



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

SIMULACIÓN DE NIVEL DE PRODUCCIÓN

PROYECTO NUEVO NIVEL MINA

CODELCO CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

ESTEBAN FELIPE GARRIDO AMAYA

PROFESOR GUÍA:
JAVIER LUCO GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE PALMA VILLAGRÁN
RENÉ LE-FEAUX CORTÉS

SANTIAGO DE CHILE
2017

SIMULACIÓN DE NIVEL DE PRODUCCIÓN - PROYECTO NUEVO NIVEL MINA CODELCO CHILE

El proceso de manejo de materiales en la operación minera se ve enfrentado día a día a un gran set de variables que dificultan el trabajo, es por esto que es de suma importancia evaluar y validar si los diseños y/o planes estratégicos son capaces de absorber estas singularidades con el fin de cumplir con las metas establecidas.

El objetivo de este trabajo de título consiste en evaluar el proceso productivo del manejo de minerales para el Proyecto Nuevo Nivel Mina que involucra al Nivel de Producción, incorporando desde la carga de mineral por equipos LHD desde los puntos de extracción hasta la descarga en los piques de traspaso que conectan con el Nivel de Transporte Intermedio, mediante Software de Simulación de Eventos Discretos. Es sabido que el proceso en el Nivel de Producción no basta para evaluar la capacidad productiva total de la mina, es por esto que, a pesar de que este estudio consiste en evaluar por sí sola esta parte del sistema, una vez que esté validado y/u optimizado, en un futuro y fuera del alcance de este trabajo de Memoria, se conectará a un segundo modelo, el cual involucra el Sistema aguas abajo: Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral, y de esta manera evaluar en un Modelo Integrado el Sistema Total Mina.

La metodología planteada a modo general consiste en el desarrollo de un modelo conceptual donde se establecen los criterios operacionales de un Caso Base, ingreso de parámetros (acorde a estudios e información de la operación) y validación interna del Modelo, una vez finalizadas las etapas anteriores evaluar y analizar los resultados obtenidos, identificar cuellos de botella y posibles mejoras en el sistema.

Los resultados muestran que para el plan de producción contemplado al año 2031 se alcanza una producción de 60.255 TPD promedio año respecto a las 62.052 TPD planificadas (97,1% de cumplimiento), sin embargo, cuando un determinado sector de la mina en algún momento del año alcanza las toneladas objetivo a la fecha, este deja de operar con equipo LHD SA, lo que genera tiempos de holgura en la operación, por lo que los resultados anteriormente señalados se dan sin aprovechar estos tiempos, los que si fueran utilizados se alcanzaría el cumplimiento del 100% de las toneladas objetivo, incluso limitando la velocidad de extracción de cada punto a 1 tonelada metro cuadrado día. A su vez, se logra detectar un sobredimensionamiento de la flota total de LHD SA, la cual se encuentra predefinida con un número de 30 equipos, cuando se podría alcanzar la misma producción con un total de 22.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi profesor guía Javier Luco por apoyarme desde el principio en este proceso mostrando una gran dedicación y paciencia. Al profesor Jorge Palma por enseñarme y, sin saberlo, motivarme a entrar al mundo de la simulación.

A los profesionales del Proyecto Nuevo Nivel Mina quienes siempre tuvieron muy buena disposición y me dieron todas las facilidades para poder desarrollar mi memoria.

Agradezco a mi familia quienes me apoyaron y siempre quisieron que tuviera la mejor educación para que algún día llegará a ser un profesional, muchas gracias.

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 [yd³].....	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

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) de El Teniente consiste en la ampliación de esta faena subterránea en un sector más profundo del yacimiento, ubicado en la cota 1.887, alrededor de 100 metros más abajo que el actual Teniente 8, sumando una nueva superficie de explotación de 2,05 millones [m²] que asegura la continuidad operacional de esta división de Codelco.

El proyecto incorpora 2.020 millones de toneladas de reservas con una ley media de cobre de 0,86%. Esto se traduce en más de 17 millones de toneladas de cobre fino en un periodo de más de 50 años de operación, cuyo método de explotación a usar es el de Panel Caving con Hundimiento Convencional.

Dentro de las actividades de operación, de vital importancia es la producción mina, la que involucra principalmente a los niveles de hundimiento, producción y transporte intermedio. Dichos niveles envuelven a su vez un gran número variables e interacciones entre diferentes procesos, desde interferencias de tráfico y asignación de equipos móviles, hasta fallas o criterios operacionales propios de la operación. Estas singularidades pueden llegar a afectar a cada subproceso o nivel por separado, como al sistema por completo, es por esto que la simulación es una de las herramientas que puede validar o reevaluar un plan estratégico, más aún dada la situación actual de la minería hoy en día, en donde el principal objetivo es la reducción de costos y el aumento de la productividad.

La Simulación es una de las herramientas disponibles más poderosas para la toma de decisiones responsables del diseño y operación, de procesos y sistemas complejos. Logrando hacer posible el estudio, análisis y evaluación de situaciones que de otro modo no lo serían. En un mundo cada vez más competitivo, la simulación se ha convertido en una metodología indispensable en la resolución de problemas para ingenieros, diseñadores y administradores (Robert E. Shannon 1998).

1.1 Objetivo General

El objetivo de este trabajo de título consiste en evaluar bajo el escenario planteado la capacidad productiva del manejo de minerales del Nivel de Producción para el Proyecto Nuevo Nivel Mina, proceso que incorpora desde la carga de mineral por equipos LHD Semiautónomos desde los puntos de extracción hasta la descarga en los piques de traspaso que conectan con el Nivel de Transporte Intermedio, mediante Software de Simulación de Eventos Discretos.

1.2 Objetivos Específico

- Evaluar capacidad productiva del sistema para el plan de producción correspondiente al año 2031, Sector Andes
- Identificar cuellos de botellas del proceso
- Identificar oportunidades de mejora del proceso evaluado

1.3 Justificación y Contexto del Trabajo de Estudio

El Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) aún se encuentra en etapa de ingeniería, por lo que son varios los aspectos que aún están en estudio, esto incluye la producción mina, la cual se llevará a cabo por medio del método de explotación: Panel Caving con la variante de Hundimiento Convencional.

Con anterioridad el PNNM realizó un modelo de simulación el cual abarca el manejo de materiales de los Sistemas de Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral, el que básicamente incluía el proceso desde la carga de mineral por camiones a través de buzones en el Nivel de Transporte Intermedio, la posterior descarga a las tolvas de chancado, para continuar con el transporte del material a través de correas principales que descargan finalmente en la correa CV11 que conecta con la planta Colón (ver Figura 1.1). Esto con el fin de evaluar la Producción y la configuración Global del Sistema descrito. Sin embargo, el material proveniente del Nivel de Producción, el cual alimenta a los buzones para efectos del modelo se consideró constante y con un valor arbitrario.

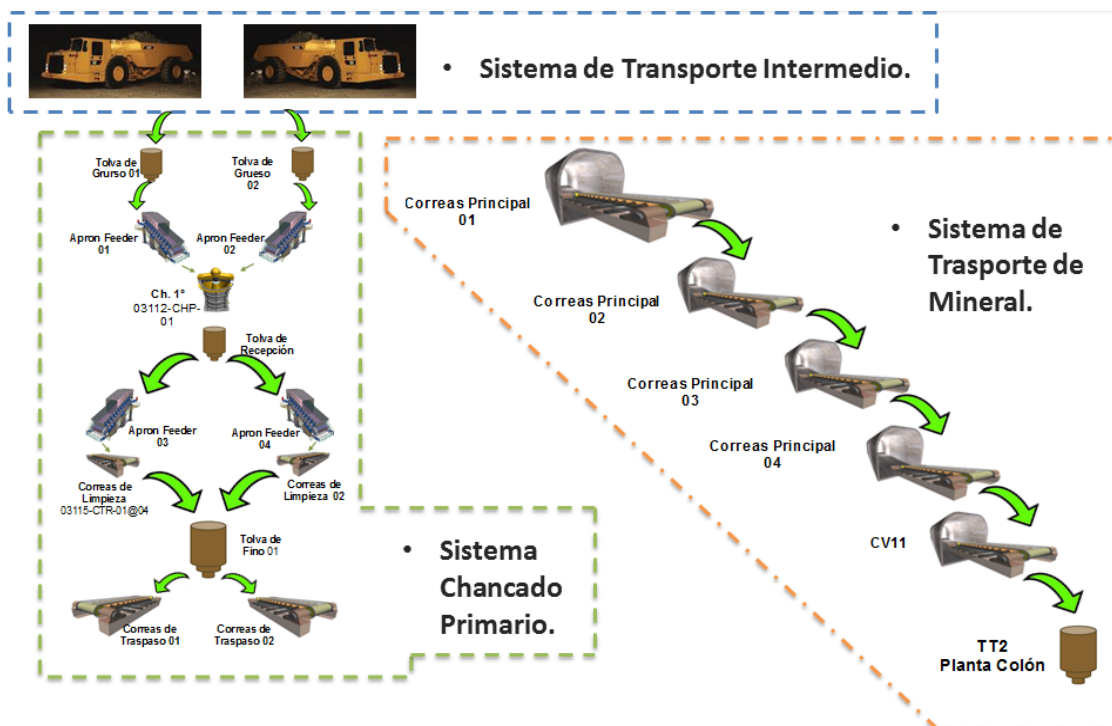


Figura 1.1: Alcance Modelo de Simulación de Sistemas de Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral ¹

Es por esto la necesidad de modelar el proceso productivo el cual involucra al Nivel de Producción, desde la carga de material en los puntos de extracción mediante equipos LHD hasta la descarga en los piques de traspaso. Para posteriormente (y fuera del alcance de esta memoria) integrar ambos modelos y simular la mina en un único macro modelo (ver Figura 1.2).

¹ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

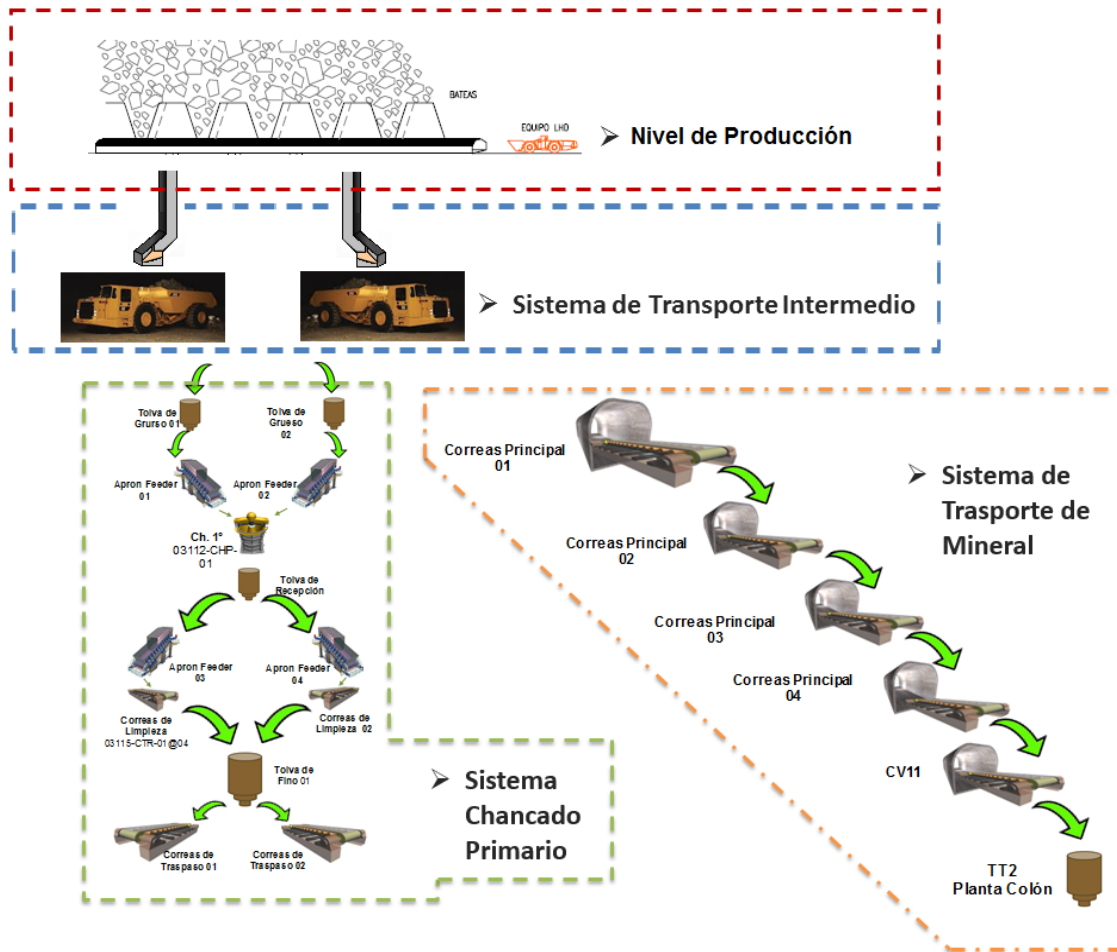


Figura 1.2: Macro Modelo de Simulación: Nivel de Producción + Sistemas de Transporte Intermedio, Chancado y Transporte de Mineral

1.4 Descripción General del Proceso

El footprint o envolvente económica del Proyecto Nuevo Nivel Mina se divide en 2 grandes sectores: Andes y Pacífico, donde el área involucrada para este estudio corresponde a la del Sector Andes, ver Figura 1.3



Figura 1.3: Layout Nivel de Producción Sector Andes PNNM²

En el nivel de producción circularán los LHD que descargarán el mineral a piques de traspaso que conectan con el nivel de transporte, donde el mineral será cargado mediante buzones a los camiones, siguiendo con la descarga de estos en el sistema de chancado primario, y finalizando la ruta en el sistema de transporte de mineral mediante correas, hasta llegar a la conexión con la correa CV11 que conecta con la Planta Colón.

² Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

En resumen, y a modo general, el proceso del Nivel de Producción (al cual está enfocado este estudio) queda definido en la

Figura 1.4, en donde:

1. El equipo LHD carga mineral en el punto de extracción, el cual presenta singularidades dadas por el plan de producción tales como: Frecuencia de Colgadura y velocidad de extracción.
2. Luego es transportado hacia el pique de traspaso que conecta con el nivel de transporte, en este al igual que en el punto de extracción se presentan una serie de características tales como sobretamaño en parrilla.
- 3.

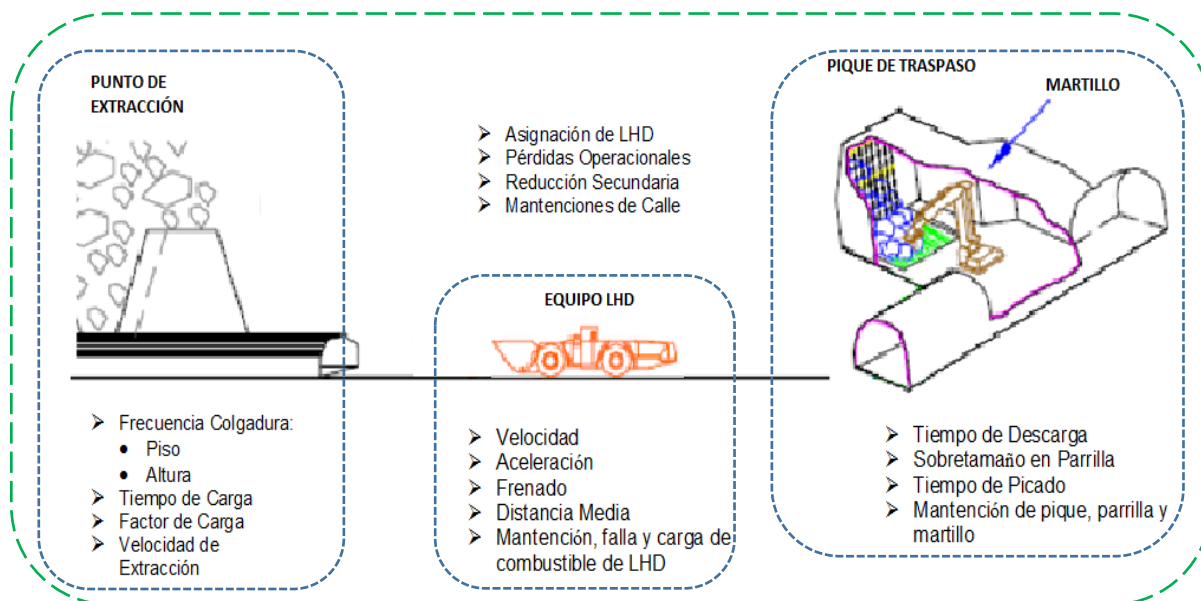


Figura 1.4: Esquema Proceso Nivel de Producción³

³ Elaboración Propia

1.5 Límite de Batería

El límite de batería del Proceso Productivo queda definido por la producción en cada punto de extracción en el Nivel de Producción hasta la descarga de mineral en los piques de traspaso que conectan con el Nivel de Transporte Intermedio. Se incluyen los piques de traspaso sólo para efectos del nivel de producción, por lo que no se considera por ejemplo el rol de los buzones.



Figura 1.5: Límite de Batería

1.6 Alcance

El subsistema Mina a Modelar define las operaciones y criterios desde la carga mediante equipos LHD Semiautónomos en el punto de extracción hasta la descarga en los piques de traspaso que conectan con el Nivel de Transporte Intermedio. Para el Nivel de Producción del **Sector Andes - Proyecto Nuevo Nivel Mina** correspondiente al año 2031, ver Figura 1.6, donde el área verde corresponde a los puntos abiertos con anterioridad y el área roja los que se incorporaran ese año.

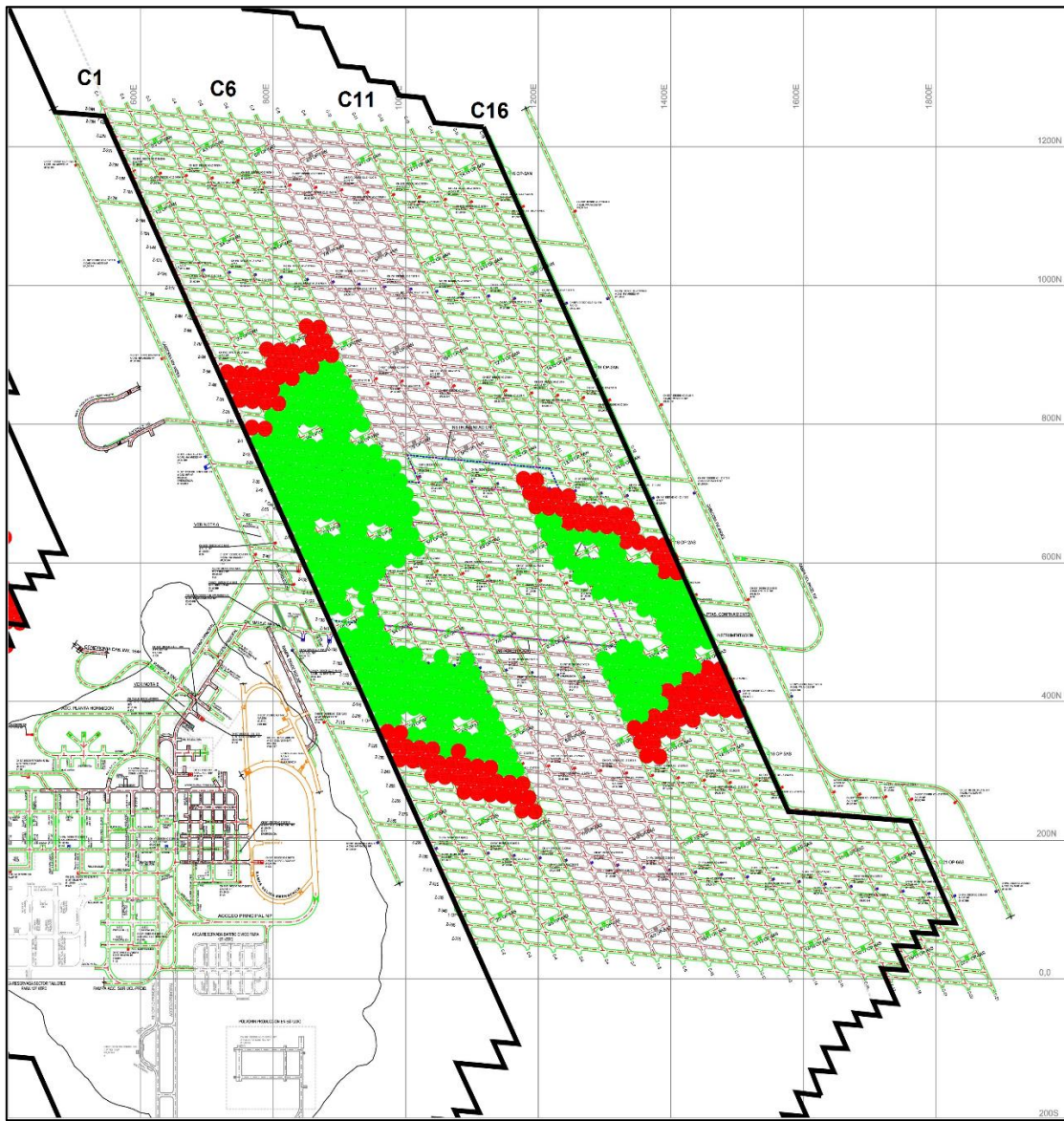


Figura 1.6: Layout del NP con Área Productiva al año 2031⁴

Se define que el ciclo productivo del equipo LHD SA estará compuesto por las siguientes actividades:

- Descarga
- Viaje vacío al punto de carga

⁴ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

- Espera en punto de carga por operador telecomandado para carga de LHD SA
- Carga tele comandada del LHD SA
- Salida punto de carga
- Liberación del operador
- Viaje lleno

Se definen la siguiente interferencia operacional asociada al ciclo de producción:

- Espera por martillo (picando)

Se destacan las siguientes operaciones y tareas que forman parte del proceso productivo:

- Asignación de tiraje diferenciado según columna extraída u otra consideración geomecánica, implícito en el programa productivo incorporado.
- Consideración de eventos de interferencias operacionales en nivel de producción.
- Plan de mantenimiento y fallas de infraestructura y equipos.
- Capacidades de diseño de equipos de proceso y transporte.
- Consideración de los turnos de trabajo y factor del recurso humano.

1.7 Contenidos por Capítulo

Los temas abordados en los capítulos de este trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- ❖ **Capítulo 1:** Se refiere a la Introducción del trabajo de estudio, donde se precisa el objetivo principal, objetivos secundarios, justificación del trabajo y estructura de éste.
- ❖ **Capítulo 2:** Se mencionan los antecedentes generales relacionados al trabajo: descripción del Proyecto, ubicación geográfica, método de explotación, aspectos de Simulación e información acerca del software utilizado.
- ❖ **Capítulo 3:** Se describe el plan de trabajo paso a paso utilizado para llevar a cabo este estudio según los objetivos trazados.
- ❖ **Capítulo 4:** En este capítulo se documenta parte de lo descrito en el plan de trabajo, se desarrolla el Modelo Conceptual definiendo los criterios operacionales que lo rigen, se detallan parámetros de entrada y las variables de salida de modelo de simulación.
- ❖ **Capítulo 5:** Se analizan los resultados obtenidos a partir del modelo construido y sus sensibilizaciones.
- ❖ **Capítulo 6:** Se describen las principales conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Descripción del Proyecto

El Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) de El Teniente consiste en la ampliación de esta faena subterránea en un sector más profundo del yacimiento, ubicado en la cota 1.887, alrededor de 100 metros más abajo que el actual Teniente 8, sumando una nueva superficie de explotación de 2,05 millones [m²] que asegura la continuidad operacional de esta división de Codelco.

El proyecto incorpora 2.020 millones de toneladas de reservas con una ley media de cobre de 0,86%. Esto se traduce en más de 17 millones de toneladas de cobre fino en un periodo de más de 50 años de operación a partir de 2022.

Entre 2011 y 2022 el proyecto NNM ejecutará 98.450 metros de túneles en desarrollos horizontales y 3.454 metros de desarrollos verticales.

El proyecto Nuevo Nivel Mina plantea un diseño de ingeniería orientado a mitigar los riesgos. Asimismo, reducirá de manera importante la exposición de las personas a situaciones riesgosas, ya que considera operaciones semiautomáticas comandadas desde salas de control ubicadas en el valle, a más de 50 kilómetros del área de trabajo.

El Nuevo Nivel Mina se desarrollará principalmente en tareas subterráneas al interior de la Cordillera de Los Andes, por lo que tiene un bajo impacto ambiental. Además, utiliza las actuales instalaciones de El Teniente, lo que no agrega nuevos efectos en el entorno.⁵

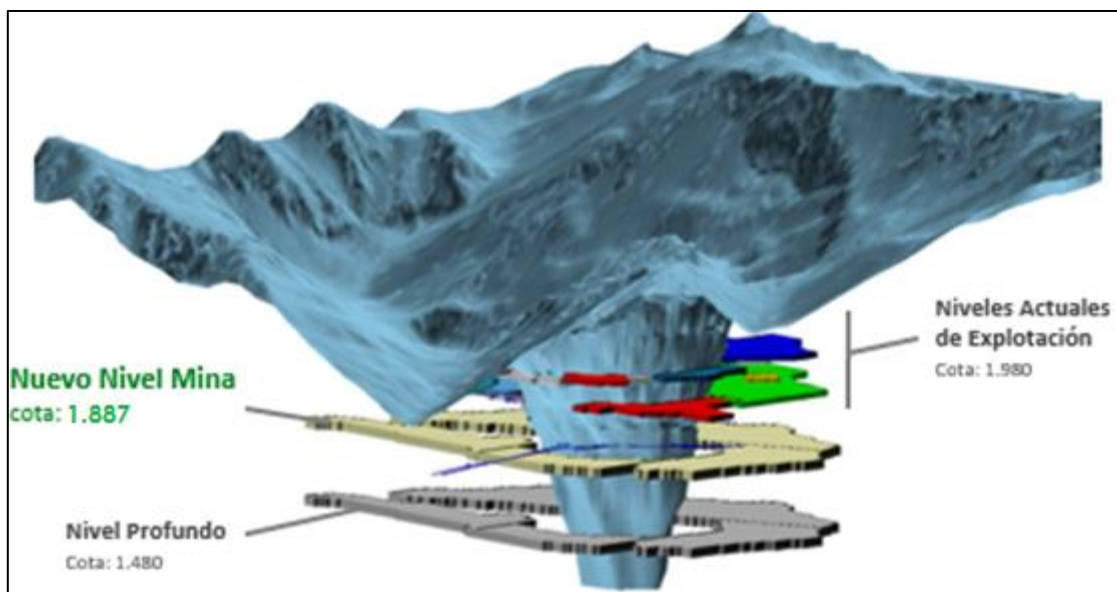


Figura 2.1: Proyecto Nuevo Nivel Mina

⁵ Codelco. (2016). Nuevo Nivel Mina El Teniente. [en línea] Disponible en: https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20110706/pags/20110706130724.html [Consultado 5 de Julio 2016].

2.2 Ubicación Geográfica

El Proyecto Nuevo Nivel Mina se encuentra ubicado en el Complejo Industrial de División El Teniente, Comuna de Machalí, VI Región de Libertador Bernardo O'Higgins, 50 km al este de la comuna de Rancagua, a una altura promedio de 2.500 msnm.



Figura 2.2: Ubicación Geográfica Proyecto Nuevo Nivel Mina

2.3 Método de Explotación

El Proyecto Nuevo Nivel Mina será explotado por el método **Panel Caving**, método de explotación gravitacional masivo el cual se basa en hacer un corte basal horizontal al macizo rocoso (socavación) aprovechando la energía gravitacional para propagar el hundimiento en altura.

Características:

- Realiza la extracción desde la infraestructura existente bajo el área socavada.
- Cuenta con un sistema de manejo de materiales para transportar el mineral hasta exterior mina.
- Permiten un alto grado de mecanización con tecnologías probadas. Mediante tecnología innovadora permiten automatización (equipos LHD, trenes, camiones, correas transportadoras) (Vargas 2014).

En un panel caving se requiere hacer el desarrollo de nuevos puntos de extracción de manera continua como parte del proceso de la minería general (Diering 2008).

La principal característica del panel caving es la excavación continua del nivel de corte (hundimiento) y la apertura de bateas subyacentes.

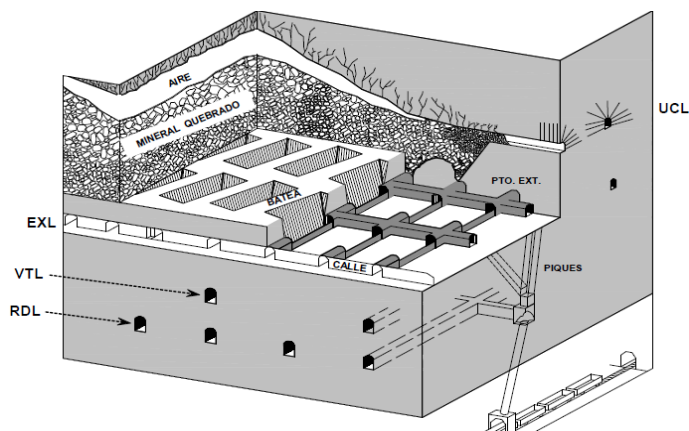


Figura 2.3: Panel Caving

La variante a usar en el Proyecto Nuevo Nivel Mina es la de **Panel Caving con Hundimiento Convencional**. En esta variante de explotación, los frentes de socavación y de extracción prácticamente coinciden en su avance, dejándose usualmente la última línea de zanjas sin extraer, a fin de minimizar el fenómeno de dilución. Tiene una secuencia operacional en el siguiente orden: (1º) Desarrollo y Construcción de las Galerías del Nivel de Producción, (2º) Socavación del Nivel de Hundimiento, y (3º) Extracción del Mineral (Cavieres 1999).

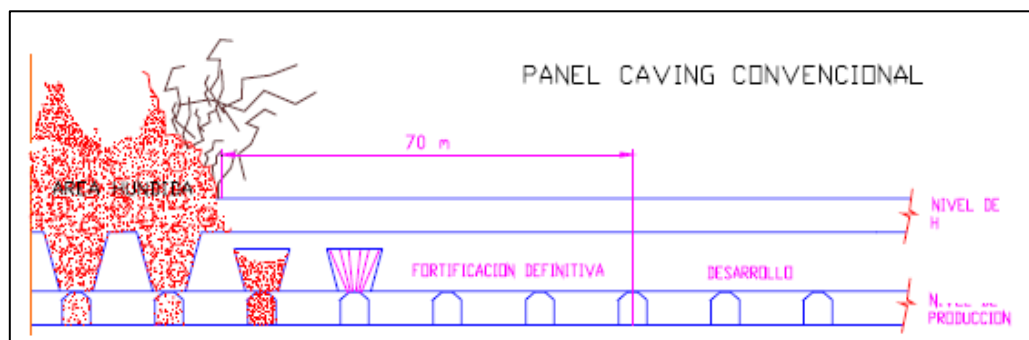


Figura 2.4: Panel Caving Convencional⁶

⁶ PATRICIO CAVIERES, 1999. Evolución de los Métodos de Explotación en la Mina El Teniente. Gestión de la Innovación Tecnológica. Módulo I. Curso 5.

2.4 Simulación

La Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un Sistema Real y conducir experimentos con este modelo, con el propósito de comprender el comportamiento del Sistema y/o evaluar varias estrategias para la operación del mismo (Robert E. Shannon 1998).

El Propósito de la simulación es:

- Predicción
- Investigación
- Comparación

Existen distintos modelos de simulación que permiten representar situaciones reales de diferentes tipos:

Modelos Físicos: Un ejemplo de este tipo de modelo es el poner un avión a escala en una cámara por donde se hace pasar un flujo de aire, con el propósito de simular los efectos que experimentará un avión real cuando se vea sometido a turbulencia.

Modelos Matemáticos: Lo opuesto a un modelo físico, ya que este tipo de modelos usa elementos matemáticos para simular.

Modelos continuos: Son aquellos en los que las relaciones entre las variables relevantes de la situación real se definen por medio de ecuaciones diferenciales, dado que éstas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo. Problemas como saber de qué manera se transfiere el calor en un molde o determinar cómo fluye cierto material dentro de una tubería, e incluso discernir el comportamiento

del nivel de un tanque de gasolina al paso del tiempo mientras el vehículo está en marcha, pueden simularse en estos términos.

Modelo Discreto: En ellos el comportamiento que nos interesa analizar puede representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado. Por ejemplo, si hacemos un muestreo del número de personas que llegaron a un banco en un lapso de tiempo específico, podemos simular esta variable con ecuaciones ligadas a distribuciones de probabilidad que reflejen dicho comportamiento.

Modelos Dinámicos: Son aquellos en los que el estado del sistema que estamos analizando cambia respecto del tiempo. Por ejemplo, el número de personas que hacen fila para entrar a una sala de cine varía con el tiempo.

Modelos estáticos: Representan un resultado bajo un conjunto de situaciones o condiciones determinado; por ejemplo, al lanzar un dado los únicos valores que se puede obtener son 1, 2, 3, 4, 5 o 6, de manera que el resultado de la simulación será uno de tales valores posibles; este tipo de simulación generalmente se conoce como simulación de Monte de Carlo.

Modelos determinísticos: Se refieren a relaciones constantes entre los cambios de las variables del modelo. Por ejemplo, si las cajas empleadas en un proceso contienen siempre 5 productos, cada vez que se añada una caja al inventario éste se incrementa en 5 unidades.

Modelo Probabilístico: Continuando con el ejemplo anterior, si, por el contrario, se da una distribución de probabilidad en el proceso de manera que algunas cajas contienen 3 productos, otras 4 y así por el estilo, el inventario se modificará según el número de piezas de cada caja y, en consecuencia, será necesario un modelo estocástico.

Con el fin de abarcar un gran set variables operacionales y representar el comportamiento del proceso mina a gran detalle, es que se hace necesario modelar el sistema en estudio a través de un modelo de **Simulación de Eventos Discretos** en donde hablaremos de **modelos matemáticos, discretos, dinámicos, y que pueden incluir variables determinísticas y probabilísticas.**⁷

⁷ Definiciones de distintos tipo de Modelos: GARCÍA E., GARCÍA H., CÁRDENAS LEOPOLDO E. Simulación y análisis de Sistemas con Promodel 2006, México, Naucalpan Juárez: Pearson Educación México. S.A de C.V (pág. 2-4)

2.5 Confiabilidad del Modelo

“Según análisis de resultados se tienen dos tipos de simulaciones:

Simulación con Horizonte Finito: También llamada *Simulación Terminante o Terminal*, es donde existe un evento “natural” e que especifica la longitud de cada réplica, en ese evento el sistema se reinicializa. Las condiciones iniciales generalmente afectan a las medidas de desarrollo por lo que han de ser representativas del sistema real. Se utiliza un periodo de “calentamiento o arranque” (warm up) o aleatorización condiciones iniciales.

Simulación con Horizonte Infinito: Se le llama también *Simulación de Estado Estable*, y es donde no existe tal evento que indique el final de la réplica, posibilidades:

- a) *Distribución estacionaria:* Se deben estimar parámetros estacionarios
- b) *No estacionaria por ciclos:* Se deben estimar parámetros estacionarios del ciclo.
- c) *No estacionaria,* pues los datos de entrada varían en el tiempo, Se debe considerar que cada vez que cambian es un final de horizonte.

Para efectos de este estudio se trabaja con ***Simulación Terminante***, donde un año (360 días) corresponderá a la longitud de cada replicación.

Para lograr una buena representatividad de una simulación terminante, se debe resolver cuantas corridas se necesitan para lograr que los resultados sean creíbles. Se debe elegir la variable de respuesta sobre la cual se realizará este análisis, la que para este estudio es la producción mina (TPD promedio año).

A partir de que se elige la variable de referencia para el análisis, se generarán datos en donde se deberá calcular la media y desviación estándar obtenida en esa variable en

particular, los cuales serán respectivamente los valores de X (la media) y σ (la desviación estándar) a sustituir en la siguiente fórmula:

$$N = \left[\frac{\sigma * Z}{Error * X} \right]^2$$

Donde:

- N = Número de Corridas
- σ = Desviación estándar de la variable de respuesta a analizar
- X = Promedio de la variable de respuesta a analizar
- Z = Estadístico normal estándar, Ejemplo: Para un nivel de confianza de 95% $Z= 1,96$ ⁸

⁸ PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedras Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Análisis de Resultados. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 2-5.

2.6 Software

El software de simulación de eventos discretos utilizado para este trabajo es ProModel, dado que este es el software corporativo.

ProModel es uno de los paquetes de software comercial para simulación más usados en el mercado. Cuenta con herramientas de análisis y diseño que, unidas a la animación de los modelos bajo estudio, permiten al analista conocer mejor el problema y alcanzar resultados más confiables respecto de las decisiones a tomar.

Este cuenta con los siguientes elementos de simulación:

- Reloj de Simulación
- Entidades
- Llegadas
- Variables y Atributos
- Localizaciones
- Procesamiento
- Recursos
- Animación

Reloj de Simulación: Es el contador de tiempo de la simulación, y su función consiste en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación, y cuánto tiempo en total se requiere que dure este último. En general, el reloj de simulación se relaciona con la tabla de eventos futuro.

Entidades: Cualquier cosa que procesa el modelo se denomina "entidad", documentos, personas o para efectos de este estudio el mineral. Las entidades pueden agruparse, por ejemplo, cuando varias entidades de mineral se apilan en un pique, o también pueden ser divididas en dos o más entidades, e incluso convertirse en una o más nuevas entidades.

Llegadas: Cada vez que una nueva entidad se introduce en el sistema, se denomina una llegada. Un registro de llegada se define especificando la siguiente información:

- Número de nuevas entidades por cada llegada
- Frecuencia de las llegadas
- Localización de la llegada
- Tiempo de la primera llegada
- Ocurrencias totales de la llegada

Variables y Atributos: Las variables y atributos con elementos los cuales guardan valores (enteros o reales), los que sirven para tomar decisiones dentro del modelo o medir parámetros de utilidad (tonelaje, tiempos de ciclo, etc.). Las variables pueden ser globales, en donde cualquier código (o lógica) en el modelo puede hacer uso de este elemento o locales, en donde sólo son modificables dentro del código (o lógica) que las creó. Los atributos por otro lado son elementos que suelen seguir a las entidades a todos los procesos (ejemplo el tonelaje de una entidad mineral).

Localizaciones: Las localizaciones (o locations) representan lugares en el sistema en el que las entidades se encaminan para el procesamiento, el almacenamiento, o alguna otra actividad o la toma de decisiones.

Procesamiento: El Procesamiento define el enrutamiento de las entidades a través del sistema y las operaciones que tienen lugar en cada Localización (o location) que entran. Una vez que las entidades han entrado en el sistema, tal como se define en la tabla de llegadas, el proceso especifica todo lo que sucede con ellos hasta que salen del sistema. Ejemplo si se tiene como entidad al mineral y como localización un punto de extracción un procesamiento (o processing) es la carga de mineral por un LHD.

Recurso: Un recurso es una persona, pieza de equipo, o algún otro dispositivo que se utiliza para una o más de las siguientes funciones: transporte de entidades, la asistencia en la realización de operaciones en entidades en las localizaciones (o locations), realizar el mantenimiento de los lugares, o realizar el mantenimiento de otros recursos. Los recursos consisten en una o más unidades con características comunes, tales como un grupo de técnicos de servicio o de una flota de carretillas elevadoras. Los recursos pueden ser dinámicos, lo que significa que se mueven a lo largo de una red de camino, o estático, en la que no se produce ningún movimiento. Los recursos también pueden tener tiempos de parada. Ejemplo de recurso para este estudio: Un equipo o flota de LHD's.

Animación: El Software cuenta con animación del modelo bajo estudio, lo que permite conocer mejor el problema y alcanzar resultados más confiables respecto de las decisiones a tomar.⁹

⁹ Definiciones de Elementos de Simulación elaboradas a partir de: Promodel.com. (2016). ProModel - Technology Enabled Predictive Analytics Simulation. [en línea] Disponible en: www.promodel.com [Consultado 5 Julio 2016].

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Un estudio de simulación ya sea para la minería u otro rubro se realiza por pasos prácticamente estándares, los que se detallan a continuación:

➤ **Modelo Conceptual**

Un Modelo Conceptual es un documento que sirve como plano para levantar los procesos a modelar, en donde se definen los elementos que componen un modelo de tipo SED desde un punto de vista operativo. Se menciona el objetivo que se busca, entregando los límites del modelo, las restricciones que contendrá y los criterios que utilizará.

Para elaborar un Modelo Conceptual es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere establecer los supuestos del modelo: es conveniente definir con claridad las variables de decisión del modelo, determinar las interacciones entre éstas y establecer con precisión los alcances y limitaciones que aquel podría llegar a tener.

Antes de concluir este paso es recomendable contar con la información suficiente para lograr establecer un modelo conceptual del sistema bajo estudio, incluyendo sus fronteras y todos los elementos que lo componen además de las interacciones entre éstos, flujos y productos, personas y recursos, así como las variables de mayor interés para el problema.

Establecer criterios de operación tales como:

- Asignación de LHD
- Criterios de reducción secundaria

- Simultaneidad de descarga en piques de Traspaso
- Número máximo de LHD por Calle

En este paso se hace necesaria la elaboración de diagramas de bloques con interacción de los procesos de operación.

➤ **Codificación del Proceso**

Crear el modelo en lenguaje de simulación en la plataforma del software ProModel, tal que pueda absorber todas las singularidades de la operación definidas en el modelo conceptual.

“Los modelos de simulación por su envergadura y tiempo de desarrollo es conveniente generarlos por etapas, lo anterior significa que se debe realizar un modelo con un nivel de detalle tal, que responda a las inquietudes básicas que se esperan del estudio. Luego en una siguiente etapa enriquecer el estudio generando un modelo con mayor nivel de detalle”¹⁰

➤ **Parámetros de Entrada**

Recopilación de datos duros tales como: factor de balde LHD, plan de producción, mantenibilidad y frecuencia de falla de los equipos, interferencias operacionales, distribuciones de probabilidad asociadas a la operación, etc.

• ¹⁰ PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedras Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Simulación en Minería. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 3.

➤ **Codificación Variables de Salida**

Crear estadística de salida del modelo, esta tiene relación con la información que se quiere obtener de este, tal como:

Producción Calle, Piques de Traspaso y LHD:

- Día
- Hora
- Acumulada

Utilización de Equipos

- Rendimiento LHD SA
- Tiempos de Ciclo LHD SA
- Asarco LHD SA
- Horas de Operación Martillo

➤ **Validación y Verificación**

“La Verificación es la tarea de comprobar el modelo y el programa para garantizar que se comportan como se espera. Se define como el proceso de determinar que una implementación del modelo representa de forma precisa la descripción conceptual y las especificaciones del desarrollador”¹¹

• ¹¹ PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedra Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Verificación y Validación. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 20.

Validación: Es el proceso de alcanzar un nivel aceptable de confianza en que las inferencias trazadas son correctas y aplicables al sistema del mundo real que está siendo representado (Robert Shannon 1998).

➤ **Resultados Caso Base**

Resultado inicial del Escenario de Simulación definido en el Modelo Conceptual.

➤ **Sensibilizaciones**

Análisis de los Resultados, y sensibilizaciones de distintos escenarios de variables críticas tales como:

- Número de Flota de LHD
- Aumento de Frecuencia de sobretamaño
- Incremento de Plan de Producción

➤ **Documentación, conclusiones y recomendaciones**

Una vez realizado análisis de los resultados, es necesario efectuar toda la documentación del modelo.

Cabe destacar que no todos los pasos descritos en el plan de trabajo se realizan secuencialmente uno después del otro, el proceso de simulación es un estudio iterativo y con simultaneidad de actividades.

CAPÍTULO 4

PROCESO DE SIMULACIÓN

4.1 Modelo Conceptual

El subsistema Mina define operaciones y criterios desde la carga en el punto de extracción hasta la descarga en los piques de traspaso que conectan con el nivel de transporte intermedio, mediante equipos LHD Semiautónomos de 10 [yd³] en el Nivel de Producción del **Sector Andes - Proyecto Nuevo Nivel Mina** para el año 2031.

