



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

**DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN EN PANEL CAVING CON TRITURACIÓN TEMPRANA
CON SIZERS**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN MINERÍA

PABLO ALFONSO FUENZALIDA OROZCO

**PROFESOR GUÍA:
RAÚL CASTRO RUIZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALDO CASALI BACELLI
ENRIQUE RUBIO ESQUIVEL
MARIO VICUÑA MARÍN**

**SANTIAGO DE CHILE
JULIO 2010**

RESUMEN DE LA TESIS
PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN MINERÍA
POR: PABLO ALFONSO FUENZALIDA OROZCO
FECHA: 22/07/2010
PROFESOR GUÍA: RAÚL CASTRO RUIZ

“DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN EN PANEL CAVING CON TRITURACIÓN TEMPRANA CON SIZERS”

Desde el año 2002 a la fecha, se han realizado variados proyectos de innovación tecnológica, relacionadas con el uso de la tecnología de los trituradores mineral sizers en minería subterránea. A partir de estos, se han desarrollado exitosas pruebas industriales en División Andina con este tipo de equipos, que aunque inicialmente fueron desarrollados para el procesamiento de minerales blandos (minería del carbón), hoy se presentan como una interesante alternativa para incorporarlos dentro del manejo de materiales en minería metálica.

Lo anterior hace necesario evaluar su inclusión dentro del sistema de manejo de materiales normal de cualquier mina subterránea, como una forma de reducir las limitaciones que presenta el método de hundimiento al explotar roca primaria, evitando la tendencia actual que muestra que granulometría más gruesa, requiere la utilización de equipos de mayor capacidad, que transitan por labores de mayores dimensiones, generando cavernas de chancado de gran tamaño. Por esto se propone la incorporación de equipos sizer, compactos y de alta productividad, que produzcan la trituración temprana del mineral primario, es decir, lo más cercano a su origen, idealmente en el nivel de producción (dentro o en su contorno), permitiendo mejorar de manera importante el flujo de mineral hacia los niveles inferiores.

Este trabajo buscar generar una guía de diseño para la aplicación de los equipos sizers en minería subterránea. Para ello primero se realizará una revisión de lo hecho hasta ahora en este tema, identificando otras tecnologías emergentes y buscando aplicar el conocimiento obtenido, tanto a las minas en operación como a los nuevos proyectos en desarrollo.

Para la incorporación del sistema sizer en Codelco se requiere contar con diseños mineros que sean adecuados al uso de esta tecnología, para no tener que “forzar o adaptar” los sizer a un diseño establecido. Durante esta tesis se desarrollan diversas alternativas de diseño que cumplan con la condición anterior. La evaluación técnico económica muestra que incorporar esta tecnología se lograrían aumentos en VAN entre un 9% y 14% respecto al un caso base.

Finalmente, se recomienda evaluar la aplicación del sizer en los proyectos estructurales futuros de Codelco Chile, que es donde la tecnología podría presentar aún mayores beneficios desde un punto de vista económico y de flexibilidad.

***A mis dos amores María Teresa y Juan Pablo
A mis padres Adriana y Juan Manuel (qepd)
A Mis hermanos y hermanas, especialmente a José, Antonio y
María de los Angeles
A mis suegros Renato y María Ester***

Declaración de originalidad

Los contenidos indicados en esta tesis de magíster, corresponden a material original, generado de los proyectos realizados por mi persona durante mi permanencia en IM2.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente a todos los que me colaboraron para cumplir con la obtención de este nuevo grado académico, especialmente a María Teresa, por su constante comprensión, apoyo y paciencia, a mi hijo Juan Pablo, para que mi esfuerzo le permita comprender que es posible alcanzar las metas que nos proponemos, a mi empresa IM2, por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, a la GCPMS de Codelco, por su confianza y apoyo, a los organizadores y profesores del diplomado de "Diseño y planificación de minas explotadas por hundimiento", por permitirme actualizar mis conocimientos y a mi equipo de trabajo, con quienes hemos logrado establecer un grupo que avanza hacia un objetivo común.

