

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Alcances	2
1.3. Estructura del trabajo	3
2. Antecedentes	4
2.1. Planificación minera	4
2.1.1. Horizontes de Planificación	5
2.1.2. Planificación tradicional en minería a cielo abierto	5
2.2. Operación de Carguío y Transporte	7
2.2.1. Carguío y Transporte	7
2.2.2. Equipos de Carguío	8
2.2.3. Selección de equipos de carguío	10
2.3. Consideraciones geométricas	13
2.3.1. Geometría Básica de Bancos	13
2.3.2. Acceso al Mineral	15
2.3.3. Proceso de Expansión	17
2.3.4. Espacio mínimo de operación	20
2.4. Gráficos de Agotamiento de Mineral	21
2.5. Programación Lineal	22
2.5.1. Programación Lineal aplicada en minería	23
3. Metodología	25
4. Desarrollo de Modelo de Optimización	27
4.1. Consideraciones	27
4.1.1. Variables	28
4.1.2. Parámetros	29
4.1.3. Ejemplo de funcionamiento	30
4.2. Formulación del Problema	31
5. Exploración y obtención de datos	34
5.1. Modelo de bloques	34
5.1.1. Gráfico Serrucho	35
5.1.2. Material a Mover	35

5.2.	Equipos de carguío	36
5.3.	Consideraciones para la asignación Manual	38
5.4.	Incorporación de datos al Modelo	39
5.4.1.	Parámetros Generales	39
5.4.2.	Características de Equipos de Carguío	40
5.4.3.	Fases y bancos	41
5.4.4.	Horizonte temporal de evaluación	42
5.4.5.	Precedencias	43
6.	Análisis y Resultados	44
6.1.	General	44
6.2.	Extracción de Material por fase	45
6.2.1.	Fase 1	45
6.2.2.	Fase 2	47
6.2.3.	Fase 3	48
6.2.4.	Fase 4	49
6.3.	Planes de Producción	50
6.4.	Gráfico Serrucho	54
6.4.1.	Tasa de hundimiento	56
6.5.	Tiempos de Cómputo	57
6.6.	Asignación de Equipos	57
7.	Conclusiones y trabajo futuro	59
7.1.	Conclusiones	59
7.2.	Trabajo Futuro	60
	Bibliografía	61
	Anexo A. Obtención de Datos	62
A.1.	Equipos de carguío	62
A.2.	Equipos de Transporte	63
	Anexo B. Resultados	64
B.1.	Planes de Producción	64
B.2.	Gráficos Serruchos	67

Índice de tablas

5.1. Material a mover - Año 4	36
5.2. Parámetros de Equipos de Carguío	37
5.3. Producción de equipos de carguío	38
5.4. Área mínima de operación para cada equipo de carguío	39
5.5. Parámetros	40
5.6. Palas	41
5.7. Fases y bancos	42
5.8. Periodos	43
5.9. Precedencias entre fases	43
6.1. Resultados generales	45
6.2. Horas asignadas por equipo en la Fase 4	49
6.3. Bancos extraídos por periodo	56
6.4. Tiempos de resolución y Gap	57
6.5. Ejemplo de asignación en horas por periodo	58
A.1. Parámetros equipos de transporte	63

Índice de ilustraciones

2.1. Componentes de una pala hidráulica. <i>Fuente: Castro (2013).</i>	9
2.2. Componentes de una pala eléctrica. <i>Fuente: Castro (2013).</i>	10
2.3. Ciclo de selección de tamaños de equipos <i>Fuente: Bozorgebrahimi. E. Hall (2003).</i>	11
2.4. Tipo de equipo en función del tamaño de balde. <i>Fuente: Darling (2013).</i> . .	12
2.5. Componentes básicos de un banco. Vista de perfil. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	14
2.6. Banco de trabajo con equipos operando, la pala se encuentra cargando un camión aculataado mientras un camión ya cargado se dirige a su destino. Vista de perfil. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	15
2.7. Trabajo en rampa de acceso, la pala se encuentra cargando un camión. Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	16
2.8. Trabajo en rampa de acceso con dos camiones, mientras uno de los camiones está siendo cargado por la pala el otro se aculata en el costado libre al lado de la pala. Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	17
2.9. Evolución de banco de trabajo: en la primera etapa el camión se detiene y aculata antes de entrar a la rampa; en la segunda, el camión entra y se aculata dentro del banco de trabajo; en la tercera ya se tienen dos palas en operación con sus respectivos camiones siendo cargados. Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	18
2.10. Pala trabajando según el método de corte frontal. Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	19
2.11. Pala trabajando según el método <i>Drive-by</i> . Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	19
2.12. Pala trabajando según el método de cortes paralelos. Vista en planta. <i>Fuente: Hustrulid, Kuchta y Martin, 2013.</i>	20
2.13. Gráfico Serrucho genérico.	22
3.1. Representación de las variables del modelo	26
4.1. Representación de las variables del modelo	30
5.1. Gráfico Serrucho construido a partir del agendamiento proveniente de los datos. <i>Fuente: Elaboración propia.</i>	35
6.1. Gráfico Serrucho - Mineral Fase 1	46
6.2. Gráfico Serrucho - Mineral Fase 2	47

6.3. Gráfico Serrucho - Estéril Fase 3	48
6.4. Gráfico Serrucho - Mineral Fase 4	49
6.5. Plan de producción con ley de Cu enviada a planta - Ejercicio D	50
6.6. Plan de producción con ley de Cu enviada a planta - Ejercicio E	51
6.7. Plan de producción con ley de Cu enviada a planta - Ejercicio F	51
6.8. Plan de producción identificando origen de material- Ejercicio D	52
6.9. Plan de producción identificando origen de materia - Ejercicio E	52
6.10. Plan de producción identificando origen de materia - Ejercicio F	53
6.11. Gráfico Serrucho - Caso E	55
6.12. Gráfico Serrucho - Caso F	55
A.1. Curva de Costo de Operación en función de la capacidad del equipo	62
A.2. Curva de Costo Capital en función de la capacidad del equipo	63
B.1. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso A	64
B.2. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso B	65
B.3. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso C	65
B.4. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso D	66
B.5. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso E	66
B.6. Plan de producción generado con la Asignación Manual en el Caso F	67
B.7. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso A	67
B.8. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso B	68
B.9. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso C	69
B.10. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso D	69
B.11. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso E	70
B.12. Gráfico Serrucho generado con la Asignación Manual en el Caso F	70