A continuación, se definen los criterios operacionales del **Caso Base**, los que especifican la filosofía de operación con la cual se ejecutará el proceso productivo mina, la cual es respaldada y aprobada por el Proyecto Nuevo Nivel Mina.

4.1.1 Definición de Calles y Semicalles

El escenario de estudio contempla el régimen de producción del Sector Andes al año 2031 (ver Figura 4.1), donde el área verde corresponde a los puntos abiertos con anterioridad, y el área roja a los puntos incorporados ese año. Se cuentan con 16 calles, 24 líneas de zanjas norte y 36 líneas de zanjas sur, las cuales son divididas en 3 grupos:

- Cabeza (Calle 1 a 6)
- Central (Calle 7 a 10)
- Patilla (Calle 11 a 16)

Las calles están enumeradas de izquierda a derecha según el área delimitada de la figura ya antes mencionada.

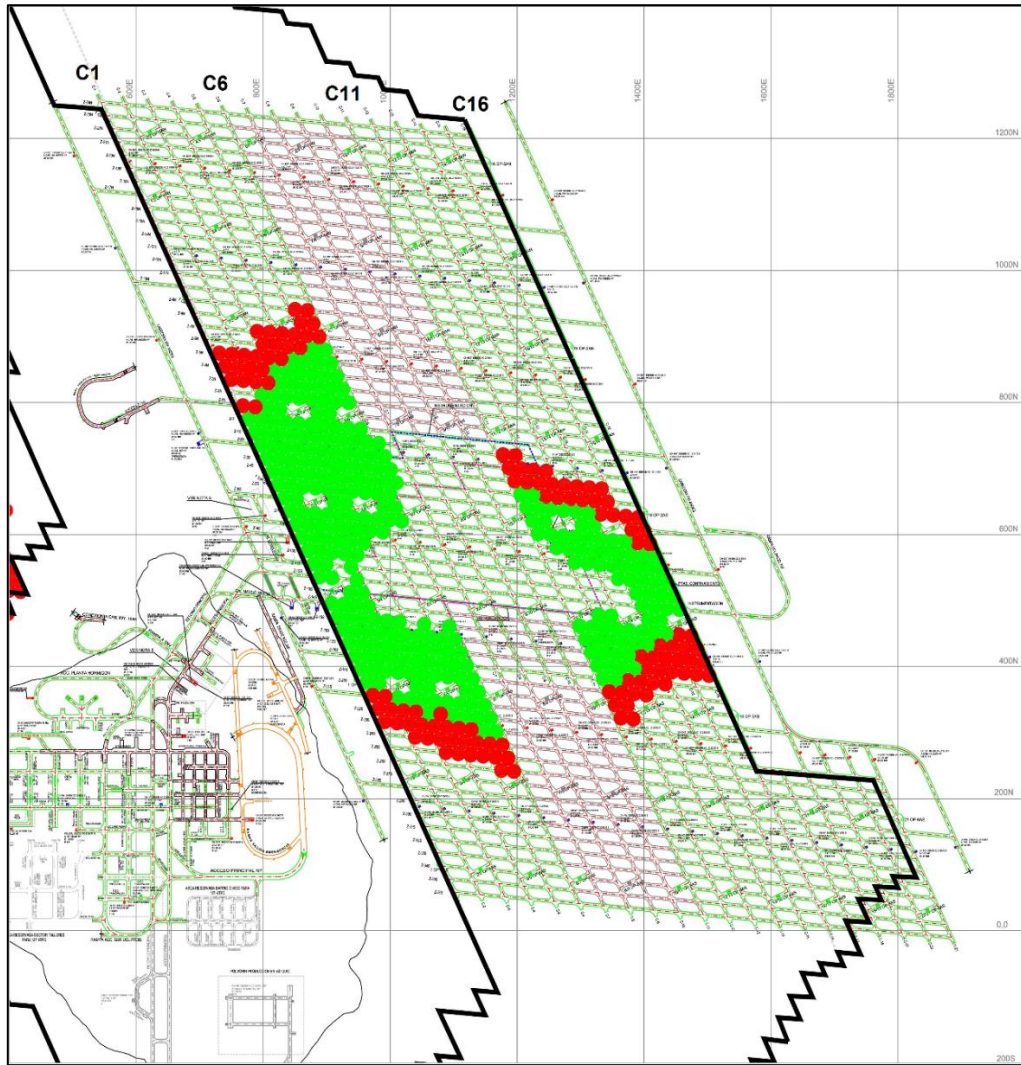


Figura 4.1: Layout del NP con Área Productiva al año 2031¹²

Se define como Calle propiamente tal a la longitud de ésta que involucra área activa de producción, ver ejemplo para la calle 1, 3 y 6 en la Figura 4.2.

¹² Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

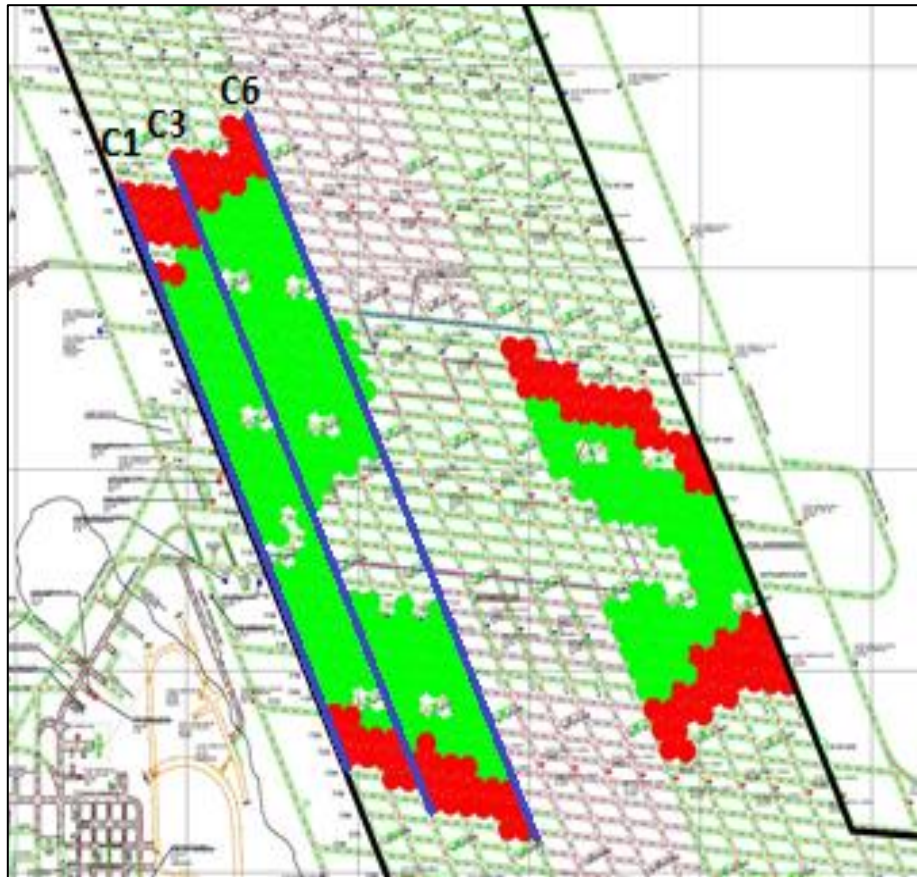


Figura 4.2: Ejemplo de Calle para el Sector Andes

Tomando la zanja 9S como límite de borde, se divide el layout en dos zonas: Norte y Sur. Por lo que las Calles antes definidas quedan subdivididas en Semicalles Norte y Sur, ver ejemplo para Calles 1, 3 y 6 en la Figura 4.3.

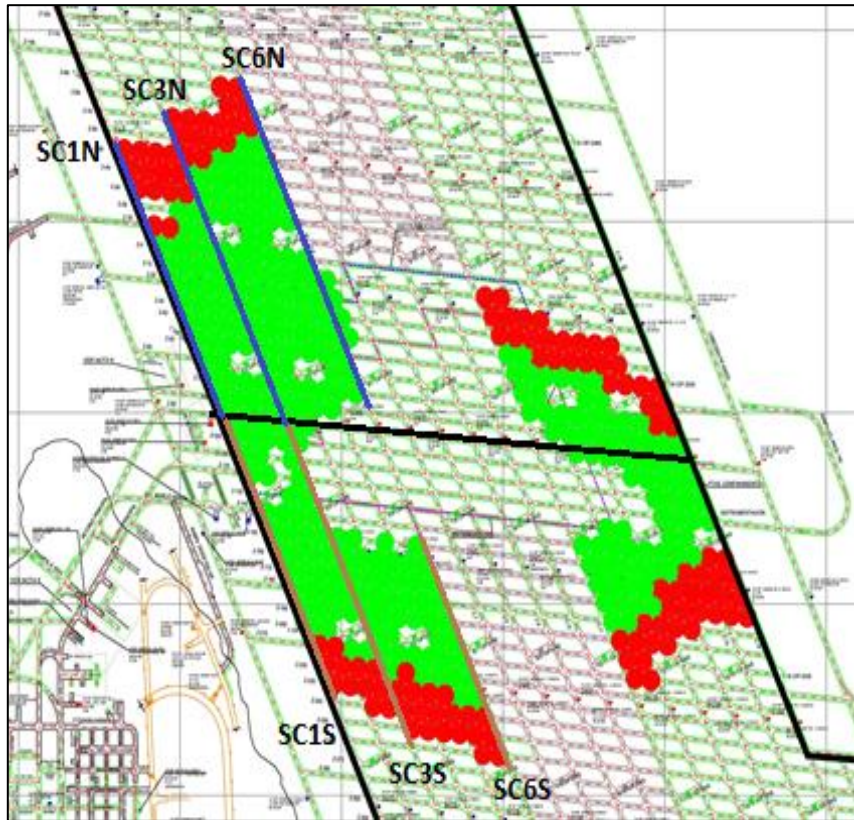


Figura 4.3: Ejemplo de Semicalles Sector Andes

A su vez, estas semicalles se subdividen en Unidades Productivas, área en la que operará el equipo LHD, a continuación, se describe en detalle el concepto de Unidades Productivas.

4.1.2 Unidades Productivas

En el nivel de producción, recogiendo los criterios de operación con los cuales se trabajarán en el proyecto Nuevo Nivel Mina, se definen diferentes **unidades productivas**, las que son a su vez áreas confinadas de un conjunto de zanjas asociadas a un pique de traspaso, en donde sólo puede haber un único LHD SA operando en ellas, lo anterior con la finalidad de maximizar la eficiencia del recurso.

Los principios fundamentales de operación y caracterización para estas unidades de productivas son:

1. Las Semicalles pueden poseer de 1 a 3 unidades productivas, donde sólo una unidad productiva por semicalle se encontrará operando, por seguridad
2. Cada unidad productiva posee en promedio 7 zanjas las que están asociadas a un pique de traspaso, el número de zanjas fue definido al poseer la menor distancia entre los puntos de extracción y el punto de vaciado.
3. Todas las unidades productivas poseen un pique de traspaso cuya descarga puede o no ser compartida por otra unidad lateral, lo que no altera la caracterización de unidad productiva.

Cabe mencionar que los piques de traspaso se encuentran ubicados en las zanjas, por lo que pueden recibir mineral de las dos calles a las cuales conecta, dependiendo del área abierta de producción.

4. Existen tantas unidades productivas como piques de traspaso por calle. Ejemplo, si en una calle hay 4 piques de traspaso, se tienen por lo tanto 4 unidades productivas, una por cada conjunto “calle – pique de traspaso”.

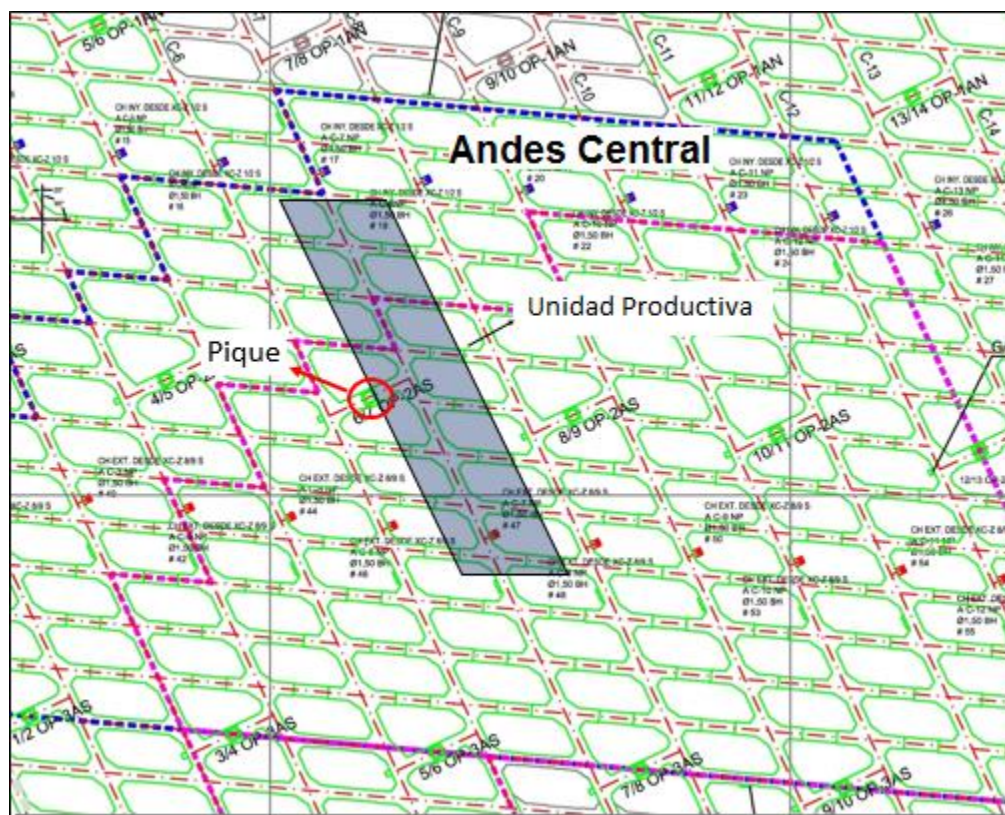


Figura 4.4: Ejemplo de definición de unidad productiva

La cantidad de unidades productivas y puntos de extracción creados en el modelo para todo el Sector Andes es la siguiente:

- Andes Cabeza: 32 unidades productivas, con un total de 340 puntos de extracción.
- Andes Central: 12 unidades productivas, con un total de 108 puntos de extracción.
- Andes Patilla: 19 unidades productivas, con un total de 184 puntos de extracción.

En la Figura 4.5 se puede observar la ubicación, tamaño y enumeración de las unidades de productivas para efectos de la simulación, las que interactúan con un total de 36 piques de traspaso.

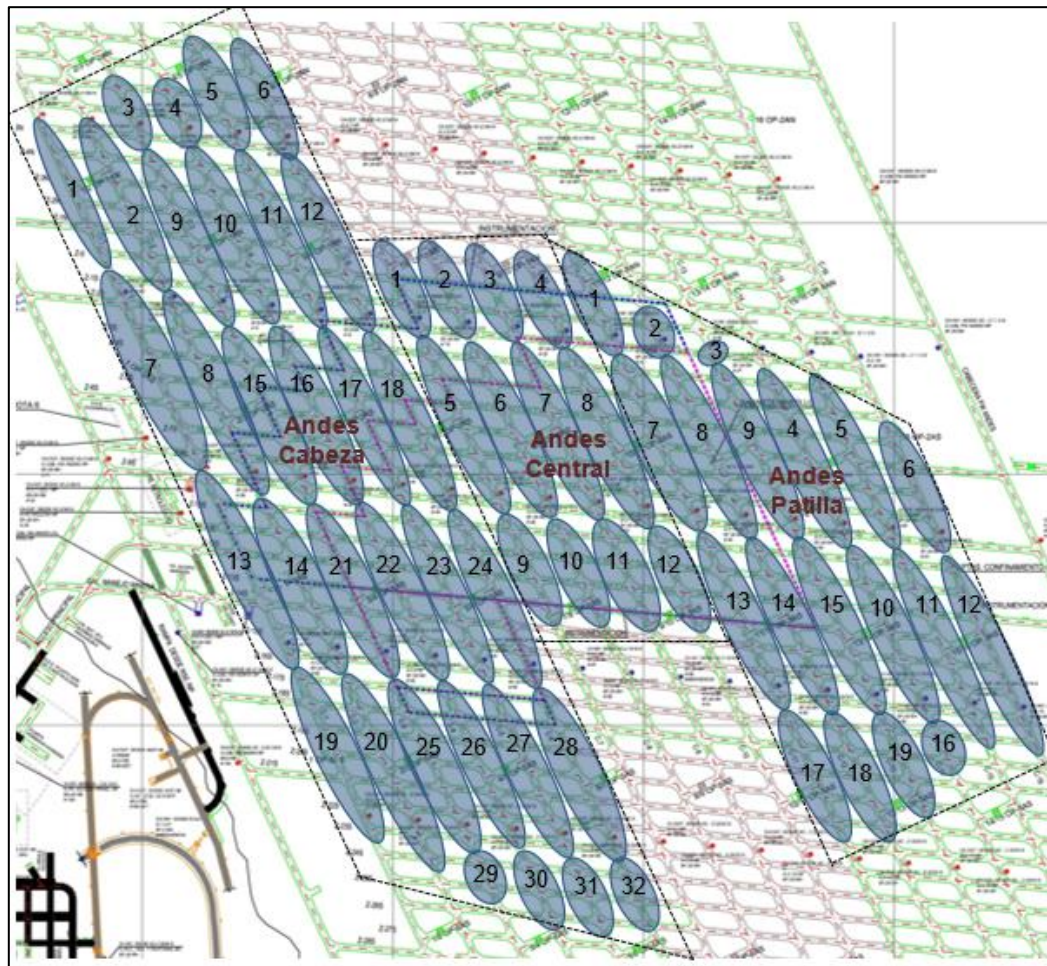


Figura 4.5: Mapa de unidades productivas en Sector Andes¹³

Dado lo anterior, cabe destacar que tanto para las unidades productivas como para los puntos de extracción el estado de operatividad (operativo o no operativo) queda determinado de acuerdo al plan de producción. Lo anterior se traduce en que no todas las unidades productivas o todos los puntos de extracción construidos deben estar necesariamente operando en un momento determinado de la simulación, esta condición es dinámica y se adapta mes a mes de acuerdo a la carta de tiraje. Dicho lo anterior, en

¹³ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

la Figura 4.6 se ilustra en verde las unidades productivas activas para el año 2031 y en rojo las agotadas.

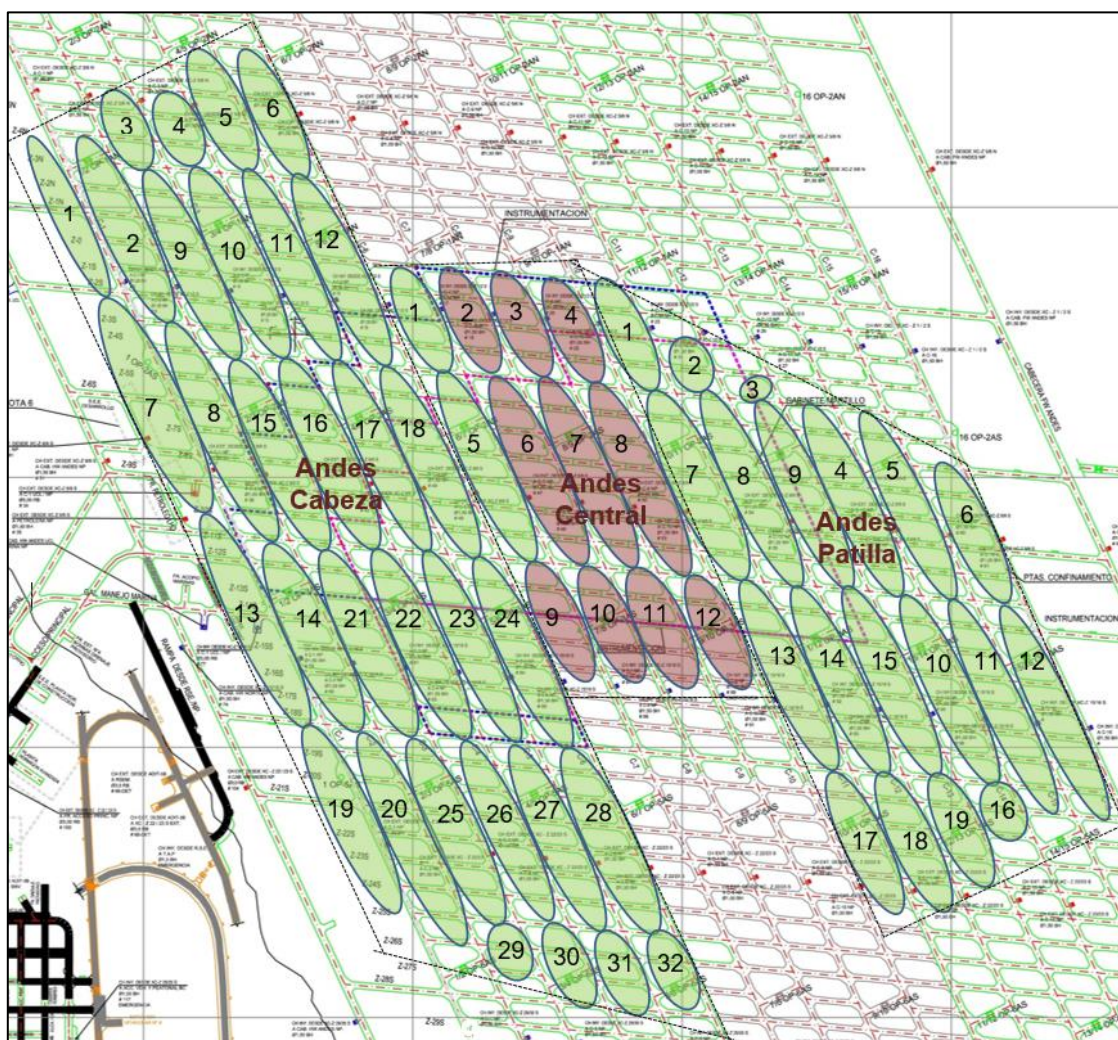


Figura 4.6: Unidades Productivas activas y no activas para el año 2031

Estas unidades productivas cuando están operativas poseen un set de estados posibles en el tiempo, los cuales se describen a continuación:

Operación: corresponde a una unidad productiva con operación de LHD semiautónomo en tarea de extracción de mineral desde puntos de extracción a piques de traspaso.

Reducción Secundaria: corresponde a una unidad productiva sin operación, dedicada exclusivamente a tareas de reducción secundaria y descuelgue de puntos de extracción.

Segregación por Reducción Secundaria: corresponde a una unidad productiva sin operación, la cual se encuentra segregada por actividades de reducción secundaria en unidades productivas adyacentes o laterales.

Reparación/Mantención: corresponde a una unidad productiva sin operación, dedicada a la reparación de infraestructura de la unidad productiva (piques de traspaso, carpetas de rodados y parrilla).

Reserva: corresponde a una unidad productiva sin operación donde su cumplimiento aún no ha alcanzado el 100%, la cual se encuentra disponible para ser trabajada por un LHD, pero no existe disponibilidad de equipos.

Cumplimiento 100%: corresponde a una unidad productiva sin operación la que alcanzó la meta diaria de producción dada por el plan, por lo cual no tiene un equipo LHD asignado.

Pérdidas del turno: corresponde a una unidad productiva sin operación dado a que el turno presenta interferencia, pérdida operacional, colación, inicio de turno, etc.

Martillo No operativo: corresponde a una unidad productiva la cual no tiene un equipo LHD asignado dado que el martillo de su correspondiente pique de traspaso se encuentra en falla o mantención.

Detenida: corresponde a una unidad productiva donde parte de sus puntos de extracción se encuentran al 100% de cumplimiento y el resto están colgados, sin embargo, la

cantidad de puntos colgados no son suficientes para alcanzar el porcentaje necesario de reducción secundaria.

Segregación por operación de LHD: El modelo de simulación limita el número de LHD's por SemiCalle, escogiendo sólo una unidad productiva por semicalle, dejando las restantes en estado de segregación por LHD.

Segregación por Falla de LHD: El modelo de simulación integra fallas del equipo LHD, algunas de estas implican reparación in-situ gatilladas por Sistema Automine, por lo que este estado corresponde al momento que una unidad productiva se encuentre sin operar debido a una falla in-situ del LHD.

Cabe destacar que, para efectos de la simulación, una unidad productiva con plan de producción cero se considerará en estado de reserva.

A continuación, para efectos prácticos el desglose de unidades productivas por calle ilustrado en la Figura 4.5.

La descripción de las unidades productivas se puede ver detallado en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1: Unidades productivas por calle y sector Andes

Andes	Cabeza						Central				Patilla					
Calle	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
Unid. Prod.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	16		
	19	20	21	22	23	24					17	18	19			
			25	26	27	28										
			29	30	31	32										

A su vez como se mencionó con anterioridad estas unidades productivas interactúan con un total de 36 piques de traspaso para la descarga del mineral, el tag y enumeración de los piques de traspaso se puede observar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Enumeración y Tag de Piques de Traspaso

Piques de Traspaso			
N° Pique	Tag	N° Pique	Tag
1	1/2 OP-1AN	19	6/7 OP-5AS
2	1 OP-2AS	20	7/8 OP-1AN
3	1/2 OP-3AS	21	7/8 OP-3AS
4	1 OP-5AS	22	8/9 OP-2AS
5	2/3 OP-2AN	23	9/10 OP-1AN
6	2/3 OP-2AS	24	9/10 OP-3AS
7	2/3 OP-5AS	25	10/11 OP-2AS
8	3/4 OP-1AN	26	10/11 OP-5AS
9	3/4 OP-3AS	27	11/12 OP-1AN
10	3/4 OP-6AS	28	11/12 OP-3AS
11	4/5 OP-2AN	29	12/13 OP-2AS
12	4/5 OP-2AS	30	12/13 OP-5AS
13	4/5 OP-5AS	31	13/14 OP-1AN
14	5/6 OP-1AN	32	13/14 OP-3AS
15	5/6 OP-3AS	33	14/15 OP-2AS
16	5/6 OP-6AS	34	14/15 OP-5AS
17	6/7 OP-2AN	35	15/16 OP-3AS
18	6/7 OP-2AS	36	16 OP-2AS

Las unidades productivas pueden tener un pique de traspaso propio como uno compartido por otra unidad productiva para la descarga de mineral, la configuración de piques de traspaso para cada unidad productiva de acuerdo a la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 es la que se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Configuración unidades productivas con Piques de Traspaso

Andes	Cabeza						Central				Patilla					
Calle	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
Pique / Unid. Prod.	1	1	5	11	11	17	20	20	23	23	27	27	31	33	33	36
	2	6	8	8	14	14	18	22	22	25	25	29	29	32	35	35
	3	3	6	12	12	18	21	21	24	24	28	28	32	34		
	4	7	9	9	15	15					26	30	30			
			7	13	13	19										
			10	10	16	16										

A modo de ejemplo con la información de la Tabla 4.1, Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 podemos decir que el pique de traspaso 12 con el tag “4/5 OP-2AS” es compartido por las unidades productivas 15 y 16, que corresponden a las calles 3 y 4 respectivamente, del sector Andes Cabeza.

4.1.3 Filosofía de Operación Productiva

Se define que el ciclo productivo del equipo LHD SA de 10 [yd³] está compuesto por las siguientes actividades:

- Descarga
- Viaje vacío al punto de carga
- Espera en punto de carga por operador telecomandado para carga LHD SA
- Carga tele comandada del LHD SA
- Salida punto de carga
- Liberación del operador
- Viaje lleno

Se define la siguiente interferencia operacional asociada al ciclo de producción:

- Espera por martillo (picando)

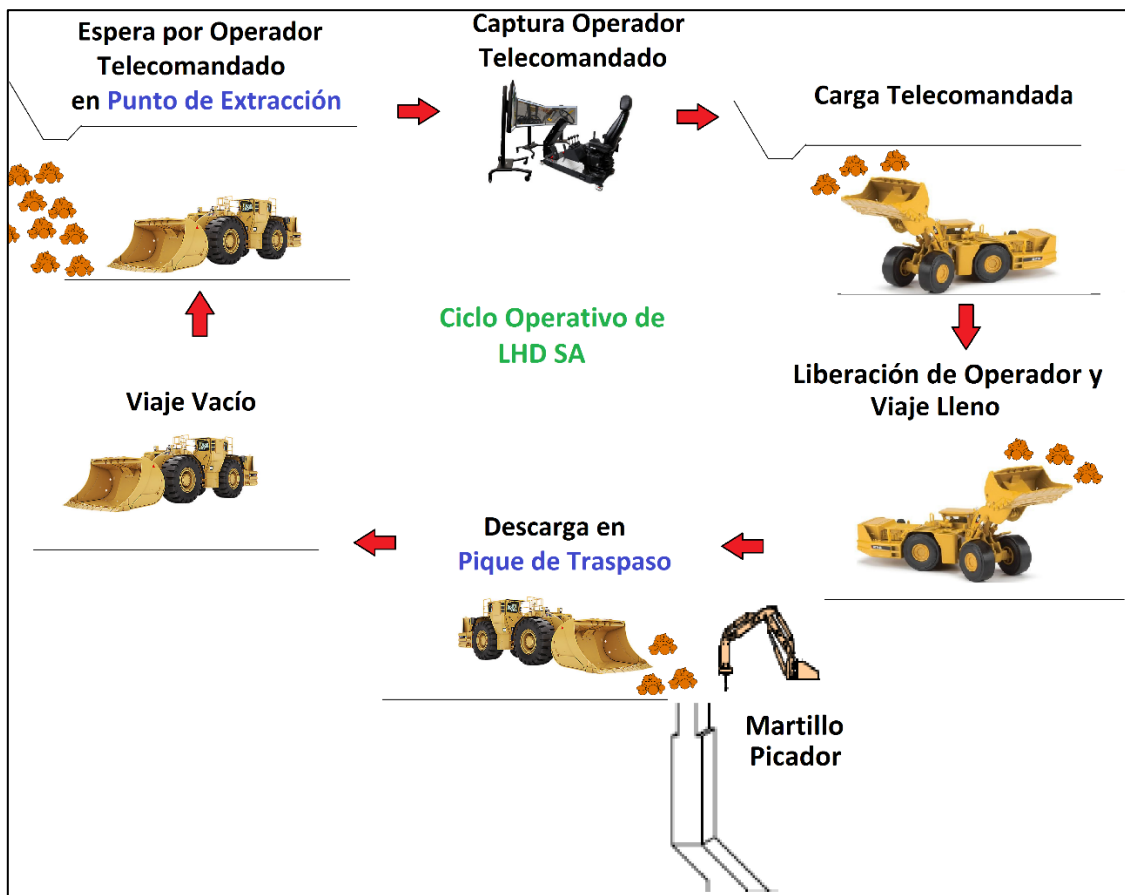


Figura 4.7: Ciclo Operativo LHD SA¹⁴

¹⁴ Elaboración Propia

Criterio de Asignación LHD

La operación en cada Sector Andes (Patilla, Cabeza o Central) y válido para todos aquellos que se encuentren en operación, se ejecutará de la siguiente forma (complementar con Figura 4.8):

1. La asignación se inicia con un catastro en las unidades productivas que se encuentren disponibles y operativas para el turno, con el fin de asignar los equipos LHD SA a aquellas que tengan el menor porcentaje de cumplimiento respecto de su programa de producción, además estas para su asignación deben tener su pique de traspaso correspondiente disponible.
2. Ya estando el LHD SA en la calle y unidad productiva seleccionada, se dirige al punto de extracción que también tenga el menor porcentaje de cumplimiento respecto de su programa de producción. Luego, el equipo LHD SA avanza a cargar hasta el punto de extracción correspondiente, y estando frente al punto, espera por un operador que toma el control del equipo para cargar.

Cuando se inicia la simulación se escoge la unidad productiva y el punto de extracción con mayor producción programada para extraer.

3. Una vez que el operador libera el equipo en el punto de extracción, el LHD SA es conducido al pique traspaso disponible respectivo, para comenzar el vaciado del mineral.

Los eventos que determinan si un pique de traspaso está disponible a modo general son:

- I. Pique operativo (no se encuentre en mantención).

II. Que el martillo no se encuentre haciendo reducción de una colpa en la parrilla de vaciado del pique.

III. Que el martillo esté disponible.

El criterio en detalle para ir a descargar al pique, de lo desglosado anteriormente se puede definir de la siguiente manera:

- I. Si el martillo no se encuentra realizando reducción de una colpa o se encuentra disponible, el equipo LHD SA inmediatamente descarga el mineral en el pique.
- II. Si el martillo del pique no está disponible, el equipo espera en el punto de extracción hasta que lo esté.
- III. Cada punto de extracción tendrá una segunda opción de descarga, la que corresponde al segundo pique más cercano (ubicado en otra unidad productiva), por lo que en el caso de que el primer pique no esté disponible el LHD SA irá a descargar a un segundo pique, el cual también quedará sujeto a su disponibilidad, sumado a que en esa área no puede haber otro LHD SA trabajando.

Si las dos opciones de descarga no se encuentran disponibles, el LHD SA esperará hasta que una lo este o a que el turno termine, donde en el segundo caso al comienzo del siguiente turno el LHD SA podría ser reasignado a otra unidad productiva.

En el caso de que la primera opción de descarga no se encuentre disponible debido a una mantención o falla mayor del pique de traspaso o del martillo, el LHD SA será incorporado a otra unidad productiva según criterio de asignación.

4. Una vez que el LHD SA llegue al pique de traspaso correspondiente, este puede ser único para esta unidad productiva o compartido por otra, este deberá verificar las siguientes condiciones:
- Caso pique de traspaso No Compartido por LHD SA en calles laterales:
 - Descarga
 - Verificación de existencia de sobretamaño en parrilla
 - Caso pique de traspaso Compartido por LHD SA en calles laterales:
 - Se debe verificar si existe sobretamaño en parrilla producto de la descarga del otro equipo, en caso de existir debe esperar al término de la operación de picado del martillo.
 - Descarga
 - Verificación de existencia de sobretamaño en parrilla por cámara conectada con el sistema de control centralizado
5. Cuando una unidad productiva sea escogida para operar en un turno en particular y en su semicalle se cuelguen todos los puntos, o bien un porcentaje parametrizable de estos, será considerada como unidad productiva no disponible, ingresando de esta manera al proceso de reducción secundaria. Es importante mencionar, que, si en un turno se ejecuta reducción secundaria de la unidad productiva donde se está operando, el equipo LHD será reasignado a otra unidad productiva disponible (bajo criterio de asignación de LHD) para operar hasta que el turno finalice.

En caso de que el turno se encuentre con alguna interferencia operacional programada (perdida de final de turno, pérdidas operacionales, colación, etc.), estas no afectarán al ciclo del LHD hasta que haya terminado, esto ocurre cuando el LHD descarga en el pique de traspaso.

En resumen, el proceso en el nivel de producción, se puede observar en la Figura 4.8:

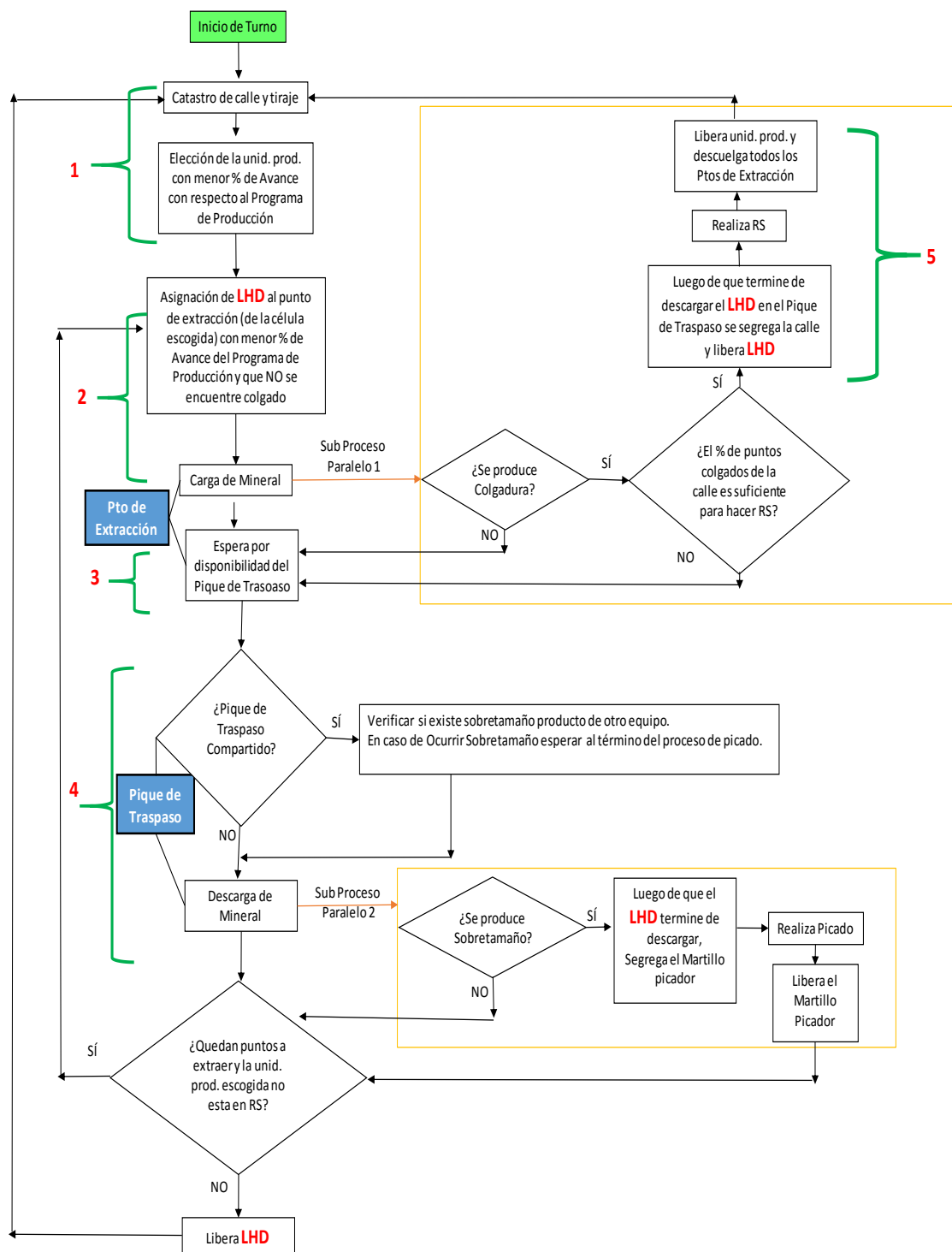


Figura 4.8: Diagrama de Flujo Operación Producción¹⁵

¹⁵ Elaboración Propia

4.1.4 Criterio Frentes de Avance y Semicalles Año 2031

De la Figura 4.9 se pueden identificar 4 Frentes de Avance para el nivel de producción al año 2031 a partir de la subdivisión de la zanja 9S, dos en el sector cabeza: Calles 1 a 6, incluyendo parte de la calle 7, y dos en el sector patilla: Calles 11 a 16, generando una subdivisión Norte y Sur en las unidades productivas según layout, como se observa en la Figura 4.10.

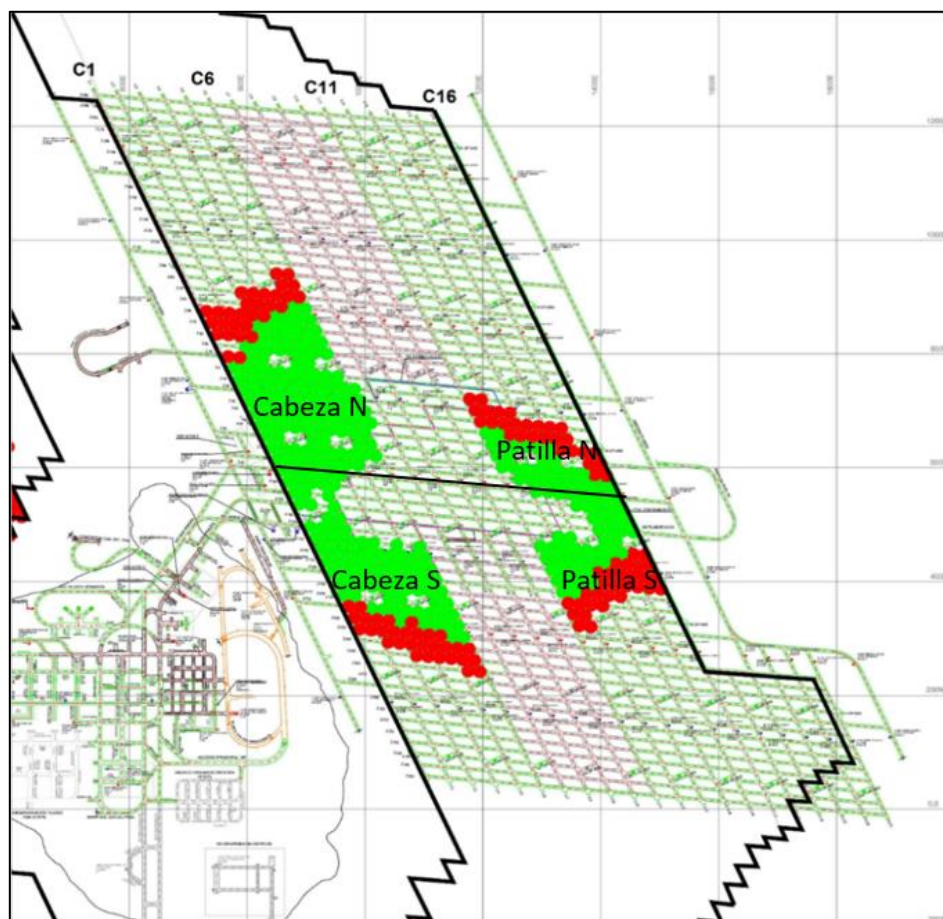


Figura 4.9: Frentes de Avance Andes 2031

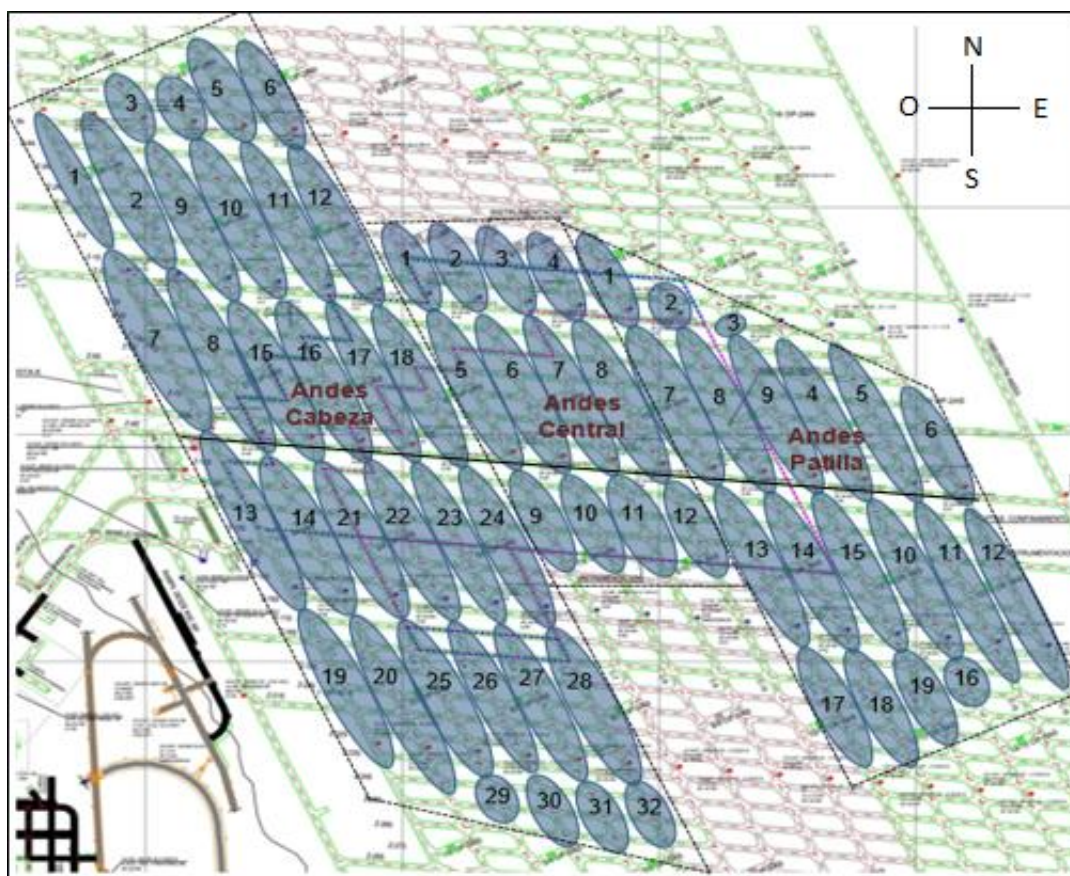


Figura 4.10: Mapa de Unidades Productivas Andes segmentadas Norte Sur¹⁶

¹⁶ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

La subdivisión de calles (SemiCalles) y unidades productivas correspondientes son descritas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: SemiCalles N y S con unidades productivas asociadas

SemiCalles (N y S) y Unid. Prod. por Sector Andes					
AHW		AC		AFW	
SemiCalle	Unid. Prod.	SemiCalle	Unid. Prod.	SemiCalle	Unid. Prod.
1 N	1, 7	7 N	1, 5	11 N	1, 7
1 S	13, 19	7 S	9	11 S	13, 17
2 N	2, 8	8 N	2. 6	12 N	2, 8
2 S	14, 20	8 S	10	12 S	14, 18
3 N	3, 9 ,15	9 N	3, 7	13 N	3, 9
3 S	21, 25, 29	9 S	11	13 S	15, 19
4 N	4, 10, 16	10 N	4, 8	14 N	4
4 S	22, 26, 30	10 S	12	14 S	10, 16
5 N	5, 11, 17			15 N	5
5 S	23, 27, 31			15 S	11
6 N	6, 12, 18			16 N	6
6 S	24, 28, 32			16 S	12

Para el año 2031 los frentes de avance (ver Figura 4.9) quedan definidos por las siguientes SemiCalles Norte y Sur, ver Tabla 4.5.