INDICE

1	Introducción	2
1.1	Generalidades.....	2
1.2	Objetivos	2
1.3	Alcances	3
1.4	Metodología de trabajo.....	3
1.5	Capítulos de la tesis	4
2	Revisión bibliográfica minería convencional.....	6
2.1	Conceptos básicos del método de hundimiento.....	6
2.2	Aplicaciones del método	6
2.3	Evolución en el tiempo	8
2.4	Parámetros de diseño minero.....	10
2.5	Sistemas de manejo de materiales por Hundimiento	11
2.6	Benchmarking mundial panel caving con chancadores en nivel de producción	14
2.6.1	<i>Mina Northparkes, lift 2</i>	<i>14</i>
2.6.2	<i>Mina Palabora.....</i>	<i>16</i>
2.7	Experiencia en Codelco Chile.....	17
2.7.1	<i>Mina Diablo Regimiento División El Teniente.....</i>	<i>17</i>
2.7.2	<i>Mina Pipa Norte División El Teniente.....</i>	<i>23</i>
2.8	Tabla resumen	26
2.8.1	<i>Mallas utilizadas en Codelco</i>	<i>26</i>
2.9	Conclusiones	27
3	Tecnologías emergentes para minería subterránea	30
3.1	Preacondicionamiento	30
3.2	Chancadores de bajo perfil mineral sizer	34
3.3	Benchmarking utilización mineral sizer en minería y obras subterráneas	35
3.3.1	<i>Visita Túnel Lötschberg - Basistunnel en Suiza.....</i>	<i>35</i>
3.3.2	<i>Visita Mina División Polkowice de KGHM Polska Miedz S.A.....</i>	<i>39</i>
3.3.3	<i>Fábrica MMD Manchester, Inglaterra.....</i>	<i>40</i>
3.3.4	<i>Conclusiones con respecto al uso de la tecnología de los mineral sizers</i>	<i>41</i>
3.4	Análisis comparativo diversas opciones de chancado en interior mina	42
4	Prueba industrial División Andina (primera fase).....	44
4.1	Fundamentos prueba industrial División Andina	44
4.2	Preparación primera fase prueba industrial III panel División Andina	44
4.2.1	<i>Descripción del sector.....</i>	<i>44</i>
4.2.2	<i>Criterios de diseño</i>	<i>45</i>
4.2.3	<i>Opciones propuestas</i>	<i>46</i>
4.3	Implementación primera fase prueba industrial	47
4.3.1	<i>Generalidades.....</i>	<i>47</i>
4.3.2	<i>Características de la prueba</i>	<i>48</i>
4.3.3	<i>Caracterización del material de alimentación.....</i>	<i>48</i>
4.3.4	<i>Antecedentes del equipo mineral sizer</i>	<i>49</i>
4.3.5	<i>Manejo de materiales primera fase prueba industrial.....</i>	<i>49</i>
4.3.6	<i>Resultados protocolo de aceptación primera fase prueba industrial.....</i>	<i>51</i>
4.4	Productividad equipo LHD y sizer	54
4.5	Conclusiones y recomendaciones primera fase prueba industrial	55

