

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específico.....	2
1.3 Justificación y Contexto del Trabajo de Estudio	3
1.4 Descripción General del Proceso	6
1.5 Límite de Batería	8
1.6 Alcance	8
1.7 Contenidos por Capítulo.....	11
CAPÍTULO 2	12
ANTECEDENTES GENERALES	12
2.1 Descripción del Proyecto.....	12
2.2 Ubicación Geográfica	14
2.3 Método de Explotación.....	15
2.4 Simulación.....	17
2.5 Confiabilidad del Modelo	20
2.6 Software	22
CAPÍTULO 3	25
METODOLOGÍA DE TRABAJO	25
CAPÍTULO 4	29
PROCESO DE SIMULACIÓN	29
4.1 Modelo Conceptual	29
4.1.1 Definición de Calles y Semicalles	29
4.1.2 Unidades Productivas	33
4.1.3 Filosofía de Operación Productiva	41
4.1.4 Criterio Frentes de Avance y Semicalles Año 2031	48
4.1.5 Criterio Número de LHD`s por SemiCalle	51
4.1.6 Criterio de Descarga en Pique de Traspaso	51
4.1.7 Criterio de carga de Combustible, Mantención y Falla de LHD SA.....	52
4.1.8 Ciclo de LHD.....	53

4.1.9	Criterio de Reducción Secundaria	55
4.2	Parámetros de Entrada	63
4.2.1	Plan de Producción.....	63
4.2.2	Layout Nivel de Producción	65
4.2.3	Parámetros operación equipos LHD 10 [yd ³].....	66
4.2.4	Carga de Combustible	66
4.2.5	Mantenimiento y Falla Equipos LHD SA.....	67
4.2.6	Colgadura y Sobretamaño en Zanjas	70
4.2.7	Actividades de Reducción Secundaria	71
4.2.8	Sobretamaño en parrilla	72
4.2.9	Mantenciones y Fallas Equipos Martillos.....	73
4.2.10	Actividades de Mantenimiento.....	75
4.2.11	Turnos de operación.....	76
4.3	Variables de Salida	78
4.3.1	Producción.....	78
4.3.2	Tiempos de Ciclo	79
4.3.3	Estado de Unidades Productivas.....	79
4.3.4	Estado LHD	79
4.3.5	Estado de Martillos Picadores	80
4.4	Verificación y Validación del Modelo de Simulación	81
	Verificación.....	81
4.4.1	Verificación Exhaustiva.....	81
4.4.2	Animación (Gráfica Operacional).....	83
4.4.3	Validación Interna	84
	Validación.....	85
4.5	Confiabilidad del Modelo	89
CAPÍTULO 5		92
RESULTADOS.....		92
5.1	Resultados Caso Base.....	92
5.1.1	Producción.....	92
5.1.2	Tiempo de Ciclo.....	112

5.1.3	Desempeño de Equipos	116
5.2	Sensibilizaciones.....	124
5.2.1	Porcentaje y Configuración de Reducción Secundaria.....	124
5.2.2	Aumento de Colgadura y Sobretamaño.....	126
5.2.3	Flota Equipos LHD.....	132
5.2.4	Caso Base aprovechando tiempos de Holgura	134
5.2.5	Restricción de Velocidad de Extracción día.....	138
CAPÍTULO 6	146
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
6.1	Conclusiones del Estudio	146
6.2	Recomendaciones.....	163
CAPÍTULO 7	166
	BIBLIOGRAFÍA	166
CAPÍTULO 8	167
	ANEXOS	167
8.1	Anexo A: Plan de Producción Por Calle	167
8.2	Anexo B: Resultados de Producción	170
8.2.1	Semicalles	170
8.2.2	Unidades Productivas.....	177
8.2.3	Piques de Traspaso.....	187
8.2.4	Producción a diferentes planes de extracción para Caso Base.....	190
8.2.5	Producción a diferentes Planes para Caso con Velocidad de extracción Restringida	193
8.3	Anexo C: Tiempos de Ciclo Unidad Productiva.....	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Alcance Modelo de Simulación de Sistemas de Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral	4
Figura 1.2: Macro Modelo de Simulación: Nivel de Producción + Sistemas de Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral	5
Figura 1.3: Layout Nivel de Producción Sector Andes PNNM.....	6
Figura 1.4: Esquema Proceso Nivel de Producción	7
Figura 1.5: Límite de Batería	8
Figura 1.6: Layout del NP con Área Productiva al año 2031	9
Figura 2.1: Proyecto Nuevo Nivel Mina	13
Figura 2.2: Ubicación Geográfica Proyecto Nuevo Nivel Mina	14
Figura 2.3: Panel Caving.....	16
Figura 2.4: Panel Caving Convencional	16
Figura 4.1: Layout del NP con Área Productiva al año 2031	30
Figura 4.2: Ejemplo de Calle para el Sector Andes.....	31
Figura 4.3: Ejemplo de Semicalles Sector Andes.....	32
Figura 4.4: Ejemplo de definición de unidad productiva	34
Figura 4.5: Mapa de unidades productivas en Sector Andes	35
Figura 4.6: Unidades Productivas activas y no activas para el año 2031.....	36
Figura 4.7: Ciclo Operativo LHD SA.....	42
Figura 4.8: Diagrama de Flujo Operación Producción.....	47
Figura 4.9: Frentes de Avance Andes 2031	48
Figura 4.10: Mapa de Unidades Productivas Andes segmentadas Norte Sur.....	49
Figura 4.11: Descarga Parrilla	52
Figura 4.12: Diagrama de Flujo en detalle del Ciclo de LHD.....	54
Figura 4.13: Reducción Secundaria por Semicalle.....	57
Figura 4.14: Segregación en Etapa de Cachorro, RS por Semicalle.....	58
Figura 4.15: Segregación en Etapa de Tronadura, RS para Semicalles	59
Figura 4.16: Unidad Productiva con Cachorro Pendiente, RS Semicalle	60
Figura 4.17: Tronadura Conjunta, RS Semicalle	61
Figura 4.18: Diagrama de Flujo para Reducción Secundaria por Semicalle	62