Tabla 4.5: SemiCalles Norte y Sur asociados a los Frentes de Avance

SemiCalles por Frentes de Avance			
Cabeza N	Cabeza S	Patilla N	Patilla S
1 N	1 S	11 N	11 S
2 N	2 S	12 N	12 S
3 N	3 S	13 N	13 S
4 N	4 S	14 N	14 S
5 N	5 S	15 N	15 S
6 N	6 S	16 N	16 S
7 N			

4.1.5 Criterio Número de LHD`s por SemiCalle

Los LHD son asignados de acuerdo al punto 4.1.3 de este estudio, sumado a la restricción de que sólo puede haber 1 LHD operando en cada SemiCalle para las Calles 1 a 6 (Andes Cabeza) y 11 a 16 (Andes Patilla), para las Calles 7 a 10 (Andes Central) al comprender menor longitud se restringe a sólo 1 LHD operando a lo largo de la Calle (1 LHD por las 2 semicalles). Las unidades productivas que no están operando debido a que ya se cumple el límite de LHD por calle pasan a ser “unidades productivas segregadas por operación de LHD”.

4.1.6 Criterio de Descarga en Pique de Traspaso

Aquellos LHD que compartan un pique de traspaso descargarán en la misma parrilla, en donde la descarga será simultánea, es decir, que un LHD descargará sin importar que se

encuentre otro descargando desde antes. Los eventos de sobretamaño en el pique de traspaso afectan a ambos LHD por igual.

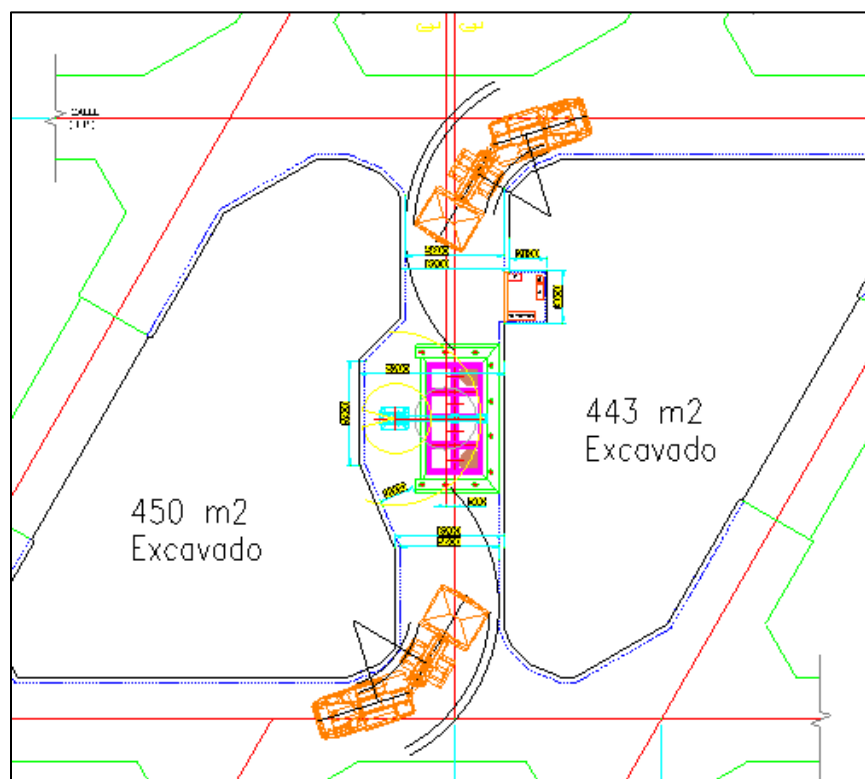


Figura 4.11: Descarga Parrilla ¹⁷

4.1.7 Criterio de carga de Combustible, Mantenimiento y Falla de LHD SA

El criterio del LHD para ir a cargar **combustible** queda sujeto a la cantidad de horas que ha estado operando, por lo que cada vez que un LHD termina su ciclo este verifica la cantidad de horas que ha acumulado, si supera cierto valor parametrizable este irá a cargar combustible y por lo tanto no estará asignado a ninguna unidad productiva hasta que termine su proceso.

¹⁷ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

El criterio del LHD para ir a **mantención**, será similar al de carga de combustible, quedará sujeto a la cantidad de horas que el LHD ha estado operando, las que serán verificadas cada vez que éste termina su ciclo, si supera cierto valor parametrizable se irá a mantención, la cual dependerá de la disponibilidad de la Nave.

En caso de **Fallas**, la frecuencia de estas y el tiempo de reparación quedarán sujeta a distribuciones de probabilidad estimadas de acuerdo a la recopilación de datos obtenidos.

4.1.8 Ciclo de LHD

Anteriormente en la Figura 4.8 se ilustró el diagrama de flujo de la operación de producción involucrando el ciclo del LHD a modo general. El ciclo de operación del equipo LHD en detalle se puede observar en la Figura 4.12:

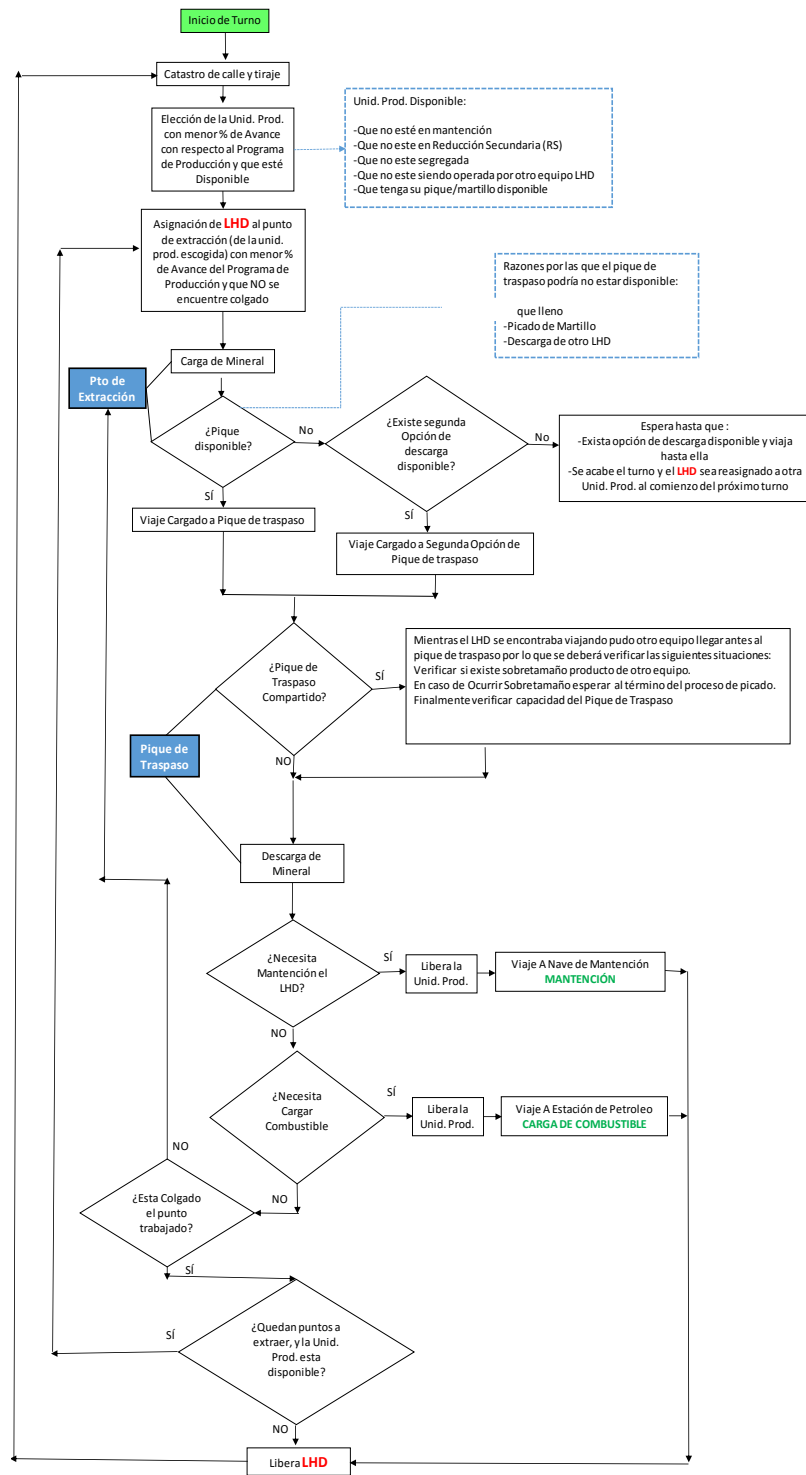


Figura 4.12: Diagrama de Flujo en detalle del Ciclo de LHD¹⁸

¹⁸ Elaboración propia

4.1.9 Criterio de Reducción Secundaria

Como se mencionó con anterioridad, cuando en una semicalle se cuelguen todos los puntos, o bien un porcentaje parametrizable de estos, las unidades productivas involucradas serán consideradas como unidades productivas no disponibles, ingresando de esta manera al proceso de Reducción Secundaria.

Antes de comenzar la reducción secundaria, ésta quedará sujeta a la disponibilidad de algún equipo (o cuadrilla) para realizarla, una vez que no haya restricciones para empezar comenzará su ejecución.

La actividad de reducción secundaria consiste básicamente en descolgar zanjás en estado colgadas o cortadas, y reducir colpas con explosivos.

La Reducción Secundaria puede dividirse en 2 etapas:

- Preparación / Cachorro: Consistente en el traslado de la cuadrilla a la unidad productiva, barrenado de colpas y carga de explosivo. De esta forma dejar la unidad productiva preparada para ejecutar la tronadura y descuelgue de puntos.
- Tronadura: Consiste en quemar los puntos que fueron cargados con explosivos en la etapa anterior, incluye la actividad de evacuación y reingreso a la unidad productiva afectada.

Durante la actividad de descuelgue de la zanja, se suspenderá la extracción por las calles adyacentes 30 metros a ambos lados de zanja en que se realiza la actividad, para evitar que la zanja se largue en forma repentina.

Para efectos de orientación se define como:

- **Unidades productivas Laterales:** Aquellas unidades productivas que se encuentran en calles paralelas compartiendo a lo menos 1 batea.
- **Unidades productivas Contiguas:** Aquellas unidades productivas que se encuentran en contacto a lo largo de la calle, donde termina el área de trabajo de una y comienza la de otra.

Por lo tanto, una unidad productiva tiene hasta 2 unidades productivas laterales y 2 unidades productivas contiguas según el layout, y como mínimo 1 unidad productiva lateral y 1 unidad productiva contigua.

Se define el siguiente criterio de Reducción secundaria para el Caso Base

Reducción Secundaria por Semicalle

Una vez que todos los puntos de extracción o un porcentaje parametrizables de estos se encuentren colgados en una semicalle, esta se encontrará en condiciones para comenzar las labores de reducción secundaria, donde todas las unidades productivas de la semicalle pasarán al mismo tiempo al proceso de reducción secundaria, en la Figura 4.13 se ilustran dos semicalles en reducción secundaria, cuyas unidades productivas se encuentran enumeradas desde fuera hacia el centro del layout.

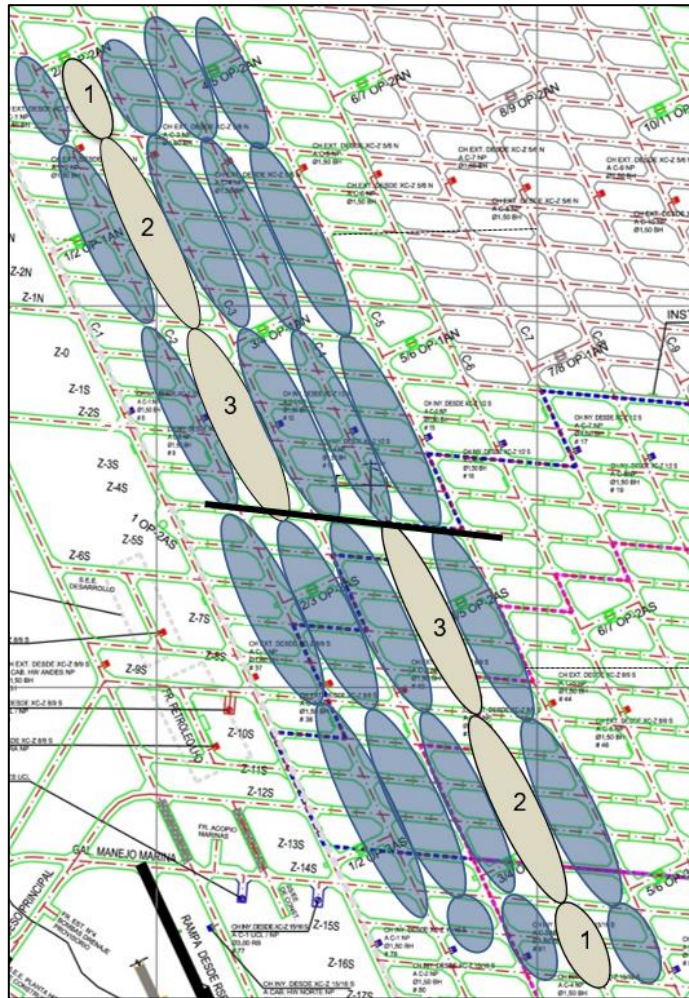


Figura 4.13: Reducción Secundaria por Semicalle

Para la etapa de cachorro se segregan las unidades productivas laterales de las que se encuentran en reducción secundaria, sin embargo, esta segregación será de manera secuencial y con un orden establecido, ya que no todas las unidades productivas comienzan a ejecutar la primera etapa de reducción secundaria al mismo tiempo, la primera unidad productiva que comienza su etapa de cachorro y segrega de manera lateral es la unidad enumerada con “1” en la Figura 4.14 segregando a las unidades marcadas como “1*”, una vez que esta finalice su cachorro comienza su etapa de cachorro y segregación lateral la unidad productiva 2 segregando a las unidades marcadas como “2*” y así sucesivamente, ver Figura 4.14.

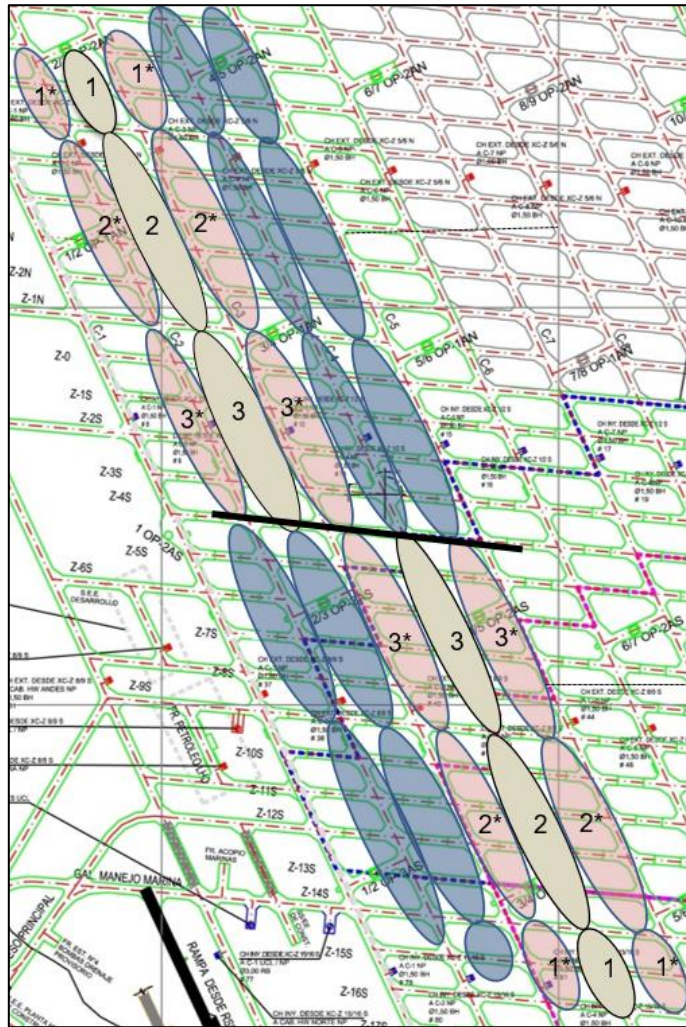


Figura 4.14: Segregación en Etapa de Cachorro, RS por Semicalle

Para la etapa de tronadura, la unidad productiva ubicada a la vertical de la última que ejecuto su cachorro es segregada, para el ejemplo de la Figura 4.15 en el momento de la tronadura la unidad productiva enumerada con “3” segrega a la unidad productiva de la misma calle marcada en color verde como “3*”.

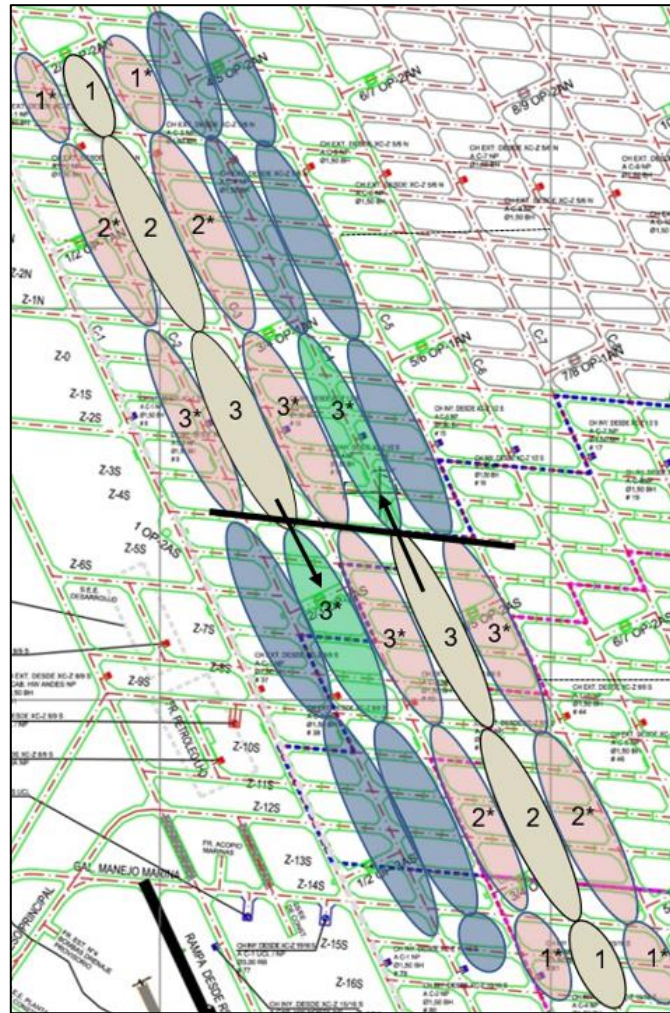


Figura 4.15: Segregación en Etapa de Tronadura, RS para Semicalles

En caso de que la última unidad productiva de la semicalle en ejecutar la etapa de cachorro se encuentre segregada por tronadura de las semicalle del frente, esta deberá esperar a que termine la tronadura para comenzar el cachorro, Figura 4.16.

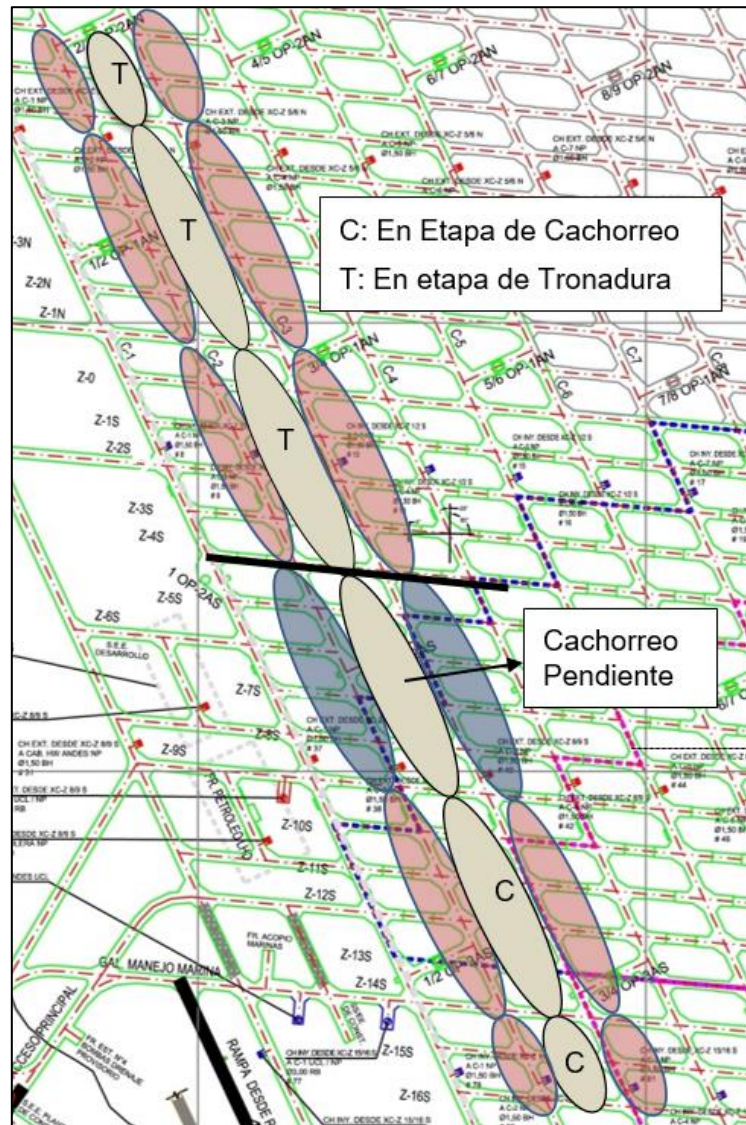


Figura 4.16: Unidad Productiva con Cachorro Pendiente, RS Semicalle

En caso de que las últimas unidades productivas de 2 semicalles de la misma calle se encuentran realizando labores de cachorro, deberán esperar a que ambas terminen y de esta forma ejecutar la tronadura al mismo tiempo, ver Figura 4.17.

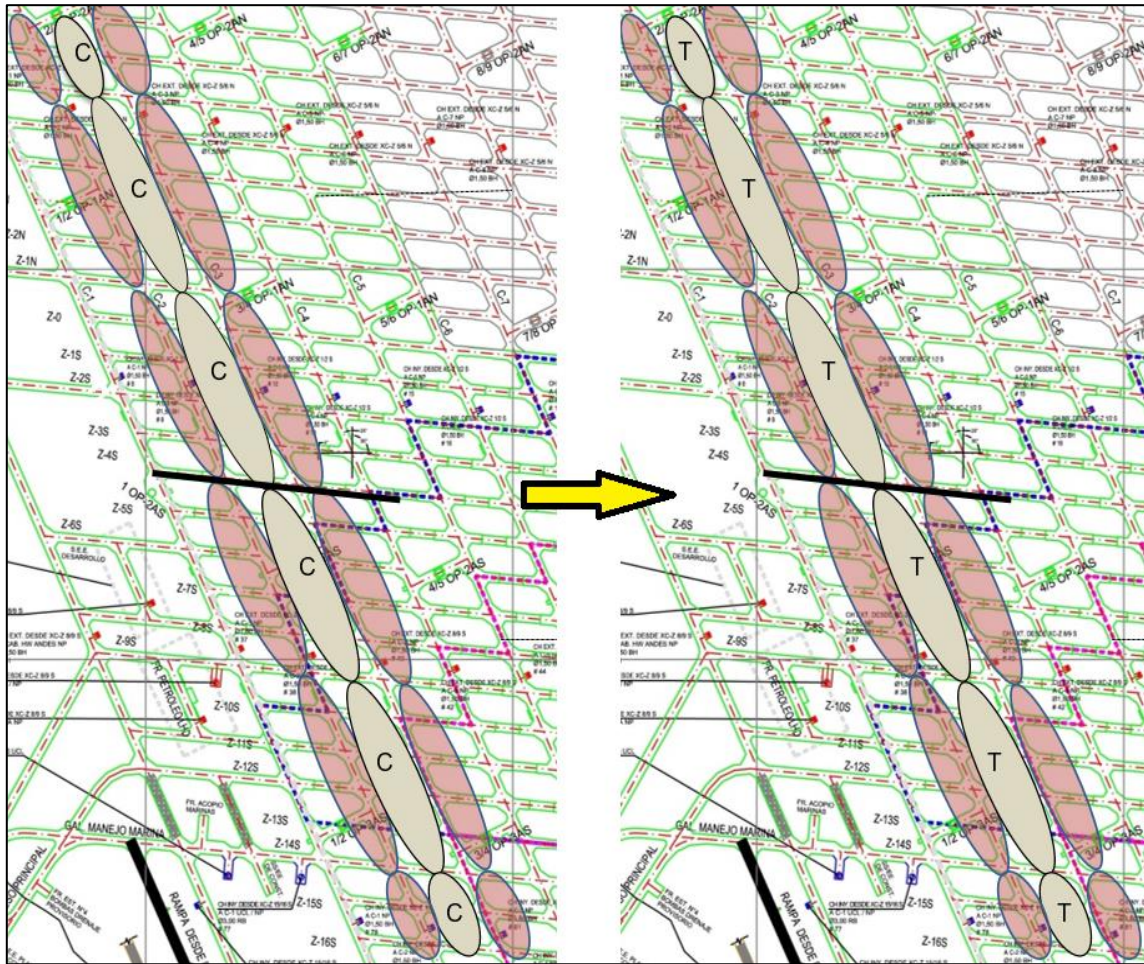


Figura 4.17: Tronadura Conjunta, RS Semicalle

En resumen, el proceso de reducción secundaria por semicalle queda descrito en el diagrama de la Figura 4.18.

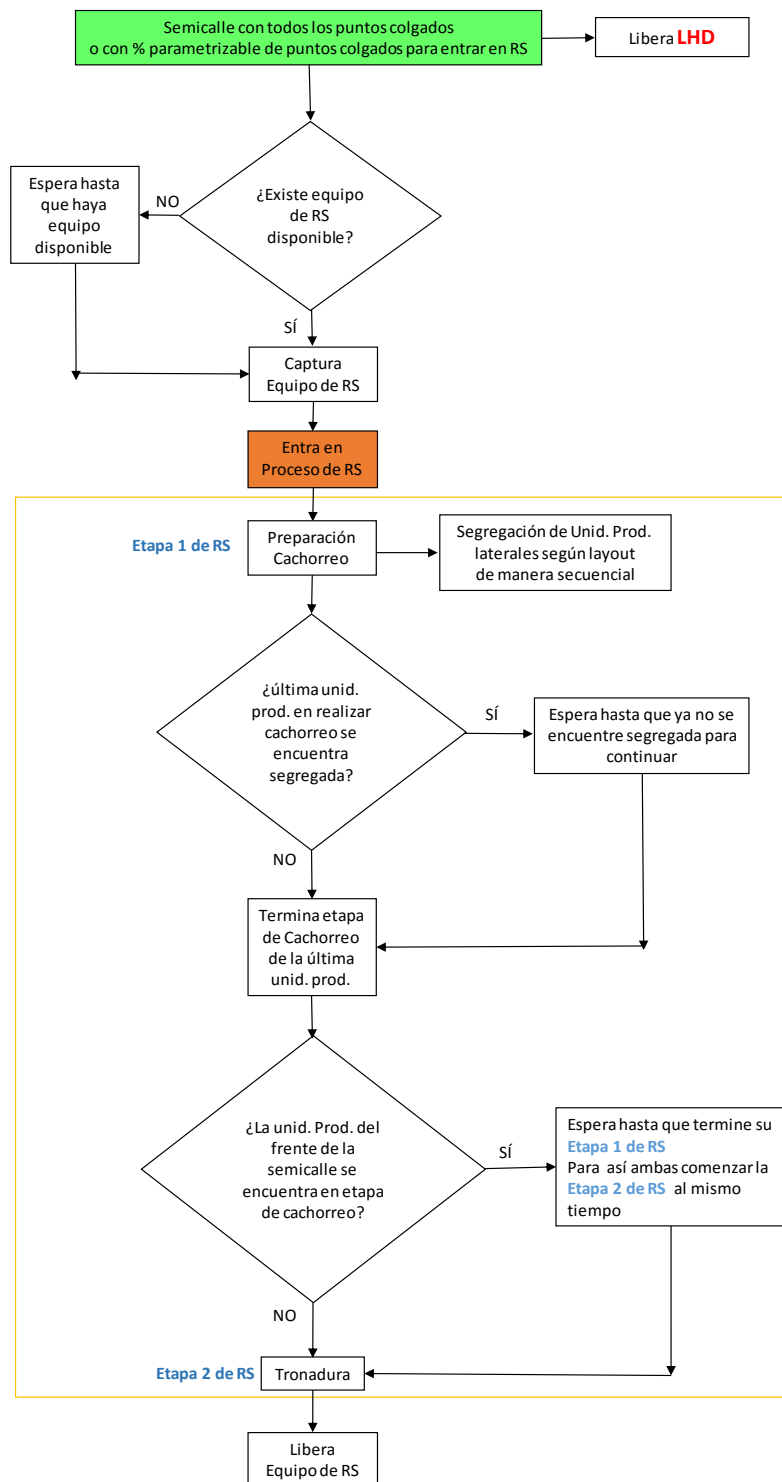


Figura 4.18: Diagrama de Flujo para Reducción Secundaria por Semicalle¹⁹

¹⁹ Elaboración propia

4.2 Parámetros de Entrada

Los parámetros de entrada dicen relación con los valores medidos o estimados que representan las distintas actividades que serán modeladas. Todos los parámetros detallados a continuación fueron entregados por el Proyecto Nuevo Nivel Mina o la División el Teniente, Codelco, ya sea por informes internos, memorias de cálculos o minutas, y son los que aplican para el **Caso Base**.

4.2.1 Plan de Producción

En cuanto al Plan de Producción y la carta de tiraje, que permitirá elección de calles, unidades productivas y puntos a escoger, se encuentran al nivel de detalle de toneladas días objetivos por punto de extracción y tiene un perfil de largo plazo, de esta manera se conoce que puntos estarían operativos y cuales no durante el año 2031. El Plan de Producción fue entregado por parte de la Superintendencia de Planificación Minera de la División El Teniente en Mayo del 2016

Para efectos de esta memoria se realizó un Resumen del Plan de Producción por calle (el cual se puede observar en el **Anexo A** de este estudio) y por frente de avance (el que se detalla en la Tabla 4.6).

Tabla 4.6: Resumen Plan de Producción Por Frente de Avance Sector Andes año 2031

MES	Target [TPD]				
	Andes Cabeza N	Andes Cabeza S	Andes Patilla N	Andes Patilla S	Total
ENERO	19238	19082	10897	12787	62004
FEBRERO	18650	19059	11278	13018	62005
MARZO	18169	18930	11441	13447	61987
ABRIL	18059	18860	11602	13455	61976
MAYO	17919	18932	11561	13590	62002
JUNIO	17531	19002	11780	13766	62079
JULIO	17391	18846	11853	14003	62093
AGOSTO	17187	18662	12017	14234	62100
SEPTIEMBRE	16917	18603	12098	14477	62095
OCTUBRE	16849	18524	12064	14656	62093
NOVIEMBRE	16930	18446	12038	14690	62104
DICIEMBRE	17105	18339	12000	14638	62082

El plan de producción es incorporado día a día (en función del mes) para todos los puntos y unidades productivas en el modelo de simulación, y las toneladas objetivo de cada día se calculan a partir de las toneladas acumuladas a esa fecha. Por ejemplo, si un punto de extracción tiene como plan de producción 100 TPD, las toneladas objetivo para el día 5 serán de 500 Ton y su cumplimiento se calculará a partir de la razón entre las toneladas extraídas a la fecha y las 500 toneladas objetivo. Cada mes se considera una duración de 30 días (configurable en el modelo de simulación), dando un total de 360 días en el año.

4.2.2 Layout Nivel de Producción

El layout de operaciones definido para el nivel en producción (Sector Andes), se puede observar en la Figura 4.19.



Figura 4.19. Layout de operaciones nivel de producción²⁰

El layout descrito es incorporado íntegramente y a escala en el modelo de simulación.

²⁰ Ingeniería Básica del Proyecto Nuevo Nivel Mina

4.2.3 Parámetros operación equipos LHD 10 [yd³]

El equipo LHD semiautónomo a utilizar es el Sandvik 517, cuyos parámetros de operación se pueden observar en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Parámetros equipos LHD 10 [yd³] Semiautónomos

Parámetro	Unidad	Valor
Velocidad	km/hr	16
Aceleración	m/s²	0,31
Desaceleración	m/s²	0,31
Tiempo Carga	s	30
Tiempo Descarga	s	15
Tiempo de Maniobras para Carga y Descarga	s	10
Factor de balde (10 yd³)	ton	11,1

El modelo de simulación operará con factor de balde de 11,1 ton para cada baldada. Para operar los LHD en modo semiautomático, se dispondrá de 1 operador cada 2 LHD.

Los datos de velocidad, aceleración y desaceleración fueron obtenidos a través de nota interna de la GRMD. EL software trabaja de forma automática los equipos LHD SA con estos parámetros, es decir, por sí sólo ya sabe cuándo comenzar a desacelerar para llegar a su destino, independiente de que haya o no alcanzado su velocidad máxima.

4.2.4 Carga de Combustible

La carga de combustible se realizará cada 13,8 horas de operación de los LHD. Como promedio se considera que un LHD se demora 14 minutos en la carga de combustible, 3 minutos asociados a maniobras de posicionamiento, ingreso y salida, y 10 minutos al

traslado de ida y vuelta. Se considera 1 estación de petróleo, en la que podrá cargar 1 equipo a la vez.

Tabla 4.8: Parámetros de Rendimiento Equipo LHD SA

Sandvik 517		
Diesel engine	Volvo TAD 1361VE	
Engine output	285 kW	(388 hp) / 1900 rpm
Fuel tank capacity	485 l	(128 gal)
Specific fuel consumption	210	g/kWh
Uso de potencia	0,5	
Consumo	29,925	kg/h
Densidad	850	kg/m ³
Consumo	35,21	l/h

4.2.5 Mantenimiento y Falla Equipos LHD SA

Los equipos LHD irán a mantención en función de las horas acumuladas en operación, la frecuencia y duración de las mantenciones se pueden observar en la Tabla 4.9:

Tabla 4.9: Programa de Mantención para LHD 10 [yd³]

Mantención LHD	
Frecuencia (Hr)	Duración (Hr)
25	4,1
250	9,1
500	12,1
1000	18,1
2000	22,1
4000	42

Se cuentan con dos tipos de fallas en los equipos LHD, mecánicas (las que se realizan en la Nave de Mantención) y las asociadas al sistema de comunicaciones de la automatización (las que se realizan In-situ), cabe aclarar que estas últimas no afectan a

la flota total al mismo tiempo, si no a cada equipo de manera individual, ver Tabla 4.10 y Tabla 4.11.

Tabla 4.10: Distribuciones de Tiempos de Falla Mecánicas de equipos LHD

Actividad	Tiempo de Falla	Tiempo Entre Falla	MTTR (hr)	MTBF (hr)
Sist. Lub	L(1.09, 0.7)	P6(1.68, 1.4, 5.64)	1,08	21,23
Sist. Levante volteo	P5(1.81, 2.45)	G(0.729, 33.)	2,96	23,55
Sist. de Freno	P6(132, 1.64, 1.6e-002)	8.+ER(62.6, 1.)	3,14	70,42
Sist. de Control	$(1./1.3)*(-LN(U(0.5,0.5)))^{**}(-1./1.8)$	$14.8*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))^{**}(1./1.28)$	1,60	51,79
Sist. Motriz	P5(1.37, 1.45)	B(0.639, 4.54, 0., 112)	3,75	13,98
Sist. Hidráulico	$(1./1.65)*(-LN(U(0.5,0.5)))^{**}(-1./1.53)$	P6(1.09, 2.67, 25.9)	1,55	16,63
Sist. Eléctrico	$1.24*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))^{**}(1./1.87)$	G(1.28, 15.9)	2,09	20,19
Neumático	$(1./1.65)*(-LN(U(0.5,0.5)))^{**}(-1./1.7)$	W(0.525, 8.99)	1,34	17,02
Balde LHD	2.+E(7.92)	B(0.49, 0.899, 0., 129)	9,92	45,52
Otros	P6(5.31, 1.22, 0.394)	B(0.994, 2.4, 0., 95.6)	11,73	28,09

Tabla 4.11: Distribuciones de Tiempos de Falla del Sistema de Control para equipos LHD

Actividad	Tiempo de Falla	Tiempo Entre Falla	MTTR (hr)	MTBF (hr)
Sala de Control	$0.606*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-5.85e-003)/0.65)))$	P6(0.98, 1.39, 407)	0,3	988,63
Barreras de Control	$(1./4.55)*(-LN(U(0.5,0.5)))^{**}(-1./1.9)$	1.+W(0.754, 376)	0,41	453,01
Sistema On Board - Subsistema Video	ER(0.614, 2.)	B(0.363, 0.835, 1., 1.33e+003)	0,62	403,54
Sistema On Board - Subsistema Comunicación	B(0.828, 2.36, 0., 5.25)	E(649)	1,38	659,46

A partir de la información de la cantidad de equipos incorporados y el plan de producción año a año desde el 2022 al 2030, y estimando un rendimiento promedio de 300 TPH de la flota total se calculan las horas acumuladas de operación con las que los equipos LHD SA comienzan el año 2031, ver Tabla 4.12. Lo anterior considerando un tiempo de vida útil estándar de un equipo LHD-Sandvik Toro 007 de 13.899 horas operativas²¹.

Tabla 4.12: Horas Acumuladas de Operación Flota LHD SA al comienzo del año 2031

LHD	Horómetro al comienzo de simulación	LHD	Horómetro al comienzo de simulación
1	8898	16	12499
2	8898	17	9083
3	8898	18	9083
4	7984	19	9083
5	7984	20	9083
6	6307	21	9083
7	6307	22	5822
8	6307	23	5822
9	4225	24	5822
10	4225	25	2762
11	1404	26	2762
12	1404	27	2762
13	1404	28	0
14	1404	29	0
15	1404	30	0

²¹ Manuel Morales, 2010, Tesis: Tiempo óptimo de Reemplazo de Equipos, aplicado a Flota de Cargadores Frontales LHD, Universidad de Valparaíso, Valparaíso

Se consideran un total de 5 Naves de Mantenición (4 dedicadas exclusivamente a equipos LHD y 1 general) y 2 cuadrillas para reparaciones para fallas In-situ. El tiempo de traslado a la nave en caso de mantención es de 20 min, mientras que el tiempo de traslado en caso de falla es de 50 min, dado a que esta debe realizarse con ayuda de vehículo escolta.

4.2.6 Colgadura y Sobretamaño en Zanjas

El evento de sobre tamaño en zanjas, corresponde a la aparición de colpas con tamaño mayor a 2,1 [m³], las que no pueden ser cargadas por equipos LHD de 10 [yd³] y deben ser reducidas en el punto de extracción. Estas colpas son perforadas y reducidas con explosivos (reducción secundaria).

El número de eventos depende de la vida del punto de extracción, el cual se puede encontrar:

- En propagación
- En régimen

Lo anterior de acuerdo a su altura de extracción, la cual se tiene al detalle de punto de extracción mes a mes.

Las colpas de sobretamaño pueden quedar en el piso o en altura, siendo requerido un mayor tiempo de proceso en el este último caso. La frecuencia de aparición de colpas depende del porcentaje de extracción de la columna de mineral, que se puede traducir en altura de extracción.

Tabla 4.13: Eventos de Colgadura según altura de extracción cada 1.000 toneladas

Altura de extracción (m)	N° Colgaduras en altura c/1000 t	N° Colgaduras en piso c/1000 t.	Total Eventos c/1000 t
0-50	2.55	8.97	11.52
50-100	1.39	6.47	7.86
100-200	1	4.66	5.66
200-400	0.71	3.3	4.01

4.2.7 Actividades de Reducción Secundaria

El tiempo de traslado (desde que se encuentra el equipo Rikotus hasta que comienza a perforar) es de 30 minutos, el tiempo de barrenado es de 20 minutos (1,33 min por punto colgado), el carguío de explosivo demora 25 minutos promedio (1,67 minutos por punto colgado), la aislación del sector representa una demora promedio de 10 min, por último, la ventilación y entrega de calle representa una demora promedio de 20 min, pero dado que en el modelo de simulación se incorpora segregación de unidades productivas, se considera un incremento de 15 min adicionales a la aislación del sector. Lo anterior considerando un total de 4 cuadrillas de reducción secundaria.

Tabla 4.14: Actividades de Reducción Secundaria

Actividades	UNIDAD	VALOR
Traslado al área (Rikotus)	min	30
Barrenado en Colpas	min/punto colgado	1,3
Carga explosivos	min/punto colgado	1,7
Aislación del Sector	min	25
Ventilación y entrega de calle	min	20

4.2.8 Sobretamaño en parrilla

El material que es cargado por los equipos LHD es descargado a una parrilla, que regula el tamaño del material alimentado a los procesos aguas abajo. El material que no pasa por la parrilla es reducido, sobre esta, por martillos estacionarios, se considera 1 operador cada 4 martillos picadores, valor parametrizable en el modelo.

En la Tabla 4.15 se presentan cuatro rangos de sobretamaño, la frecuencia esperada para aparición de colpas en el proyecto NNM, y el tiempo de reducción.

Tabla 4.15: Eventos de Sobretamaño según toneladas

Sobre tamaño [m³]	Tiempo Reducción [minutos/colpa]	Eventos/1000 Toneladas	Rangos de Material Sobretamaño en Parrilla 45".
1 – 1,25	0,5	13	
1,25 – 1,50	0,9	4	
1,50 – 1,80	1,6	4	
1,80 – 2,10	5,1	7	

4.2.9 Mantenciones y Fallas Equipos Martillos

Los martillos picadores ubicados cada uno de los piques de traspaso (32 en total) tendrán mantenciones de acuerdo a las horas acumuladas de operación efectivas, lo que involucra sólo la percusión del martillo, el horario de mantención como su duración se puede observar en la Tabla 4.16:

Tabla 4.16: Programa de Mantención Martillos Picadores

Mantención Martillos Picadores		
Frecuencia (hr)	Duración (Hr)	Estrategia de Mantención
25	1	In-Situ
200	8	Cambio de Martillo
400	24	Cambio de Martillo
800	36	Cambio de Martillo
1600	60	Cambio de Martillo

Las mantenciones cada 25 horas serán de manera in-situ en la unidad productiva, para mantenciones de mayor duración a 1 hora al tratarse de martillos semiestacionarios, el equipo será trasladado a un taller en donde se ejecutará la mantención, sin embargo, éste será reemplazado en terreno, por lo que el impacto en la operación será igual al tiempo que se demoró en reemplazar el equipo por otro operativo, considerando sólo 2 horas y no 8 o más.

