

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema	1
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 de la memoria	3
2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	5
2.1. Planificación minera a cielo abierto.....	5
2.2. El problema del pit final	6
2.3. Metodología tradicional basada en pits anidados	7
2.3.1. Secuenciamiento de bloques basado en los límites del pit final.....	7
2.3.2. Generación de pit anidados.....	8
2.3.3. Generación de fases y Construcción del plan de producción	9
2.3.4. Diseño minero y suavizamiento del plan de producción	11
2.4. Estudios de diseño de fases.....	11
2.5. El enfoque integral del secuenciamiento de bloques	13
2.6. Herramienta DOPPLER.....	14
2.7. La formulación del CPIT	14
2.8. Algoritmos genéticos	16
2.8.1. Definición de un AG	17
2.8.2. Terminología	18
2.8.3. Operadores genéticos.....	18
2.8.4. Funcionamiento	19
2.8.5. Ventajas y desventajas.....	19
2.9. Algoritmos genéticos y Planificación Minera	20
2.10. Algoritmos de Agrupamiento.....	21
2.10.1. Algoritmo Mean Shift.....	21
2.10.2. Algoritmo <i>K</i> -means.....	22
2.11. Consideraciones Geométricas en una mina a cielo abierto	23
2.11.1. Componentes geométricas de un banco.....	24
2.11.2. Diseño de accesos	25
2.11.3. Ancho mínimo de operación en carguío	26

3. ALGORITMO GENÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE FASES EN MINAS A CIELO ABIERTO.....	28
3.1. Descripción del Algoritmo genético	28
3.1.1. Representación de un individuo	28
3.1.2. Operadores Genéticos.....	29
3.1.3. Agrupamiento de bloques en fases	30
3.1.4. Evaluación de individuo	31
3.2. Diseño minero y suavizamiento del plan de producción	32
4. CASO ESTUDIO	33
4.1. Modelo de bloques.....	33
4.2. Valorización del modelo de bloques.....	34
4.3. Metodología Tradicional.....	34
4.3.1. Generación de pit anidados.....	34
4.3.2. Definición del pit final.....	35
4.3.3. Agendamiento tipo Best Case.....	36
4.3.4. Agendamiento tipo Worst Case.....	37
4.3.5. Generación de fases y plan de producción	38
4.4. Cálculo de consideraciones geométricas para el diseño	41
4.4.1. Determinación de los parámetros geométricos de un banco	41
4.4.2. Determinación de los parámetros de diseño de accesos	41
4.4.3. Cálculo del ancho mínimo de operación de carguío.....	42
4.5. Aplicación con Algoritmos Genéticos	42
4.5.1. Parámetros del Algoritmo <i>K</i> -means	42
4.5.2. Modificación radio del cono truncado.....	45
4.5.3. Tamaño de población y número de generaciones.....	45
4.5.1. Plan de producción	50
4.5.2. Diseño minero y suavizamiento del plan de producción	53
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
5.1. Análisis comparativo entre Metodología Tradicional y Metodología con Algoritmos Genéticos	58
5.2. Análisis comparativo entre agendamiento previo y posterior al diseño minero.....	61
5.3. Ventajas de la metodología con Algoritmos genéticos.....	62
5.4. Desventajas de la metodología con Algoritmos genéticos	62
6. CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	68

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2.1 Fórmula para valorización del modelo de bloques	8
Ecuación 2.2 Conjunto de ecuaciones que representa el modelo de optimización de Johnson	15
Ecuación 2.3 Conjunto de ecuaciones que representa el C-PIT	16
Ecuación 2.4 Cálculo del ancho de berma.....	24
Ecuación 2.5 Cálculo del ancho de rampa.....	25
Ecuación 2.6 Cálculo del pretil.....	26
Ecuación 2.7 Cálculo de ancho mínimo de carguío, dos puntos de carguío	26
Ecuación 2.8 Parámetros para el cálculo del ancho mínimo de carguío para un punto de carguío	26
Ecuación 3.1 Tasa de crecimiento del radio del cono truncado	31
Ecuación 4.1 Valorización del modelo de bloques	34