Figura 4.19. Layout de operaciones nivel de producción	65
Figura 4.20: Línea de Tiempo Turno Operativo.....	77
Figura 4.21: Imagen Instantánea de Modelo de Simulación con Gráfica Activa	84
Figura 4.22: Diagrama de Coordinación Interna Modelo de Simulación	85
Figura 5.1: Frentes de Avance Sector Andes año 2031	95
Figura 5.2: Unidades Productivas en Sector Andes año 2031	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Unidades productivas por calle y sector Andes.....	38
Tabla 4.2: Enumeración y Tag de Piques de Traspaso.....	39
Tabla 4.3 Configuración unidades productivas con Piques de Traspaso	40
Tabla 4.4: SemiCalles N y S con unidades productivas asociadas.....	50
Tabla 4.5: SemiCalles Norte y Sur asociados a los Frentes de Avance.....	51
Tabla 4.6: Resumen Plan de Producción Por Frente de Avance Sector Andes año 2031	64
Tabla 4.7: Parámetros equipos LHD 10 [yd ³] Semiautónomos.....	66
Tabla 4.8: Parámetros de Rendimiento Equipo LHD SA.....	67
Tabla 4.9: Programa de Mantenimiento para LHD 10 [yd ³]	67
Tabla 4.10: Distribuciones de Tiempos de Falla Mecánicas de equipos LHD	68
Tabla 4.11: Distribuciones de Tiempos de Falla del Sistema de Control para equipos LHD	68
Tabla 4.12: Horas Acumuladas de Operación Flota LHD SA al comienzo del año 2031	69
Tabla 4.13: Eventos de Colgadura según altura de extracción cada 1.000 toneladas ...	71
Tabla 4.14: Actividades de Reducción Secundaria	72
Tabla 4.15: Eventos de Sobretamaño según toneladas.....	72
Tabla 4.16: Programa de Mantenimiento Martillos Picadores	73
Tabla 4.17: Horas acumuladas de operación martillos al comienzo del año 2031	74
Tabla 4.18: Distribución Falla Martillos Picadores.....	75

