fill. ....	32
Figura 26: Secuencia de desarrollo y explotación. ....	32
Figura 27: Vista isométrica de un nivel j de Bench & Fill, caso de prueba. ....	34
Figura 28: Precedencias para Bench & Fill, caso de prueba. ....	35
Figura 29: Plan de producción por período, caso base. ....	36
Figura 30: Plan de producción por período, caso 2. ....	37
Figura 31: Plan de producción por período, caso 3. ....	38
Figura 32: Variación de la ley media por caserón para los casos 1, 2 y 3, Bench & Fill. ....	40
Figura 33: Secuencia de extracción caso base (arriba), caso 2 (al medio) y caso 3 (abajo), Bench & Fill, caso de prueba. ....	42
Figura 34: Vista en planta del depósito epidermal. ....	43
Figura 35: Curva tonelaje-ley para sectores Y y VS. ....	44
Figura 36: Vista en planta nivel 1,175 m, Mina Y. ....	45
Figura 37: Vista isométrica niveles 1187 y 1199, Mina Y Este. ....	46
Figura 38: Vista isométrica, layout final. ....	46
Figura 39: Plan de producción Proyecto B desarrollado por empresa de ingeniería.....	47
Figura 40: Vista en planta de diseño de caserones (izquierda) y diseño de caserones viste isométrica (derecha). ....	48

Figura 41: Bench & Fill - Mining method.....	49
Figura 42: Bench & Fill - Split blasting. ....	50
Figura 43: Bench & Fill - Sequence. ....	50
Figura 44: Empaquetamiento de caserones, elevación 1,175 m este.....	53
Figura 45: Actividades.....	54
Figura 46: Clasificación de precedencias Mina Y.....	54
Figura 47: Plan de producción anual, caso 1. ....	55
Figura 48: Secuencia de extracción Mina Y, escenario 1.....	56
Figura 49: Plan de producción anual, caso 2. ....	57
Figura 50: Secuencia de extracción Mina Y, escenario 2.....	58
Figura 51: Plan de producción anual, escenario 3. ....	59
Figura 52: Secuencia de extracción Mina Y, escenario 3.....	60
Figura 53: Variación de ley media por caserón, escenarios 1, 2 y 3. ....	62
Figura 54: Secuencia de extracción Mina Y, escenario 1 (izquierda), escenario 2 (centro) y escenario 3 (derecha). ....	63
Figura 55: Vista en perfil de los cambios en la secuencia de extracción Mina Y, para escenario 2 (izquierda) y escenario 3 (derecha) con respecto al escenario 1. ....	64
Figura 56: Planes de producción, escenarios 1, 2 y 3. ....	65
Figura 57: Variación de ley media por período, escenarios 1, 2 y 3. ....	65
Figura 58: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 1. ....	73
Figura 59: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 2. ....	74
Figura 60: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 3. ....	75

## Índice de Tablas

Tabla 1: Información archivo de actividades. ....	18
Tabla 2: Precedencias tipo "o" .....	19
Tabla 3: Precedencias tipo "y" .....	19
Tabla 4: Carta Gantt de actividades.....	19
Tabla 5: Parámetros económicos para Room & Pillar. ....	23
Tabla 6: Actividades para Room & Pillar, caso de prueba.....	24
Tabla 7: Precedencias para Room & Pillar, caso de prueba. ....	25
Tabla 8: Tonelaje total para los casos 1, 2 y 3, Room & Pillar. ....	29
Tabla 9: Variación de la ley por caserón para los casos 1, 2 y 3, Room & Pillar. ....	29
Tabla 10: Comparación de resultados para casos 1, 2 y 3, Room & Pillar. ....	30
Tabla 11: Validación para casos 2 y 3, Room & Pillar. ....	31
Tabla 12: Parámetros económicos para Bench & Fill. ....	33
Tabla 13: Actividades para Bench & Fill, caso de prueba. ....	34
Tabla 14: Precedencias para Bench & Fill, caso de prueba.....	35
Tabla 15: Tonelaje total para los casos 1, 2 y 3, Bench & Fill. ....	39
Tabla 16: Variación de la ley por caserón para los casos 1, 2 y 3, Bench & Fill. ....	40
Tabla 17: Comparación de resultados para casos 1, 2 y 3, Bench & Fill. ....	41
Tabla 18: Validación para casos 2 y 3, Bench & Fill. ....	41
Tabla 19: Comparación de la secuencia de extracción para los casos 1, 2 y 3, Bench & Fill. ....	42
Tabla 20: Alternativas de altura de banqueo. ....	48
Tabla 21: Parámetros económicos para Proyecto B. ....	51
Tabla 22: Resumen modelamiento caso de estudio.....	52
Tabla 23: Archivo de actividades, Mina Y.....	53
Tabla 24: Descripción para escenarios 1, 2 y 3, caso de estudio.....	61

Tabla 25: Comparación de resultados de los tres enfoques, caso de estudio. ....	62
Tabla 26: Validación para escenarios 2 y 3, caso de estudio. ....	63
Tabla 27: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 1.....	72
Tabla 28: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 2.....	73
Tabla 29: Secuencia de extracción Room & Pillar, caso 3.....	74
Tabla 30: Secuencia de extracción Bench & Fill, caso 1. ....	76
Tabla 31: Secuencia de extracción Bench & Fill, caso 2. ....	79
Tabla 32: Secuencia de extracción Bench & Fill, caso 3. ....	82