Índice de Ilustraciones

Ilustración 2.1 Vista en planta (izquierda) y vista isométrica (derecha) de un conjunto de pit anidados	9
Ilustración 2.2 Fases conceptuales generadas a partir de un conjunto de pit anidados	10
Ilustración 2.3 Funcionamiento de un algoritmo genético	19
Ilustración 2.4 Funcionamiento del algoritmo Mean Shift.....	22
Ilustración 2.5 Funcionamiento de algoritmo K-means	23
Ilustración 2.6 Componentes de un banco.....	24
Ilustración 2.7 Parámetros para cálculo de ancho de rampa.....	25
Ilustración 2.8 Parámetros para el cálculo del ancho mínimo para dos puntos de carguío	26
Ilustración 2.9 Parámetros para el cálculo del ancho mínimo, un punto de carguío	27
Ilustración 3.1 Vista en sección de un cono truncado y sus elementos	29
Ilustración 3.2 Representación de un individuo a través de un cono truncado	29
Ilustración 3.3 Proceso de cruzamiento simple, dos padres-dos hijos.....	30
Ilustración 3.4 Proceso de mutación, un padre-un hijo	30
Ilustración 4.1 Curva Tonelaje - Ley.....	33
Ilustración 4.2 Vista isométrica (izquierda), vista en sección-YZ (derecha) del modelo de bloques con leyes de mineral	33
Ilustración 4.3 Vista en planta del conjunto de pit anidados	34
Ilustración 4.4 Vista isométrica del conjunto de pit anidados	35
Ilustración 4.5 Vista en sección y en planta del modelo de bloques con su pit final	35
Ilustración 4.6 Vista en sección e isométrica de una extracción tipo Best Case	36
Ilustración 4.7 Plan de producción para una extracción Best Case	37
Ilustración 4.8 Vista en sección e isométrica de una extracción tipo Worst Case	37
Ilustración 4.9 Plan de producción para una extracción Worst Case	38
Ilustración 4.10 Pits anidados agrupados en fases.....	39
Ilustración 4.11 Vista en sección e isométrica de una extracción tipo Fase-banco-destino con pit anidados	39
Ilustración 4.12 Plan de producción para una extracción Fase-Banco-Destino con pit anidados en fases	40
Ilustración 4.13 Comportamiento del VAN en función del número de clúster	43
Ilustración 4.14 Variación del VAN en función del número de generaciones	45
Ilustración 4.15 Vista isométrica y en planta de fases para un tamaño de población 10 y 10 generaciones	46
Ilustración 4.16 Vista isométrica y en planta de fases para un tamaño de población 50 y 50 generaciones	46
Ilustración 4.17 Vista isométrica y en planta de fases para un tamaño de población 100 y 100 generaciones	47
Ilustración 4.18 Plan de producción para un tamaño de población 10 y 10 generaciones	51
Ilustración 4.19 Plan de producción para un tamaño de población 50 y 50 generaciones	52
Ilustración 4.20 Plan de producción para un tamaño de población 100 y 200 generaciones	53
Ilustración 4.21 Vista isométrica y en planta de fases para un tamaño de población 100 y 200 generaciones	53
Ilustración 4.22 Comparación de la cantidad de minera y estéril, valor del VAN entre tres experimentos con diferentes planes genéticos.....	54
Ilustración 4.23 Vista en planta del diseño de la fase 1 incluyendo rampas	54

Ilustración 4.24 Vista en planta de Fase 1. Izquierda previa a explotación y derecha posterior a la explotación	55
Ilustración 4.25 Vista en planta del diseño de la fase 2 incluyendo rampas y switchback	55
Ilustración 4.26 Vista en planta de Fase 2. Izquierda previa a explotación y derecha posterior a la explotación	55
Ilustración 4.27 Vista en planta del diseño de la fase 3 incluyendo rampas	56
Ilustración 4.28 Vista en planta de Fase 3. Izquierda previa a explotación y derecha posterior a la explotación	56
Ilustración 4.29 Plan de producción para fases diseñadas.....	57
Ilustración 5.1 Razón Estéril/Mineral por periodo	59
Ilustración 5.2 Cantidad de mineral explotado por periodo	59
Ilustración 5.3 Recuperación de cobre fino	60
Ilustración 5.4 Plan de producción para dos distintos agendamientos	60
Ilustración 5.5 Comparación Agendamiento previo y posterior al diseño	61

Índice de Tablas

Tabla 4.1 Características del modelo de bloques en estudio	33
Tabla 4.2 Parámetros de valorización del modelo de bloques	34
Tabla 4.3 Movimiento de mineral y estéril en una extracción tipo Best Case	36
Tabla 4.4 Movimiento de mineral y estéril en una extracción tipo Worst Case	38
Tabla 4.5 Movimiento de mineral y estéril en una extracción tipo fase-banco-destino	40
Tabla 4.6 Características del equipo de carguío, pala hidráulica y cargador frontal	41
Tabla 4.7 Características del equipo de transporte	42
Tabla 4.8 Cantidad de material por fase	44
Tabla 4.9 Experimentos con diferentes tamaños de población	46
Tabla 4.10 Resumen de mejores resultados de conjunto de fases AG	48
Tabla 4.11 Movimiento de mineral y estéril para un tamaño de población 10 y 10 generaciones	50
Tabla 4.12 Movimiento de mineral y estéril para un tamaño de población 50 y 50 generaciones	51
Tabla 4.13 Movimiento de mineral y estéril para un tamaño de población 100 y 200 generaciones	52
Tabla 4.14 Movimiento de mineral y estéril para fases diseñadas	57
Tabla 5.1 Análisis de la pérdida en valor después del agendamiento, para distintos tipos de agendamientos	58
Tabla 5.2 Diferencias en tonelaje agendamiento previo y posterior al diseño de fases	61
Tabla 5.3 Diferencias en el valor del van previo y posterior al agendamiento	61