Tabla 4.19: Actividades de Mantenimiento y Reparación.....	75
Tabla 4.20: Tiempo de turno Operativo.....	77
Tabla 4.21: Resultados Producción Frente Patilla Sur, ejercicio validación	88
Tabla 4.22: Resumen Producción Caso Base con diferentes Semillas.....	89
Tabla 5.1: Resumen Producción Mina, Caso Base	93
Tabla 5.2: Variabilidad Producción Mina, Caso Base.....	94
Tabla 5.3: Plan de Producción de Frentes de Avance para el año 2031.....	96
Tabla 5.4: Detalle Plan de Producción Frentes Cabeza.....	97
Tabla 5.5: Detalle Plan de Producción Frentes Patilla	97
Tabla 5.6: Toneladas días promedio mes para Frentes de Avance, Caso Base.....	98
Tabla 5.7: Porcentaje de Cumplimiento Frentes de Avance, Caso Base	99
Tabla 5.8: Semicalles asociadas a Frentes de Avance	101
Tabla 5.9: TPD Promedio Año y Catch up Semicalle Andes Cabeza.....	102
Tabla 5.10: TPD Promedio Año y Catch up Semicalles Andes Cabeza.....	102
Tabla 5.11: Unidades Productiva y Semicalles asociadas	105
Tabla 5.12: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Cabeza, Calles: 1, 2, 3 y 4.....	106
Tabla 5.13: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Cabeza, Calles: 5, 6 y 7	107
Tabla 5.14: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Patilla, Calles: 11, 12, 13, 14, 15 y 16.....	108
Tabla 5.15: Tag y Número de Piques de Traspaso	110
Tabla 5.16: Tiempo de Ciclo LHD SA Calles 1 a 7.....	113
Tabla 5.17: Tiempo de Ciclo SA Calles 11 a 16.....	113
Tabla 5.18: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes.....	114
Tabla 5.19: Parámetros Equipos LHD SA [10 yd3]	116
Tabla 5.20: Resumen Desglose de Tiempo Flota de Equipos LHD SA.....	118
Tabla 5.21: ASARCO Mensual y Promedio Año LHD SA	120
Tabla 5.22: Rendimiento Efectivo y Operativo Promedio Mes [TPD] para LHD SA	121
Tabla 5.23: Desempeño Martillo Picadores año 2031	123
Tabla 5.24: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base	124
Tabla 5.25: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base..	125

Tabla 5.26: Resultado de Producción, Caso Base con 25% de roca más desfavorable	126
Tabla 5.27: Resumen desempeño Martillos – Caso Base con Roca un 25% más desfavorable.....	127
Tabla 5.28: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	128
Tabla 5.29: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base Roca 25% más desfavorable	129
Tabla 5.30: Resultado de Producción, Caso Base con 50% de roca más desfavorable	129
Tabla 5.31: Resumen desempeño Martillos – Caso Base con Roca un 50% más desfavorable.....	130
Tabla 5.32: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	131
Tabla 5.33: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base Roca 50% más desfavorable	132
Tabla 5.34: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD	132
Tabla 5.35: Tiempos de ASARCO para Diferentes Flotas de LHD Caso Base	133
Tabla 5.36: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base	135
Tabla 5.37: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Patilla, Caso Base	136
Tabla 5.38: Comparativo de Producción con Plan Normal y Plan Aumentado.....	137
Tabla 5.39: Histograma Velocidad de extracción Resultado Caso Base vs Input del Plan de Producción	139
Tabla 5.40: Resumen Producción Mina, Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción a: 1 ton/m ²	141
Tabla 5.41: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m ² día	142
Tabla 5.42: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m ² día	143
Tabla 5.43: Comparativo de Producción con Plan Normal y Plan Aumentado, Restricción de 1 ton/m ² de velocidad de extracción	144
Tabla 6.1: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes	147
Tabla 6.2: Desempeño Martillo Picadores año 2031	149

Tabla 6.3: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base	151
Tabla 6.4: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	153
Tabla 6.5: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	154
Tabla 6.6: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD	156
Tabla 6.7: Tiempos de ASARCO para Diferentes Flotas de LHD Caso Base	157
Tabla 6.8: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base	158
Tabla 6.9: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Patilla, Caso Base	159
Tabla 6.10: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m ² día	161
Tabla 6.11: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m ² día	162
Tabla 8.1: Resumen Plan de Producción Sector Andes Cabeza año 2031	167
Tabla 8.2: Resumen Plan de Producción Sector Andes Central año 2031	168
Tabla 8.3: Resumen Plan de Producción Sector Andes Patilla año 2031	169
Tabla 8.4: Plan de Toneladas días por Semicalles mes a mes, Andes Cabeza.....	170
Tabla 8.5: Plan de Toneladas días por Semicalles mes a mes, Andes Patilla	171
Tabla 8.6: Toneladas Promedio Día, mes a mes Semicalles de Andes Cabeza, Caso Base	172
Tabla 8.7: Porcentaje de Cumplimiento, mes a mes Semicalles de Andes Cabeza, Caso Base	173
Tabla 8.8: Toneladas Promedio Día, mes a mes Semicalles de Andes Patilla, Caso Base	174
Tabla 8.9: Porcentaje de Cumplimiento, mes a mes Semicalles de Andes Patilla, Caso Base	175
Tabla 8.10: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 1 y 2	177
Tabla 8.11: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 3 y 4	178
Tabla 8.12: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7	179
Tabla 8.13: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13	179
Tabla 8.14: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16	180
Tabla 8.15: Producción Unidades Productivas Calles 1 y 2	181

