

# Tabla de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	2
1.1.1. Objetivo general . . . . .	2
1.1.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.2. Alcances . . . . .	2
1.3. Metodología de Trabajo . . . . .	3
1.4. Contenidos por Capítulo . . . . .	5
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
2.1. Planificación minera . . . . .	6
2.1.1. Planificación de la preparación minera . . . . .	6
2.2. Métodos de explotación subterráneos selectivos . . . . .	7
2.2.1. Room-and-pillar . . . . .	8
2.2.2. Cut-and-fill . . . . .	8
2.2.3. Sublevel stoping . . . . .	10
2.3. Parámetros geomecánicos . . . . .	11
2.3.1. Dilución . . . . .	11
2.3.2. Calidad de macizo rocoso . . . . .	13
2.4. Indicadores de gestión logísticos . . . . .	15
2.5. Simulación de eventos discretos . . . . .	16
2.6. Tiempos . . . . .	18
2.6.1. Norma ASARCO . . . . .	18
2.7. UDESS . . . . .	20
2.7.1. Archivos de entrada . . . . .	21
2.7.2. Archivo de salida . . . . .	23
2.8. DSIM . . . . .	24

<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
3.1. Metodología de la optimización . . . . .	26
3.1.1. Recopilación de antecedentes . . . . .	26
3.1.2. Calibración y validación de UDESS . . . . .	26
3.1.3. Implementación y evaluación de caso de estudio en función a multicriterios . . . . .	27
3.2. Metodología de la simulación . . . . .	29
3.2.1. Dinámica Operacional de minería subterránea selectiva en DSIM . . . . .	32
3.2.2. Parámetros Operacionales . . . . .	34
3.2.3. Interpretación de incertidumbre operacional . . . . .	34
3.2.4. Lógica de equipos . . . . .	35
3.2.5. Elección de frente . . . . .	41
3.3. Retroalimentación de datos . . . . .	42
3.4. Índices de comparación de modelos . . . . .	42
<b>4. EJERCICIO DE APLICACIÓN SUBLEVEL STOPING</b>	<b>46</b>
4.1. Descripción del estudio . . . . .	46
4.2. Resultados y Análisis . . . . .	50
4.2.1. Cálculo determinístico . . . . .	50
4.2.2. Modelo de simulación . . . . .	51
4.2.3. Comparación . . . . .	57
<b>5. CASO DE ESTUDIO BENCH-AND-FILL</b>	<b>58</b>
5.1. Descripción del estudio . . . . .	58
5.2. Tipos de estudios realizados . . . . .	63
5.3. Resultados y Análisis . . . . .	64
5.3.1. Estudio de variabilidad de réplicas . . . . .	64
5.3.2. Resultados modelo de optimización . . . . .	65

5.3.3.	Resultados modelo de simulación . . . . .	67
5.3.4.	Indicadores comparativos de modelo de optimización y simulación . . . . .	91
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>95</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>96</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>98</b>
9.1.	ANEXO A: ABSTRACT MININ 2016 . . . . .	98
9.2.	ANEXO B: INFORMACIÓN CASOS . . . . .	99
9.2.1.	Ciclo efectivo de equipos . . . . .	99
9.2.2.	Distribuciones utilizadas . . . . .	103
9.3.	ANEXO C: FÓRMULAS DE MODELO DE OPTIMIZACIÓN . . . . .	104
9.3.1.	Sin dilución . . . . .	104
9.3.2.	Con dilución . . . . .	105
9.4.	ANEXO D: RESULTADOS . . . . .	107
9.4.1.	Indicadores . . . . .	107
9.4.2.	Distribución tiempos ejercicio de aplicación SLS . . . . .	108
9.4.3.	Distribución tiempos caso estudio bench-and-fill . . . . .	110

# Índice de tablas

2.1. Distribución de tiempos según Norma ASARCO . . . . .	19
2.2. Ejemplo archivo de actividades . . . . .	22
2.3. Ejemplo archivo de precedencias . . . . .	22
2.4. Ejemplo archivo output en función de porcentaje de actividad desarrollado .	23
3.1. Parámetros de valorización de mina . . . . .	29
4.1. Número de equipos ejercicio de aplicación SLS . . . . .	49
4.2. Datos de entrada de cálculo determinístico . . . . .	49
4.3. Distancias y productividades circuito caserón - punto de vaciado . . . . .	50
4.4. Productividad cálculo determinístico caso 1, 2 y 3 . . . . .	50
4.5. Comparación resultados determinístico y simulaciones . . . . .	57
5.1. Número de equipos caso de estudio . . . . .	63
5.2. Rendimiento conjunto equipos DSIM en Iteración 0 . . . . .	65
5.3. Restricciones por periodo en modelo de optimización . . . . .	66
5.4. Resultados de modelo de optimización usando UDESS . . . . .	66
5.5. Factor de desviación $D_h$ en plan desarrollo de caso de estudio . . . . .	67
5.6. Porcentaje de regularidad $C_h$ en plan desarrollo de caso de estudio . . . . .	67
5.7. Factor de adherencia y promedio cumplimiento en inicio de plan desarrollo .	91
5.8. Factor de adherencia y promedio cumplimiento en término de plan desarrollo	91
5.9. Factor de adherencia y promedio cumplimiento en inicio de plan explotación	92
5.10. Factor de adherencia y promedio cumplimiento en término de plan explotación	92
9.1. Número de tareas que superan el umbral de cumplimiento de inicio . . . . .	107
9.2. Número de tareas que superan el umbral de cumplimiento de término . . . . .	107