Las horas acumuladas por los martillos picadores al comienzo del año 2031 se estimaron de acuerdo al Plan de Producción, calculando la producción acumulada de los piques en el sector Andes durante los años 2022 al 2030, en función de la frecuencia y tiempo de picado de Sobretamaños en parrilla ver Tabla 4.17.

Tabla 4.17: Horas acumuladas de operación martillos al comienzo del año 2031

Horas Acumuladas			
Martillo	Hrs	Martillo	Hrs
1	105	19	17
2	228	20	1718
3	1086	21	197
4	71	22	507
5	2	23	931
6	1044	24	1856
7	384	25	531
8	477	26	934
9	1588	27	1632
10	1	28	32
11	35	29	141
12	1264	30	1152
13	627	31	648
14	615	32	63
15	1569	33	0
16	10	34	941
17	17	35	245
18	1718	36	0

Las fallas de los martillos se reparan de manera in-situ, estas se describen en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18: Distribución Falla Martillos Picadores

FALLAS LHD	Tiempo de Falla	Tiempo Entre Falla	MTTR (hr)	MTBF (Días)
Sist. Lubricación	$(1./0.998)*(-\ln(U(0.5,0.5)))^{**}(-1./1.72)$	W(0.715, 23.3)	2.21	29.09
Sist. Telecomando	W(1.36, 2.03)	5.+E(129)	1.85	134.34
Sist. Mecanico	G(1.38, 2.)	P6(0.807, 3.88, 66.)	2.76	18.44

Donde:

MTTR: Mean Time To Repair (tiempo medio de reparación).

MTBF: Mean Time Between Failures (tiempo medio entre fallas).

4.2.10 Actividades de Mantenimiento

Las actividades de Mantenimiento y/o Reparación a considerar son las que se describen en la Tabla 4.19:

Tabla 4.19: Actividades de Mantenimiento y Reparación

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	Frecuencia		Duración	
		valor	unidad	valor	unidad
Mantenimiento Nivel de Producción	Reparación Parrillas de Vaciado	400	kt	14	días
	Reparación Carpetas de Rodados	1000	kt	15	días
Mantenimiento Sistema de Traspaso	Reparación Piques de traspaso	2000	kt	30	días

Para efectos del modelo las mantenciones por Carpeta de Rodado pueden ser por unidad productiva, semicalle o calle (configurable), para el **Caso Base la modalidad es de SemiCalle**. Para dicha actividad, las unidades productivas involucradas (las que componen la semicalle) son detenidas, pasando a un estado de Reparación/Mantenición, tiempo en el que no se encontrarán en operación productiva. Para las calles 7 a 11 (Andes Central) al comprender menor longitud la configuración de mantención por semicalle involucrará toda la calle (ambas SemiCalles).

Las mantenciones de parrilla de vaciado y pique de traspaso sólo afectan la producción de las unidades productivas que tienen a esta infraestructura como principal descarga, por lo que, si un pique de traspaso el cual es compartido entrará en mantención las 2 unidades productivas ligadas a esta infraestructura, pasando a un estado de Reparación/Mantenición y por lo tanto no tendrán operación productiva con LHD SA.

Las mantenciones en relación al sistema supresor de polvo, CCTV, eléctrico, puntos de vaciado, etc., se abarcan durante las interferencias operacionales que se encuentran distribuidas al largo del turno.

Se cuenta con un total de 3 cuadrillas para las actividades de Mantenimiento y Reparación de parrillas y piques de traspaso, y 1 cuadrilla destinada para reparación de carpeta de rodado.

4.2.11 Turnos de operación

La propuesta de sistema de turno para el Proyecto NNM es de 2 turnos por día, cada uno de 12 horas, para todos los equipos del proceso de extracción.

El desglose del turno se puede observar en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Tiempo de turno Operativo

Tiempo	Unidad	Valor
Inicio Turno	Minutos	6
Operación	Minutos	103
Pérdidas Operacionales	Minutos	23
Operación	Minutos	103
Pérdidas Operacionales	Minutos	23
Operación	Minutos	103
Colación	Minutos	0
Operación	Minutos	103
Pérdidas Operacionales	Minutos	23
Operación	Minutos	103
Pérdidas Operacionales	Minutos	23
Operación	Minutos	103
Final Turno	Minutos	6
Total Turno	Minutos	720



Figura 4.20: Línea de Tiempo Turno Operativo

4.3 Variables de Salida

El Modelo de Simulación (el que abarca lo descrito en el Modelo Conceptual) es capaz de entregar un set de KPI'S como variables de salida, los que sirven como indicadores del comportamiento del fenómeno que se está analizando. Estas variables miden el desempeño de diferentes escenarios cuando se realizan cambios en los parámetros de entrada, cuantificando las consecuencias que provocan estos al diseño.

Al realizar una corrida de simulación, el software entregará de forma automática una batería de datos en una planilla en formato Excel, ubicado en la misma carpeta en donde esté instalado el modelo.

4.3.1 Producción

El modelo entregará reportabilidad de la producción día a día para cada uno de los siguientes ítems:

- Unidades productivas
- Calles
- LHD's
- Piques de traspaso

Esta información será reagrupada de manera mensual de acuerdo al tiempo de duración de la corrida. Para el caso de las unidades productivas y calles también se obtendrá la misma reportabilidad con el detalle de hora a hora, con un registro máximo de 720 horas (30 días) con el fin de detectar o analizar fenomenologías propias de la operación.

4.3.2 Tiempos de Ciclo

El modelo entregará los tiempos de ciclo promedio de los LHD durante el tiempo total de la simulación asociado a las unidades productivas y calles respectivas, el detalle contempla:

- Tiempo de Viaje
- Espera por operador, este tiempo no se diferencia por unidad productiva o por calle, se calcula el valor promedio en la simulación y se considera igual para todas las unidades productivas y calles
- Tiempo de carga
- Tiempo de descarga
- Espera por pique de traspaso en el punto de extracción
- Espera por sobretamaño de otro equipo en el pique de traspaso

4.3.3 Estado de Unidades Productivas

Con anterioridad se mencionó que las unidades productivas podían presentar los siguientes estados: Operación, Mantenión, Reducción Secundaria, Segregación, Reserva, etc. estos son registrados minuto a minuto y exportados al finalizar la simulación, los que se reagrupan de manera mensual y por calle correspondiente.

4.3.4 Estado LHD

Se registran los diferentes estados en horas, que puede registrar cada uno de los LHD's como de la flota total de forma mensual, estos estados son:

- Operando (tiempo en viaje, cargando y descargando)
- Reserva

- Interferencia durante el ciclo (esperas en el punto de extracción y pique de traspaso)
- Interferencias del Sistema (pérdidas operacionales, inicio y fin de turno)
- Carga de Combustible
- Mantención
- Falla

4.3.5 Estado de Martillos Picadores

El modelo reportará los diferentes estados de los martillos día a día, estos estados son:

- Operación
- Reserva
- Mantención
- Espera por operador

4.4 Verificación y Validación del Modelo de Simulación

Verificación

“La Verificación es la tarea de comprobar el modelo y el programa para garantizar que se comportan como se espera. Se define como el proceso de determinar que una implementación del modelo representa de forma precisa la descripción conceptual y las especificaciones del desarrollador”²²

A modo de garantizar la verificación se realizaron las siguientes actividades:

4.4.1 Verificación Exhaustiva

Se confirma de basta manera que el modelo opera de acuerdo a lo planteado en el modelo conceptual. Esto fue realizado durante la toda la elaboración del Modelo de Simulación.

El modelo es capaz de entregar estadística de los diferentes estados de las unidades productivas, producción, operación martillo, etc., minuto a minuto, con tal verificar el comportamiento del modelo minuciosamente. Es así que a modo de ejemplo en el Gráfico 4.1 y el Gráfico 4.2 se ilustra dos unidades productivas que comparten el mismo pique de traspaso durante el lapso de una hora la cual fue tomada desde el minuto 500 de la simulación. En el eje izquierdo de los gráficos se puede leer la ocurrencia de eventos, donde toma valor Cero en caso de No ocurrir o valor en Caso de que Sí, tal como la operación de martillo picador, y en el eje derecho se observa si la unidad productiva produjo toneladas, es decir que el LHD SA descargó una baldada extraída desde un punto

• ²² PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedra Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Verificación y Validación. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 20.

de extracción de la unidad productiva en el pique de traspaso, por esto es que cada vez que produce la unidad productiva toma valor 11,1 que es el llenado del balde del LHD SA. Cabe destacar que sólo se detallan las ocurrencias que toman relevancia (que ocurren) durante este lapso de hora ilustrado, como se mencionó con anterioridad en el Modelo Conceptual en el punto “**4.1.2 Unidades Productivas**” una unidad productiva puede tomar diversos estados (reserva, segregación, mantención, etc.)

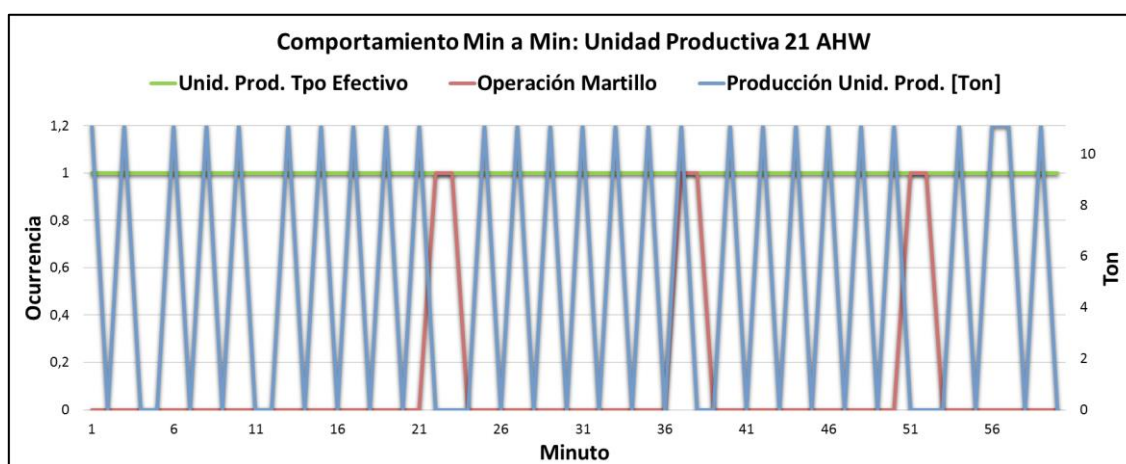


Gráfico 4.1: Comportamiento minuto a minuto unidad productiva 21 Andes Cabeza

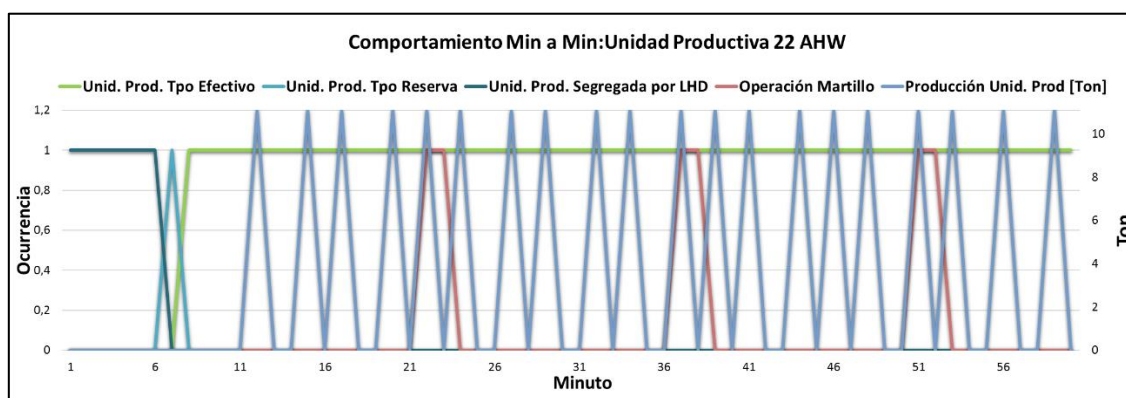


Gráfico 4.2: Comportamiento minuto a minuto unidad productiva 22 Andes Cabeza

A partir del Gráfico 4.1 y el Gráfico 4.2 en donde se detalla el estado de operación de las unidades productivas 21 y 22 de Andes Cabeza, su producción y la operación de martillo

se puede observar la interacción del martillo dada la descarga de las 2 unidades productivas laterales, donde en el minuto 21 la operación del martillo coincide con la descarga de la unidad productiva 22, por lo que se puede deducir que esta produjo el sobretamaño, por otro lado en el minuto 36 ambas unidades productivas descargan con lo que cualquiera de las 2 pudo haber provocado el sobretamaño. También se puede observar el tiempo desde que se le asigna un LHD a la unidad productiva 22 (minuto 8) hasta que este realiza la primera descarga (minuto 12).

4.4.2 Animación (Gráfica Operacional)

La verificación del modelo se realiza a través de una representación gráfica de las interacciones físicas que están ocurriendo entre los LHD, layout, manejo de materiales y todas las interferencias presentes en el modelo, ver Figura 4.21. Con esto es posible ir corroborando que la parte lógica del modelo está haciendo las labores que se espera por parte del modelador y que todos los elementos presentes (recursos, procesos como colgaduras, reducción secundaria, sobretamaño, picado por martillo, tiempos de espera, etc.) se están comportando de la forma planeada.

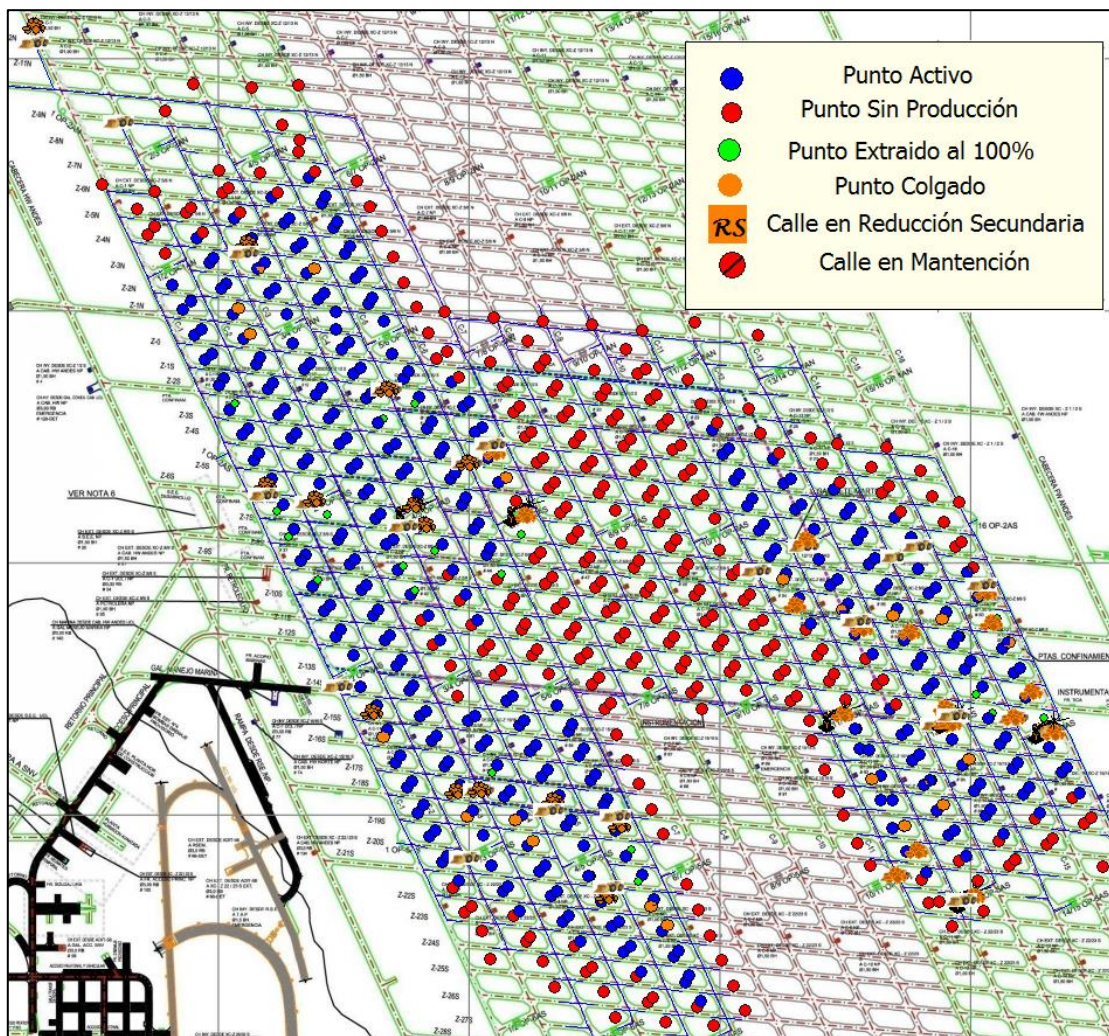


Figura 4.21: Imagen Instantánea de Modelo de Simulación con Gráfica Activa

4.4.3 Validación Interna

El modelo fue presentado en reuniones internas, de manera tal de confirmar que el comportamiento del sistema modelado era coherente con lo que sucede en la operación. Determinando el diagrama de flujo y los datos de entrada finales a través de un proceso iterativo de coordinación, ver Figura 4.22.

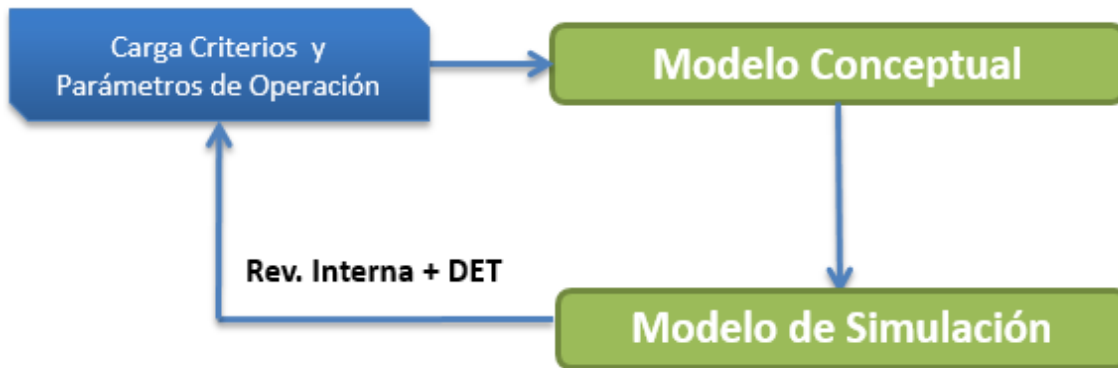


Figura 4.22: Diagrama de Coordinación Interna Modelo de Simulación

Validación

Validación: Es el proceso de alcanzar un nivel aceptable de confianza en que las inferencias trazadas son correctas y aplicables al sistema del mundo real que está siendo representado (Robert Shannon 1998). Sin embargo, el sistema en estudio no existe en la realidad por lo que no se puede hacer una validación completa del modelo, pero se realiza una validación por partes a modo de comprobar que los resultados arrojados por el software se correlacionan con los esperados.

- **Picado Martillo:** De acuerdo a los datos de entrada se ingresó como input que cada vez que ocurre un sobretamaño el martillo se encuentre picando 1.9 minutos, se crearon variables y además se usó el reloj del software para validar que efectivamente se efectúan 1.9 minutos de esta operación.
- **Tiempo de Ciclo:** Se analizó una unidad productiva, en la cual se manipuló la distancia de cada uno de sus puntos de extracción hacia el pique de traspaso, de manera tal que, independiente de cual fuera el punto de extracción se tuviera la misma distancia de traslado, se estableció que la distancia de cada recorrido fuera

igual a la máxima distancia entre pique y punto que se tenía originalmente en la unidad productiva (114 metros). Se calcula el tiempo de ciclo teórico donde:

$$Tiempo_{\frac{Acelerando}{Desacelerando}} (sólo ida) = \frac{Velocidad\ Máxima}{Aceleración} = \frac{16 \frac{km}{h}}{0,31 \frac{m}{s^2}} = 14,3\ seg$$

$$Distancia\ Recorrida_{Acelerando + Desacelerando} (sólo ida) = \left(\frac{1}{2} Aceleración * Tiempo^2 \right) * 2$$

$$= 0,31 * (14,3)^2 m = 63,7m$$

$$Distancia\ Recorrida\ a\ Máxima\ Velocidad\ (sólo\ ida) = (114 - 14,3 * 2)m = 50,3\ m$$

$$Tiempo_{Máxima\ Velocidad} (sólo ida) = \frac{Distancia}{Velocidad} = \frac{50,3\ m}{16\ km/h} = 11,3\ seg$$

$$Tiempo\ de\ traslado\ de\ ida = Tpo_{Acelerando} + Tpo_{Desacelerando} + Tpo_{Máxima\ Velocidad}$$

$$= (14,3 + 14,3 + 11,3)\ seg = 40\ seg$$

$$Tiempo_{ciclo} = Tpo_{traslado_{ida+vuelta}} + Tpo_{Carga+Descarga} = (40 * 2 + 65)seg = 145\ seg$$

$$= 2,42\ min$$

Se realizó la corrida del modelo para evaluar el tiempo de ciclo de esta unidad productiva, donde efectivamente en caso de no ocurrir interferencia (sobretamaño en parrilla) el tiempo de ciclo medido mediante variables y el reloj del software fue de 2,42 min, validando de esta forma que el equipo LHD se mueve a la velocidad, aceleración y desaceleración establecidas.

- Algoritmo de Producción: Por codificación y criterio operacional, un punto de extracción y unidad productiva deja de producir una vez que alcanza las toneladas objetivo a la fecha, por ejemplo si un punto tiene como target 100 toneladas día, a

los 5 días tendrá por lo tanto una meta acumulada de 500 toneladas. Para validar este algoritmo es que se analiza (mediante la ayuda de variables) el modelo trabajando en diferentes momentos tomados al azar, en los que se observa la producción y el target acumulado de cada unidad productiva, donde ninguna sigue operando una vez que alcanza el 100% de sus toneladas objetivo.

Por otro lado también se realiza una corrida (con la duración de un mes), en la cual se eliminan las mantenciones y fallas ingresadas en el modelo de simulación, así como la aparición de sobretamaño y colgaduras en la operación, a modo de disminuir las interferencias del sistema.

A continuación se detallan los resultados de uno de los frentes del sector Andes (Patilla Sur) el cual alcanzó el 99% de su producción al finalizar el mes para este ejercicio, ver Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Resultados Producción Frente Patilla Sur, ejercicio validación

Día	Producción Acumulada [ton]	Target Acumulado [ton]	Delta Target y Producción (%)	Día	Producción Acumulada [ton]	Target Acumulado [ton]	Delta Target y Producción (%)
1	13009	12787	-2%	16	201432	204592	2%
2	23865	25574	7%	17	213553	217379	2%
3	37374	38361	3%	18	225119	230166	2%
4	48585	51148	5%	19	237662	242953	2%
5	62693	63935	2%	20	251082	255740	2%
6	75103	76722	2%	21	263758	268527	2%
7	86558	89509	3%	22	276568	281314	2%
8	100988	102296	1%	23	288045	294101	2%
9	111466	115083	3%	24	300155	306888	2%
10	124020	127870	3%	25	315085	319675	1%
11	138073	140657	2%	26	326029	332462	2%
12	149018	153444	3%	27	339427	345249	2%
13	162116	166231	2%	28	352370	358036	2%
14	174792	179018	2%	29	363203	370823	2%
15	187990	191805	2%	30	379143	383610	1%

A partir de la Tabla 4.21 se observa la producción acumulada día a día del frente, la producción objetivo y la diferencia porcentual entre ambos en base al target. De acuerdo a los resultados, a excepción del día 2, la diferencia porcentual entre la producción acumulada y el target acumulado no supera el 3%, resultado aceptable por el programador, donde sólo el día uno se produce sobre la producción objetivo, cabe recordar que el balde del LHD tiene un factor de llenado fijo el cual es de 11,1 ton, por lo que si un punto de extracción tiene 20 ton día objetivo este no dejará de producir hasta que el LHD haga 2 baldadas (22,2 ton) por lo que no es de extrañar que en algún momento un punto o unidad productiva tenga un delta de tonelaje sobre su target.

4.5 Confiabilidad del Modelo

El análisis de confiabilidad de producción del modelo de simulación debe llevar un indicador que señale cual es el número de réplicas necesarias para que sus resultados sean confiables. Se evaluará el error estadístico que posea el modelo en función de la variable respuesta relevante es la producción mina (TPD promedio año), donde como se mencionó en el **Capítulo 2**, la longitud de cada replicación es de un año (360 días). Se generaron 6 corridas variando la semilla para el generador de números aleatorios, estos fueron los resultados:

- Caso Base Réplica 1: Semilla 1
- Caso Base Réplica 2: Semilla 10
- Caso Base Réplica 3: Semilla 20
- Caso Base Réplica 4: Semilla 30
- Caso Base Réplica 5: Semilla 40
- Caso Base Réplica 6: Semilla 50

Tabla 4.22: Resumen Producción Caso Base con diferentes Semillas

TPD Promedio Año	Base Réplica 1	Base Réplica 2	Base Réplica 3	Base Réplica 4	Base Réplica 5	Base Réplica 6
	60.255	60.344	59.655	60.364	60.384	60.331

En base a estas corridas se pueden obtener los datos necesarios para generar un intervalo de confianza del 99% y 95% para posteriormente analizar el error estadístico que tiene el modelo cuando se hace una corrida.

Intervalo de Confianza: $\bar{x} - Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$

En donde:

N: Es el número de réplicas que se deberá hacer correr el modelo.

S: Desviación Estándar.

Z: Estadístico Normal Estándar (Dependiendo del Nivel de Confianza)

X: Promedio de la variable en respuesta

Se tiene que:

N: 6

S: 281

Z: 1,96 (Con un 95% de confianza)

2,58 (Con un 99% de confianza)

X: 60.222 TPD

Remplazando en la Formula con un 95% de confianza el intervalo de producción mina se encuentra entre: (59.997 TPD , 60.447 TPD)

Remplazando en la Formula con un 99% de confianza el intervalo de producción mina se encuentra entre: (59.926 TPD , 60.519 TPD)

Considerando que con una réplica el resultado se encuentra en un intervalo de 59.997 TPD y 60.447 TPD con 95% de confianza, se estimará el error estadístico medio del modelo.

$$N = \left[\frac{\sigma * Z}{Error * X} \right]^2$$

Donde:

N= Número de Corridas

σ : Desviación estándar de la variable de respuesta a analizar

X: Promedio de la variable de respuesta a analizar

Z: Estadístico normal estándar

Error: Error medio

S: 281

X: 60.222TPD

Z: 1,96 para un nivel de confianza del 95%

N: 1 Corrida

$$\left[\frac{281 * 1.96}{Error * 60.222} \right]^2 = 1 \text{ Réplica}$$

$$\frac{281 * 1.96}{60.222} = Error$$

$$Error \% = 0,9\%$$

Por lo tanto, el error estadístico medio que se produce en los resultados de producción con una réplica es de 0,9% para un intervalo de confianza del 95%, por lo que se estima que los resultados arrojados por el Modelo de Simulación son Representativos.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Resultados Caso Base

En este capítulo se presentan los principales resultados de la Capacidad Productiva del Nivel de Producción para el escenario del Caso Base descrito en el **Capítulo 4**.

5.1.1 Producción

Para evaluar el comportamiento de las variables de salida correspondientes al nivel de producción, se ha probado el desempeño del sector en contraste al plan de producción planificado mes a mes para el año 2031. Ahora las variables son analizadas según Frente de Avance, Semicalle, Unidad Productiva, Pique de Traspaso y Total Mina.

5.1.1.1 Mina

En el Gráfico 5.1 se aprecia la producción mina del Caso Base al año 2031, la cual presenta variabilidad debido a las mantenciones y fallas de infraestructura y equipos.

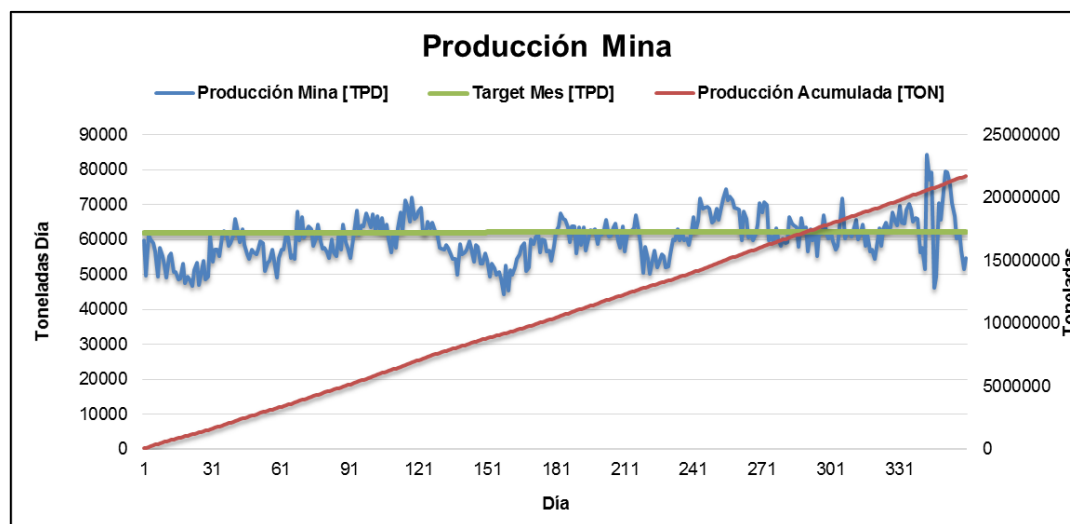


Gráfico 5.1: Producción Mina Caso Base Año 2031

El resumen anual de la producción se puede apreciar en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Resumen Producción Mina, Caso Base

	Producción	Target	Cumplimiento (%)
Producción Mina (tpd)	60.255	62.052	97,10%
Total Producción Mina (ton)	21.691.842	22.338.600	97,10%

Los resultados graficados como histograma (Gráfico 5.2), ilustran que existe una concentración del orden de 140 días del año (39%) en los que se produce sobre los 62 KTPD.

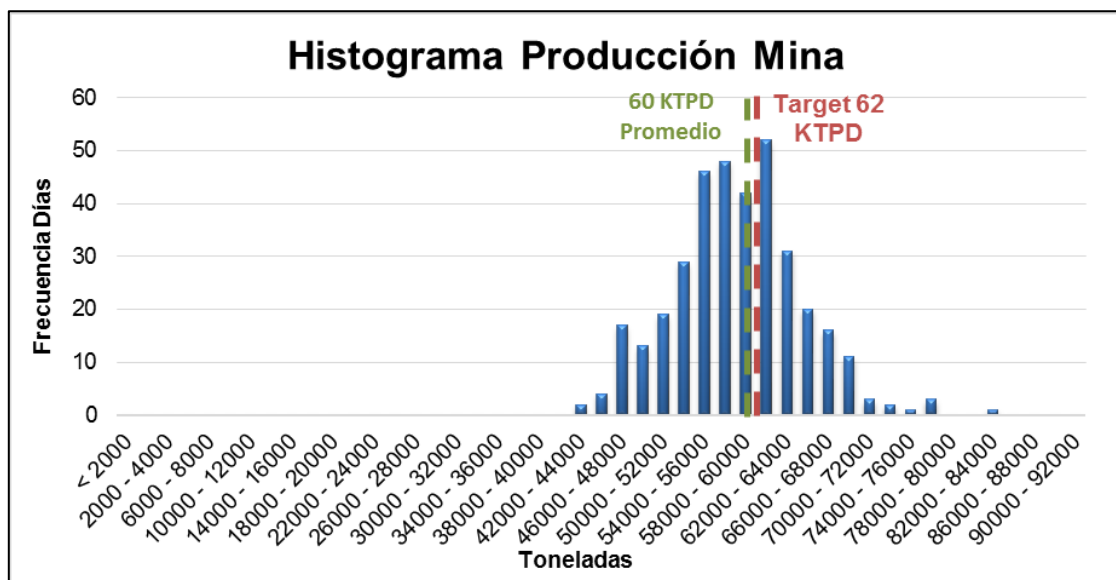


Gráfico 5.2: Histograma Producción Mina, Caso Base

En el Gráfico 5.3 se observa la variabilidad de la producción mina, cuyos valores mínimos varían entre 44 KTPD y 58 KTPD, los valores promedios entre 53 KTPD y 67 KTPD, y los valores máximos entre 61 KTPD y 84 KTPD.

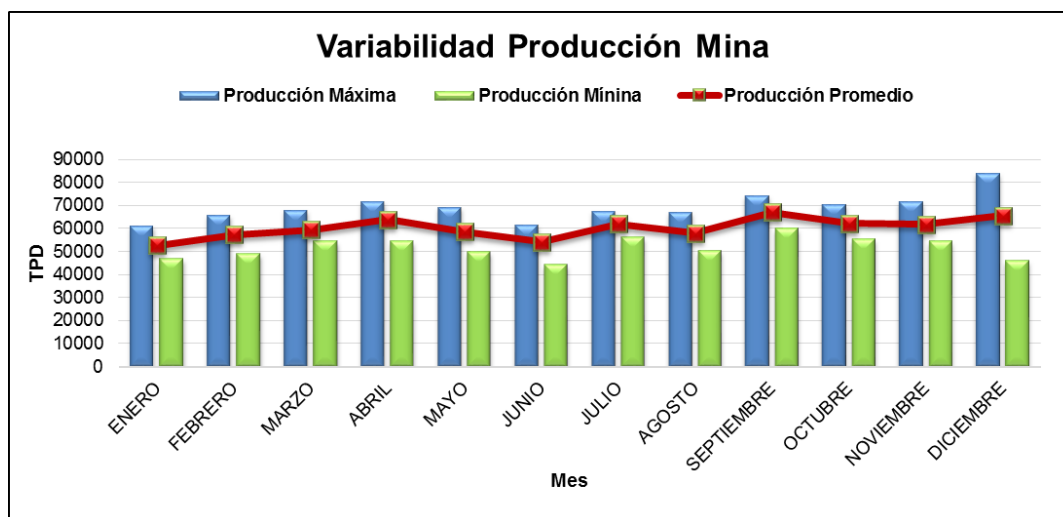


Gráfico 5.3: Gráfico Variabilidad Producción a Planta, Caso Optimizado

Tabla 5.2: Variabilidad Producción Mina, Caso Base

MES	Producción Mina		
	Producción Mínima	Producción Máxima	Producción Promedio
	[tpd]	[tpd]	[tpd]
ENERO	46720	61461	52649
FEBRERO	49029	65790	57408
MARZO	54479	67987	59443
ABRIL	54590	72006	64008
MAYO	49928	69153	58566
JUNIO	44378	61494	54154
JULIO	56122	67466	62086
AGOSTO	50216	67011	57986
SEPTIEMBRE	59796	74414	67142
OCTUBRE	55134	70607	62191
NOVIEMBRE	54323	71806	61722
DICIEMBRE	46098	84282	65706

5.1.1.2 Frentes de Avance

El Sector Andes para el año 2031 cuenta con 4 Frentes de Avance: Cabeza Norte, Cabeza Sur, Patilla Norte y Patilla Sur (ver Figura 4.1), cuyo plan de Producción para el año 2031 se puede observar en la Tabla 5.3 y el detalle de este (cantidad de puntos, producción promedio de estos y área activa) en la Tabla 5.4 y Tabla 5.5, cabe mencionar que cada punto de extracción tiene un área activa de 374 m².

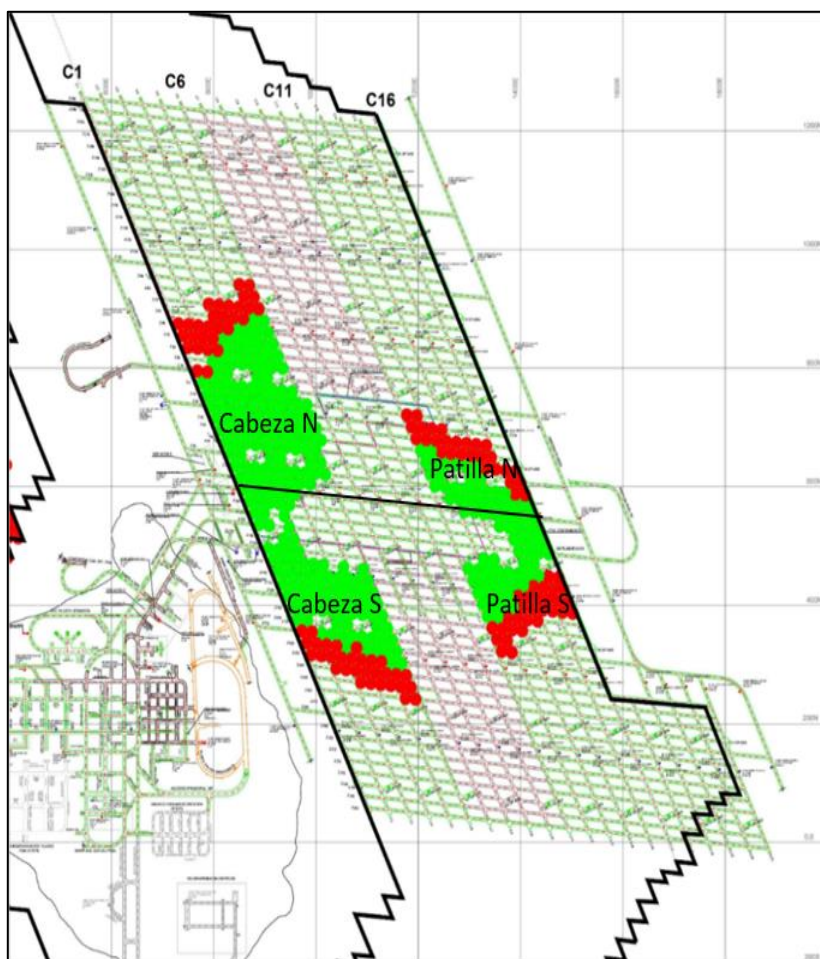


Figura 5.1: Frentes de Avance Sector Andes año 2031

Tabla 5.3: Plan de Producción de Frentes de Avance para el año 2031

MES	Target [TPD]				
	Andes Cabeza N	Andes Cabeza S	Andes Patilla N	Andes Patilla S	Total
ENERO	19238	19082	10897	12787	62004
FEBRERO	18650	19059	11278	13018	62005
MARZO	18169	18930	11441	13447	61987
ABRIL	18059	18860	11602	13455	61976
MAYO	17919	18932	11561	13590	62002
JUNIO	17531	19002	11780	13766	62079
JULIO	17391	18846	11853	14003	62093
AGOSTO	17187	18662	12017	14234	62100
SEPTIEMBRE	16917	18603	12098	14477	62095
OCTUBRE	16849	18524	12064	14656	62093
NOVIEMBRE	16930	18446	12038	14690	62104
DICIEMBRE	17105	18339	12000	14638	62082

Tabla 5.4: Detalle Plan de Producción Frentes Cabeza

Mes	Frentes Cabeza							
	Promedio Producción de los puntos [TPD]		Cantidad de Puntos		Velocidad de extracción Promedio Punto [ton/m2]		Área activa [m2]	
	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur
ENE	132	166	146	115	0,35	0,44	54.604	43.010
FEB	127	166	147	115	0,34	0,44	54.978	43.010
MAR	124	163	146	116	0,33	0,44	54.604	43.384
ABR	122	163	148	116	0,33	0,43	55.352	43.384
MAY	122	160	147	118	0,33	0,43	54.978	44.132
JUN	120	161	146	118	0,32	0,43	54.604	44.132
JUL	118	161	147	117	0,32	0,43	54.978	43.758
AGO	117	162	147	115	0,31	0,43	54.978	43.010
SEPT	114	160	149	116	0,30	0,43	55.726	43.384
OCT	113	158	149	117	0,30	0,42	55.726	43.758
NOV	112	158	151	117	0,30	0,42	56.474	43.758
DIC	112	155	153	118	0,30	0,42	57.222	44.132
Promedio	119	161	148	117	0,32	0,43	55.352	43.571

Tabla 5.5: Detalle Plan de Producción Frentes Patilla

Mes	Frentes Cabeza							
	Promedio Producción de los puntos [TPD]		Cantidad de Puntos		Velocidad de extracción Promedio Punto [ton/m2]		Área activa [m2]	
	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Cabeza Norte	Cabeza Sur
ENE	202	200	54	64	0,54	0,53	20.196	23.936
FEB	209	197	54	66	0,56	0,53	20.196	24.684
MAR	204	198	56	68	0,55	0,53	20.944	25.432
ABR	204	201	57	67	0,54	0,54	21.318	25.058
MAY	206	203	56	67	0,55	0,54	20.944	25.058
JUN	203	205	58	67	0,54	0,55	21.692	25.058
JUL	198	215	60	65	0,53	0,58	22.440	24.310
AGO	200	212	60	67	0,54	0,57	22.440	25.058
SEPT	195	213	62	68	0,52	0,57	23.188	25.432
OCT	191	216	63	68	0,51	0,58	23.562	25.432
NOV	191	213	63	69	0,51	0,57	23.562	25.806
DIC	185	206	65	71	0,49	0,55	24.310	26.554
Promedio	199	207	59	67	0,53	0,55	22.066	25.152

Las TPD promedio mes de cada frente Andes y el porcentaje de Cumplimiento resultantes del Caso Base se detallan en la Tabla 5.6 y Tabla 5.7.

Tabla 5.6: Toneladas días promedio mes para Frentes de Avance, Caso Base

MES	Producción Por Frente [TPD]				
	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Patilla Norte	Patilla Sur	Total
ENERO	16994	14669	9304	11682	52649
FEBRERO	18187	18231	10834	10155	57408
MARZO	16271	17648	11779	13745	59443
ABRIL	17002	19867	11281	15858	64008
MAYO	17905	15299	10933	14429	58566
JUNIO	15953	18691	9170	10340	54154
JULIO	16495	15951	14696	14945	62086
AGOSTO	12788	20864	8926	15409	57986
SEPTIEMBRE	20352	20190	13397	13204	67142
OCTUBRE	15039	21005	13042	13105	62191
NOVIEMBRE	13808	18927	13314	15672	61722
DICIEMBRE	18922	17154	12514	17115	65706

Tabla 5.7: Porcentaje de Cumplimiento Frentes de Avance, Caso Base

MES	Cumplimiento [%]				
	Cabeza Norte	Cabeza Sur	Patilla Norte	Patilla Sur	Total
ENERO	88%	77%	85%	91%	85%
FEBRERO	98%	96%	96%	78%	93%
MARZO	90%	93%	103%	102%	96%
ABRIL	94%	105%	97%	118%	103%
MAYO	100%	81%	95%	106%	94%
JUNIO	91%	98%	78%	75%	87%
JULIO	95%	85%	124%	107%	100%
AGOSTO	74%	112%	74%	108%	93%
SEPTIEMBRE	120%	109%	111%	91%	108%
OCTUBRE	89%	113%	108%	89%	100%
NOVIEMBRE	82%	103%	111%	107%	99%
DICIEMBRE	111%	94%	104%	117%	106%

La variabilidad día a día para cada frente de avance se puede observar en el Gráfico 5.4, mientras que las toneladas promedio mes a mes en el Gráfico 5.5.