Tabla 8.16: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 1 y 2	181
Tabla 8.17: Producción Unidades Productivas Calles 3 y 4	182
Tabla 8.18: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 3 y 4	183
Tabla 8.19: Producción Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7	183
Tabla 8.20: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7	184
Tabla 8.21: Producción Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13	184
Tabla 8.22: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13	185
Tabla 8.23: Producción Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16	185
Tabla 8.24: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16	186
Tabla 8.25: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 1 al 7	187
Tabla 8.26: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 8 al 14	188
Tabla 8.27: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 15 al 20, y pique25.....	188
Tabla 8.28: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 26 al 32	189
Tabla 8.29: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 33 al 36	189
Tabla 8.30: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Cabeza para Diferentes Planes de extracción	191
Tabla 8.31: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Patilla para Diferentes Planes de extracción	192
Tabla 8.32: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Cabeza para Diferentes Planes de extracción, escenario de Velocidad de Extracción Restringida	194
Tabla 8.33: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Patilla para Diferentes Planes de extracción, escenario de Velocidad de Extracción Restringida	195
Tabla 8.34: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 1, 2 y 7	196
Tabla 8.35: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 3 y 7	197
Tabla 8.36: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 5 y 6	197
Tabla 8.37: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13	198
Tabla 8.38: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16	198

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Comportamiento minuto a minuto unidad productiva 21 Andes Cabeza	82
Gráfico 4.2: Comportamiento minuto a minuto unidad productiva 22 Andes Cabeza	82
Gráfico 5.1: Producción Mina Caso Base Año 2031	92
Gráfico 5.2: Histograma Producción Mina, Caso Base	93
Gráfico 5.3: Gráfico Variabilidad Producción a Planta, Caso Optimizado	94
Gráfico 5.4: Toneladas Día Frentes de Avance y Total Mina	100
Gráfico 5.5: Toneladas Día Promedio Mes Frentes de Avance.....	100
Gráfico 5.6: TPD Promedio Año Semicalles Andes.....	103
Gráfico 5.7: TPD Promedio año y Catch Up para Unidades Productivas Andes Cabeza	109
Gráfico 5.8: TPD Promedio año y Catch Up para Unidades Productivas Andes Patilla	109
Gráfico 5.9: Producción Piques de Traspaso Total Año	111
Gráfico 5.10: Producción Piques de traspaso día a día para el año 2031, Caso Base	111
Gráfico 5.11: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes, Caso Base	114
Gráfico 5.12: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año.....	119
Gráfico 5.13: ASARCO Equipos LHD SA.....	120
Gráfico 5.14: Rendimiento Efectivo y Operativo [TPH] Promedio Mes para LHD SA...	122
Gráfico 5.15: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base.....	125
Gráfico 5.16: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	128
Gráfico 5.17: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	131
Gráfico 5.18: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD.....	133
Gráfico 5.19: Tiempos de Holgura Producción mina	134
Gráfico 5.20: TPD objetivo vs TPD máxima, Unidades Productivas Andes Cabeza	138
Gráfico 5.21: TPD objetivo vs TPD máxima, Unidades Productivas Andes Patilla.....	138
Gráfico 5.22: Histograma Velocidad de extracción Resultado Caso Base vs Input del Plan de Producción	140
Gráfico 5.23: Caso Base vs Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción ...	141

Gráfico 5.24: TPD objetivo vs TPD máxima, Caso Base vs Caso con Restricción de Velocidad de Extracción, Unidades Productivas Andes Cabeza.....	144
Gráfico 5.25: TPD objetivo vs TPD máxima, Caso Base vs Caso con Restricción de Velocidad de Extracción, Unidades Productivas Andes Patilla	145
Gráfico 6.1: Producción Mina Caso Base Año 2031	146
Gráfico 6.2: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año.....	147
Gráfico 6.3: ASARCO Equipos LHD SA.....	148
Gráfico 6.4: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base.....	152
Gráfico 6.5: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	153
Gráfico 6.6: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS	155
Gráfico 6.7: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD.....	156
Gráfico 6.8: Caso Base vs Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción	160
Gráfico 8.1: Producción Día para Semicalles Cabeza al año 2031, Caso Base.....	176
Gráfico 8.2: Producción Día para Semicalles Patilla al año 2031, Caso Base	176
Gráfico 8.3: Producción día Unidades Productivas Andes Cabeza año 2031, Caso Base	186
Gráfico 8.4: Producción día Unidades Productivas Andes Cabeza año 2031, Caso Base	187