4.5.1	<i>Conclusiones primera fase prueba industrial</i>	55
4.5.2	<i>Recomendaciones primera fase</i>	55
5	Prueba industrial División Andina (segunda fase)	57
5.1	Preparación segunda fase prueba industrial III panel División Andina	57
5.2	Criterios de diseño	57
5.3	Opciones propuestas	57
5.4	Parámetros para la matriz de decisión	58
5.5	Comentarios opciones analizadas	58
5.6	Diseños mineros segunda fase prueba industrial	59
5.7	Manejo de materiales segunda fase prueba industrial	60
5.8	Módulo de operación	61
5.9	Resultados protocolo de aceptación segunda fase prueba industrial	63
5.9.1	<i>Costo de operación sizer</i>	63
5.9.2	<i>Reducción secundaria</i>	65
5.9.3	<i>Tonelaje acumulado</i>	68
5.10	Disponibilidad mecánica y utilización	68
5.11	Productividad equipos LHD y sizer	69
5.11.1	<i>Seguridad</i>	71
5.12	Conclusiones y recomendaciones segunda fase prueba industrial	72
5.12.1	<i>Conclusiones segunda fase prueba industrial</i>	72
5.12.2	<i>Recomendaciones segunda fase prueba industrial</i>	73
6	Minería de transición con sizers (MTS)	75
6.1	Definición	75
6.2	Diseño Preacondicionamiento	76
6.3	Mineral sizer	77
6.3.1	<i>Tonelaje acumulado</i>	77
6.4	Manejo de materiales en minería de transición	78
6.5	Ventajas de la minería de transición	79
6.6	Costo de operación III panel Andina con minería de transición con sizers	79
7	Guía de diseño Block/Panel Caving con MTS	82
7.1	Justificación de la aplicación	82
7.2	Descripción del sector y criterios de diseño	82
7.2.1	<i>Geometría del sector o yacimiento</i>	82
7.2.2	<i>Programa de producción</i>	82
7.2.3	<i>Estudio geológico, litológico y geomecánico</i>	82
7.2.4	<i>Manejo de materiales actual</i>	83
7.2.5	<i>Infraestructura asociada</i>	83
7.3	Curvas granulométricas	84
7.4	Caso base de comparación	86
7.5	Aplicación del PA	86
7.5.1	<i>Parámetros para el Diseño</i>	86
7.5.2	<i>Criterios de diseño Fracturamiento Hidráulico</i>	86
7.6	Diseños mineros con minería de transición con sizers (MTS)	87
7.6.1	<i>Sizer dentro del nivel de producción (alternativa 1)</i>	87
7.6.2	<i>Sizer en el contorno del nivel de producción (alternativa 2)</i>	89
7.6.3	<i>Sizer en contorno del nivel de producción con transportadores (alternativa 3)</i>	91
7.6.4	<i>Sizer bajo el nivel de producción (alternativa 4)</i>	92
7.7	Selección del sizer adecuado (alimentación de mineral)	93
7.8	Selección del sizer adecuado (descarga de mineral)	95

7.9	Dimensiones de la malla de extracción y área de influencia de los sizers.....	96
7.10	Disminución de la reducción secundaria.....	97
7.11	Productividad esperada equipos LHD.....	97
7.11.1	<i>Influencia de la distancia de acarreo de mineral.....</i>	98
7.12	Productividad esperada módulo de minería de transición.....	99
7.12.1	<i>Efecto de la disminución de la reducción secundaria en la productividad de los LHD al aplicar MTS.....</i>	99
7.12.2	<i>Cuadro resumen por alternativa de diseño.....</i>	99
7.13	Velocidad de extracción para las alternativas de diseño.....	100
7.14	Simulación de la operación de la minería de transición.....	101
7.14.1	<i>Construcción del modelo.....</i>	101
7.14.2	<i>Criterios de diseño del modelo.....</i>	101
7.14.3	<i>Parámetros operacionales.....</i>	102
7.14.4	<i>Resultados.....</i>	102
7.14.5	<i>Conclusiones y recomendaciones de la simulación.....</i>	102
7.15	Evaluación económica.....	102
7.15.1	<i>Datos de entrada.....</i>	102
7.15.2	<i>Costo de operación.....</i>	103
7.15.3	<i>Flujos e indicadores económicos.....</i>	104
7.16	Manejo de materiales propuesto con MTS.....	104
7.17	Cuadro resumen.....	104
7.18	Conclusiones y recomendaciones de la guía de diseño.....	105