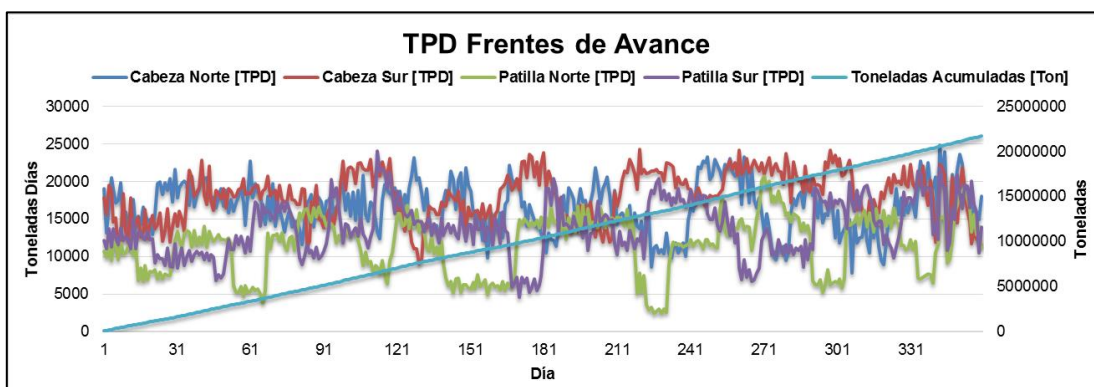


Gráfico 5.4: Toneladas Día Frentes de Avance y Total Mina

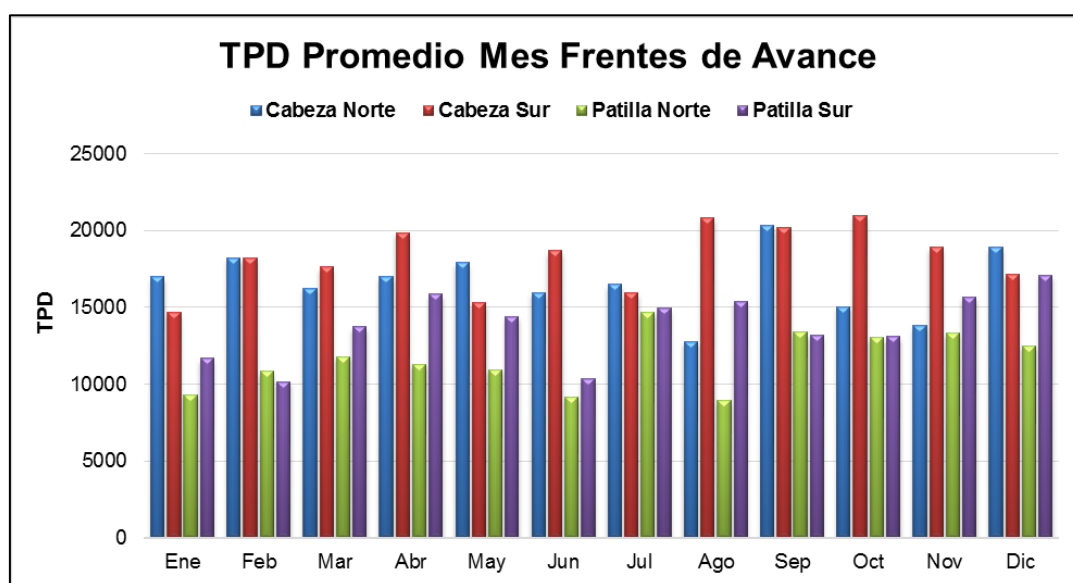


Gráfico 5.5: Toneladas Día Promedio Mes Frentes de Avance

5.1.1.3 Semicalles

En el sector Andes las Calles quedan divididas por la zanja 9S en Semicalles, norte y sur según el layout, los frentes de avance se componen a su vez de estas semicalles. Las semicalles de cada frente de avance se detallan en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Semicalles asociadas a Frentes de Avance

SemiCalles por Frentes de Avance			
Cabeza N	Cabeza S	Patilla N	Patilla S
1 N	1 S	11 N	11 S
2 N	2 S	12 N	12 S
3 N	3 S	13 N	13 S
4 N	4 S	14 N	14 S
5 N	5 S	15 N	15 S
6 N	6 S	16 N	16 S
7 N			

Las toneladas objetivo, toneladas de producción mes a mes y el porcentaje de cumplimiento para cada una de las semicalles se encuentran en detalle en el **Anexo B** de este estudio. A continuación, se detallan e ilustran la producción promedio al año de cada una de las semicalles, así como la producción máxima día de cada una cuantificando la capacidad de recuperación (catch up) de estas luego de interferencias en la producción. Cabe destacar que la semicalle 7 N sólo está activa los 2 primeros meses por lo que las toneladas promedio fueron calculadas en función de ese tiempo.

Tabla 5.9: TPD Promedio Año y Catch up Semicalle Andes Cabeza

Semicalle	TPD Promedio Año	Catch Up [Ton]
SC1 N	1212	4507
SC 1 S	2087	5062
SC 2 N	2732	5217
SC 2 S	3818	5450
SC 3 N	2814	5539
SC 3 S	3692	5461
SC 4 N	3107	5461
SC 4 S	3556	5328
SC 5 N	3232	5506
SC 5 S	3441	5716
SC 6 N	3413	5672
SC 6 S	1614	4895
SC 7 N	798	3918

Tabla 5.10: TPD Promedio Año y Catch up Semicalles Andes Cabeza

Semicalle	TPD Promedio Año	Catch Up [Ton]
SC 11 N	1644	4895
SC 11 S	1581	4573
SC 12 N	3065	5472
SC 12 S	3204	5106
SC 13 N	2740	5339
SC 13 S	2738	5195
SC 14 N	2023	4939
SC 14 S	2642	5150
SC 15 N	1487	3918
SC 15 S	2553	5028
SC 16 N	644	1565
SC 16 S	1082	4251

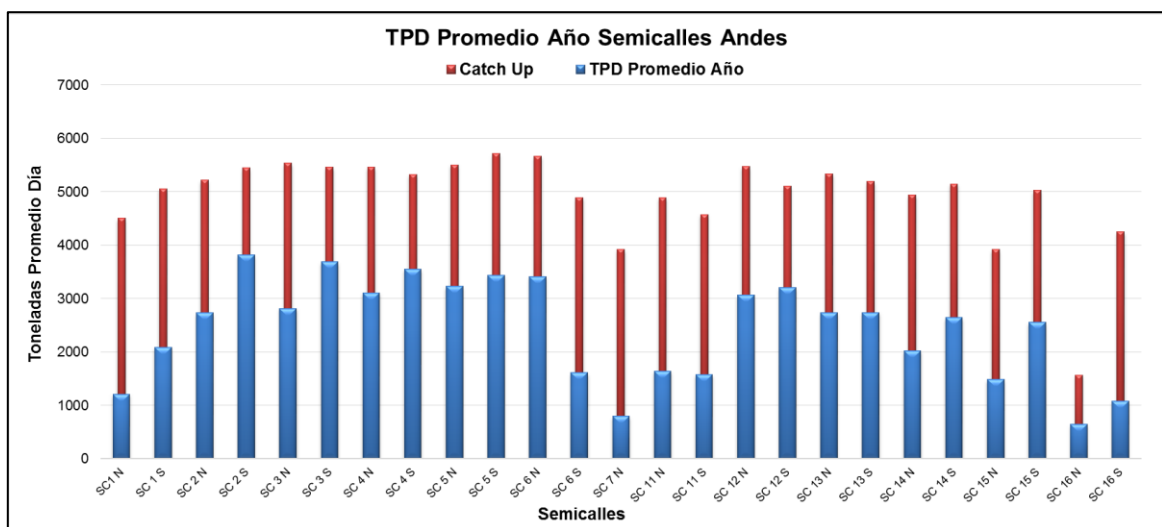


Gráfico 5.6: TPD Promedio Año Semicalles Andes

5.1.1.4 Unidades Productivas

Cada Semicalle está compuesta por unidades productivas, estas se encuentran enumeradas y espaciadas en el layout según la Figura 5.2, las unidades productivas asociadas a sus respectivas Semicalles se detallan en la Tabla 5.11.

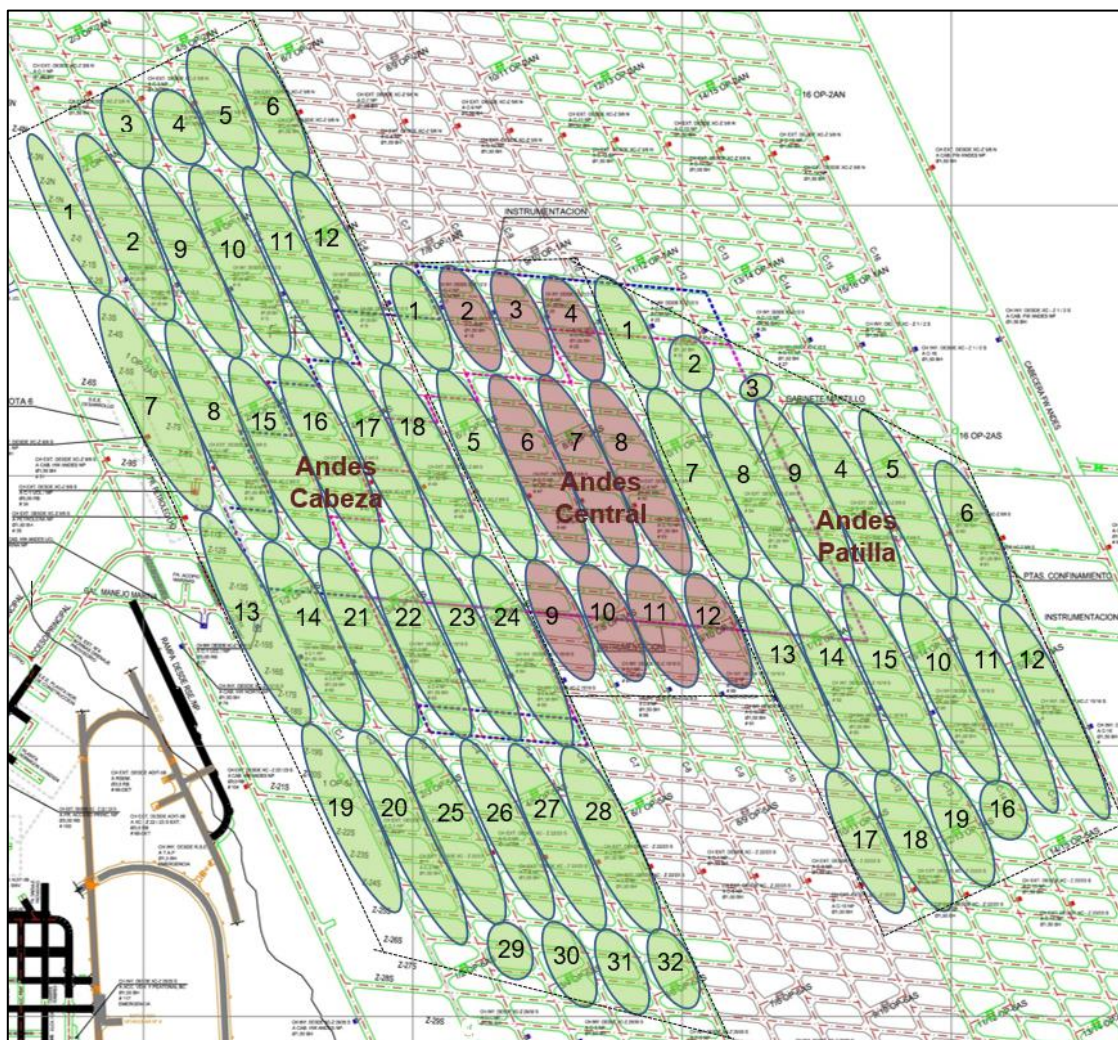


Figura 5.2: Unidades Productivas en Sector Andes año 2031

Tabla 5.11: Unidades Productiva y Semicalles asociadas

SemiCalles (N y S) y Unid. Prod. por Sector Andes					
AHW		AC		AFW	
SemiCalle	Unid. Prod.	SemiCalle	Unid. Prod.	SemiCalle	Unid. Prod.
1 N	1, 7	7 N	1, 5	11 N	1, 7
1 S	13, 19	7 S	9	11 S	13, 17
2 N	2, 8	8 N	2. 6	12 N	2, 8
2 S	14, 20	8 S	10	12 S	14, 18
3 N	3, 9 ,15	9 N	3, 7	13 N	3, 9
3 S	21, 25, 29	9 S	11	13 S	15, 19
4 N	4, 10, 16	10 N	4, 8	14 N	4
4 S	22, 26, 30	10 S	12	14 S	10, 16
5 N	5, 11, 17			15 N	5
5 S	23, 27, 31			15 S	11
6 N	6, 12, 18			16 N	6
6 S	24, 28, 32			16 S	12

El detalle de las toneladas objetivos, producción mes a mes y cumplimiento de cada una de las unidades productivas se detallan en el **Anexo B** de este estudio. A continuación, se detallan e ilustran la producción promedio al año de cada una de las unidades productivas, así como la producción máxima día de cada una cuantificando la capacidad de recuperación (catch up) de estas luego de interferencias en la producción, ver Tabla 5.12, Tabla 5.13, Tabla 5.14, Gráfico 5.7 y Gráfico 5.8. Cabe destacar que las unidades productivas 1 y 5 de la calle 7 sólo estuvieron activas 2 meses, por lo que las tpd promedio

se calculan de función del tiempo que estuvieron operativas, lo mismo sucede con la unidad productiva 29 de la calle 3, la cual entra en operación el mes de Mayo.

Tabla 5.12: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Cabeza, Calles:

1, 2, 3 y 4

Calle	Unidad Productiva	TPD Promedio Año	Catch Up [Ton]
Calle 1	1	339	1177
	7	873	3985
	13	1011	3952
	19	1076	4218
Calle 2	2	1212	4473
	8	1520	4673
	14	1851	4951
	20	1967	4385
Calle 3	3	239	932
	9	1343	4007
	15	1233	4496
	21	1453	4607
	25	2141	4362
	29	146	633
Calle 4	4	466	1543
	10	1431	3996
	16	1209	4085
	22	836	4174
	26	2466	4740
	30	254	710

Tabla 5.13: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Cabeza, Calles: 5, 6 y 7

Calle	Unidad Productiva	TPD Promedio Año	Catch Up [Ton]
Calle 5	5	681	1909
	11	1431	4096
	17	1120	3230
	23	829	3741
	27	2161	4773
	31	451	1365
Calle 6	6	559	1343
	12	1469	3985
	18	1385	4373
	24	381	1665
	28	1008	4362
	32	226	832
Calle 7	1	353	2719
	5	445	1743

**Tabla 5.14: TPD Promedio Año y Catch up Unidades Productivas Andes Patilla, Calles:
11, 12, 13, 14, 15 y 16**

Calle	Unidad Productiva	TPD Promedio Año	Catch Up [Ton]
Calle 11	1	177	855
	7	1467	4684
	13	799	2775
	17	782	3763
Calle 12	2	248	1909
	8	2817	5317
	14	1965	4595
	18	1238	3064
Calle 13	3	78	333
	9	2663	5339
	15	2149	4695
	19	589	3541
Calle 14	4	2023	4939
	10	2478	5006
	16	164	566
Calle 15	5	1487	3918
	11	2553	5028
Calle 16	6	644	1565
	12	1082	4251

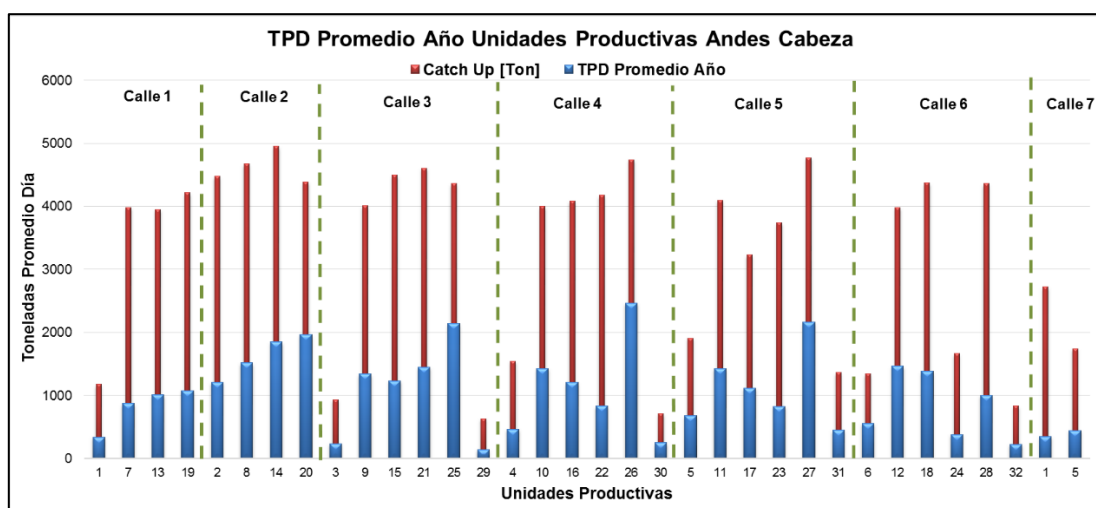


Gráfico 5.7: TPD Promedio año y Catch Up para Unidades Productivas Andes Cabeza

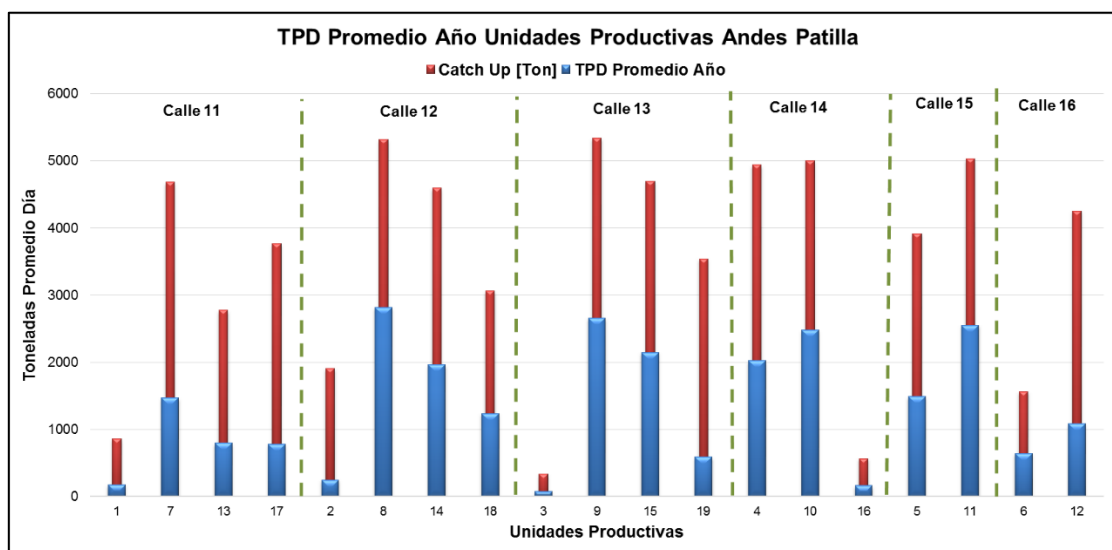


Gráfico 5.8: TPD Promedio año y Catch Up para Unidades Productivas Andes Patilla

5.1.1.5 Piques de Traspaso

El Sector Andes cuenta con 36 piques de traspaso cuyo tag y enumeración se detallan en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15: Tag y Número de Piques de Traspaso

Piques de Traspaso			
N° Pique	Tag	N° Pique	Tag
1	1/2 OP-1AN	19	6/7 OP-5AS
2	1 OP-2AS	20	7/8 OP-1AN
3	1/2 OP-3AS	21	7/8 OP-3AS
4	1 OP-5AS	22	8/9 OP-2AS
5	2/3 OP-2AN	23	9/10 OP-1AN
6	2/3 OP-2AS	24	9/10 OP-3AS
7	2/3 OP-5AS	25	10/11 OP-2AS
8	3/4 OP-1AN	26	10/11 OP-5AS
9	3/4 OP-3AS	27	11/12 OP-1AN
10	3/4 OP-6AS	28	11/12 OP-3AS
11	4/5 OP-2AN	29	12/13 OP-2AS
12	4/5 OP-2AS	30	12/13 OP-5AS
13	4/5 OP-5AS	31	13/14 OP-1AN
14	5/6 OP-1AN	32	13/14 OP-3AS
15	5/6 OP-3AS	33	14/15 OP-2AS
16	5/6 OP-6AS	34	14/15 OP-5AS
17	6/7 OP-2AN	35	15/16 OP-3AS
18	6/7 OP-2AS	36	16 OP-2AS

El detalle de la producción total en toneladas mes de cada pique de traspaso (a excepción de los piques 21 a 24) se encuentran en el **Anexo B** de este estudio.

Las toneladas totales año de cada pique de traspaso se pueden observar en el Gráfico 5.9, donde Pique 29 (tag 12/13 OP-2AS) es el que mayor cantidad material recibe, en total 1.807.657 toneladas durante el año, y la máxima producción día son los piques 29

y 33 (tag 12/13 OP-2AS y 14/15 OP-5AS respectivamente) ambos con 8.547 toneladas en un día.

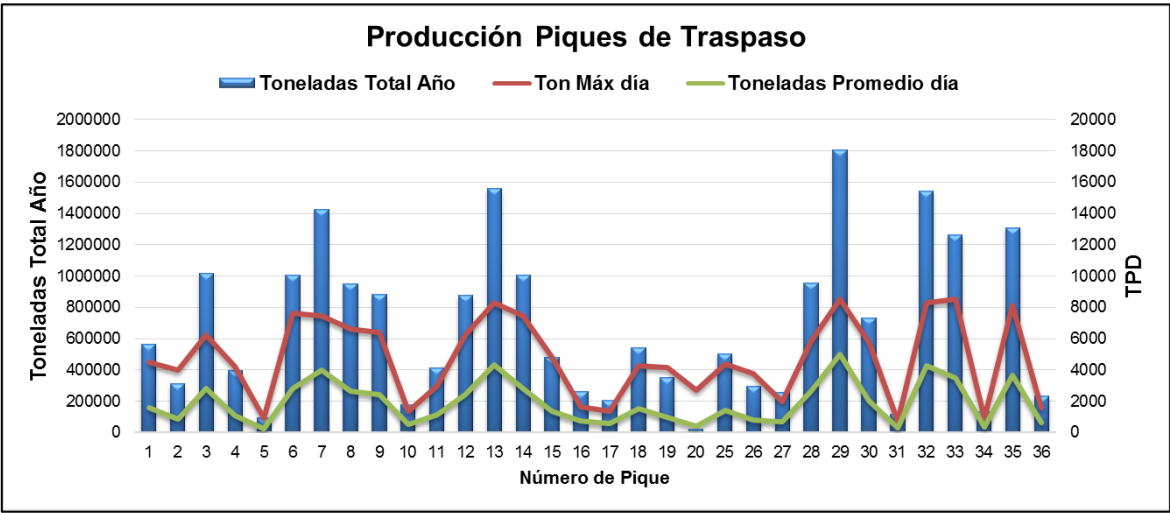


Gráfico 5.9: Producción Piques de Traspaso Total Año

A continuación, en el Gráfico 5.10 se ilustra la producción día a día de los 4 piques de traspaso con mayor producción para el sector Andes. Considerar que la eventual inexistente producción en los piques de traspaso es debido a mantención de parrilla, semicalles o piques, con duración de 14, 15 y 30 días respectivamente.

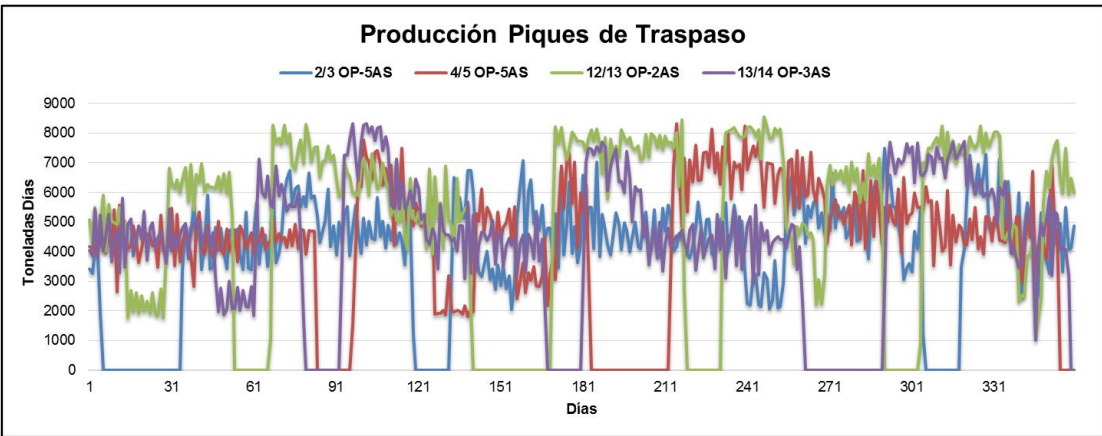


Gráfico 5.10: Producción Piques de traspaso día a día para el año 2031, Caso Base

5.1.2 Tiempo de Ciclo

El tiempo de ciclo del equipo LHD está compuesto por:

- Tiempo de Viaje
- Espera por operador, este tiempo no se diferencia por unidad productiva o por calle, se calcula el valor promedio en la simulación y se considera igual para todas las unidades productivas y calles
- Tiempo de carga
- Tiempo de descarga
- Espera por pique de traspaso en el punto de extracción
- Espera por sobretamaño de otro equipo en el pique de traspaso

Se define como **ciclo equivalente** al tiempo de viaje más el tiempo de carga y descarga, es decir, el tiempo de ciclo sin interferencias. Donde el tiempo de carga y descarga es de 40 y 25 segundos de manera constante respectivamente (incluyendo tiempo de maniobras).

5.1.2.1 Calle

Se considera calle propiamente tal a toda el área de la calle que se encuentre con área activa de producción, lo que involucra a más de una semicalle. El tiempo de ciclo promedio año asociado a las calles se detalla en Tabla 5.16 y

Tabla 5.17.

Tabla 5.16: Tiempo de Ciclo LHD SA Calles 1 a 7

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 1	Calle 2	Calle 3	Calle 4	Calle 5	Calle 6	Calle 7
Tiempo de viaje	1,06	1,09	1,07	1,10	1,08	1,09	1,06
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,05	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03
Espera en pique	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total Ciclo	2,19	2,24	2,18	2,20	2,18	2,19	2,18
Ciclo Efectivo	2,14	2,18	2,15	2,18	2,16	2,18	2,15
Nº de viajes día Promedio	297	590	586	600	601	453	67

Tabla 5.17: Tiempo de Ciclo SA Calles 11 a 16

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 11	Calle 12	Calle 13	Calle 14	Calle 15	Calle 16
Tiempo de viaje	1,03	1,11	1,10	1,06	1,09	1,10
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,02	0,02	0,01	0,05	0,09	0,09
Espera en pique	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Total Ciclo	2,13	2,22	2,21	2,21	2,29	2,29
Ciclo Efectivo	2,11	2,19	2,18	2,14	2,18	2,18
Nº de viajes día Promedio	291	565	494	420	364	156

A su vez se registra el tiempo de ciclo año para cada una de las unidades productivas, las cuales se detallan en el Anexo B.

El tiempo de ciclo promedio para todo el sector Andes se puede apreciar en la Tabla 5.18 y el Gráfico 5.11: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes, Caso Base:

Tabla 5.18: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes

Tiempo de Ciclo [min]	Total Andes
Tiempo de viaje	1,08
Espera por operador	0,00
Tiempo de carga	0,67
Tiempo de descarga	0,42
Espera en pto de extracción	0,03
Espera en pique	0,01
Total Ciclo	2,21
Ciclo Efectivo	2,17
Nº de viajes día Promedio	5428

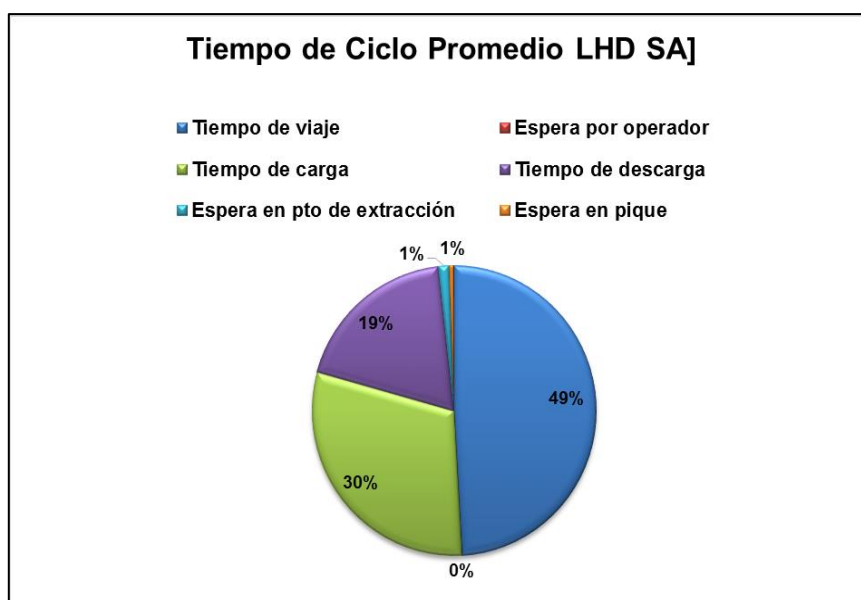


Gráfico 5.11: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes, Caso Base

Como se mencionó con anterioridad se considera 1 operador cada 2 equipos LHD SA, donde se puede observar que la espera por operador para realizar la carga en promedio es cero, donde la máxima espera registrada de 33 segundos.

Siendo el tiempo de viaje (ida más vuelta) 1,08 min, la aceleración 0,31 m/s² y la velocidad máxima 16 km/hr se puede estimar que la distancia promedio entre punto de extracción y pique de traspaso es de 81 metros aproximadamente.

$$Tpo \text{ de ida o vuelta} = \frac{1,08}{2} \text{ min} = 0,54 \text{ min} = 32,4 \text{ seg}$$

$$Tpo \text{ que demora en acelerar o desacelerar} = \frac{\text{aceleración}}{\text{velocidad}} = \frac{0,31 \frac{m}{s^2}}{16 \frac{km}{hr}} = 14,3 \text{ seg}$$

$$Tpo \text{ de traslado a máxima velocidad} = 32,4 \text{ seg} - 2 * 14,3 \text{ seg} = 3,8 \text{ seg}$$

Dist. entre pique y punto de extracción

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} T_{acel}^2 * \text{acel} + V_{\text{máx}} * Tpo \text{ a máx. Vel} + \frac{1}{2} T_{desacel}^2 * \text{desaceleración} \\ &= \left(\frac{1}{2} 14,3^2 * 0,31 + 3,8 * 4,44 + \frac{1}{2} 14,3^2 * 0,31 \right) m = 81m \end{aligned}$$

5.1.3 Desempeño de Equipos

Para el Caso Base se utilizaron 30 LHD SA, con los tiempos de operación que se detallan en la Tabla 5.19, una velocidad de viaje (cargado y vacío) de 16 km/hr y una capacidad de 11,1 toneladas de carga efectiva, se consideraron detenciones por falla, mantención y carga de combustible por lo que los 30 LHD SA corresponden a la flota total.

Tabla 5.19: Parámetros Equipos LHD SA [10 yd³]

Parámetro	Unidad	Valor
Velocidad	km/hr	16
Aceleración	m/s ²	0,31
Desaceleración	m/s ²	0,31
Tiempo Carga	s	30
Tiempo Descarga	s	15
Tiempo de Maniobras para Carga y Descarga	s	10
Factor de balde (10 yd ³)	ton	11,1

5.1.3.1 ASARCO LHD

El tiempo para el equipo LHD se componen de los siguientes ítems:

- Efectivo: Tiempo asociado a viaje (lleno y vacío), carga y descarga de material.
- Reserva: Espera del equipo LHD a ser asignado a alguna unidad productiva
- Interferencias Operativas: Pérdidas asociadas a esperas propias del ciclo del LHD (espera en punto de extracción y pique de traspaso)
- Interferencias del Sistema: Pérdidas asociadas a las pérdidas del turno (inicio de turno, final de turno y pérdidas operacionales)
- Petroleo: Tiempo destinado a la carga de combustible
- Falla: Tiempo asociado a falla y reparación de LHD
- Mantenición: Tiempo asociado a mantención programada en función de las horas operativas del equipo

El resumen del desglose de tiempo promedio mensual para la flota de 30 LHD SA se detalla en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20: Resumen Desglose de Tiempo Flota de Equipos LHD SA

Resumen Promedio Flota - Horas promedio al Mes							
Mes	Efectivo	Reserva	Interferencias operativas	Interferencias del Sistema	Petroleo	Falla	Mantencción
	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]
ENERO	179	414	3	31	6	40	46
FEBRERO	195	383	3	34	6	51	47
MARZO	203	361	4	36	7	51	58
ABRIL	217	344	4	38	7	54	56
MAYO	198	372	4	35	7	54	51
JUNIO	183	404	4	34	6	41	48
JULIO	211	365	4	39	7	44	50
AGOSTO	197	370	4	36	7	53	54
SEPTIEMBRE	228	284	4	39	8	77	81
OCTUBRE	211	275	5	37	7	98	88
NOVIEMBRE	210	315	4	37	7	74	73
DICIEMBRE	222	123	5	36	7	151	175
Total Año	2454	4010	45	434	82	790	825
Promedio Año	205	334	4	36	7	66	69

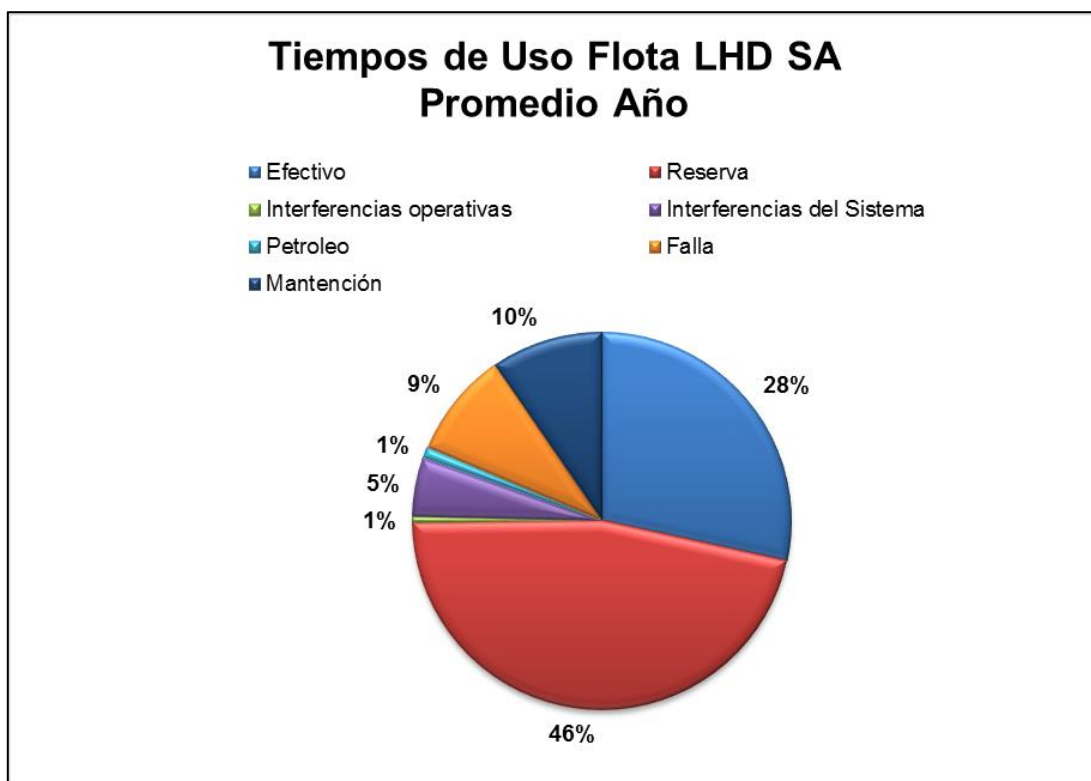


Gráfico 5.12: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año

El 46% de reserva de flota da a entender un claro sobredimensionamiento de equipos LHD SA.

Se define como Disponibilidad, Utilización Operativa y Utilización Efectiva para los LHD SA como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tpo Total} - \text{Tpo Falla} - \text{Tpo Mantenición}}{\text{Tpo Total}}$$

$$\text{Utilización Operativa} = \frac{\text{Tpo efect} + \text{Tpo intf op} + \text{Tpo intf sist} + \text{Tpo petroleo}}{\text{Tpo Total} - \text{Tpo Falla} - \text{Tpo Mantenición}}$$

$$\text{Utilización Efectiva} = \frac{\text{Tpo efectivo}}{\text{Tpo Total} - \text{Tpo Falla} - \text{Tpo Mantenición}}$$

Donde para el año 2031 para los equipos LHD SA se cuenta con la siguiente tabla de ASARCO:

Tabla 5.21: ASARCO Mensual y Promedio Año LHD SA

	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Disponibilidad	81%	88%	86%	85%	85%	85%	88%	87%	85%	78%	74%	79%	55%
Utilización Operativa	44%	35%	38%	41%	44%	40%	36%	42%	40%	50%	48%	45%	69%
Utilización Efectiva	36%	28%	31%	33%	36%	32%	29%	34%	32%	41%	39%	37%	56%

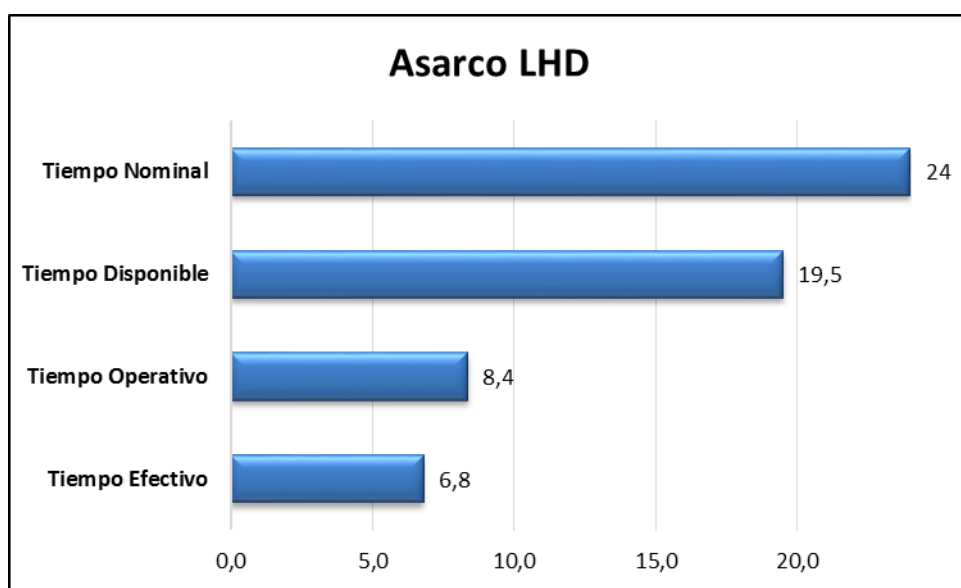


Gráfico 5.13: ASARCO Equipos LHD SA

5.1.3.2 Rendimiento LHD

En la Tabla 5.22 se puede observar el rendimiento tanto operativo como efectivo para los LHD SA mes a mes durante el año. El rendimiento mensual se calcula como las toneladas de mineral al mes (por cada LHD SA) proporcional al tiempo (efectivo u operativo en horas). Donde:

$$\text{Tiempo Efectivo [horas]} = \text{Tpo Efectivo LHD [horas]}$$

$$\text{Tiempo Operativo [horas]}$$

$$= (\text{Tpo Efectivo} + \text{Tpo Interf Op} + \text{Tpo Interf Sist} + \text{Tpo Petroleo}) \text{LHD [horas]}$$

Tabla 5.22: Rendimiento Efectivo y Operativo Promedio Mes [TPD] para LHD SA

Mes	TPH Efectiva	TPH Operativa	Producción Total Mes [TON]
ENERO	294	240	1.579.463
FEBRERO	294	240	1.722.243
MARZO	293	238	1.783.282
ABRIL	294	240	1.920.233
MAYO	296	240	1.756.986
JUNIO	295	238	1.62.4629
JULIO	295	238	1.862.591
AGOSTO	295	239	1.739.570
SEPTIEMBRE	295	241	2.014.273
OCTUBRE	295	240	1.865.743
NOVIEMBRE	294	239	1.851.658
DICIEMBRE	295	243	1.971.171
Año	295	240	21.691.842

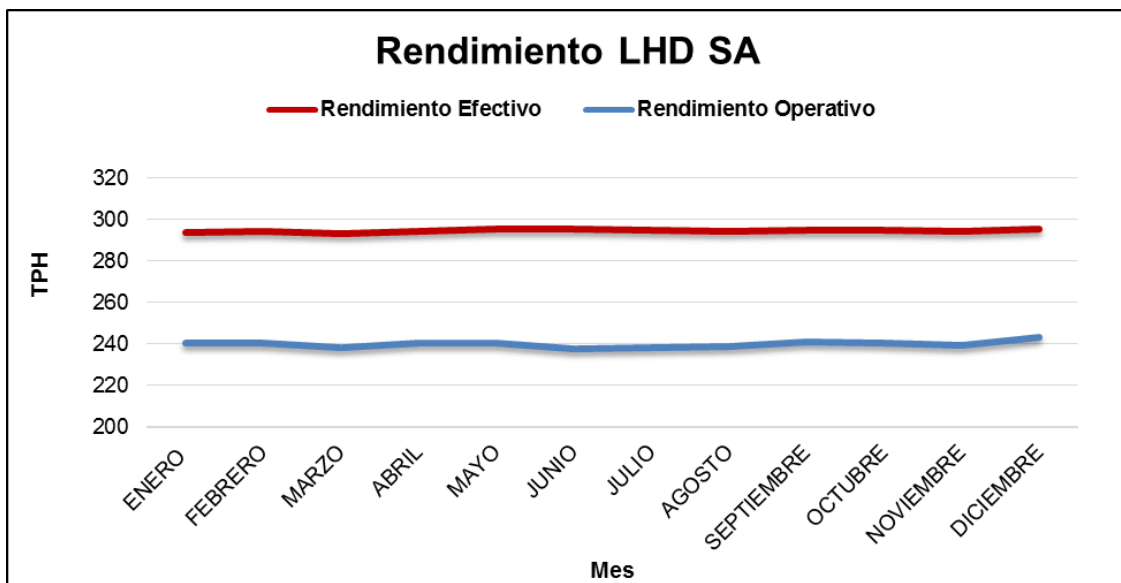


Gráfico 5.14: Rendimiento Efectivo y Operativo [TPH] Promedio Mes para LHD SA

5.1.3.3 Desempeño Martillos Picadores

Se cuentan con 32 piques de traspaso operativos al año 2031 lo que a su vez dan 32 martillos picadores activos, los que disminuyen a 31 una vez que no hay área activa en la calle 7. Donde el tiempo asociado al martillo picador se compone de:

- Operación: Tiempo en el que el Martillo está en labores de percusión
- Reserva*: Tiempo en el que el martillo se encuentra disponible esperando un evento de sobretamaño para operar. Cabe aclarar que cada martillo está asignado a un pique de traspaso es específico, por lo que, según esta definición de reserva, aunque el martillo se encuentre sin operar no será asignado a otro pique de traspaso, por lo que esperable grandes valores sobre en este ítem.
- Mantención: Corresponde al tiempo asociado a mantención del martillo en función de las horas que ha operado

- Falla: Tiempo asociado a la falla y reparación del martillo en el caso que se repare de manera in-situ, de lo contrario corresponderá al tiempo que demora en cambiar el martillo en falla por otro en condiciones de operación
- Espera de Operador: Tiempo asociado a la espera de operador para el comienzo de la operación de percusión.