# Índice de figuras

1.1. Proceso interactivo entre planificación y evaluación . . . . .	3
1.2. KPI's en función del tiempo . . . . .	5
2.1. Vista planta de mina room-and-pillar. ( <i>Zipf 2001</i> ) . . . . .	8
2.2. Cut-and-fill mecanizado con relleno no cementado. ( <i>Stephan, 2013</i> ) . . . . .	9
2.3. Bench-and-fill. ( <i>Stephan, 2013</i> ) . . . . .	9
2.4. Sublevel open stoping. ( <i>Scoble and Moss,1994</i> ) . . . . .	10
2.5. Dilución planificada y no planificada. ( <i>Scoble y Moss 1994</i> ) . . . . .	12
2.6. Sistema GSI ( <i>Hoek and Marinos 2000</i> ) . . . . .	14
2.7. Proceso de implementación de indicadores de gestión logística. ( <i>Cornejo 2014</i> )	15
2.8. Restricciones de precedencias del tipo “o” ( <i>Rocher 2012</i> ) . . . . .	23
2.9. Vista planta de mina cielo abierto genérica en DSIM . . . . .	24
3.1. Precedencias de actividades de caso de estudio . . . . .	27
3.2. Etapas para la construcción del modelo de simulación. ( <i>Banks 1999</i> ) . . . . .	31
3.3. Distribución de tiempo de modelo de simulación en base diaria . . . . .	35
3.4. Ciclo general de equipos . . . . .	36
3.5. Ciclo efectivo de equipo LHD . . . . .	37
3.6. Ciclo efectivo de equipo Jumbo . . . . .	38
3.7. Ciclo efectivo de equipo Simba . . . . .	39
3.8. Ciclo efectivo de equipo Camión Backfill . . . . .	40
4.1. Vista isométrica layout SLS . . . . .	46
4.2. Vistas principales ejercicio SLS . . . . .	47
4.3. Rendimiento LHDs en ejercicio SLS . . . . .	52
4.4. Rendimiento jumbos en ejercicio SLS . . . . .	53
4.5. Rendimiento simbas en ejercicio SLS . . . . .	54
4.6. Productividad LHDs en un día . . . . .	55

4.7. Distribución de tiempo equipos caso 2 . . . . .	56
5.1. Vista Proyecto B. con 5 niveles . . . . .	58
5.2. Vista isométrica caso de estudio <i>bench-and-fill</i> . . . . .	58
5.3. Principales vistas caso de estudio <i>bench-and-fill</i> . . . . .	59
5.4. Proceso de desarrollo, extracción y relleno de frentes . . . . .	62
5.5. Variabilidad de tonelaje movido en roca regular . . . . .	65
5.6. Plan de producción en calidad roca buena . . . . .	69
5.7. Rendimiento diario equipos LHD en calidad roca buena . . . . .	70
5.8. Rendimiento mensual equipos jumbo en calidad roca buena . . . . .	71
5.9. Rendimiento mensual equipos simba en calidad roca buena . . . . .	72
5.10. Distribución tiempo equipos LHD en calidad roca buena . . . . .	73
5.11. Distribución tiempo equipos jumbo en calidad roca buena . . . . .	74
5.12. Distribución tiempo equipos simba en calidad roca buena . . . . .	75
5.13. Plan de producción en calidad roca regular . . . . .	77
5.14. Rendimiento diario equipos LHD en calidad roca regular . . . . .	78
5.15. Rendimiento mensual equipos jumbo en calidad roca regular . . . . .	79
5.16. Rendimiento mensual equipos simba en calidad roca regular . . . . .	80
5.17. Plan de producción en calidad roca mala . . . . .	82
5.18. Rendimiento diario equipos LHD en calidad roca mala . . . . .	83
5.19. Rendimiento mensual equipos jumbo en calidad roca mala . . . . .	84
5.20. Rendimiento mensual equipos simba en calidad roca mala . . . . .	85
5.21. Plan de producción calidad roca buena con dilución . . . . .	87
5.22. Rend. diario equipos LHD en calidad roca buena con dilución . . . . .	88
5.23. Rend. mensual equipos jumbo en calidad roca buena con dilución . . . . .	89
5.24. Rend. mensual equipos simba en calidad roca buena con dilución . . . . .	90
9.1. Ciclo efectivo de equipo anfo . . . . .	99

9.2. Ciclo efectivo de equipo acuñador . . . . .	100
9.3. Ciclo efectivo de equipo boltec . . . . .	101
9.4. Ciclo efectivo de equipo shotcretera . . . . .	102
9.5. Distribución de tiempos equipos ejercicio SLS caso 1 . . . . .	108
9.6. Distribución de tiempo equipos ejercicio SLS caso 3 . . . . .	109
9.7. Distribución tiempo equipos LHD en calidad roca regular . . . . .	110
9.8. Distribución tiempo equipos jumbo en calidad roca regular . . . . .	111
9.9. Distribución tiempo equipos simba en calidad roca regular . . . . .	112
9.10. Distribución tiempo equipos LHD en calidad roca mala . . . . .	113
9.11. Distribución tiempo equipos jumbo en calidad roca mala . . . . .	114
9.12. Distribución tiempo equipos simba en calidad roca mala . . . . .	115
9.13. Distribución tiempo equipos LHD en calidad roca buena con dilución . . . . .	116
9.14. Distribución tiempo equipos jumbo en calidad roca buena con dilución . . . . .	117
9.15. Distribución tiempo equipos simba en calidad roca buena con dilución . . . . .	118