8 Aplicación Minería transición con sizers (MTS) en el III panel Norte División Andina 108

8.1	Justificación de la aplicación.....	108
8.2	Descripción del sector y criterios de diseño.....	108
8.2.1	<i>Geometría del sector o yacimiento.....</i>	109
8.2.2	<i>Programa de producción.....</i>	109
8.2.3	<i>Estudio geológico, litológico y geomecánico.....</i>	109
8.2.4	<i>Manejo de materiales actual.....</i>	109
8.2.5	<i>Infraestructura asociada.....</i>	111
8.3	Curvas granulométricas.....	111
8.4	Caso base de comparación.....	112
8.5	Aplicación del PA.....	112
8.6	Diseños mineros con minería de transición con sizer.....	113
8.7	Selección del sizer adecuado (alimentación de mineral).....	115
8.8	Selección del sizer adecuado (descarga de mineral).....	118
8.9	Dimensiones de la malla de extracción y área de influencia de los sizers.....	118
8.10	Disminución de la reducción secundaria.....	119
8.11	Productividad esperada equipos LHD.....	120
8.12	Productividad esperada módulo de minería de transición.....	120
8.13	Velocidad de extracción para las alternativas de diseño.....	121
8.14	Simulación de la operación de la minería de transición.....	122
8.14.1	<i>Construcción del modelo.....</i>	122
8.14.2	<i>Criterios de diseño del modelo.....</i>	122
8.14.3	<i>Parámetros operacionales.....</i>	123
8.14.4	<i>Resultados.....</i>	123
8.14.5	<i>Conclusiones y recomendaciones de la simulación.....</i>	124
8.15	Evaluación económica.....	124
8.15.1	<i>Costo de operación.....</i>	124

8.15.2	Desarrollos	125
8.15.3	Construcciones e infraestructura.....	125
8.15.4	Flujos e indicadores económicos.....	126
8.16	Manejo de materiales propuesto con MTS	126
9	Conclusiones y recomendaciones.....	129
9.1	Pruebas industriales en División Andina	129
9.2	Minería de transición con sizers y guía de diseño	129
9.3	Aplicación MTS en el III panel norte	129
9.4	Conclusiones generales	130
9.5	Recomendaciones	131
	BIBLIOGRAFÍA	132
	Anexo A	134
A	Mineral sizer para operación con roca primaria.....	134
A.1	¿Qué es un mineral sizer?.....	134
A.2	Funcionamiento	134
A.2.1	Primera etapa	135
A.2.2	Segunda etapa.....	135
A.2.3	Tercera etapa	136
A.2.4	Efecto de clasificación de tamaño por rotación.....	137
A.2.5	Sistema helicoidal de dientes.....	137
A.3	Designación de los mineral sizer.....	138
A.3.1	Distancia entre centros	138
A.3.2	Longitud de entrada	139
A.3.3	Giro hacia el interior	139
A.3.4	Giro hacia el exterior	139
A.4	Mineral sizers para roca primaria.....	140
A.4.1	MMD 1000.....	140
A.4.2	MMD 1300.....	141
A.4.3	MMD 1500.....	142
	Anexo B	145
B	Opciones propuestas primera fase prueba industrial	145
B.1	Alternativa 1 Sizer MMD 1000 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la zanja)	145
B.2	Alternativa 2 Sizer MMD 1000 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle).....	146
B.3	Alternativa 3 Sizer MMD 1300 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle).....	147
B.4	Alternativa 4 Sizer MMD 1300 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle).....	148
B.5	Alternativa 5 Sizer MMD 1300 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle).....	148
B.6	Alternativa 6 Sizer MMD 1500 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle).....	150
B.7	Alternativa 7 Sizer MMD 1000 sobre rieles.....	151
B.8	Alternativa 8 Sizer MMD 1000 en el Sub nivel de ventilación	152
B.9	Alternativa 9 Sizer MMD 1150 en calle de producción.....	153
	Anexo C	154
C	Opciones propuestas primera fase prueba industrial	154
C.1	Alternativa 1 Sizer Sobre Vaciadero LHD	154
C.2	Alternativa 2 Sizer en Cruzado Zanja	155
C.2.1	Alternativa 2.1 Acceso a descargar por el lado del motor	156
C.2.2	Alternativa 2.2 Alimentador para descarga por sobre el motor.....	156

C.2.3	Alternativa 2.3 Estructura fija para descarga por sobre el motor.....	157
C.3	Alternativa 3 Sizer en Punto de Extracción	157
C.4	Alternativa 4 Sizer en Pozo	158
C.4.1	Alternativa 4.1 Pozo Sizer en calle de producción	159
C.4.2	Alternativa 4.2 Pozo Sizer en cruzado zanja	159

