

Tabla de Contenido

1	<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3	ALCANCES	5
1.4	METODOLOGÍA	6
1.5	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	8
2	<u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	9
2.1	PROCESO MINERO	9
2.2	PLANIFICACIÓN MINERA	12
2.2.1	TIPOS DE PLANIFICACIÓN SEGÚN NIVEL DE GESTIÓN	12
2.2.1.1	Planificación Estratégica	12
2.2.1.2	Planificación Táctica o Conceptual	12
2.2.1.3	Planificación Operativa	12
2.2.2	TIPOS DE PLANIFICACIÓN SEGÚN HORIZONTE DE EVALUACIÓN	13
2.2.2.1	Planificación de Largo Plazo	13
2.2.2.2	Planificación de Mediano Plazo	13
2.2.2.3	Planificación de Corto Plazo	13
2.2.3	RELACIÓN ENTRE TIPOS DE PLANIFICACIÓN POR NIVELES DE GESTIÓN Y POR HORIZONTES DE EVALUACIÓN	13
2.3	MODELOS PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS MINEROS	16
2.3.1	MODELOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS	17
2.3.1.1	Métodos Heurísticos	17
2.3.1.2	Programación de Números Enteros (Integer Programming)	17
2.3.1.3	Inteligencia Artificial	20
2.3.2	MODELOS DE PRODUCTIVIDAD PALA – CAMIÓN	22
2.3.2.1	Teoría del Factor de Acoplamiento (<i>Match Factor</i>)	22
2.3.2.2	Teoría de Colas	23
2.3.2.3	Teoría de la Agrupación (<i>Bunching Theory</i>)	26
2.3.3	DISCUSIÓN ACERCA DE LOS MODELOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS	27
2.4	FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CAMIONES	28
3	<u>MARCO TEÓRICO</u>	29
3.1	OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO MINERO	29
3.2	TIEMPO DE CICLO	31
3.3	NORMA ASARCO E INDICADORES OPERACIONALES	32
3.3.1	DEFINICIÓN DE TIEMPOS PARA NORMA ASARCO	33
3.3.2	DEFINICIÓN DE INDICADORES OPERACIONALES	34
3.4	SISTEMA DE DESPACHO DISPATCH®	37
3.4.1	OPERACIÓN DEL SISTEMA	37
3.4.2	DISPATCH® COMO UNA HERRAMIENTA DE PRODUCTIVIDAD	37
3.4.3	ALGORITMO DEL SISTEMA DISPATCH®	38
3.4.4	FACTOR DE ASIGNACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL	38

3.5	SOFTWARE VULCAN® Y HERRAMIENTA HAULAGE PROFILE®	40
4	<u>ANTECEDENTES</u>	41
4.1	MINERÍA CHILENA DEL COBRE	41
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA FAENA	45
4.2.1	ANTECEDENTES GENERALES DE LA FAENA.....	45
4.2.2	GEOLOGÍA.....	49
4.2.3	PROCESO DE EXPLOTACIÓN ACTUAL.....	52
4.2.4	PROCESAMIENTO DE MINERALES.....	55
4.2.5	CADENA DE VALOR DE LA COMPAÑÍA.....	57
4.3	PLAN MENSUAL DE PRODUCCIÓN	59
5	<u>DESARROLLO DEL MODELO DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE CARGUÍO</u>	60
5.1	ANÁLISIS DE DATOS DE INDICADORES OPERACIONALES DE EQUIPOS DE CARGUÍO	60
5.1.1	RENDIMIENTO OPERATIVO.....	61
5.1.1.1	Palas Modelo HR.....	62
5.1.1.2	Palas Modelo P&H.....	63
5.1.1.3	Palas Modelo PC.....	63
5.1.1.4	Cargadores Frontales.....	64
5.1.2	UTILIZACIÓN OPERATIVA.....	65
5.2	DESARROLLO DE MODELOS DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE CARGUÍO	67
5.2.1	MODELO DE ASIGNACIÓN MANUAL DE EQUIPOS DE CARGUÍO.....	67
5.2.1.1	Parámetros de Entrada.....	68
5.2.1.2	Resultados del Modelo.....	68
5.2.1.3	Uso del Modelo.....	68
5.2.2	MODELO DE ASIGNACIÓN AUTOMÁTICA DE EQUIPOS DE CARGUÍO.....	69
5.2.2.1	Conjuntos.....	70
5.2.2.2	Parámetros de Entrada.....	70
5.2.2.3	Variables del Modelo.....	71
5.2.2.4	Parámetros de Salida del Problema de Optimización.....	71
5.2.2.5	Formulación del Problema de Optimización.....	73
5.3	MODELO DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE TRANSPORTE	74
5.3.1	ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CICLO DE CAMIONES.....	75
5.3.2	COMBINACIONES DE MATCHS PALA – CAMIÓN.....	75
5.3.3	APLICACIÓN DE FILTROS.....	77
5.3.3.1	Tiempos de Aculatamiento y Carguío por la Pala o Cargador Frontal.....	77
5.3.3.2	Tiempos de Descarga + Inactividad.....	79
5.3.3.3	Tiempo de Cola.....	81
5.3.3.4	Demoras No Programadas.....	82
5.3.4	GENERACIÓN DEL MATCH PALA – CAMIÓN.....	83
5.3.5	INCORPORACIÓN DE LOS TIEMPOS DE MATCH PALA – CAMIÓN A HAULAGE PROFILE.....	84
5.3.6	DESARROLLO DEL MODELO DE CÁLCULO DE CAMIONES.....	87
6	<u>RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO</u>	92
6.1	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO DE ASIGNACIÓN MANUAL DE EQUIPOS DE CARGUÍO	92
6.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO DE ASIGNACIÓN AUTOMÁTICA DE EQUIPOS DE CARGUÍO	101