A continuación, en la Tabla 5.23 las horas promedio mes a mes de la flota de martillos picadores:

Tabla 5.23: Desempeño Martillo Picadores año 2031

Resumen Promedio Martillos - Horas promedio al Mes						
Mes	Operando	Reserva	Falla	Mantenición	Espera por operador	Martillos Operativos
	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Unidad]
ENERO	12,1	703,2	4,2	0,4	0,0	32
FEBRERO	13,2	702,4	3,8	0,6	0,0	32
MARZO	13,7	700,5	5,3	0,6	0,0	32
ABRIL	15,2	699,4	4,8	0,6	0,0	31
MAYO	13,9	700,2	5,2	0,7	0,0	31
JUNIO	12,9	701,8	4,8	0,5	0,0	31
JULIO	14,7	698,3	6,3	0,7	0,0	31
AGOSTO	13,7	699,8	5,8	0,6	0,0	31
SEPTIEMBRE	15,9	698,4	4,8	0,9	0,0	31
OCTUBRE	14,8	700,7	4,1	0,5	0,0	31
NOVIEMBRE	14,6	699,8	4,9	0,7	0,0	31
DICIEMBRE	15,6	697,1	6,6	0,8	0,0	31
Total Año	170,4	8401,5	60,5	7,6	0,0	
Promedio Año	14,2	700,1	5,0	0,6	0,0	

Como se mencionó anteriormente se considera 1 operador cada 4 martillos, no se registró durante la simulación tiempo de espera por operador martillo.

5.2 Sensibilizaciones

A continuación, se detallan las diferentes sensibilizaciones realizadas al modelo de Simulación.

5.2.1 Porcentaje y Configuración de Reducción Secundaria

Como se mencionó en el **Capítulo 4** la reducción secundaria se realiza una vez que se cuelguen el 70% de los puntos de una semicalle, sin embargo, con el fin de verificar y optimizar este criterio se realizan corridas a diferentes números de porcentajes (40%, 50%, 60% y 80%), todas con una duración de un año (360 días).

Tabla 5.24: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base

Porcentaje	Reducciones Secundarias Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	55	60.913
50%	46	61.422
60%	38	61.237
70%	32	60.255
80%	27	58.047

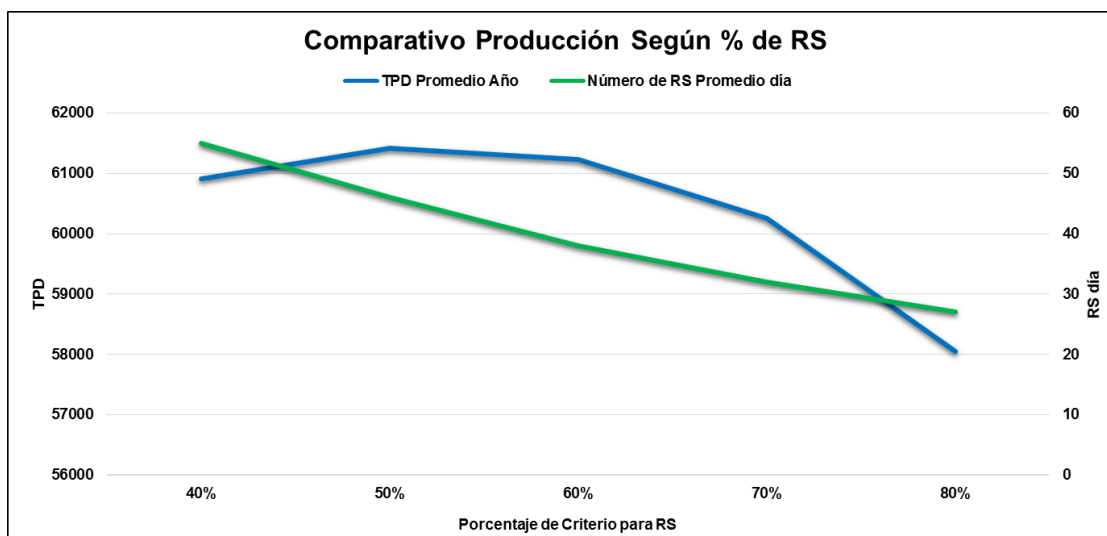


Gráfico 5.15: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base

A partir de la Tabla 5.24 y Gráfico 5.15 se puede observar que el criterio del 70% de los puntos colgados para que una semicalle entre en reducción secundaria no es el óptimo en cuanto a producción, reducir dicho porcentaje de un 70% (Caso Base) a un 50% significa un incremento de 1.167 TPD, pero con un aumento de las reducciones secundarias promedio día del 44% (de 32 al día a 46) lo que no implica un mayor gasto de explosivos, ya que la probabilidad de colgadura no cambia respecto al caso base, pero sí implica un mayor uso de las cuadrillas de reducción secundaria (15%), ver Tabla 5.25.

Tabla 5.25: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base

	% Para RS	Utilización				
		Cuadrilla 1	Cuadrilla 2	Cuadrilla 3	Cuadrilla 4	Promedio
Caso Base	40	82%	75%	66%	57%	70%
	50	76%	68%	56%	46%	62%
	60	71%	59%	47%	38%	54%
	70	66%	52%	39%	32%	47%
	80	60%	44%	33%	28%	42%

5.2.2 Aumento de Colgadura y Sobretamaño

Dado a que existe un grado de incertidumbre acerca de la fragmentación de roca que presenta el PNNM se realizarán sensibilización aumentando la frecuencia de colgadura y sobretamaño, así como el tiempo de picado en un 25% y 50% con tal de evaluar el impacto en la producción de la mina.

La producción promedio año (TPD) así como el número de reducciones secundarias promedio día para diferentes criterios de % para reducción secundaria se detallan en la Tabla 5.24 y Gráfico 5.15.

5.2.2.1 Roca 25% más desfavorable

Asumiendo condiciones de roca un 25% más desfavorable que el caso Base, es decir, un aumento del 25% de colgadura en los puntos de extracción, 25% de sobretamaño en parrilla y 25% más de tiempo de percusión de martillo, se realizó una corrida de 1 año al modelo de simulación.

A modo general la producción resultante es la siguiente:

Tabla 5.26: Resultado de Producción, Caso Base con 25% de roca más desfavorable

	Producción	Target	Cumplimiento (%)
Producción Mina (tpd)	60.064	62.052	96,80%
Total Producción Mina (ton)	21.623.189	22.338.600	96,80%

La producción se ve disminuida en 191 TPD con respecto al Caso Base original (60.255 TPD), lo que representa una caída del 0,3% de la producción, sin embargo, el número de

reducciones secundarias al día se ve aumentado en un 25%, 32 para el caso base con roca normal y 40 para el caso con roca más desfavorable.

Además el número de horas promedio de los martillos picadores operando (percutiendo) se ve incrementado en un 57%, pasando de 14,2 horas de operación al mes a 22,3, ver Tabla 5.27.

Tabla 5.27: Resumen desempeño Martillos – Caso Base con Roca un 25% más desfavorable

Resumen Promedio Martillos - Horas promedio al Mes					
Mes	Operando	Reserva	Falla	Mantención	Espera por operador
	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]
Promedio Año	22,3	691,3	5,4	1,0	0,0

Por otro lado se realiza el mismo ejercicio que para el Caso Base, donde se realizan corridas a diferentes porcentajes de criterio para comenzar las labores de reducción secundaria. La producción promedio año (TPD) así como el número de reducciones secundarias promedio día para diferentes criterios de % para reducción secundaria y un incremento del 25% de colgadura, sobretamaño y percusión de parrilla se detallan en la Tabla 5.28 y el Gráfico 5.16.

Tabla 5.28: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

Porcentaje	Reducciones Secundarias Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	65	58595
50%	56	59834
60%	47	60741
70%	40	60064
80%	34	57781

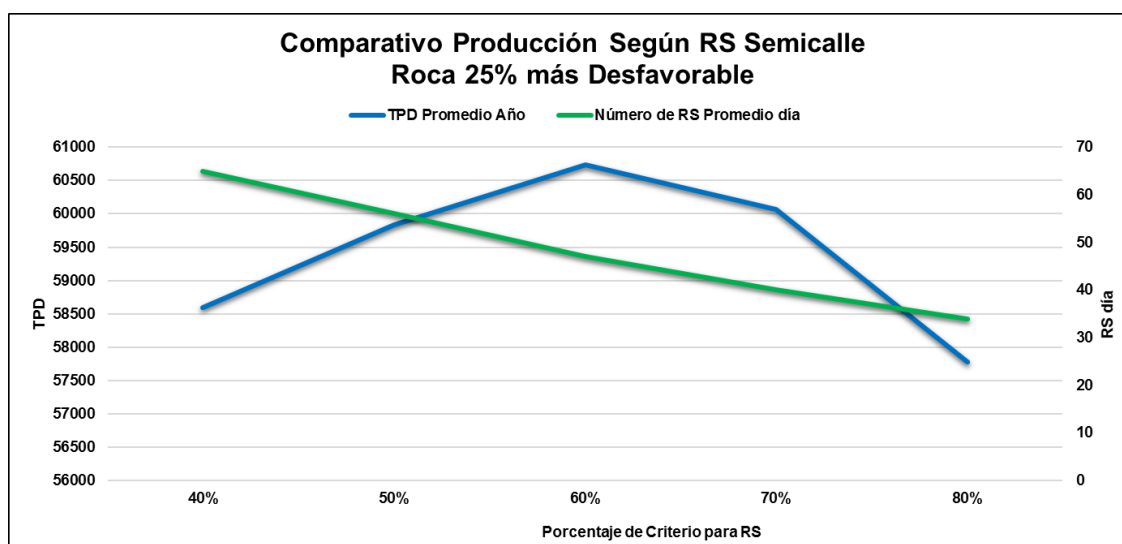


Gráfico 5.16: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

A partir de la Tabla 5.28 y el Gráfico 5.16 se puede observar que el porcentaje de criterio de reducción secundaria que entrega una mayor producción con una roca un 25% más desfavorable producción es el de 60%, aumentando en 677 TPD (1%) la producción respecto al criterio del 70%, pasando de 60.064 TPD a 60.741TDP, además de aumentar en un 8% la utilización de las cuadrillas de reducción secundaria, ver Tabla 5.29.

Tabla 5.29: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base Roca 25% más desfavorable

	% Para RS	Utilización				
		Cuadrilla 1	Cuadrilla 2	Cuadrilla 3	Cuadrilla 4	Promedio
Caso Roca 25% Más Desfavorable	40	90%	87%	82%	75%	83%
	50	85%	79%	72%	63%	75%
	60	80%	71%	61%	51%	66%
	70	74%	64%	52%	42%	58%
	80	69%	57%	44%	36%	52%

5.2.2.2 Roca 50% más desfavorable

Asumiendo condiciones de roca un 50% más desfavorable que el caso Base, es decir, un aumento del 50% de colgadura en los puntos de extracción, 50% de sobretamaño en parrilla y 50% más de tiempo de percusión de martillo, se realizó una corrida de 1 año al modelo de simulación.

A modo general la producción resultante es la siguiente:

Tabla 5.30: Resultado de Producción, Caso Base con 50% de roca más desfavorable

	Producción	Target	Cumplimiento (%)
Producción Mina (tpd)	58.386	62.052	94,09%
Total Producción Mina (ton)	21.019.071	22.338.600	94,09%

La producción se ve disminuida en 1.869 TPD con respecto al Caso Base original (60.255 TPD), lo que representa una caída del 3% de la producción, el número de reducciones secundarias al día se ve aumentado en un 44%, 32 para el caso base con roca normal y 46 para el caso con roca más desfavorable.

Además el número de horas promedio de los martillos picadores operando (percutiendo) se ve incrementado en un 153%, pasando de 14,2 horas de operación al mes a 35,9, ver Tabla 5.31.

Tabla 5.31: Resumen desempeño Martillos – Caso Base con Roca un 50% más desfavorable

Resumen Promedio Martillos - Horas promedio al Mes					
Mes	Operando	Reserva	Falla	Mantención	Espera por operador
	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]
Promedio Año	35,9	676,5	6,0	1,6	0,0

Por otro lado se realiza el mismo ejercicio que para el Caso Base, donde se realizan corridas a diferentes porcentajes de criterio para comenzar las labores de reducción secundaria. La producción promedio año (TPD) así como el número La producción promedio año (TPD) así como el número de reducciones secundarias promedio día para diferentes criterios de % para reducción secundaria y un incremento del 50% de colgadura, sobretamaño y percusión de parrilla se detallan en la Tabla 5.32 y Gráfico 5.17.

Tabla 5.32: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

Porcentaje	Reducciones Secundarias Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	73	54603
50%	64	56582
60%	54	58871
70%	46	58386
80%	40	56802

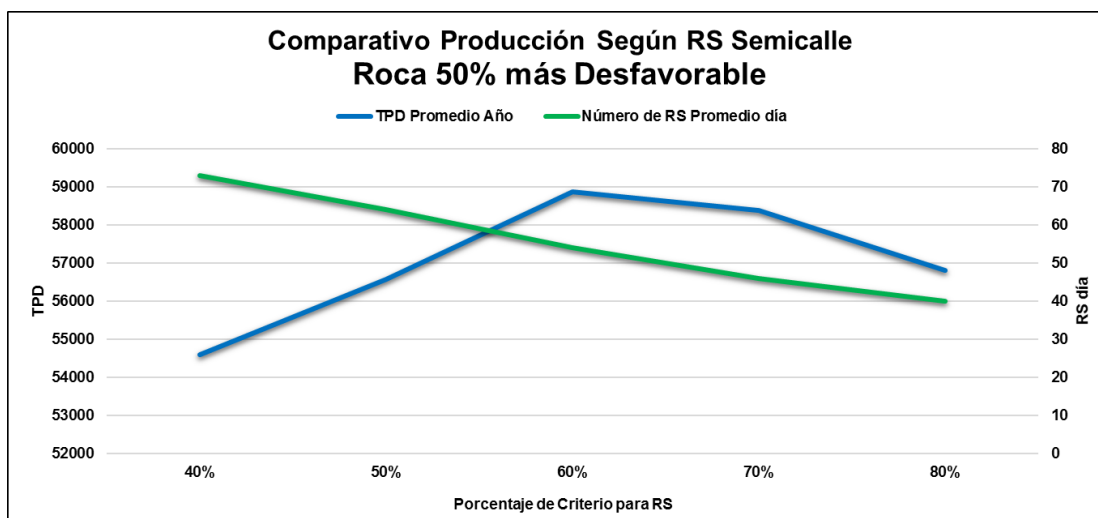


Gráfico 5.17: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

A partir de la Tabla 5.32 y el Gráfico 5.17 se puede observar nuevamente que un criterio de porcentaje del 60% predomina sobre el del 70%, con un aumento de producción de 485 TPD (0,8 %), además de aumentar en un 8% la utilización de las cuadrillas de reducción secundaria.

Tabla 5.33: Utilización de Cuadrillas de RS para diferentes porcentajes, Caso Base Roca

50% más desfavorable

	% Para RS	Utilización				
		Cuadrilla 1	Cuadrilla 2	Cuadrilla 3	Cuadrilla 4	Promedio
Caso Roca 50% Más Desfavorable	40	95%	94%	92%	89%	93%
	50	91%	87%	83%	77%	84%
	60	86%	81%	73%	65%	76%
	70	81%	73%	63%	53%	68%
	80	76%	67%	55%	44%	61%

5.2.3 Flota Equipos LHD

Como se pudo observar en el “Gráfico 5.12: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año” existe una reserva del 46%, lo que implica un claro sobredimensionamiento de la flota, con un 36% de utilización efectiva, es por esto que se sensibiliza el Caso Base a diferentes Número de Flota de LHD` s SA: 16-18-20-22-24-26-28-**30**-32.

La producción promedio año en TPD se detalla en la Tabla 5.34:

Tabla 5.34: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD

Nº LHD	TPD Promedio Año	Variación Respecto al Caso Base
16	58.953	-2,16%
18	59.954	-0,50%
20	59.800	-0,76%
22	60.230	-0,04%
24	60.342	+0,14%
26	60.223	-0,05%
28	60.339	+0,14%
30	60.255	0,00%
32	60.403	+0,25%

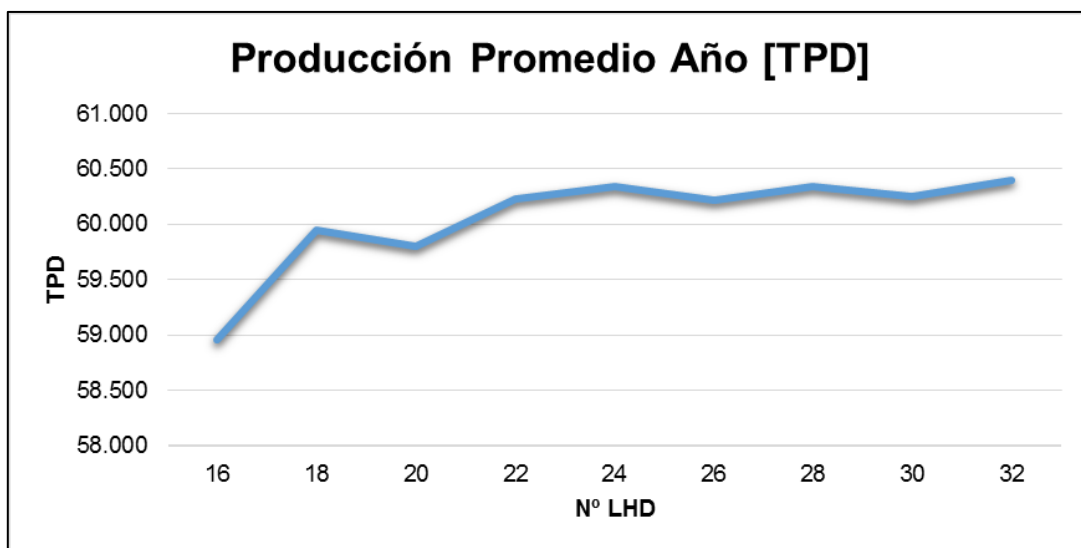


Gráfico 5.18: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD

De la Tabla 5.34 se puede observar que con 18 y 20 LHD`s SA como flota total la producción baja 1.302 TPD con respecto al caso base (2,2% aproximadamente), y a partir de flotas de 22 a 28 LHD`s los resultados con el caso base fluctúan entre -0,4% y +0,14% en otras palabras, con 22 LHD ya se tiene el mismo resultado en cuanto a producción respecto al caso base, el cual opera con 30 LHD, con lo que se estima que el caso base tiene un sobredimensionamiento de 8 LHD en su flota total.

Los resultados de ASARCO para cada una de las sensibilizaciones se pueden observar en la Tabla 5.35.

Tabla 5.35: Tiempos de ASARCO para Diferentes Flotas de LHD Caso Base

ASARCO	Flota LHD								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Disponibilidad	72%	73%	73%	72%	80%	78%	79%	81%	84%
Utilización Operativa	88%	79%	71%	66%	54%	53%	48%	44%	42%
Utilización Efectiva	73%	66%	59%	55%	45%	43%	40%	36%	34%

5.2.4 Caso Base aprovechando tiempos de Holgura

Como se mencionó con anterioridad el plan de producción se tiene al detalle de las TPD al Mes para cada uno de los puntos de extracción, ver punto **4.2.1 “Plan de Producción”**. Cuando una unidad productiva alcanza las toneladas objetivo a la fecha esta no será operada por ningún equipo LHD SA hasta el día siguiente, en el que se le sumarán las toneladas objetivo correspondientes, produciéndose un tiempo holgura cada vez que una punto de extracción o unidad productiva alcanza su tonelaje planificado, en el Gráfico 5.19 se ilustra la producción acumulada de los frentes avance y la mina para un día en que producen tiempos de holgura en la mina, donde el 80% de la producción se alcanza a las 16 horas comenzada la producción.

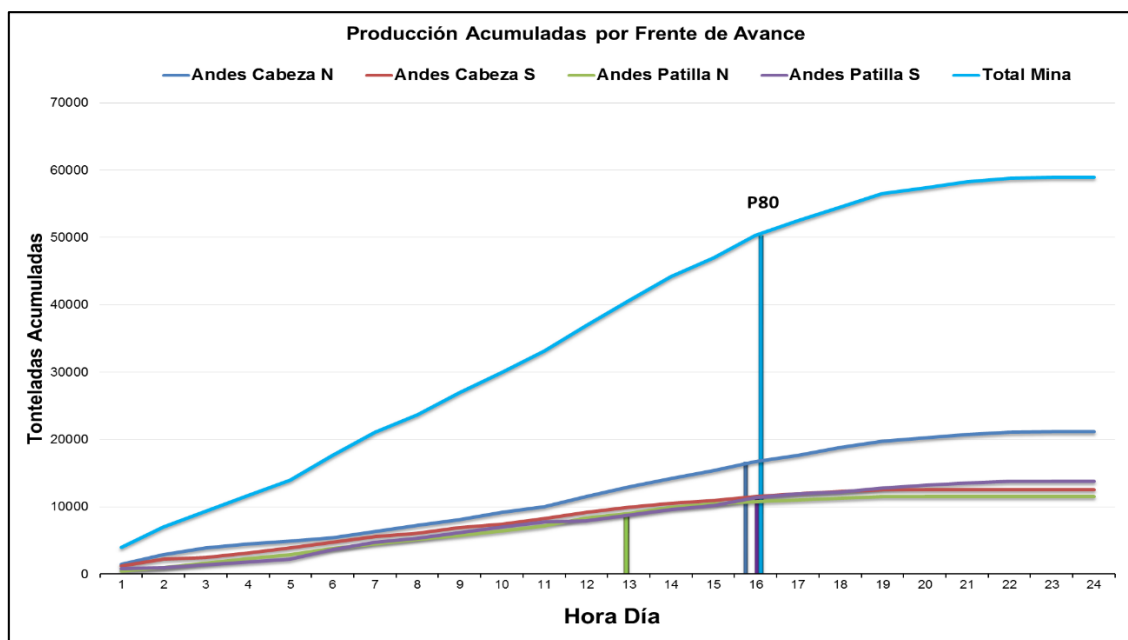


Gráfico 5.19: Tiempos de Holgura Producción mina

Estos tiempos de holgura se deben a que el plan ingresado es a largo plazo, y no considera las interferencias que ocurren al corto plazo, por lo que se fijan toneladas objetivos día sin considerar que habrán días en los que no se pueda operar o bien hayan

dificultades para hacerlo (mantenciones, fallas, etc.) y no se cumpla con lo planificado, por lo que haber operado más allá de las toneladas objetivo día hubiera servido de confort para aquellos días con baja producción. Es por esto que se sensibiliza el modelo a diferentes planes aumentados (125%, 150%, 200%, 250% y 300%) con el fin de cuantificar la producción máxima de cada unidad productiva en el nivel de producción, el detalle de estos resultados se puede observar en el **Anexo B** de este estudio.

En resumen, la producción máxima en caso de aprovechar los tiempos de holguras para cada unidad productiva se detalla en la Tabla 5.36 y Tabla 5.37.

Tabla 5.36: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AHW	469	734	22 AHW	836	1012
7 AHW	873	1910	26 AHW	2520	2851
13 AHW	1012	1538	30 AHW	258	293
19 AHW	1096	1597	5 AHW	884	853
2 AHW	1360	1735	11 AHW	1448	1825
8 AHW	1521	1952	17 AHW	1120	1441
14 AHW	1854	1969	23 AHW	829	1140
20 AHW	2091	2144	27 AHW	2254	2480
3 AHW	317	365	31 AHW	469	516
9 AHW	1502	1883	6 AHW	581	687
15 AHW	1233	1548	12 AHW	1478	1783
21 AHW	1454	1662	18 AHW	1385	1806
25 AHW	2256	2474	24 AHW	391	702
29 AHW	150	178	28 AHW	1068	1919
4 AHW	651	653	32 AHW	286	406
10 AHW	1499	1927	1 C	353	1059
16 AHW	1210	1551	5 C	445	1335

Tabla 5.37: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Patilla, Caso Base

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AFW	177	312	15 AFW	2181	2574
7 AFW	1467	2586	19 AFW	589	691
13 AFW	799	1342	4 AFW	2032	2502
17 AFW	782	1315	10 AFW	2512	2961
2 AFW	255	374	16 AFW	164	259
8 AFW	2898	2978	5 AFW	1490	1960
14 AFW	1973	2306	11 AFW	2573	3009
18 AFW	1241	1425	6 AFW	655	1255
3 AFW	93	139	12 AFW	1082	1882
9 AFW	2668	3003			

Se puede observar a partir de la Tabla 5.36 y Tabla 5.37 que unidades productivas las cuales no cumplían las toneladas objetivo en el Caso Base con Plan Normal (ver Tabla 5.12, Tabla 5.13 y Tabla 5.14), una vez que se aumentan las toneladas a producir son capaz de superar la producción originalmente establecida, por ejemplo, las unidades productivas 10, 28 y 31 de Andes Cabeza (AHW) que ingresando como input el plan normal no alcanzan las toneladas objetivo, una vez se aumenta el plan ingresado las superan, ver Tabla 5.38.

Tabla 5.38: Comparativo de Producción con Plan Normal y Plan Aumentado

Unid Prod.	Target Normal	Producción Con Plan Normal	Producción con Máxima con Plan Aumentado
	TPD	TPD	TPD
10 AHW	1499	1431	1927
28 AHW	1068	1008	1919
31 AHW	469	451	516

Lo anterior se debe a que al aumentar las toneladas a extraer el tiempo de holgura en la producción que se menciona con anterioridad es aprovechado para seguir extrayendo material, por lo que, ante una eventual interferencia, mantención o falla mayor, la producción se encontrará comprometida en menor grado.

También se pueden observar unidades productivas que, aunque aprovechando todo el tiempo en holgura apenas si logran a cumplir las toneladas objetivo (Plan Normal), ejemplo unidades productivas 4 AHW y 3 AFW, y un caso particular surge con la unidad productiva 5 AHW la cual no logra alcanzar el plan de producción, pero sólo por 31 TPD. Por lo que se puede decir que **si el Caso Base aprovechara los tiempos de holgura propios de la operación alcanzaría su producción objetivo.**

En el Gráfico 5.20 y Gráfico 5.21 se ilustran las toneladas día objetivo de cada unidad productiva versus las toneladas día máximas capaces de producir.

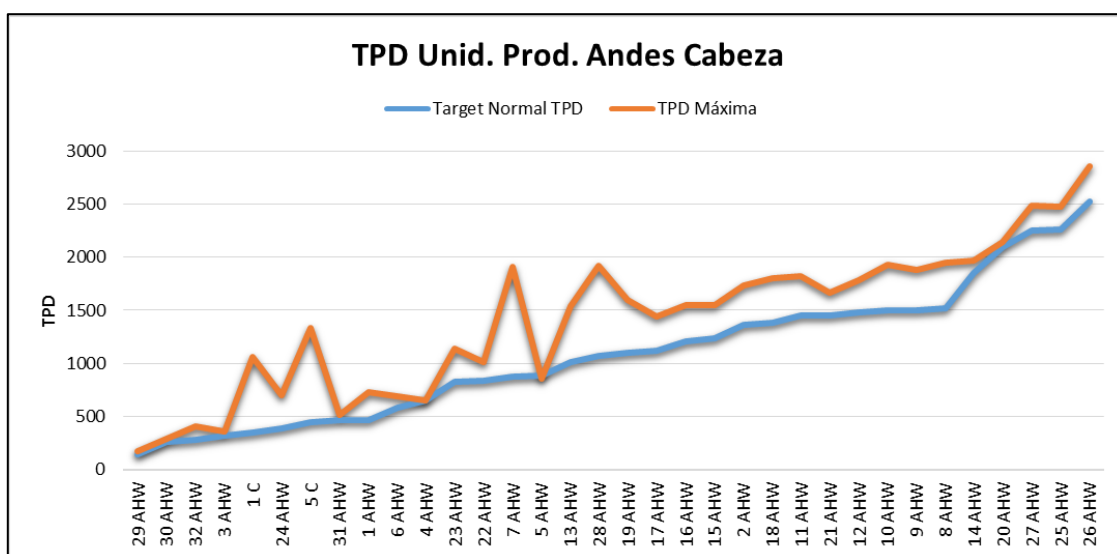


Gráfico 5.20: TPD objetivo vs TPD máxima, Unidades Productivas Andes Cabeza

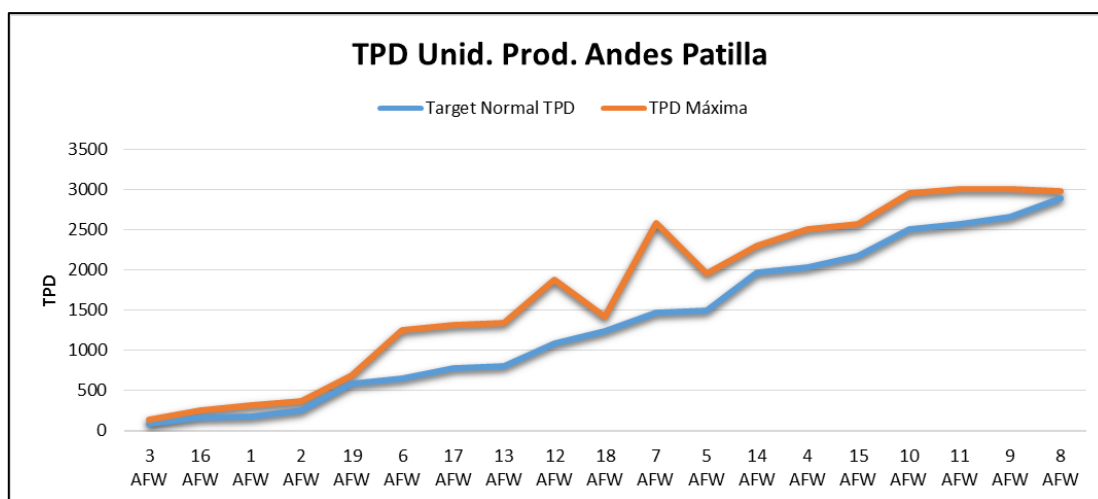


Gráfico 5.21: TPD objetivo vs TPD máxima, Unidades Productivas Andes Patilla

5.2.5 Restricción de Velocidad de Extracción día

El modelo de simulación funciona de acuerdo a los parámetros y criterios operacionales declarados en el **Capítulo 4**. Se tiene por el plan de producción que la velocidad de extracción día, promedio en el año, de todos los puntos de extracción operativos es de

0,42 ton/m2 aproximadamente, con una máxima de 0,92 ton/m2 y mínima de 0,01 ton/m2, donde el área asociada a cada uno de los puntos de extracción es del orden de los 374 metros cuadrados

Por parte de la División el Teniente se sugiere que la velocidad de extracción de cada punto no superé las 1 ton/m2 día, sin embargo, el Caso Base opera sin restricción de velocidad de extracción y a pesar de que el plan ingresado como input no supera este valor para ningún punto extracción, dada la naturaleza de la operación, si un punto deja de producir cierta cantidad de días, una vez que este se encuentre disponible, con el fin de alcanzar la producción perdida, podría superar las 1 ton/m2 día. . En la Tabla 5.39 y el Gráfico 5.22 se compara en un histograma la velocidad de extracción día [ton/m2] arrojadas por el Caso Base versus las entregadas como input por el plan de producción a largo plazo.

Tabla 5.39: Histograma Velocidad de extracción Resultado Caso Base vs Input del Plan de Producción

Rango Velocidad de Extracción Día [ton/m2]		Concentración Resultados Caso Base [%]	Concentración Plan de Producción [%]
0,18	0,25	9,94%	9,70%
0,25	0,5	45,78%	62,34%
0,5	0,75	25,51%	22,06%
0,75	1	8,37%	5,90%
1	1,5	8,63%	
1,5	2	1,54%	
2	2,5	0,17%	
2,5	3	0,04%	
> 3		0,01%	

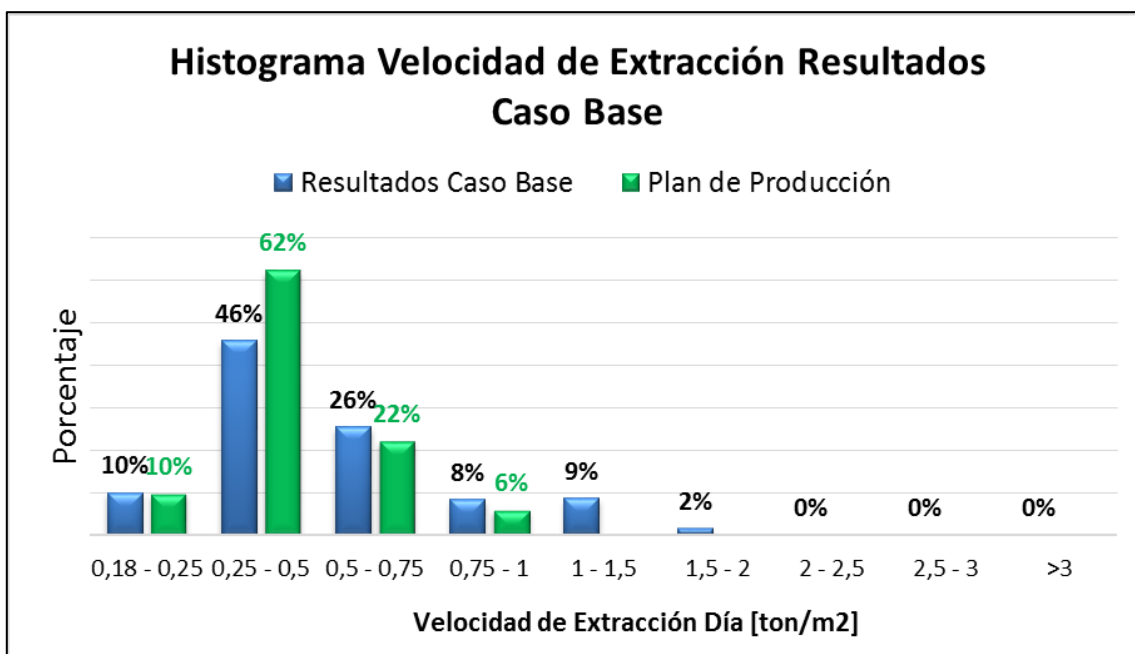


Gráfico 5.22: Histograma Velocidad de extracción Resultado Caso Base vs Input del Plan de Producción

A partir de la Tabla 5.39 y el Gráfico 5.22 se observa que un 10,4% de las velocidades de extracción registradas en el caso base superan las 1 ton/m2 día, donde casos aislados superan las 2 ton/m2 día. Es por esto que se realiza una corrida a 1 año, en la cual se restringe la velocidad de extracción día de cada punto de extracción a 1 ton/m2 como máximo, si en algún momento un punto de extracción alcanza este valor quedará como punto de extracción NO disponible hasta el siguiente día.

El resumen anual de la producción se puede apreciar en la Tabla 5.40, que comparado al caso base este nuevo escenario arroja una caída en la producción de 382 TPD.

Tabla 5.40: Resumen Producción Mina, Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción a: 1 ton/m2

	Promedio	Target	Cumplimiento (%)
Producción Mina (tpd)	59.873	62.052	96,49%
Total Producción Mina (ton)	21.554.313	22.338.600	96,49%

En el Gráfico 5.23 se puede observar el contraste de la producción día a día entre el Caso Base y el nuevo escenario, que este último presenta diferencias en cuanto a comportamiento día a día, el resultado final es similar. El detalle de la producción para cada unidad productiva se encuentra en el **Anexo B**.

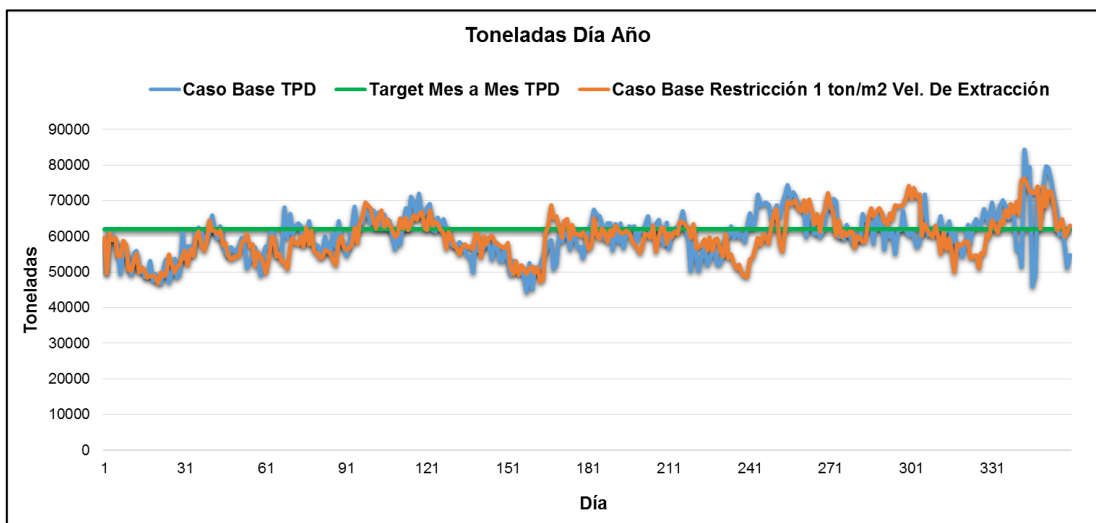


Gráfico 5.23: Caso Base vs Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción

Con este nuevo escenario se procede a realizar el mismo ejercicio que se hizo en la sensibilización anterior, ingresando diferentes planes aumentados con tal de cuantificar

la producción de las unidades productivas en caso de aprovechar los tiempos de holgura propios de la operación, los resultados se detallan en el **Anexo B** de este estudio.

En resumen, la producción máxima en caso de aprovechar los tiempos de holguras para cada unidad productiva se detalla en la Tabla 5.41 y Tabla 5.42.

Tabla 5.41: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m2 día

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AHW	469	756	22 AHW	836	1042
7 AHW	873	1967	26 AHW	2520	2873
13 AHW	1012	1572	30 AHW	258	311
19 AHW	1096	1387	5 AHW	884	895
2 AHW	1360	1757	11 AHW	1448	1876
8 AHW	1521	1975	17 AHW	1120	1441
14 AHW	1854	1947	23 AHW	829	1147
20 AHW	2091	2159	27 AHW	2254	2513
3 AHW	317	370	31 AHW	469	523
9 AHW	1502	1915	6 AHW	581	691
15 AHW	1233	1572	12 AHW	1478	1767
21 AHW	1454	1622	18 AHW	1385	1816
25 AHW	2256	2466	24 AHW	391	713
29 AHW	150	174	28 AHW	1068	1863
4 AHW	651	694	32 AHW	286	425
10 AHW	1499	1984	1 C	353	1059
16 AHW	1210	1558	5 C	445	1335

Tabla 5.42: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base
con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m2 día

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AFW	177	282	15 AFW	2181	2524
7 AFW	1467	1920	19 AFW	589	750
13 AFW	799	905	4 AFW	2032	2418
17 AFW	782	1048	10 AFW	2512	2911
2 AFW	255	373	16 AFW	164	279
8 AFW	2898	2892	5 AFW	1490	1912
14 AFW	1973	2136	11 AFW	2573	2942
18 AFW	1241	1395	6 AFW	655	1062
3 AFW	93	153	12 AFW	1082	1347
9 AFW	2668	2776			

Al igual que el Caso Base existen unidades productivas que ingresando el plan original no alcanzan su producción objetivo, pero una vez aumentado el plan ingresado son capaz de superarla, ejemplo unidades productivas 12 y 6 de Andes Patilla (AFW), ver Tabla 5.43.

Tabla 5.43: Comparativo de Producción con Plan Normal y Plan Aumentado, Restricción de 1 ton/m2 de velocidad de extracción

Unid Prod.	Target Normal	Producción Con Plan Normal	Producción con Máxima con Plan Aumentado
	TPD	TPD	TPD
6 AFW	655	644	1062
12 AFW	1082	1076	1347

También existe un caso puntual con la unidad productiva 8 de Andes Patilla (AFW) la que no logra su meta sólo por 5 TPD, por lo que se puede decir que, **aprovechando los tiempos de holgura y con una restricción de velocidad de extracción de 1 ton/m2 día para cada uno de los puntos se puede lograr la producción objetivo.**

Finalmente, en el Gráfico 5.24 y Gráfico 5.25 se contrastan los resultados obtenidos de máxima producción para cada unidad productiva, del caso base y del escenario con velocidad de extracción restringida.

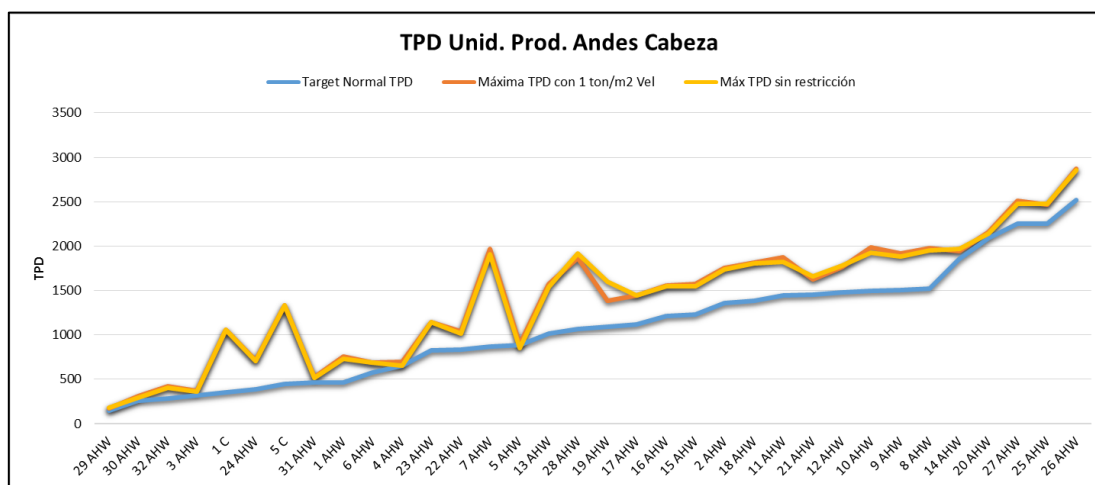


Gráfico 5.24: TPD objetivo vs TPD máxima, Caso Base vs Caso con Restricción de Velocidad de Extracción, Unidades Productivas Andes Cabeza

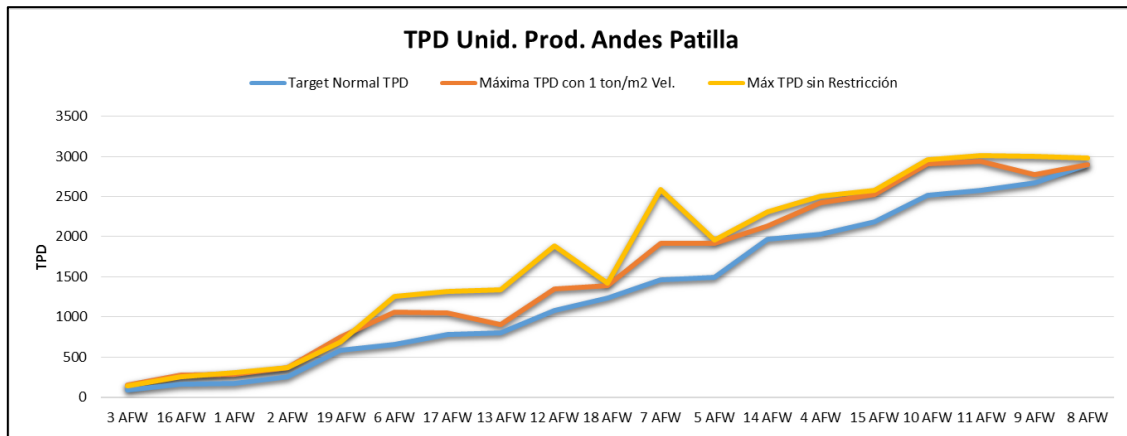


Gráfico 5.25: TPD objetivo vs TPD máxima, Caso Base vs Caso con Restricción de Velocidad de Extracción, Unidades Productivas Andes Patilla

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones del Estudio

➤ Caso Base

Producción

El Caso Base, establecido en el **Capítulo 4** de este estudio arroja como resultado una producción de 60.255 TPD promedio año, cumpliendo en un 97,1% la producción objetivo de 62.052 TPD.

