

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
1.1	Descripción del problema.....	2
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Alcances.....	2
1.4	Metodología	3
1.5	Organización del trabajo	6
2.	Antecedentes.....	7
2.1	Minería a cielo abierto.....	7
2.2	Planificación y diseño minero.....	7
2.3	Horizonte de planificación	8
2.4	Operaciones unitarias de carguío y transporte.....	9
2.4.1	Etapas de la operación de carguío y transporte	9
2.4.2	Equipos de carguío y transporte	9
2.5	Programación lineal.....	10
2.6	Gestión del tiempo	11
2.6.1	Definición de tiempos	11
2.6.2	Distribución de tiempos	12
2.6.3	Índices operacionales	12
2.7	Dimensionamiento de equipos.....	13
2.7.1	Equipos de carguío.....	13
2.7.2	Equipos de transporte.....	14
2.8	Simulación de un proceso minero	15
2.8.1	Definición.....	15
2.8.2	Ventajas y desventajas de usar simulaciones	15
2.8.3	Aplicaciones en minería.....	16
2.8.4	Determinación del número de réplicas	17
2.9	Adherencia a un plan de producción	17
2.9.1	Indicador de adherencia de material.....	17
2.9.2	Curva de adherencia de material.....	18
2.9.3	Cumplimiento.....	18
3.	Modelo de optimización	19
3.1	Herramienta DOPSA.....	19

3.1.1	Requisitos.....	20
3.2	Problema de programación lineal entero mixto.....	20
3.2.1	Input de modelo de optimización.....	20
3.2.2	Variables de modelo de optimización.....	21
3.2.3	Restricciones del modelo de optimización.....	22
3.2.4	Función objetivo.....	25
3.2.5	Métodos de resolución.....	25
3.2.6	Nomenclatura para resultados de planes.....	26
4.	Delphos Open Pit Simulator (DSim OP).....	27
4.1	Layout.....	27
4.2	Chancador.....	27
4.3	Frentes y locaciones.....	28
4.4	Flota de equipos.....	28
4.5	Eventos y mantenencias.....	28
4.6	Plan de extracción.....	28
5.	Caso de estudio.....	29
5.1	Descripción de escenarios.....	34
5.2	Modelamiento de precedencias entre frentes de un mismo banco.....	35
5.3	Descripción de experimentos de simulación.....	36
5.4	Demoras programadas en simulaciones.....	37
6.	Resultados.....	39
6.1	Planificación mediante DOPSA.....	39
6.2	Experimentos de tiempos de ciclo de transporte.....	41
6.2.1	Tiempo de ciclo puro.....	41
6.2.2	Tiempo de ciclo con pérdidas operacionales.....	42
6.2.3	Tiempo de ciclo con pérdidas operacionales por periodo.....	43
6.3	Estimación de flota de equipos de transporte.....	44
6.3.1	Número de camiones para tiempos de ciclo puros.....	44
6.3.2	Número de camiones para tiempos de ciclo con pérdidas operacionales.....	44
6.3.3	Número de camiones para tiempos de ciclo con pérdidas operacionales por periodo.....	45
6.4	Plan Min DM (Min DE) NC1.....	46
6.4.1	Experimento con tiempos de ciclos puros.....	46
6.4.2	Experimento con tiempos de ciclo con pérdidas operacionales.....	49
6.4.3	Experimento con tiempos de ciclo con pérdidas operacionales por periodo.....	52

6.5	Plan Min DE (Min DM) NC1	54
6.5.1	Experimento con tiempos de ciclos puros	55
6.5.2	Experimento con tiempos de ciclo con pérdidas operacionales	57
6.6	Plan Min DM NC1.....	59
6.6.1	Experimento con tiempos de ciclo puros	60
6.6.2	Experimento con tiempos de ciclo con pérdidas operacionales	62
6.7	Plan Min DE NC1	64
6.7.1	Experimento con tiempos de ciclo puros	65
6.7.2	Experimento con tiempos de ciclo con pérdidas operacionales	67
6.8	Indicadores de adherencia	69
7.	Conclusiones	72
8.	Recomendaciones	74
9.	Bibliografía.....	75
10.	Anexos	77
10.1	Anexo A: Asignación de palas en bancos según plan.	77
10.2	Anexo B: Selección de número de réplicas.....	81
10.3	Anexo C: Tiempo efectivo de palas	90
10.4	Anexo D: Actividades de cada pala en simulaciones.....	112
10.5	Anexo E: Programación de demoras programadas DSim OP	135