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Minas de block o panel caving, en operación o agotadas (azul) y en etapa de proyectos (rojo), (modificada después de Ross 2004).....	7
Figura 2: Block caving convencional (Underground mining methods, SME, 2001).....	8
Figura 3: Evolución de la producción (en tpd) en las minas explotadas por hundimiento, (Brown 2004a).	9
Figura 4: Parámetros del diseño minero a analizar.	11
Figura 5: Diferentes niveles que forman parte del método de explotación panel caving.	12
Figura 6: Flujo de materiales en panel caving convencional.	13
Figura 7: Manejo de materiales en panel caving con chancadores.	14
Figura 8: Nivel de producción de Northparkes, lift 2 (Duffield, 2000).	15
Figura 9: Esquema del chancador híbrido mandíbulas-giratorio (información técnica ThyssenKrupp Fördertechnik, 2010).....	15
Figura 10: Diagrama general del diseño de Northparkes (Duffield, 2000).	16
Figura 11: Vista en planta del nivel de producción Palabora (Calder et al, 2000).	17
Figura 12: Nivel de producción del sector Diablo Regimiento, El Teniente, informe final ingeniería básica.	18
Figura 13: Sistema de manejo de materiales del sector Diablo Regimiento, División El Teniente (R. Castro, 2009).	20
Figura 14: Sistema de manejo de materiales del sector Pipa Norte, División El Teniente.	23
Figura 15: Nivel de producción Pipa Norte, División El Teniente.....	24
Figura 16: Esquema de excavación sala de chancado y tolva de vaciado.	26
Figura 17: Perfil del plan de producción subterránea de Codelco.	30
Figura 18: Fracturamiento hidráulico.....	31
Figura 19: Orientación con respecto al estado tensional.	31
Figura 20: Principio de la tronadura confinada.	32
Figura 21: Mineral sizer modelo 1000, MMD 2002.	35
Figura 22: Avance de obras en túnel Lötschberg, Suiza.	36
Figura 23: Sizer móvil en frente de trabajo.....	36
Figura 24: Sizer móvil con accesorios (apron feeder, tolva y orugas).	37
Figura 25: Estación sizer fijo, sector rampa de descarga camiones.	37
Figura 26: Camión descargando sobre el apron feeder.	38
Figura 27: Apron feeder del mineral sizer.	38
Figura 28: Entrada de la roca al mineral sizer.	39
Figura 29: Sistema captador de polvo.	39
Figura 30: Mina Polkowice, Polonia.	40
Figura 31: Tips (amarillo) y coronas (rojo) de los mineral sizers.	41
Figura 32: III panel Norte, disposición general.....	45
Figura 33: Perfil alternativa 9.	47
Figura 34: Planta y corte transversal alternativa 9.	47
Figura 35: Manejo de materiales al sizer en la primera fase "chancabilidad"	50
Figura 36: Manejo de materiales al sizer en la primera fase "estandarización"	51
Figura 37: Opción 4.2, planta sizer en pozo en una zanja.	59
Figura 38: Opción 4.2, perfil sizer en pozo en una zanja.	59
Figura 39: Condición de diseño proyectada de la segunda fase prueba industrial (sizer bajo hundimiento).	60
Figura 40: Manejo de materiales segunda fase.	61
Figura 41: Módulo de operación segunda fase, vista en planta.	62
Figura 42: Infografía módulo de operación segunda fase.	62