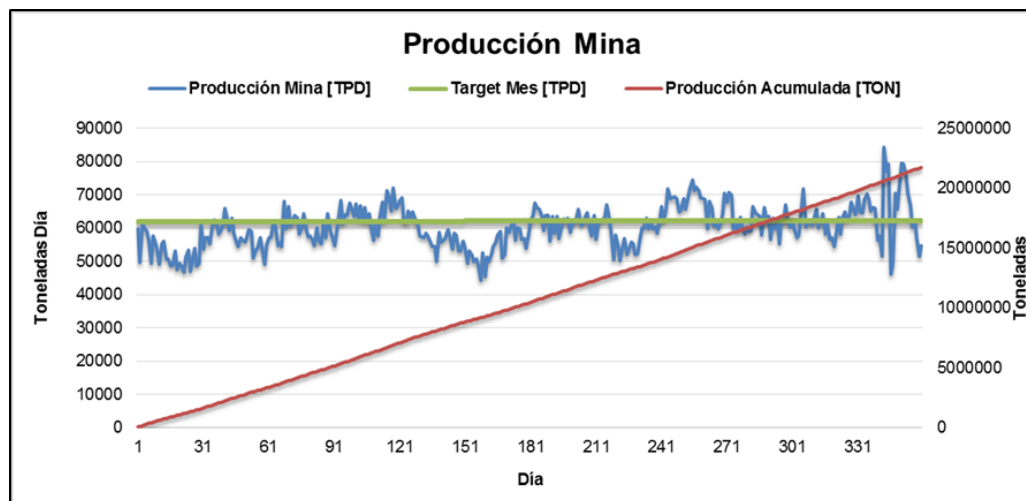


Gráfico 6.1: Producción Mina Caso Base Año 2031

LHD SA

El rendimiento efectivo de la flota total de LHD SA (30 equipos) arroja en promedio al año 295 tph, el rendimiento operativo 240 tph, donde el tiempo de ciclo promedio se detalla en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Tiempo de Ciclo Promedio LHD SA Sector Andes

Tiempo de Ciclo [min]	Total Andes
Tiempo de viaje	1,08
Espera por operador	0,00
Tiempo de carga	0,67
Tiempo de descarga	0,42
Espera en pto de extracción	0,03
Espera en pique	0,01
Total Ciclo	2,21
Ciclo Efectivo	2,17
Nº de viajes día Promedio	5428

Los tiempos de uso promedio al año de los equipos LHD SA se pueden observar en el Gráfico 6.2, donde un 46% del tiempo los equipos están en reserva, mostrando un claro sobredimensionamiento del recurso.

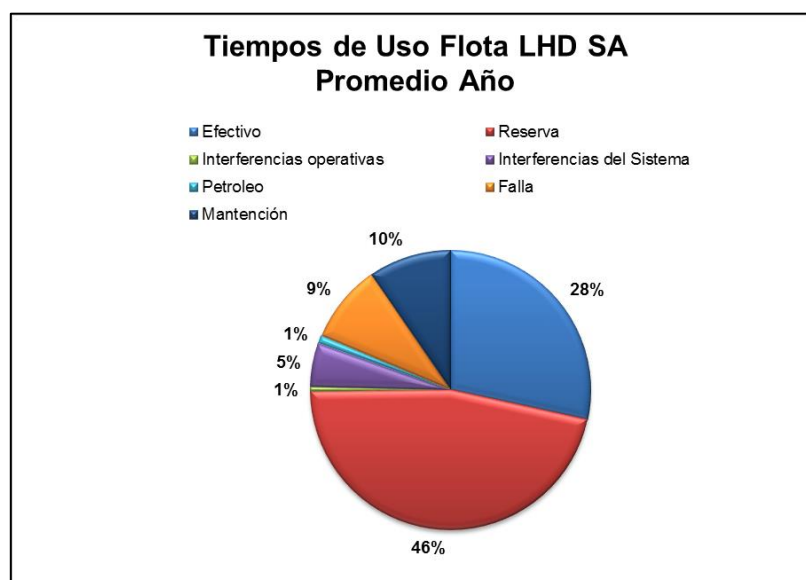


Gráfico 6.2: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año

En cuanto al ASARCO de la flota de LHD SA este se detalla en el Gráfico 6.3, en donde se puede observar un 81% de disponibilidad, un 44% de utilización operativa y un 36% de utilización efectiva, donde:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tpo Disponible}}{\text{Tpo Total}}$$

$$\text{Utilización Operativa} = \frac{\text{Tpo efect} + \text{Tpo Interferencias}}{\text{Tpo Disponible}} = \frac{\text{Tpo Operativo}}{\text{Tpo Disponible}}$$

$$\text{Utilización Efectiva} = \frac{\text{Tpo efectivo}}{\text{Tpo Disponible}}$$

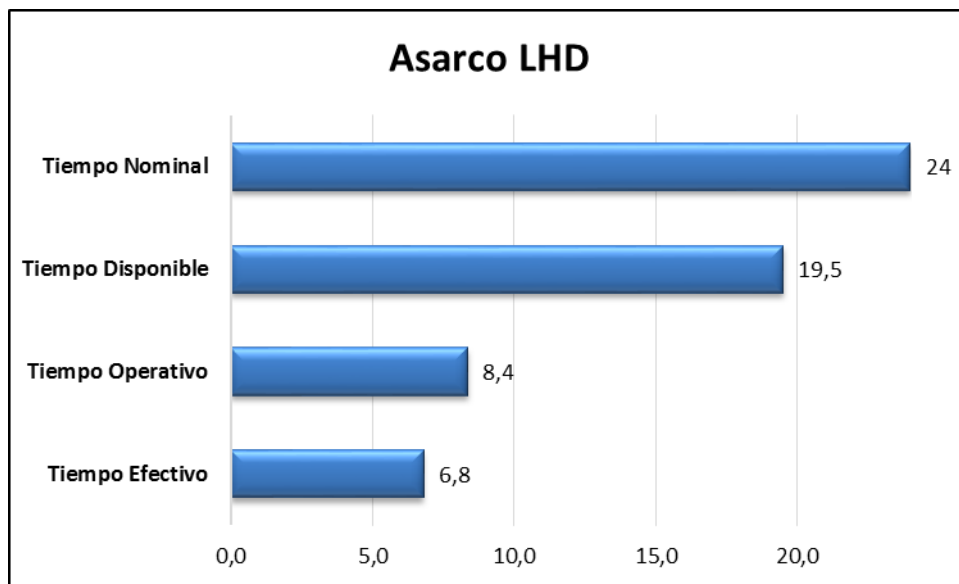


Gráfico 6.3: ASARCO Equipos LHD SA

Martillos Picadores

El desempeño de la flota de martillos picadores se puede observar en la Tabla 6.2 en donde en promedio al año estos operaron (percutiendo) 23,7 horas mes.

Tabla 6.2: Desempeño Martillo Picadores año 2031

Resumen Promedio Martillos - Horas promedio día al Mes						
Mes	Operando	Reserva	Falla	Mantención	Espera por operador	Martillos Operativos
	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]	[Unidad]
ENERO	12,1	703,2	4,2	0,4	0,0	32
FEBRERO	13,2	702,4	3,8	0,6	0,0	32
MARZO	13,7	700,5	5,3	0,6	0,0	32
ABRIL	15,2	699,4	4,8	0,6	0,0	31
MAYO	13,9	700,2	5,2	0,7	0,0	31
JUNIO	12,9	701,8	4,8	0,5	0,0	31
JULIO	14,7	698,3	6,3	0,7	0,0	31
AGOSTO	13,7	699,8	5,8	0,6	0,0	31
SEPTIEMBRE	15,9	698,4	4,8	0,9	0,0	31
OCTUBRE	14,8	700,7	4,1	0,5	0,0	31
NOVIEMBRE	14,6	699,8	4,9	0,7	0,0	31
DICIEMBRE	15,6	697,1	6,6	0,8	0,0	31
Total Año	170,4	8401,5	60,5	7,6	0,0	
Promedio Año	14,2	700,1	5,0	0,6	0,0	

Cuellos de Botella del Proceso

En la Operación se identifican principalmente los siguientes cuellos de botella:

- Reducción Secundaria: Si bien la reducción secundaria forma parte de las interferencias de la operación, la indisponibilidad de área operativa producto de esta labor es significativa. Durante la simulación se registra el estado de cada una de las unidades productivas en el Sector Andes (los que se detallan en el punto 4.1.2 de este estudio), donde alrededor del 10% del tiempo estas se encuentran en labores de reducción secundaria y otro 6% del tiempo están confinadas producto de estas mismas labores.
- LHD SA por Semicalle: Se establece por motivos de seguridad, que sólo puede haber un LHD SA por semicalle, y tomando en cuenta de que cada semicalle está compuesta por 2 o 3 unidades productivas, inmediatamente al entrar un LHD SA a una semicalle se confina 1 o 2 unidades productivas, área de trabajo la cual queda inhabilitada aunque exista disponibilidad de LHD SA para operarla. Con anterioridad se observó que la reserva de flota de LHD SA alcanza un 46%, ya que si bien hay un total de 25 semicalles, en promedio son 10 los LHD SA que se encuentran operando durante el año dada la indisponibilidad de área en el Sector Andes, ya sea por mantenciones, reducciones secundaria, fallas, etc., por lo que si se permitiera un mayor número de equipos por semicalle, sumado a la inexistencia de personal trabajando en el sector, bajaría el desuso del recurso aumentando la productividad. Actualmente en el Caso Base se registra que alrededor del 23% del tiempo en promedio las unidades productivas se encuentran confinadas por haber otro equipo LHD operando en la semicalle.

Sensibilizaciones

➤ Sensibilización: Criterio de Porcentaje de puntos colgados para comenzar reducción secundaria

El Caso Base establece que cuando una semicalle alcanza el 70 % de los puntos colgados esta entrará en actividades de reducción secundaria. Se realizan corridas a diferentes porcentajes de criterio, ver Tabla 6.3 y Gráfico 6.4, donde el criterio de un porcentaje del 50% de los puntos colgados para comenzar las labores de reducción secundaria presenta una mayor producción, 1.167 TPD sobre el caso, lo significa un incremento del orden del 2% en la producción, por otro lado se incrementa el número de reducciones secundarias día en un 44% respecto al Caso Base.

Tabla 6.3: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base

Porcentaje	RS Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	55	60.913
50%	46	61.422
60%	38	61.237
70%	32	60.255
80%	27	58.047

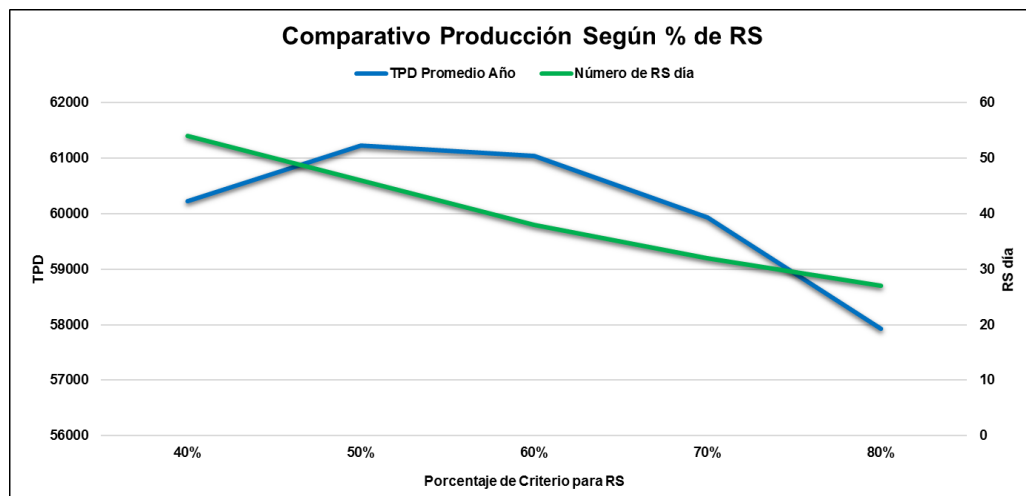


Gráfico 6.4: Resultado Sensibilización Reducción Secundaria, Caso Base

➤ **Sensibilización: Una roca un 25% más desfavorable**

Se sensibiliza el Caso Base a condiciones de roca un 25% más desfavorable, es decir, 25% más de probabilidad de colgadura en los puntos de extracción y sobretamaño en parrilla, con un 25% en el aumento de los tiempos de percusión de martillo, donde:

- La producción arrojada es de 60.064 TPD, un 0,3 % (191 TPD) por debajo del caso base, por lo que se puede decir que tienen la misma producción.
- El número de reducciones secundarias es de 40 por día, 25% más que el Caso Base.
- La utilización de martillos (horas percutiendo) se ve incrementada en un 57%, pasando de 14,2 horas promedio mes (por cada martillo) a 22,3 horas.
- A su vez se realiza el mismo ejercicio que el Caso Base, donde se sensibiliza a diferentes criterios de porcentaje (50%, 60%, 70% y 80%) de puntos colgados para comenzar labores de reducción secundaria, donde un criterio del 60% predomina sobre el resto, con 60.741 TPD promedio año, incrementando la producción en 1%

respecto al criterio de 70% (60.064 TPD) y aumentando un 18% las reducciones secundarias, pasando de 40 a 47 por día.

Tabla 6.4: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

Porcentaje	RS Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	65	58595
50%	56	59834
60%	47	60741
70%	40	60064
80%	34	57781

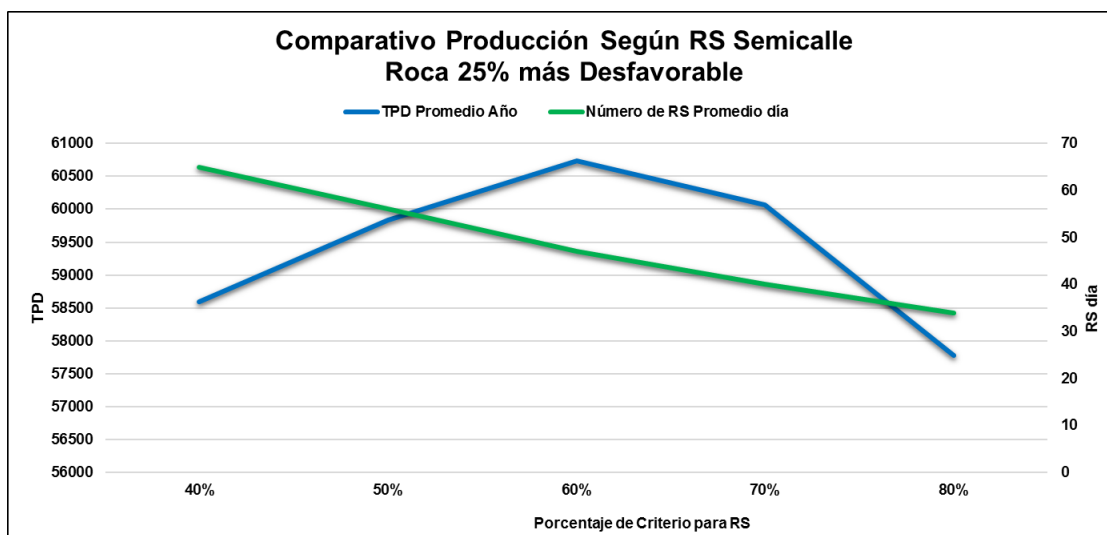


Gráfico 6.5: Resultado Sensibilización roca 25% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

➤ **Sensibilización: Una roca un 50% más desfavorable**

Se sensibiliza el Caso Base a condiciones de roca un 50% más desfavorable, es decir, 50% más de probabilidad de colgadura en los puntos de extracción y sobretamaño en parrilla, con un 25% en el aumento de los tiempos de percusión de martillo, donde:

- La producción arrojada es de 58.386 TPD, 3 % (1.869 TPD TPD) por debajo del caso base.
- El número de reducciones secundarias es de 46 por día, 44% más que el Caso Base.
- La utilización de martillos (horas percutiendo) se ve incrementada en un 153%, pasando de 14,2 horas promedio mes (por cada martillo) a 35,9 horas.
- A su vez se realiza el mismo ejercicio que el Caso Base, donde se sensibiliza a diferentes criterios de porcentaje (50%, 60%, 70% y 80%) de puntos colgados para comenzar labores de reducción secundaria, donde un criterio del 60% predomina sobre el resto, con 58.871 TPD promedio año, incrementando la producción en 1% respecto al criterio de 70% (58.386 TPD) y aumentando un 17% las reducciones secundarias, pasando de 46 a 54 por día.

Tabla 6.5: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

Porcentaje	RS Promedio Día	Producción
	Número	[TPD]
40%	73	54603
50%	64	56582
60%	54	58871
70%	46	58386
80%	40	56802

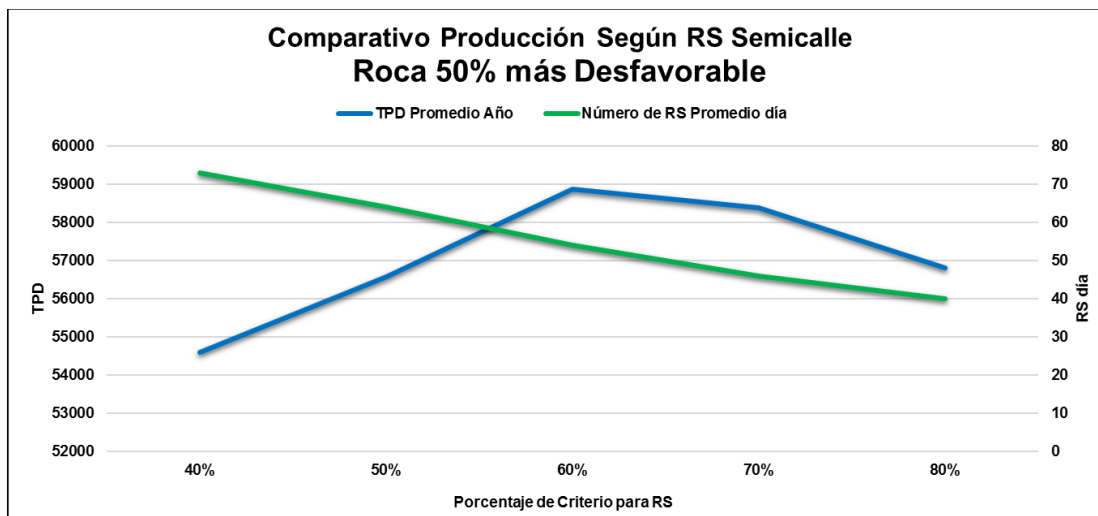


Gráfico 6.6: Resultado Sensibilización roca 50% más desfavorable y diferentes Criterios de RS

➤ **Sensibilización: Flota LHD SA**

A partir del “Gráfico 6.2: Tiempos de uso Promedio Flota LHD SA Promedio Año” se puede observar un claro sobredimensionamiento de la flota de equipos LHD`s SA, registrando un 46% de reserva. Los resultados en cuanto a producción para diferentes números de flota de LHD`s 16-18-20-22-24-26-28-**30**-32se detallan a continuación:

Tabla 6.6: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD

Nº LHD	TPD Promedio Año	Variación Respecto al Caso Base
16	58.953	-2,16%
18	59.954	-0,50%
20	59.800	-0,76%
22	60.230	-0,04%
24	60.342	+0,14%
26	60.223	-0,05%
28	60.339	+0,14%
30	60.255	0,00%
32	60.403	+0,25%

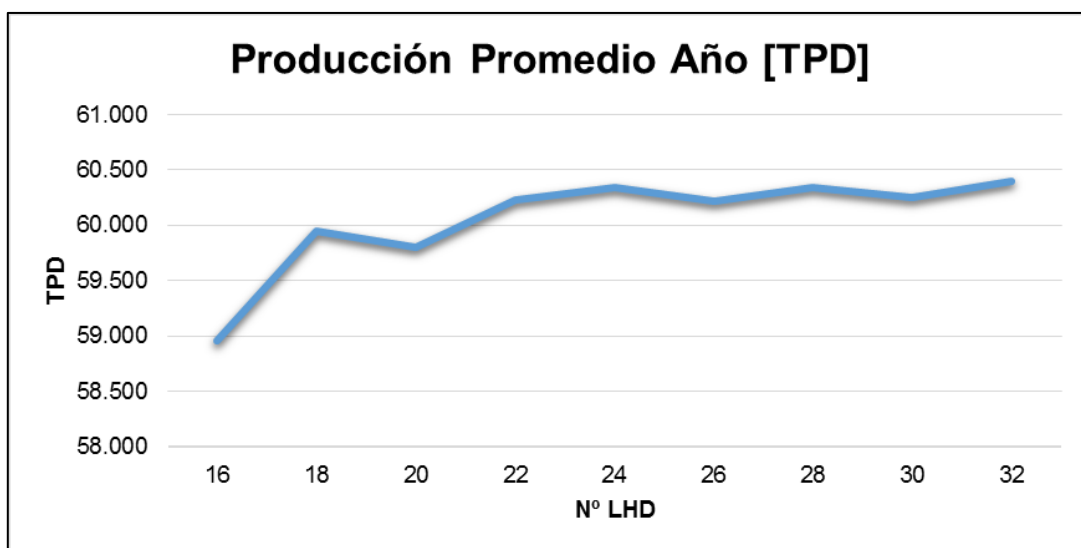


Gráfico 6.7: Producción Promedio año en TPD según Flota de LHD

Tabla 6.7: Tiempos de ASARCO para Diferentes Flotas de LHD Caso Base

ASARCO	Flota LHD								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Disponibilidad	72%	73%	73%	72%	80%	78%	79%	81%	84%
Utilización Operativa	88%	79%	71%	66%	54%	53%	48%	44%	42%
Utilización Efectiva	73%	66%	59%	55%	45%	43%	40%	36%	34%

A partir de la Tabla 6.6, Tabla 6.7 y el Gráfico 6.7 se concluye que el Caso Base posee un sobredimensionamiento de 8 equipos LHD, ya que a partir de flotas con 22 LHD`s las diferencias de producción son del orden del -0,04% y +0,14%, pasando de una utilización efectiva del 36% al 55%.

➤ **Sensibilización: Caso Base más tiempos de Holgura**

Como se mencionó con anterioridad el Caso Base cumple con un 97,1% de la producción objetivo, sin embargo, este escenario opera de manera tal, que cada vez que un punto de extracción o unidad productiva cumple sus toneladas objetivo a la fecha no sigue operando con equipo LHD SA, lo cual genera tiempos de holgura sin aprovechar en la operación, esto ya que el modelo opera con una filosofía a corto plazo y el plan ingresado como input es a largo plazo.

Por lo que se sensibilizó el Caso Base a diferentes planes aumentados de producción (125%, 150%, 200%, 250% y 300%) de manera eliminar estos tiempos de holguras y observar la máxima capacidad productiva de cada unidad productiva, ver Tabla 6.8 y Tabla 6.9.

Tabla 6.8: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AHW	469	734	22 AHW	836	1012
7 AHW	873	1910	26 AHW	2520	2851
13 AHW	1012	1538	30 AHW	258	293
19 AHW	1096	1597	5 AHW	884	853
2 AHW	1360	1735	11 AHW	1448	1825
8 AHW	1521	1952	17 AHW	1120	1441
14 AHW	1854	1969	23 AHW	829	1140
20 AHW	2091	2144	27 AHW	2254	2480
3 AHW	317	365	31 AHW	469	516
9 AHW	1502	1883	6 AHW	581	687
15 AHW	1233	1548	12 AHW	1478	1783
21 AHW	1454	1662	18 AHW	1385	1806
25 AHW	2256	2474	24 AHW	391	702
29 AHW	150	178	28 AHW	1068	1919
4 AHW	651	653	32 AHW	286	406
10 AHW	1499	1927	1 C	353	1059
16 AHW	1210	1551	5 C	445	1335

Tabla 6.9: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Patilla, Caso Base

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AFW	177	312	15 AFW	2181	2574
7 AFW	1467	2586	19 AFW	589	691
13 AFW	799	1342	4 AFW	2032	2502
17 AFW	782	1315	10 AFW	2512	2961
2 AFW	255	374	16 AFW	164	259
8 AFW	2898	2978	5 AFW	1490	1960
14 AFW	1973	2306	11 AFW	2573	3009
18 AFW	1241	1425	6 AFW	655	1255
3 AFW	93	139	12 AFW	1082	1882
9 AFW	2668	3003			

A partir de la Tabla 6.8 y Tabla 6.9 se puede observar que el Caso Base aprovechando los tiempos de holgura de la operación cumple con las toneladas objetivo en un 100%.

➤ **Sensibilización: Caso Base con velocidad máxima de extracción de 1 ton/m2**

Por parte de la División el Teniente se sugiere que la velocidad de extracción de cada punto no supere las 1 ton/m2 día, es por esto que se realizó una nueva sensibilización, en la que cada vez que un punto de extracción alcance este valor quedara inhabilitado hasta el día siguiente, el resultado fue de una producción promedio año de 59.873 TPD, 382 tpd por debajo del caso base, ver Tabla 6.8.

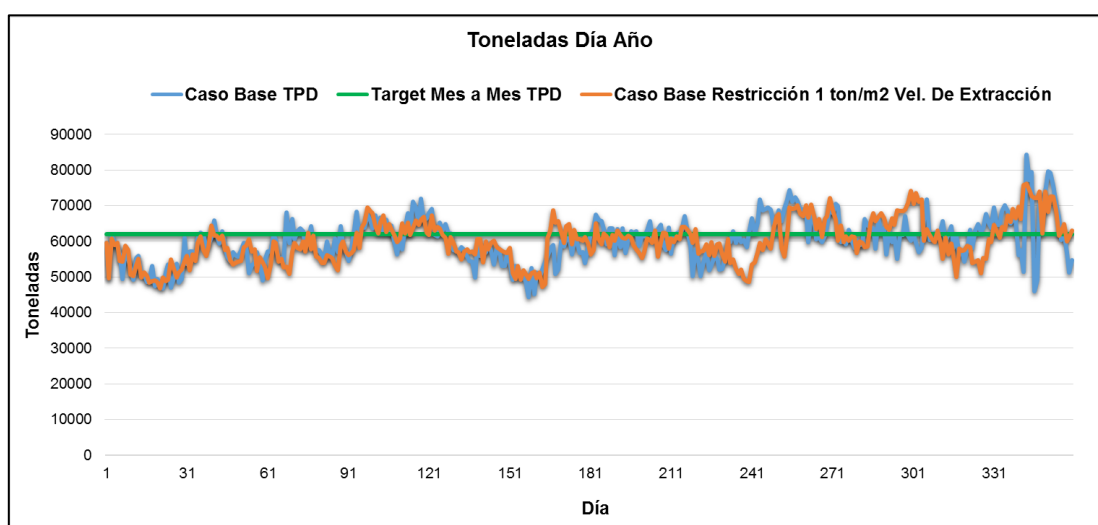


Gráfico 6.8: Caso Base vs Escenario con Restricción de Velocidad de Extracción

Al igual que el caso base se realizan corridas con este nuevo escenario a diferentes planes aumentados con tal de observar la máxima capacidad de producción de cada unidad productiva, ver Tabla 6.10 y Tabla 6.11.

Tabla 6.10: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base
con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m2 día

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AHW	469	756	22 AHW	836	1042
7 AHW	873	1967	26 AHW	2520	2873
13 AHW	1012	1572	30 AHW	258	311
19 AHW	1096	1387	5 AHW	884	895
2 AHW	1360	1757	11 AHW	1448	1876
8 AHW	1521	1975	17 AHW	1120	1441
14 AHW	1854	1947	23 AHW	829	1147
20 AHW	2091	2159	27 AHW	2254	2513
3 AHW	317	370	31 AHW	469	523
9 AHW	1502	1915	6 AHW	581	691
15 AHW	1233	1572	12 AHW	1478	1767
21 AHW	1454	1622	18 AHW	1385	1816
25 AHW	2256	2466	24 AHW	391	713
29 AHW	150	174	28 AHW	1068	1863
4 AHW	651	694	32 AHW	286	425
10 AHW	1499	1984	1 C	353	1059
16 AHW	1210	1558	5 C	445	1335

Tabla 6.11: Producción Máxima para unidades productivas de Andes Cabeza, Caso Base
con restricción de velocidad de extracción: 1 ton/m2 día

Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción	Unid Prod.	Target Normal	Máxima Producción
	TPD	TPD		TPD	TPD
1 AFW	177	282	15 AFW	2181	2524
7 AFW	1467	1920	19 AFW	589	750
13 AFW	799	905	4 AFW	2032	2418
17 AFW	782	1048	10 AFW	2512	2911
2 AFW	255	373	16 AFW	164	279
8 AFW	2898	2892	5 AFW	1490	1912
14 AFW	1973	2136	11 AFW	2573	2942
18 AFW	1241	1395	6 AFW	655	1062
3 AFW	93	153	12 AFW	1082	1347
9 AFW	2668	2776			

A partir del Gráfico 5.23, Tabla 5.41 y Tabla 5.42 se concluye que:

- El Caso Base con y sin restricción de velocidad de extracción de 1 ton/m2 día entregan resultados de producción similares (diferencia del 0,6%).
- El Caso Base con restricción de velocidad de extracción de 1 ton/m2 día al igual que el caso sin restricción, aprovechando los tiempos de holuras dados por el plan de producción cumple con las toneladas objetivo en un 100%.

6.2 Recomendaciones

Como se mencionó con anterioridad en el modelo no se aprovechan los tiempos de holgura propios de la operación, ya que cuando en un determinado día se alcanza la producción objetivo de un punto de extracción o unidad productiva esta deja de operar con LHD SA, por lo que se recomiendan 2 planes de acción frente a esta situación:

- Plantear una estrategia de extracción o asignación de recurso una vez que una semicalle se encuentre detenida (que se encuentre con puntos de extracción con 100% de cumplimiento y puntos de extracción colgados, sin alcanzar el porcentaje suficiente para entrar en reducción secundaria) o haya alcanzado su producción planificada, de esta manera no verse descompensada en su producción ante una eventual indisponibilidad del sector.
- El plan de extracción ingresado como input en el modelo de simulación, está hecho con un carácter de largo plazo, sin embargo, el modelo incorpora interferencias y procesos que se dan al corto plazo, por lo que se propone reajustar el plan ingresado, de manera que tenga visión de las singularidades del corto plazo. A modo de ejemplo, si una semicalle tiene por el plan 4.000 toneladas días como objetivo y se sabe que durante el año no estará disponible por 2 meses debido a mantención, en vez de ingresar al modelo de simulación que todos los días extraiga 4.000 toneladas y luego de que ocurra la eventual mantención se encuentre debiendo 4.000 toneladas x 60 (días), se sugiere multiplicar el plan de esta calle por:
$$\frac{\text{Meses Totales} + \text{meses No disponibles}}{\text{Meses Totales}} =$$

$$\frac{12+2}{12} = 1,17$$
 dando 4.467 toneladas objetivo día, de esta forma anticiparse a la indisponibilidad que se tendrá durante el año. Esto ya que el plan a largo plazo ingresado como input en el modelo de simulación representa un promedio de las

toneladas a extraer durante el año y no es representativo de las singularidades presentes a corto plazo.

Además de lo mencionado anteriormente, a partir de los resultados obtenidos se recomienda los siguientes puntos como oportunidades de mejora del proceso:

- Restablecer el criterio del porcentaje de puntos colgados para comenzar las labores de Reducción Secundaria. Recabando información de la operación actual para así alimentar la simulación en base a estos.
- Replantear el número de equipos necesarios para llevar a cabo la operación, de manera de realizar una mejor asignación y utilización del recurso, los resultados arrojaron que se tiene un sobredimensionamiento de 8 equipos LHD SA, es decir, que en vez de trabajar con una flota total de 30 equipos una flota de 22 equipos genera la misma producción.

A modo de enriquecer el Modelo de Simulación a futuro se recomienda:

- La capacidad real del balde se considera constante para efecto de la simulación, sin embargo, esta debería estar en función de la granulometría esperada en los puntos de extracción, así tener una carga de mineral diferenciada para cada punto de extracción, ya que en la realidad no todo el sector Andes se encontrará en igualdad de condiciones.
- La carga de combustible de los equipos LHD SA se realiza cada 13,8 horas de operación, interfiriendo con las labores de operación, por lo que se debería plantear una filosofía inteligente para esta tarea, a modo de ejemplo, cada vez que un LHD se

encuentre en reserva cierta cantidad de tiempo que vaya a cargar combustible, otro ejemplo sería llenar el estanque al comienzo de cada turno y de esta manera dar una mayor continuidad a la operación.

- Realizar un estudio acabado del proceso de reducción secundaria en terreno (recolección de datos y entrevista con personal de operación), de manera de establecer todas las interferencias y singularidades del proceso que puedan haberse escapado de los criterios operacionales ingresados al modelo de simulación.
- Por último llevar a cabo la conexión con el Modelo de Simulación aguas abajo y evaluar la capacidad productiva conjunta de ambos sistemas (total mina).

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

- Codelco. (2016). Nuevo Nivel Mina El Teniente. [en línea] Disponible en: https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20110706/pags/20110706130724.html [Consultado 5 de Julio 2016].
- DIERING TONY, 2008. Block cave scheduling with a piece of paper. 5th International Conference and Exhibition on Mass Mining, Luleå Sweden.
- GARCÍA E., GARCÍA H., CÁRDENAS LEOPOLDO E. Simulación y análisis de Sistemas con Promodel 2006, México, Naucalpan Juárez: Pearson Educación México. S.A de C.V, pág 2-4.
- MANUEL MORALES, 2010, Tesis: Tiempo óptimo de Reemplazo de Equipos, aplicado a Flota de Cargadores Frontales LHD, Universidad de Valparaíso, Valparaíso
- PATRICIO CAVIERES, 1999. Evolución de los Métodos de Explotación en la Mina El Teniente. Gestión de la Innovación Tecnológica. Módulo I. Curso 5.
- PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedras Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Análisis de Resultados. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 2-5.
- PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedras Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Simulación en Minería. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 3.
- PALMA JORGE LUIS, 2014. Cátedra Simulación de Procesos Mineros – MI5072. Verificación y Validación. Departamento de minas, Universidad de Chile, pp 20.
- Promodel.com. (2016). ProModel - Technology Enabled Predictive Analytics Simulation. [en línea] Disponible en: www.promodel.com [Consultado 5 Julio 2016].
- SARGENT, R.G., 1988. A tutorial on validation and verification of simulation models
- SHANNON R.E., 1998. INTRODUCTION TO THE ART AND SCIENCE OF SIMULATION.
- VARGAS MARCELO, 2014. Cátedra Diseño Minero – MI6072. Elementos claves del diseño subterráneo. Departamento de minas, Universidad de Chile.

CAPÍTULO 8

ANEXOS

8.1 Anexo A: Plan de Producción Por Calle

Tabla 8.1: Resumen Plan de Producción Sector Andes Cabeza año 2031

Sector Andes Cabeza		ene-31	feb-31	mar-31	abr-31	may-31	jun-31	jul-31	ago-31	sep-31	oct-31	nov-31	dic-31
C1	N° de Puntos	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	26	27
	TPD (promedio)	152	151	145	144	144	143	138	138	133	133	132	126
	TPD total calle	3492	3476	3477	3460	3453	3437	3447	3438	3445	3445	3423	3403
C2	N° de Puntos	48	48	49	50	50	50	51	51	52	53	52	53
	TPD (promedio)	144	143	140	138	138	137	134	133	131	127	129	127
	TPD total calle	6922	6886	6876	6882	6897	6862	6823	6794	6794	6735	6723	6708
C3	N° de Puntos	49	50	50	51	52	52	52	53	54	55	55	56
	TPD (promedio)	144	140	140	136	134	132	131	128	125	123	123	119
	TPD total calle	7049	7021	6984	6948	6950	6887	6821	6788	6733	6745	6741	6681
C4	N° de Puntos	50	51	51	49	50	51	51	50	51	51	50	51
	TPD (promedio)	144	143	142	144	141	138	136	137	133	133	134	132
	TPD total calle	7224	7316	7222	7047	7034	7022	6945	6871	6787	6784	6695	6734
C5	N° de Puntos	54	54	55	56	56	55	53	52	51	50	52	52
	TPD (promedio)	133	132	130	128	130	130	133	134	133	134	130	130
	TPD total calle	7165	7129	7143	7188	7292	7137	7037	6945	6787	6687	6779	6751
C6	N° de Puntos	33	33	33	34	33	32	32	31	31	31	33	32
	TPD (promedio)	163	163	164	159	158	162	161	162	160	161	152	161
	TPD total calle	5390	5363	5397	5394	5225	5188	5164	5013	4974	4977	5015	5167

Tabla 8.2: Resumen Plan de Producción Sector Andes Central año 2031

Sector Andes Central		ene-31	feb-31	mar-31	abr-31	may-31	jun-31	jul-31	ago-31	sep-31	oct-31	nov-31	dic-31
C7	N° de Puntos	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD (promedio)	270	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD total calle	1078	518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	N° de Puntos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD (promedio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD total calle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	N° de Puntos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD (promedio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD total calle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	N° de Puntos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD (promedio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TPD total calle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Tabla 8.3: Resumen Plan de Producción Sector Andes Patilla año 2031

Sector Andes Patilla		ene-31	feb-31	mar-31	abr-31	may-31	jun-31	jul-31	ago-31	sep-31	oct-31	nov-31	dic-31
C11	N° de Puntos	14	14	15	15	16	16	16	16	16	15	15	15
	TPD (promedio)	224	226	211	212	206	208	208	213	208	208	209	208
	TPD total calle	3140	3165	3165	3184	3290	3333	3329	3403	3326	3117	3130	3120
C12	N° de Puntos	27	28	30	31	30	30	30	30	30	30	30	30
	TPD (promedio)	223	220	215	206	206	214	215	217	216	216	217	211
	TPD total calle	6027	6146	6462	6371	6181	6430	6455	6517	6468	6490	6507	6342
C13	N° de Puntos	26	27	28	27	26	26	25	26	27	27	26	26
	TPD (promedio)	205	202	196	202	212	207	220	214	212	213	213	212
	TPD total calle	5319	5445	5499	5456	5521	5371	5491	5566	5730	5742	5541	5505
C14	N° de Puntos	24	24	24	24	24	24	24	25	26	26	26	27
	TPD (promedio)	183	184	185	191	192	193	193	191	189	194	194	185
	TPD total calle	4396	4421	4447	4572	4608	4630	4638	4764	4909	5047	5053	5002
C15	N° de Puntos	19	19	19	19	19	20	21	21	22	23	24	26
	TPD (promedio)	178	187	197	204	207	203	199	201	195	193	188	177
	TPD total calle	3389	3561	3737	3874	3926	4053	4186	4224	4280	4432	4506	4598
C16	N° de Puntos	8	8	8	8	8	9	9	9	9	10	11	12
	TPD (promedio)	177	195	197	200	203	192	195	197	207	189	181	173
	TPD total calle	1413	1558	1578	1600	1625	1729	1757	1777	1862	1892	1991	2071

8.2 Anexo B: Resultados de Producción

A continuación, se detallan las tablas de producción y cumplimiento que no fueron descritas a lo largo del estudio dado su gran envergadura.

8.2.1 Semicalles

Las toneladas día objetivo para cada semicalle Cabeza y Patilla se detallan en la Tabla 8.4 y Tabla 8.5.

Tabla 8.4: Plan de Toneladas días por Semicalles mes a mes, Andes Cabeza

TPD Mes	Andes Cabeza												
	1 N	1 S	2 N	2 S	3 N	3 S	4 N	4 S	5 N	5 S	6 N	6 S	7 N
Ene	1376	2116	2952	3970	3210	3839	3455	3769	3555	3610	3612	1778	1078
Feb	1374	2102	2923	3963	3205	3816	3496	3820	3541	3588	3593	1770	518
Mar	1359	2118	2903	3973	3186	3798	3503	3719	3575	3568	3643	1754	0
Abr	1356	2104	2905	3977	3130	3818	3442	3605	3583	3605	3643	1751	0
May	1352	2101	2923	3974	3123	3827	3425	3609	3614	3678	3482	1743	0
Jun	1302	2135	2831	4031	3061	3826	3361	3661	3533	3604	3443	1745	0
Jul	1331	2116	2820	4003	2988	3833	3325	3620	3504	3533	3423	1741	0
Ago	1325	2113	2860	3934	2978	3810	3316	3555	3399	3546	3309	1704	0
Sep	1321	2124	2844	3950	2928	3805	3240	3547	3326	3461	3258	1716	0
Oct	1322	2123	2862	3873	2930	3815	3251	3533	3274	3413	3210	1767	0
Nov	1325	2098	2860	3863	2942	3799	3257	3438	3273	3506	3273	1742	0
Dic	1358	2045	2885	3823	2947	3734	3235	3499	3244	3507	3436	1731	0

Tabla 8.5: Plan de Toneladas días por Semicalles mes a mes, Andes Patilla

TPD Mes	Andes Patilla											
	11 N	11 S	12 N	12 S	3 N	13 S	14 N	14 S	15 N	15 S	16 N	16 S
Ene	1893	1247	3183	2844	2423	2896	1868	2528	1111	2278	419	994
Feb	1905	1260	3207	2939	2455	2990	1885	2536	1267	2294	559	999
Mar	1668	1497	3264	3198	2612	2887	1928	2519	1403	2334	566	1012
Abr	1668	1516	3328	3043	2700	2756	1927	2645	1408	2466	571	1029
May	1678	1612	3082	3099	2837	2684	1964	2644	1421	2505	579	1046
Jun	1646	1687	3131	3299	2878	2493	1988	2642	1481	2572	656	1073
Jul	1637	1692	3107	3348	2842	2649	2043	2595	1561	2625	663	1094
Ago	1714	1689	3167	3350	2807	2759	2094	2670	1566	2658	669	1108
Sep	1635	1691	3113	3355	2839	2891	2166	2743	1596	2684	749	1113
Oct	1426	1691	3134	3356	2859	2883	2174	2873	1663	2769	808	1084
Nov	1425	1705	3115	3392	2857	2684	2160	2893	1672	2834	809	1182
Dic	1436	1684	2998	3344	2833	2672	2181	2821	1736	2862	816	1255

Las toneladas promedio día para cada una de las semicalles, así como su cumplimiento mes a mes para el año 2031 se detallan en la Tabla 8.6, Tabla 8.7, Tabla 8.8 y Tabla 8.9.