6.3	COMPARACIÓN DE LOS INDICADORES OPERACIONALES MODELADOS CON LOS REPORTADOS EN EL RESUMEN EJECUTIVO.....	103
6.4	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE TRANSPORTE	105
7	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</u>	<u>107</u>
7.1	CONCLUSIONES DEL MODELO DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE CARGUÍO.....	107
7.1.1	RECOMENDACIONES.....	110
7.2	CONCLUSIONES DEL MODELO DE CÁLCULO DE EQUIPOS DE TRANSPORTE.....	111
7.2.1	RECOMENDACIONES.....	112
8	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>113</u>
9	<u>ANEXOS.....</u>	<u>116</u>
9.1	DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS ASARCO PARA EQUIPOS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE.....	116
9.2	TIEMPOS DE ACULATAMIENTO MÁS CARGUÍO	118
9.2.1	CRITERIOS DE FILTRO DE TIEMPOS DE ACULATAMIENTO Y CARGUÍO	118
9.2.2	CAMIÓN KMS – PALA P&H.....	119
9.2.3	CAMIÓN KMS – PALA HR.....	120
9.2.4	CAMIÓN KMS – PALA PC.....	121
9.2.5	CAMIÓN LBH – PALA P&H.....	122
9.2.6	CAMIÓN LBH – PALA HR.....	123
9.2.7	RESULTADOS TIEMPOS DE ACULATAMIENTO MÁS CARGUÍO.....	124
9.3	TIEMPOS DE DESCARGA + INACTIVIDAD.....	125
9.3.1	CRITERIOS DE FILTRO DE TIEMPOS DE DESCARGA E INACTIVIDAD.....	125
9.3.2	CAMIÓN KMS - PALA P&H, LOCACIÓN CHANCADO ROSARIO	125
9.3.3	CAMIONES KMS Y LBH – PALA P&H, LOCACIÓN BOTADERO.....	126
9.3.4	CAMIÓN KMS – PALA P&H, LOCACIÓN STOCK.....	127
9.3.5	CAMIÓN KMS – PALA HR, LOCACIÓN CHANCADO ROSARIO.....	128
9.3.6	CAMIÓN KMS – PALA HR, LOCACIÓN BOTADERO.....	129
9.3.7	CAMIÓN KMS – PALA HR, LOCACIÓN STOCK	130
9.3.8	CAMIÓN LBH – PALA HR, LOCACIÓN BOTADERO	131
9.3.9	CAMIÓN KMS – PALA PC, LOCACIÓN CHANCADO ROSARIO	132
9.3.10	CAMIÓN KMS – PALA PC, LOCACIÓN STOCK	133
9.3.11	RESULTADOS TIEMPOS DE DESCARGA MÁS INACTIVIDAD.....	134
9.4	TIEMPO DE COLA.....	136
9.4.1	CRITERIOS DE FILTRO DE TIEMPOS DE COLA.....	136
9.4.2	RESULTADOS TIEMPOS DE COLA	137
9.5	DEMORAS NO PROGRAMADAS.....	138
9.5.1	CRITERIOS DE FILTRO DE DEMORAS NO PROGRAMADAS	138
9.5.2	RESULTADOS TIEMPOS DE DEMORAS NO PROGRAMADAS.....	139
9.6	PORCENTAJE DEL MES QUE EL EQUIPO DE CARGUÍO ESTUVO EN CADA FASE	140