Tabla 8.6: Toneladas Promedio Día, mes a mes Semicalles de Andes Cabeza, Caso Base

TPD Mes	Andes Cabeza													
	1 N	1 S	2 N	2 S	3 N	3 S	4 N	4 S	5 N	5 S	6 N	6 S	7 N	
Ene	1186	1789	2747	2093	2884	1856	3203	3743	2838	3504	3062	1683	1074	
Feb	1507	1569	2711	3754	2967	3817	3177	3830	3695	3531	3943	1730	185	
Mar	1300	1857	2813	4089	2922	4113	3138	2937	3220	2998	2542	1653	337	
Abr	1234	1766	3071	3775	2385	4775	3118	3838	3056	3955	4138	1758	0	
May	1223	2631	2618	1659	2711	3498	3543	2281	3858	3563	3951	1668	0	
Jun	1168	2680	2308	3498	3365	4226	2319	4616	3378	2045	3415	1626	0	
Jul	1162	2217	2509	4682	2681	3900	3667	1608	3064	2025	3413	1517	0	
Ago	1202	1944	2075	4819	1870	3419	2846	4203	1430	4662	3365	1816	0	
Sep	1181	2095	4386	4791	4158	2512	2939	4517	4457	4635	3231	1640	0	
Oct	1151	2394	2582	4015	2518	4775	3122	4445	2941	3689	2725	1687	0	
Nov	1119	2163	1516	4342	2686	3491	3253	3725	2537	3636	2698	1571	0	
Dic	1108	1940	3449	4302	2622	3918	2954	2931	4310	3046	4478	1018	0	

Tabla 8.7: Porcentaje de Cumplimiento, mes a mes Semicalles de Andes Cabeza, Caso Base

% Target	Andes Cabeza												
	1 N	1 S	2 N	2 S	3 N	3 S	4 N	4 S	5 N	5 S	6 N	6 S	7 N
Ene	86%	85%	93%	53%	90%	48%	93%	99%	80%	97%	85%	95%	100%
Feb	110%	75%	93%	95%	93%	100%	91%	100%	104%	98%	110%	98%	36%
Mar	96%	88%	97%	103%	92%	108%	90%	79%	90%	84%	70%	94%	65%
Abr	91%	84%	106%	95%	76%	125%	91%	106%	85%	110%	114%	100%	0%
May	90%	125%	90%	42%	87%	91%	103%	63%	107%	97%	113%	96%	0%
Jun	90%	126%	82%	87%	110%	110%	69%	126%	96%	57%	99%	93%	0%
Jul	87%	105%	89%	117%	90%	102%	110%	44%	87%	57%	100%	87%	0%
Ago	91%	92%	73%	122%	63%	90%	86%	118%	42%	131%	102%	107%	0%
Sep	89%	99%	154%	121%	142%	66%	91%	127%	134%	134%	99%	96%	0%
Oct	87%	113%	90%	104%	86%	125%	96%	126%	90%	108%	85%	95%	0%
Nov	84%	103%	53%	112%	91%	92%	100%	108%	78%	104%	82%	90%	0%
Dic	82%	95%	120%	113%	89%	105%	91%	84%	133%	87%	130%	59%	0%

Tabla 8.8: Toneladas Promedio Día, mes a mes Semicalles de Andes Patilla, Caso Base

Target Tpd Mes	Andes Patilla											
	11 N	11 S	12 N	12 S	13 N	13 S	14 N	14 S	15 N	15 S	16 N	16 S
Ene	1886	998	1660	2133	2424	2812	1859	2456	1106	2280	384	988
Feb	1913	830	3543	1896	1865	1597	1891	2554	1221	2288	396	995
Mar	1614	2065	3448	4177	3168	2703	1578	1585	1417	2321	452	997
Abr	1671	1601	4216	3731	2713	4156	1396	3504	828	1799	483	1040
May	1716	1633	2142	3122	1791	2947	2823	2553	2036	3054	501	1043
Jun	1656	1227	1786	2328	1568	1589	1982	1498	1471	2616	703	1087
Jul	1633	2019	4447	2112	4278	3498	2070	3712	1567	2545	703	1056
Ago	1647	1746	2573	4704	2443	2721	911	2714	674	2323	730	1149
Sep	1303	1736	4550	3511	2274	1944	2321	1916	1930	3135	878	1103
Oct	1813	1623	2253	3947	2904	2111	3205	1577	2177	2674	771	1093
Nov	1442	1473	3924	2828	3767	4121	1879	4598	1503	1631	860	961
Dic	1436	2020	2237	3955	3687	2658	2366	3036	1917	3971	871	1476

Tabla 8.9: Porcentaje de Cumplimiento, mes a mes Semicalles de Andes Patilla, Caso Base

% Target	Andes Patilla											
	11 N	11 S	12 N	12 S	13 N	13 S	14 N	14 S	15 N	15 S	16 N	16 S
Ene	100%	80%	52%	75%	100%	97%	100%	97%	100%	100%	92%	99%
Feb	100%	66%	110%	64%	76%	53%	100%	101%	96%	100%	71%	100%
Mar	97%	138%	106%	131%	121%	94%	82%	63%	101%	99%	80%	99%
Abr	100%	106%	127%	123%	100%	151%	72%	132%	59%	73%	85%	101%
May	102%	101%	69%	101%	63%	110%	144%	97%	143%	122%	87%	100%
Jun	101%	73%	57%	71%	54%	64%	100%	57%	99%	102%	107%	101%
Jul	100%	119%	143%	63%	151%	132%	101%	143%	100%	97%	106%	96%
Ago	96%	103%	81%	140%	87%	99%	44%	102%	43%	87%	109%	104%
Sep	80%	103%	146%	105%	80%	67%	107%	70%	121%	117%	117%	99%
Oct	127%	96%	72%	118%	102%	73%	147%	55%	131%	97%	95%	101%
Nov	101%	86%	126%	83%	132%	154%	87%	159%	90%	58%	106%	81%
Dic	100%	120%	75%	118%	130%	99%	108%	108%	110%	139%	107%	118%

En el Gráfico 8.1 y el Gráfico 8.2 se puede apreciar el comportamiento día a día durante el año para las 4 semicalles con mayor target de producción tanto para Andes Cabeza como Andes Patilla. La variabilidad como se ha mencionado con anterioridad es debido a fallas y mantenciones de equipo e infraestructura, los días en que una semicalle deja de producir se deben mantención de carpeta de rodado, la cual afecta a la semicalle en su totalidad y como se puede observar tiene una duración de 15 días. La baja producción de la semicalle 13N durante los días 140 a 170 se debe a mantención en pique la cual tiene una duración de 30 días, esta semicalle consta de 2 unidades productivas donde la unidad productiva afectada por la mantención de pique representa el 97% de la producción de la semicalle.

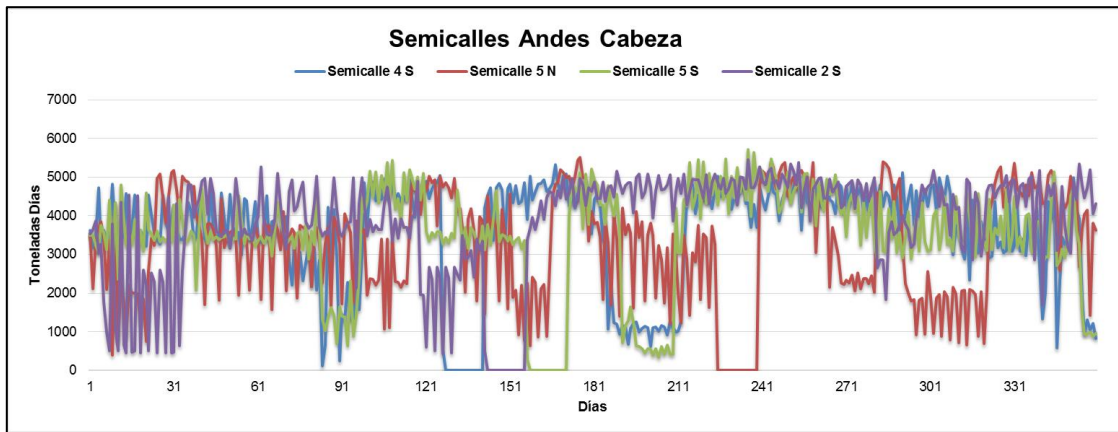


Gráfico 8.1: Producción Día para Semicalles Cabeza al año 2031, Caso Base

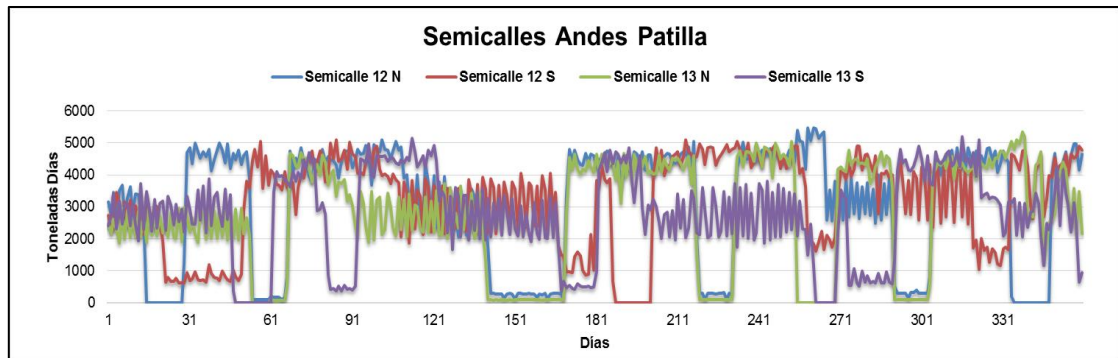


Gráfico 8.2: Producción Día para Semicalles Patilla al año 2031, Caso Base

8.2.2 Unidades Productivas

A continuación, el plan en Toneladas días, mes a mes de cada una de las unidades productivas para el Sector Andes al año 2031.

Tabla 8.10: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 1 y 2

Target TPD por Mes	Calle 1				Calle 2			
	Unid. Prod				Unid. Prod			
	1	7	13	19	2	8	14	20
Ene	376	1000	1107	1009	1286	1666	2016	1954
Feb	395	979	1087	1015	1243	1680	2004	1959
Mar	412	947	1045	1073	1263	1640	1966	2007
Abr	433	923	1012	1092	1295	1610	1910	2067
May	453	899	1010	1091	1329	1594	1906	2068
Jun	382	920	1042	1093	1277	1554	1957	2074
Jul	475	856	1023	1093	1296	1524	1924	2079
Ago	490	835	1018	1095	1395	1465	1852	2082
Sep	505	816	972	1152	1422	1422	1803	2147
Oct	522	800	961	1162	1455	1407	1652	2221
Nov	541	784	956	1142	1483	1377	1667	2196
Dic	643	715	907	1138	1576	1309	1585	2238

Tabla 8.11: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 3 y 4

Target TPD por Mes	Calle 3						Calle 4					
	Unid. Prod						Unid. Prod					
	3	9	15	21	25	29	4	10	16	22	26	30
Ene	107	1699	1404	1527	2312	0	353	1734	1368	1250	2422	97
Feb	202	1625	1378	1504	2312	0	459	1710	1327	1199	2520	101
Mar	211	1628	1347	1507	2291	0	568	1668	1267	1013	2601	105
Abr	221	1557	1352	1485	2333	0	597	1537	1308	886	2609	110
May	232	1565	1326	1449	2289	89	626	1515	1284	859	2547	203
Jun	243	1570	1248	1459	2274	93	655	1494	1212	852	2508	301
Jul	255	1498	1235	1471	2265	97	688	1466	1171	775	2531	314
Ago	355	1466	1157	1452	2257	101	719	1457	1140	688	2540	327
Sep	461	1354	1113	1443	2257	105	741	1371	1128	686	2520	341
Oct	484	1354	1092	1397	2219	199	770	1365	1116	677	2501	355
Nov	506	1357	1079	1408	2183	208	801	1352	1104	583	2484	371
Dic	530	1351	1066	1346	2083	305	830	1313	1092	568	2456	475

Tabla 8.12: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7

Target TPD por Mes	Calle 5						Calle 6						Calle 7	
	Unid. Prod						Unid. Prod						Unid. Prod	
	5	11	17	23	27	31	6	12	18	24	28	32	1	5
Ene	650	1585	1320	1091	2209	310	406	1476	1730	405	1160	213	420	658
Feb	682	1563	1296	1075	2190	323	427	1452	1714	399	1149	222	286	232
Mar	803	1512	1260	1074	2157	337	447	1456	1740	401	1122	231	0	0
Abr	931	1410	1242	1094	2160	351	557	1468	1618	401	1109	241	0	0
May	881	1449	1284	1111	2200	367	562	1488	1432	399	1092	252	0	0
Jun	920	1462	1151	911	2222	471	580	1484	1379	404	1079	262	0	0
Jul	956	1443	1105	800	2242	491	600	1496	1327	404	1064	273	0	0
Ago	992	1417	990	743	2291	512	619	1500	1190	411	1008	285	0	0
Sep	939	1417	970	579	2347	535	638	1476	1144	414	1004	298	0	0
Oct	876	1423	975	524	2332	557	631	1452	1127	428	1029	310	0	0
Nov	978	1365	930	530	2304	672	728	1436	1109	335	994	413	0	0
Dic	998	1326	920	411	2396	700	773	1548	1115	289	1011	431	0	0

Tabla 8.13: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13

Target TPD por Mes	Calle 11				Calle 12				Calle 13			
	Células				Células				Células			
	1	7	13	17	2	8	14	18	3	9	15	19
Ene	88	1805	802	445	88	3095	2139	705	0	2423	2557	339
Feb	91	1814	798	462	91	3116	2128	811	0	2455	2559	431
Mar	94	1574	805	692	173	3091	2145	1053	78	2534	2441	446
Abr	176	1492	814	702	257	3071	1966	1077	81	2619	2293	463
May	183	1495	822	790	267	2815	1918	1181	84	2753	2201	483
Jun	191	1455	793	894	278	2853	1963	1336	88	2790	1993	500
Jul	198	1439	799	893	289	2818	1914	1434	91	2751	2010	639
Ago	205	1509	796	893	299	2868	1911	1439	94	2713	2033	726
Sep	213	1422	793	898	310	2803	1907	1448	98	2741	2152	739
Oct	220	1206	789	902	323	2811	1897	1459	102	2757	2129	754
Nov	229	1196	798	907	336	2779	1921	1471	106	2751	1914	770
Dic	238	1198	778	906	348	2650	1872	1472	109	2724	1890	782

Tabla 8.14: Plan de Producción Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16

Target TPD por Mes	Calle 14			Calle 15		Calle 16	
	Células			Células		Células	
	4	10	16	5	11	6	12
Ene	1868	2446	82	1111	2278	419	994
Feb	1885	2451	85	1267	2294	559	999
Mar	1928	2431	88	1403	2334	566	1012
Abr	1927	2554	91	1408	2466	571	1029
May	1964	2549	95	1421	2505	579	1046
Jun	1988	2544	98	1481	2572	656	1073
Jul	2043	2493	102	1561	2625	663	1094
Ago	2094	2486	184	1566	2658	669	1108
Sep	2166	2473	270	1596	2684	749	1113
Oct	2174	2593	280	1663	2769	808	1084
Nov	2160	2602	291	1672	2834	809	1182
Dic	2181	2520	301	1736	2862	816	1255

El resultado de la toneladas promedio día para cada una de las unidades productivas para el año 2031, así como su cumplimiento mes a mes se detallan en la Tabla 8.15, Tabla 8.16, Tabla 8.17, Tabla 8.18, Tabla 8.19, Tabla 8.20, Tabla 8.21, Tabla 8.22, Tabla 8.23 y Tabla 8.24.

Tabla 8.15: Producción Unidades Productivas Calles 1 y 2

TPD por Mes	Calle 1				Calle 2			
	Unid. Prod				Unid. Prod			
	1	7	13	19	2	8	14	20
Ene	348	838	1078	712	1082	1665	1852	241
Feb	374	1133	1112	457	1064	1647	2127	1627
Mar	345	955	1051	807	1437	1376	2001	2088
Abr	322	912	992	773	1161	1910	1904	1870
May	317	906	433	2197	1033	1585	756	902
Jun	250	918	1439	1241	760	1548	1249	2249
Jul	301	861	1220	998	972	1538	2059	2623
Ago	366	837	1018	927	1954	121	2188	2631
Sep	368	813	975	1120	1649	2736	2209	2583
Oct	349	802	827	1567	1151	1431	1379	2636
Nov	337	782	1087	1077	677	838	2889	1453
Dic	391	717	906	1033	1604	1845	1605	2697

Tabla 8.16: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 1 y 2

% de Cumplimiento	Calle 1				Calle 2			
	Unid. Prod				Unid. Prod			
	1	7	13	19	2	8	14	20
Ene	93%	84%	97%	71%	84%	100%	92%	12%
Feb	95%	116%	102%	45%	86%	98%	106%	83%
Mar	84%	101%	101%	75%	114%	84%	102%	104%
Abr	74%	99%	98%	71%	90%	119%	100%	90%
May	70%	101%	43%	201%	78%	99%	40%	44%
Jun	65%	100%	138%	114%	59%	100%	64%	108%
Jul	63%	101%	119%	91%	75%	101%	107%	126%
Ago	75%	100%	100%	85%	140%	8%	118%	126%
Sep	73%	100%	100%	97%	116%	192%	122%	120%
Oct	67%	100%	86%	135%	79%	102%	83%	119%
Nov	62%	100%	114%	94%	46%	61%	173%	66%
Dic	61%	100%	100%	91%	102%	141%	101%	121%

Tabla 8.17: Producción Unidades Productivas Calles 3 y 4

TPD por Mes	Calle 3						Calle 4					
	Unid. Prod						Unid. Prod					
	3	9	15	21	25	29	4	10	16	22	26	30
Ene	91	1399	1394	1526	330	0	273	1565	1366	1241	2406	96
Feb	174	1408	1385	1503	2315	0	350	1496	1331	1208	2519	102
Mar	212	1630	1080	871	3242	0	438	1439	1261	854	1984	99
Abr	130	1024	1231	2027	2748	0	575	1591	951	874	2863	101
May	202	808	1701	1432	1977	89	596	1397	1550	488	1637	156
Jun	196	1909	1259	1567	2565	93	343	1035	941	1137	3156	323
Jul	161	1279	1240	1476	2329	96	416	1719	1531	1030	269	309
Ago	300	1479	92	1188	2132	99	319	1391	1135	373	3600	229
Sep	422	1566	2171	821	1613	78	514	1393	1031	667	3440	410
Oct	351	1079	1088	1901	2659	215	663	1345	1114	915	3138	391
Nov	319	1291	1076	1686	1595	209	602	1435	1216	672	2683	370
Dic	306	1240	1077	1443	2190	286	503	1366	1086	572	1896	464

Tabla 8.18: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 3 y 4

% de Cumplimiento	Calle 3						Calle 4					
	Unid. Prod						Unid. Prod					
	3	9	15	21	25	29	4	10	16	22	26	30
Ene	85%	82%	99%	100%	14%	0%	77%	90%	100%	99%	99%	99%
Feb	86%	87%	101%	100%	100%	0%	76%	87%	100%	101%	100%	101%
Mar	100%	100%	80%	58%	141%	0%	77%	86%	99%	84%	76%	94%
Abr	59%	66%	91%	137%	118%	0%	96%	104%	73%	99%	110%	91%
May	87%	52%	128%	99%	86%	100%	95%	92%	121%	57%	64%	77%
Jun	81%	122%	101%	107%	113%	100%	52%	69%	78%	133%	126%	107%
Jul	63%	85%	100%	100%	103%	99%	61%	117%	131%	133%	11%	99%
Ago	84%	101%	8%	82%	94%	98%	44%	95%	100%	54%	142%	70%
Sep	91%	116%	195%	57%	71%	74%	69%	102%	91%	97%	137%	120%
Oct	73%	80%	100%	136%	120%	108%	86%	99%	100%	135%	125%	110%
Nov	63%	95%	100%	120%	73%	101%	75%	106%	110%	115%	108%	100%
Dic	58%	92%	101%	107%	105%	94%	61%	104%	99%	101%	77%	98%

Tabla 8.19: Producción Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7

TPD por Mes	Calle 5						Calle 6						Calle 7	
	Unid. Prod						Unid. Prod						Unid. Prod	
	5	11	17	23	27	31	6	12	18	24	28	32	1	5
Ene	480	1160	1199	1091	2115	298	366	1026	1671	405	1082	196	418	656
Feb	512	1771	1413	1064	2150	318	408	1790	1745	400	1122	209	64	121
Mar	512	1448	1259	1083	1612	303	267	1047	1228	401	1049	203	224	113
Abr	761	1352	943	1098	2501	356	505	1759	1875	398	1153	207	0	0
May	739	1562	1557	1103	2132	328	559	1680	1712	402	1055	212	0	0
Jun	772	1427	1180	330	1438	277	615	1419	1381	403	1019	204	0	0
Jul	495	1460	1109	1106	261	658	626	1531	1256	249	1005	263	0	0
Ago	194	769	467	915	3387	360	551	1558	1257	564	1002	250	0	0
Sep	983	2064	1410	536	3478	622	592	1486	1153	417	998	226	0	0
Oct	848	1032	1060	671	2443	575	579	1019	1127	425	1020	242	0	0
Nov	842	935	760	535	2433	667	761	935	1002	329	956	286	0	0
Dic	1031	2193	1086	411	1981	654	878	2380	1220	175	632	211	0	0

Tabla 8.20: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 5, 6 y 7

% de Cumpl.	Calle 5						Calle 6						Calle 7	
	Unid. Prod						Unid. Prod						Unid. Prod	
	5	11	17	23	27	31	6	12	18	24	28	32	1	5
Ene	90%	69%	97%	100%	93%	92%	99%	100%	0%	90%	69%	97%	100%	93%
Feb	96%	123%	102%	100%	98%	94%	23%	52%	0%	96%	123%	102%	100%	98%
Mar	60%	72%	71%	100%	93%	88%	78%	49%	0%	60%	72%	71%	100%	93%
Abr	91%	120%	116%	99%	104%	86%	0%	0%	0%	91%	120%	116%	99%	104%
May	99%	113%	120%	101%	97%	84%	0%	0%	0%	99%	113%	120%	101%	97%
Jun	106%	96%	100%	100%	94%	78%	0%	0%	0%	106%	96%	100%	100%	94%
Jul	104%	102%	95%	62%	94%	96%	0%	0%	0%	104%	102%	95%	62%	94%
Ago	89%	104%	106%	137%	99%	88%	0%	0%	0%	89%	104%	106%	137%	99%
Sep	93%	101%	101%	101%	99%	76%	0%	0%	0%	93%	101%	101%	101%	99%
Oct	92%	70%	100%	99%	99%	78%	0%	0%	0%	92%	70%	100%	99%	99%
Nov	105%	65%	90%	98%	96%	69%	0%	0%	0%	105%	65%	90%	98%	96%
Dic	114%	154%	109%	61%	63%	49%	0%	0%	0%	114%	154%	109%	61%	63%

Tabla 8.21: Producción Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13

TPD por Mes	Calle 11				Calle 12				Calle 13			
	Células				Células				Células			
	1	7	13	17	2	8	14	18	3	9	15	19
Ene	88	1798	554	445	47	1613	1428	705	0	2424	2479	333
Feb	91	1822	367	463	132	3410	1166	729	0	1865	1362	235
Mar	92	1521	1376	689	172	3276	3256	921	78	3090	2055	648
Abr	178	1493	899	702	258	3958	2505	1226	81	2632	3728	428
May	169	1546	842	791	252	1890	1930	1193	84	1707	2428	518
Jun	205	1452	437	789	175	1611	1068	1260	87	1481	1089	500
Jul	198	1435	1120	899	343	4104	1338	774	92	4187	2889	609
Ago	199	1448	820	926	333	2240	2815	1890	94	2349	2007	713
Sep	215	1088	807	930	336	4214	2487	1024	48	2226	1477	467
Oct	223	1589	773	850	322	1931	1875	2072	152	2753	1142	969
Nov	229	1213	512	962	323	3602	1225	1603	105	3663	3250	871
Dic	239	1197	1081	939	281	1956	2492	1463	110	3577	1878	780

Tabla 8.22: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13

% de Cumplimiento	Calle 11				Calle 12				Calle 13			
	Células				Células				Células			
	1	7	13	17	2	8	14	18	3	9	15	19
Ene	100%	100%	69%	100%	53%	52%	67%	100%	0%	100%	97%	98%
Feb	100%	100%	46%	100%	146%	109%	55%	90%	0%	76%	53%	55%
Mar	98%	97%	171%	100%	99%	106%	152%	87%	100%	122%	84%	145%
Abr	101%	100%	111%	100%	100%	129%	127%	114%	100%	100%	163%	92%
May	93%	103%	102%	100%	94%	67%	101%	101%	100%	62%	110%	107%
Jun	107%	100%	55%	88%	63%	56%	54%	94%	99%	53%	55%	100%
Jul	100%	100%	140%	101%	119%	146%	70%	54%	101%	152%	144%	95%
Ago	97%	96%	103%	104%	111%	78%	147%	131%	100%	87%	99%	98%
Sep	101%	76%	102%	104%	108%	150%	130%	71%	49%	81%	69%	63%
Oct	102%	132%	98%	94%	100%	69%	99%	142%	149%	100%	54%	129%
Nov	100%	101%	64%	106%	96%	130%	64%	109%	99%	133%	170%	113%
Dic	100%	100%	139%	104%	81%	74%	133%	99%	101%	131%	99%	100%

Tabla 8.23: Producción Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16

TPD por Mes	Calle 14			Calle 15		Calle 16	
	Células			Células		Células	
	4	10	16	5	11	6	12
Ene	1859	2374	82	1106	2280	384	988
Feb	1891	2469	85	1221	2288	396	995
Mar	1578	1497	88	1417	2321	452	997
Abr	1396	3413	91	828	1799	483	1040
May	2823	2459	94	2036	3054	501	1043
Jun	1982	1399	98	1471	2616	703	1087
Jul	2070	3610	102	1567	2545	703	1056
Ago	911	2530	183	674	2323	730	1149
Sep	2321	1652	264	1930	3135	878	1103
Oct	3205	1318	259	2177	2674	771	1093
Nov	1879	4284	313	1503	1631	860	961
Dic	2366	2731	305	1917	3971	871	1476

Tabla 8.24: Porcentaje de Cumplimiento Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16

% de Cumplimiento	Calle 14			Calle 15		Calle 16	
	Células			Células		Células	
	4	10	16	5	11	6	12
Ene	100%	97%	100%	100%	100%	92%	99%
Feb	100%	101%	100%	96%	100%	71%	100%
Mar	82%	62%	100%	101%	99%	80%	99%
Abr	72%	134%	100%	59%	73%	85%	101%
May	144%	96%	99%	143%	122%	87%	100%
Jun	100%	55%	100%	99%	102%	107%	101%
Jul	101%	145%	100%	100%	97%	106%	96%
Ago	44%	102%	100%	43%	87%	109%	104%
Sep	107%	67%	98%	121%	117%	117%	99%
Oct	147%	51%	92%	131%	97%	95%	101%
Nov	87%	165%	108%	90%	58%	106%	81%
Dic	108%	108%	101%	110%	139%	107%	118%

En el Gráfico 8.3 y Gráfico 8.4 se puede apreciar el comportamiento día a día durante el año para las 4 unidades productivas con mayor target de producción tanto para Andes Cabeza como Andes Patilla. La variabilidad como se ha mencionado con anterioridad es debido a fallas y mantenciones de equipo e infraestructura.

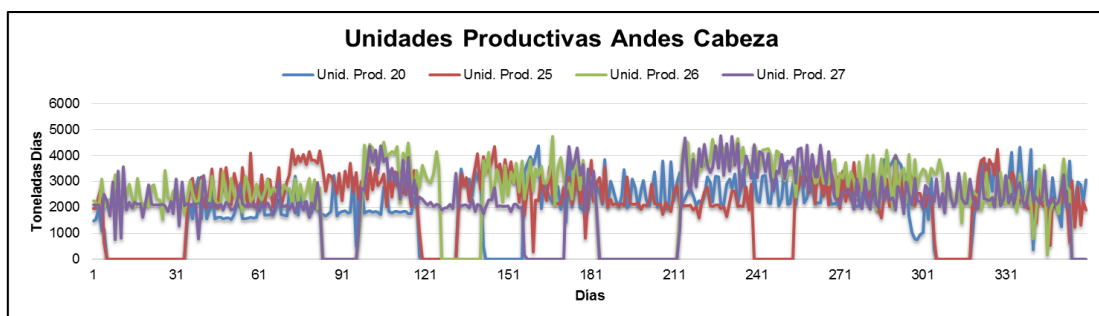


Gráfico 8.3: Producción día Unidades Productivas Andes Cabeza año 2031, Caso Base

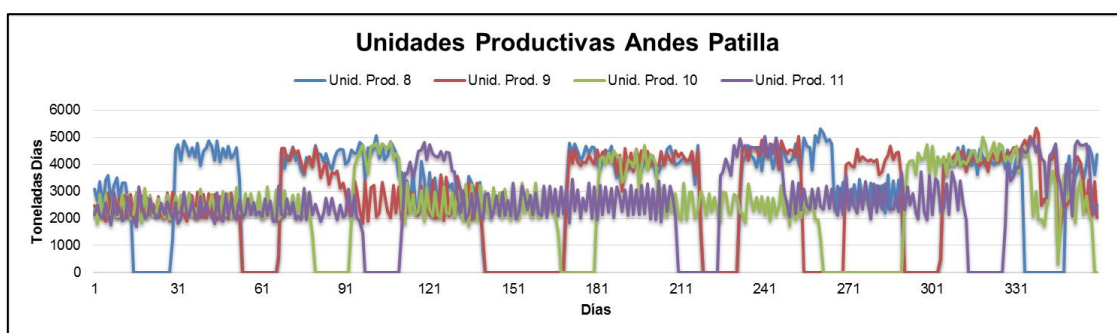


Gráfico 8.4: Producción día Unidades Productivas Andes Cabeza año 2031, Caso Base

8.2.3 Piques de Traspaso

A continuación, el detalle de las toneladas mes a mes y total año de cada pique de traspaso.

Tabla 8.25: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 1 al 7

Mes	1/2 OP-1AN	1 OP-2AS	1/2 OP-3AS	1 OP-5AS	2/3 OP-2AN	2/3 OP-2AS	2/3 OP-5AS
Ene	43001	25141	87268	21623	3319	93850	16561
Feb	43512	33999	96870	13842	6749	92940	111999
Mar	55755	28649	90465	24198	7770	71451	155711
Abr	45122	27373	86835	23199	4939	94949	132323
May	40493	27184	35687	65923	6926	100178	82129
Jun	30525	27550	76712	41070	6460	86968	137906
Jul	38240	25830	97913	30236	4828	85248	142502
Ago	69586	25097	95649	27905	8991	6527	138184
Sep	62371	24398	95371	33600	12665	146553	124331
Oct	45010	24065	62881	48518	10534	77545	156099
Nov	30414	23465	117471	32945	9579	59374	88367
Dic	59873	21512	75291	31013	9169	89510	140570
Total Año	563902	314263	1018414	394072	91930	1005094	1426683
Promedio Año	46992	26189	84868	32839	7661	83758	118890

Tabla 8.26: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 8 al 14

Mes	3/4 OP-1AN	3/4 OP-3AS	3/4 OP-6AS	4/5 OP-2AN	4/5 OP-2AS	4/5 OP-5AS	5/6 OP-1AN
Ene	84027	84715	4817	23710	80286	129459	61605
Feb	80753	87479	8203	25918	87479	129937	99900
Mar	88867	54634	7948	28516	79454	102675	70840
Abr	75647	94938	9624	40115	56488	144866	93962
May	61849	60484	10023	40138	95449	108591	95005
Jun	83072	86380	18282	33455	67410	131335	80686
Jul	85392	78921	15018	27473	83283	15251	89144
Ago	84771	54867	17505	15440	50483	189621	67976
Sep	85936	47996	19025	44933	75502	193884	104229
Oct	68942	87690	22100	45455	66689	158253	60950
Nov	77711	76412	19292	43368	63126	147031	51637
Dic	74536	65790	25519	46021	69719	111178	130547
Total Año	951503	880308	177356	414541	875368	1562081	1006481
Promedio Año	79292	73359	14780	34545	72947	130173	83873

Tabla 8.27: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 15 al 20, y pique25

Mes	5/6 OP-3AS	5/6 OP-6AS	6/7 OP-2AN	6/7 OP-2AS	6/7 OP-5AS	7/8 OP-1AN	10/11 OP-2AS
Ene	47752	16883	11500	69353	30980	14019	51082
Feb	48218	17793	13309	59085	32601	1965	52192
Mar	47541	15729	8025	42058	30536	6738	43146
Abr	49928	20690	15151	56299	33600	0	42824
May	49040	16472	16772	53158	30625	0	45654
Jun	25086	14430	18448	44023	29515	0	41780
Jul	41459	27717	18770	36652	29504	0	40626
Ago	49573	23255	16517	38239	29348	0	41137
Sep	34210	28372	17793	36175	28904	0	30791
Oct	37263	27728	17405	34588	29604	0	44866
Nov	29914	28649	23454	32123	27728	0	34610
Dic	20957	25963	26340	40426	18348	0	34599
Total Año	480941	263681	203485	542179	351293	22722	503307
Promedio Año	40078	21973	16957	45182	29274	1893	41942

Tabla 8.28: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 26 al 32

Mes	10/11 OP-5AS	11/12 OP-1AN	11/12 OP-3AS	12/13 OP-2AS	12/13 OP-5AS	13/14 OP-1AN	13/14 OP-3AS
Ene	14486	10467	55567	110756	39627	6793	134532
Feb	14929	17227	42824	143889	34643	6327	106482
Mar	24287	18659	132467	173027	49939	12066	102897
Abr	23277	23676	98057	180752	61672	10745	194250
May	25108	14485	81763	102497	56177	6815	136230
Jun	23909	18282	44888	82839	55034	7426	69530
Jul	28394	28938	69863	226762	49772	14419	179942
Ago	27806	24154	103718	125363	83594	9224	129925
Sep	27905	26929	96037	178688	47475	7393	90132
Oct	25830	24553	78388	130070	95438	9624	67144
Nov	28882	28871	51992	197336	83905	13187	205039
Dic	30592	19425	99556	155677	77278	11111	127805
Total Año	295404	255666	955122	1807657	734554	115129	1543910
Promedio Año	24617	21306	79593	150638	61213	9594	128659

Tabla 8.29: Toneladas alimentadas mes a mes a piques del 33 al 36

Mes	14/15 OP-2AS	14/15 OP-5AS	15/16 OP-3AS	16 OP-2AS
Ene	88955	7770	98046	11511
Feb	93384	7426	98479	11888
Mar	89855	6283	99534	13564
Abr	66722	12532	85181	14497
May	145787	8380	122921	15040
Jun	103574	5872	111089	21090
Jul	109102	12265	108025	21101
Ago	47552	11489	104173	21900
Sep	127528	11655	127139	26351
Oct	161438	10956	112998	23121
Nov	101443	20779	77744	25808
Dic	128482	14830	163403	26129
Total Año	1263824	130236	1308734	232001
Promedio Año	105319	10853	109061	19333

8.2.4 Producción a diferentes planes de extracción para Caso Base

A continuación, la producción entregada por cada unidad productiva a diferentes planes de extracción aumentados, para el Caso Base:

Tabla 8.30: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Cabeza para Diferentes Planes de extracción

Unid Prod.	Target Normal	Normal	125%	150%	200%	250%	300%
	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD
1 AHW	469	339	392	458	584	628	734
7 AHW	873	873	1081	1209	1422	1627	1910
13 AHW	1012	1011	1245	1341	1347	1482	1538
19 AHW	1096	1076	1215	1344	1403	1470	1597
2 AHW	1360	1212	1495	1652	1628	1676	1735
8 AHW	1521	1520	1855	1889	1850	1919	1952
14 AHW	1854	1851	1944	1913	1969	1903	1878
20 AHW	2091	1967	2048	2063	2092	2144	2117
3 AHW	317	239	334	334	340	361	365
9 AHW	1502	1343	1654	1859	1772	1883	1849
15 AHW	1233	1233	1499	1530	1454	1548	1527
21 AHW	1454	1453	1603	1567	1597	1662	1641
25 AHW	2256	2141	2446	2469	2474	2416	2420
29 AHW	150	146	166	166	165	173	178
4 AHW	651	466	579	610	629	637	653
10 AHW	1499	1431	1722	1855	1827	1892	1927
16 AHW	1210	1209	1482	1499	1476	1528	1551
22 AHW	836	836	909	1005	946	953	1012
26 AHW	2520	2466	2734	2699	2851	2849	2839
30 AHW	258	254	279	284	286	293	291
5 AHW	884	681	814	853	785	835	834
11 AHW	1448	1431	1727	1814	1757	1825	1821
17 AHW	1120	1120	1335	1401	1359	1416	1441
23 AHW	829	829	974	1092	1061	1140	1129
27 AHW	2254	2161	2480	2332	2276	2316	2414
31 AHW	469	451	516	481	488	488	500
6 AHW	581	559	653	615	593	630	687
12 AHW	1478	1469	1706	1634	1607	1683	1783
18 AHW	1385	1385	1599	1686	1705	1763	1806
24 AHW	391	381	480	530	565	639	702
28 AHW	1068	1008	1305	1449	1545	1745	1919
32 AHW	286	226	289	318	323	375	406
1 C	353	353	441	530	706	883	1059
5 C	445	445	556	668	890	1113	1335

Tabla 8.31: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Patilla para Diferentes Planes de extracción

Unid Prod.	Target Normal	Normal	125%	150%	200%	250%	300%
	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD
1 AFW	177	177	218	239	241	287	312
7 AFW	1467	1467	1807	1981	2121	2375	2586
13 AFW	799	799	980	1061	1103	1229	1342
17 AFW	782	782	959	1037	1081	1202	1315
2 AFW	255	248	272	323	316	360	374
8 AFW	2898	2817	2976	2872	2960	2850	2978
14 AFW	1973	1965	2249	2259	2238	2244	2306
18 AFW	1241	1238	1413	1422	1408	1409	1425
3 AFW	93	78	97	116	110	133	139
9 AFW	2668	2663	2713	2736	2867	2772	3003
15 AFW	2181	2149	2517	2494	2509	2500	2574
19 AFW	589	589	680	684	691	685	691
4 AFW	2032	2023	2424	2496	2458	2438	2502
10 AFW	2512	2478	2754	2910	2854	2961	2841
16 AFW	164	164	189	202	200	251	259
5 AFW	1490	1487	1780	1841	1807	1828	1960
11 AFW	2573	2553	2907	2944	2922	3009	3009
6 AFW	655	644	802	914	947	1123	1255
12 AFW	1082	1082	1313	1365	1503	1751	1882

8.2.5 Producción a diferentes Planes para Caso con Velocidad de extracción Restringida

A continuación, la producción entregada por cada unidad productiva a diferentes planes de extracción aumentados, para el Caso Base con restricción de velocidad de extracción a 1 ton/m² día para cada punto de extracción.

Tabla 8.32: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Cabeza para Diferentes Planes de extracción, escenario de Velocidad de Extracción Restringida

Unid Prod.	Target Normal	Normal	125%	150%	200%	250%	300%
	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD
1 AHW	469	335	407	537	618	756	595
7 AHW	873	872	1083	1303	1642	1967	1577
13 AHW	1012	1012	1205	1419	1447	1572	1336
19 AHW	1096	1065	1197	1322	1297	1387	1196
2 AHW	1360	1210	1486	1633	1717	1757	1568
8 AHW	1521	1521	1780	1946	1948	1975	1752
14 AHW	1854	1852	1933	1905	1886	1902	1947
20 AHW	2091	1983	2088	2054	2159	2146	2084
3 AHW	317	257	335	342	370	359	298
9 AHW	1502	1383	1669	1807	1852	1915	1719
15 AHW	1233	1233	1430	1544	1522	1572	1431
21 AHW	1454	1454	1575	1589	1622	1597	1576
25 AHW	2256	2191	2428	2445	2455	2466	2320
29 AHW	150	145	165	165	167	174	165
4 AHW	651	456	590	637	653	694	596
10 AHW	1499	1433	1703	1895	1884	1984	1707
16 AHW	1210	1210	1420	1518	1528	1558	1420
22 AHW	836	836	922	935	956	1042	957
26 AHW	2520	2473	2777	2698	2873	2603	2379
30 AHW	258	253	285	285	291	311	274
5 AHW	884	682	804	839	877	895	752
11 AHW	1448	1432	1689	1807	1867	1876	1681
17 AHW	1120	1121	1307	1397	1415	1441	1302
23 AHW	829	829	933	997	1094	1147	973
27 AHW	2254	2143	2427	2513	2360	2428	2303
31 AHW	469	450	505	523	484	497	442
6 AHW	581	556	645	648	618	691	567
12 AHW	1478	1448	1673	1712	1682	1767	1560
18 AHW	1385	1385	1572	1649	1786	1816	1615
24 AHW	391	385	467	561	666	713	559
28 AHW	1068	1042	1278	1535	1773	1863	1527
32 AHW	286	232	280	337	382	425	319
1 C	353	353	441	530	706	883	1059
5 C	445	445	556	668	890	1113	1335

Tabla 8.33: TPD Promedio Año de Unid. Prod. Andes Patilla para Diferentes Planes de extracción, escenario de Velocidad de Extracción Restringida

Unid Prod.	Target Normal	Normal	125%	150%	200%	250%	300%
	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD	TPD
1 AFW	177	177	208	237	268	282	213
7 AFW	1467	1467	1723	1876	1907	1920	1747
13 AFW	799	790	888	905	840	874	772
17 AFW	782	781	891	968	1009	1048	915
2 AFW	255	243	280	325	343	373	292
8 AFW	2898	2697	2857	2892	2850	2812	2766
14 AFW	1973	1942	2101	2099	2110	2136	2074
18 AFW	1241	1226	1359	1371	1362	1395	1348
3 AFW	93	78	90	110	130	153	118
9 AFW	2668	2496	2776	2665	2750	2697	2650
15 AFW	2181	2104	2176	2296	2414	2524	2408
19 AFW	589	583	675	729	733	750	661
4 AFW	2032	2002	2303	2418	2411	2397	2333
10 AFW	2512	2428	2693	2692	2802	2911	2634
16 AFW	164	164	194	225	234	279	219
5 AFW	1490	1477	1692	1755	1837	1912	1725
11 AFW	2573	2536	2821	2901	2896	2942	2842
6 AFW	655	644	744	836	938	1062	847
12 AFW	1082	1076	1194	1319	1347	1338	1210

8.3 Anexo C: Tiempos de Ciclo Unidad Productiva

El tiempo de ciclo promedio año para cada una de las unidades productivas se detalla en la Tabla 8.34, Tabla 8.35, Tabla 8.36, Tabla 8.37 y Tabla 8.38.

Tabla 8.34: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 1, 2 y 7

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 1				Calle 2				Calle 7	
	Unidad Productiva				Unidad Productiva				Unidad Productiva	
	1	7	13	19	2	8	14	20	1	5
Tiempo de viaje	1,04	1,03	1,13	1,02	1,13	1,10	1,10	1,06	1,03	1,09
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,09	0,07	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,10	0,06	0,00
Espera en pique	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Total Ciclo	2,23	2,19	2,23	2,16	2,29	2,20	2,20	2,29	2,18	2,18
Ciclo Efectivo	2,12	2,12	2,21	2,10	2,22	2,19	2,19	2,14	2,11	2,17
Nº de viajes día Promedio	31	79	91	97	109	137	167	177	22	35

Tabla 8.35: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 3 y 7

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 3						Calle 4					
	Unidad Productiva						Unidad Productiva					
	3	9	15	21	25	29	4	10	16	22	26	30
Tiempo de viaje	1,25	1,07	1,06	1,04	1,07	1,28	1,06	1,06	1,05	1,25	1,09	1,13
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Espera en pique	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
Total Ciclo	2,38	2,17	2,16	2,13	2,20	2,44	2,23	2,16	2,14	2,35	2,19	2,28
Ciclo Efectivo	2,33	2,15	2,14	2,13	2,15	2,37	2,14	2,14	2,13	2,33	2,17	2,21
Nº de viajes día Promedio	21	121	111	131	193	13	42	129	109	75	222	23

Tabla 8.36: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 5 y 6

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 5						Calle 6					
	Unidad Productiva						Unidad Productiva					
	5	11	17	23	27	31	6	12	18	24	28	32
Tiempo de viaje	1,17	1,05	1,02	1,01	1,08	1,21	1,01	1,15	1,07	1,19	1,06	1,07
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Espera en pique	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Total Ciclo	2,33	2,15	2,12	2,10	2,18	2,36	2,15	2,24	2,16	2,28	2,15	2,23
Ciclo Efectivo	2,25	2,14	2,11	2,10	2,16	2,29	2,09	2,23	2,16	2,27	2,15	2,15
Nº de viajes día Promedio	61	129	101	75	195	41	50	132	125	34	91	20

Tabla 8.37: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 11, 12 y 13

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 11				Calle 12				Calle 13			
	Unidad Productiva				Unidad Productiva				Unidad Productiva			
	1	7	13	17	2	8	14	18	3	9	15	19
Tiempo de viaje	1,15	1,02	1,01	1,02	1,28	1,08	1,12	1,13	1,21	1,15	1,05	1,02
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,07	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00	0,00	0,09
Espera en pique	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01
Total Ciclo	2,31	2,11	2,11	2,16	2,43	2,19	2,21	2,29	2,35	2,26	2,15	2,21
Ciclo Efectivo	2,24	2,11	2,10	2,10	2,37	2,16	2,21	2,21	2,29	2,24	2,13	2,11
Nº de viajes día Promedio	16	132	72	70	22	254	177	112	7	240	194	53

Tabla 8.38: Tiempos de Ciclo Promedio Unidades Productivas Calles 14, 15 y 16

Tiempo de Ciclo [min]	Calle 14			Calle 15		Calle 16	
	Unidad Productiva			Unidad Productiva		Unidad Productiva	
	4	10	16	5	11	6	12
Tiempo de viaje	0,99	1,10	1,28	1,16	1,05	1,28	0,99
Espera por operador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de carga	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Tiempo de descarga	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Espera en pto de extracción	0,11	0,00	0,05	0,11	0,08	0,05	0,12
Espera en pique	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,03
Total Ciclo	2,20	2,20	2,41	2,39	2,23	2,42	2,22
Ciclo Efectivo	2,07	2,19	2,36	2,24	2,14	2,36	2,08
Nºde viajes día Promedio	182	223	15	134	230	58	98