Figura 43: Porcentaje de participación en costos de operación.	64
Figura 44: Costos mensuales de operación segunda fase.	65
Figura 45: Curvas granulométricas promedio tercer panel División Andina.	66
Figura 46: Roca de sobretamaño triturada por el chancador sizer.	67
Figura 47: Roca de sobretamaño triturada por el chancador sizer.	67
Figura 48: Esquema de minería de transición con sizer, (P. Fuenzalida y G. Nuñez, 2005).	76
Figura 49: Evolución de las ventas de equipos sizer (MMD, 2008)	77
Figura 50: Tonelaje acumulado sizer por año de operación.	78
Figura 51: Manejo de materiales en minería de transición.	78
Figura 52: Manejo de materiales con MTS.	83
Figura 53: Plantilla Metodología Flip-Chart.	85
Figura 54: Alternativa 1 A, sizer en una zanja dentro del nivel de producción.	87
Figura 55: Alternativa 1 B, malla de alta productividad.	88
Figura 56: Alternativa 1 B, detalle malla de alta productividad.	88
Figura 57: Perfil Alternativa 1, sizer dentro del nivel de producción.	89
Figura 58: Alternativa 2 A, malla Teniente y sizer en contorno del nivel de producción.	90
Figura 59: Alternativa 2 B, malla Henderson y sizer en contorno del nivel de producción.	90
Figura 60: Perfil Alternativa 2, sizer fuera del nivel de producción.	91
Figura 61: Alternativa 3 A, malla Teniente con sizer en contorno del nivel de producción con alimentadores.	91
Figura 62: Alternativa 3 B, malla Henderson con sizer en contorno del nivel de producción con alimentadores.	92
Figura 63: Perfil alternativa 3.	92
Figura 64: Alternativa 4, sizer en nivel inferior alimentado por transportador.	93
Figura 65: Área de influencia de los sizers en función de la malla de extracción.	97
Figura 66: Productividad equipo LHD en función de la distancia de acarreo.	98
Figura 67: Productividad de LHD 7 yd ³ y diferentes modelos de sizers.	100
Figura 68: Diagrama de flujo guía de diseño MTS.	105
Figura 69: Sector de aplicación de la minería de transición.	108
Figura 70: Esquema minería convencional.	110
Figura 71: Punto de vaciado del III panel de División Andina.	111
Figura 72: Distribución granulométrica línea base III panel Noreste.	112
Figura 73: Diseño minero alternativa 1 A.	113
Figura 74: Diseño minero alternativa 2 A.	114
Figura 75: Diseño minero alternativa 3 A.	115
Figura 76: Diagrama comparativo MMD 1150 v/s MMD 1300.	117
Figura 77: Manejo de materiales con MTS en el III panel norte Alternativa 1 A.	127
Figura 78: Manejo de materiales con MTS en el III panel norte Alternativa 2 A (10 yd ³).	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicación de los métodos de hundimiento en División El Teniente, Chile.	7
Tabla 2: Evolución de los métodos de hundimiento.	10
Tabla 3: Clasificación de la calidad geotécnica del macizo rocoso en Diablo Regimiento.....	22
Tabla 4: Cuadro resumen operaciones mineras con chancadores.....	26
Tabla 5: Mallas utilizadas en Codelco.	27
Tabla 6: Resultados obtenidos en experiencias de PA (C. Cerrutti, 2007).	33
Tabla 7: Análisis general.	42
Tabla 8: Análisis cuantitativo.....	42
Tabla 9, Características mineral de alimentación al sizer	49
Tabla 10: Comparación parámetros reales y estimados.....	51
Tabla 11: Tonelaje procesado I fase prueba industrial.	52
Tabla 12: Rendimientos instantáneos primera fase.....	52
Tabla 13: Disponibilidad y utilización sizer primera fase.	53
Tabla 14: Productividad del equipo LHD en operando en conjunto con el sizer.	54
Tabla 15: Opciones propuestas segunda fase sizer.	58
Tabla 16: Parámetros a evaluar definición ubicación sizer.	58
Tabla 17: Protocolo segunda fase prueba industrial, (P. Fuenzalida y M. Escudero, 2008).	63
Tabla 18: Resumen costo de operación sizer MMD 1150.	64
Tabla 19. Resumen tonelajes cumplidos y programados.	68
Tabla 20: Disponibilidad y utilización sizer segunda fase.	68
Tabla 21: Comparación disponibilidad primera y segunda fase.	69
Tabla 22: Productividad de dos equipos LHD en operando en conjunto con el sizer.....	70
Tabla 23: Productividad de dos LHD operando en conjunto con el sizer, bajo condiciones de diseño.....	71
Tabla 24: Evolución de los sistemas de manejo de materiales.	75
Tabla 25: Resumen de costos de la minería convencional y de transición.	80
Tabla 26: Rangos de tamaños definidos.	84
Tabla 27: Planilla Registro Fragmentación.	85
Tabla 28: Modelos de sizer adecuados para roca dura (MMD, world reference list, 2006).	94
Tabla 29: Características diferentes modelos sizer (MMD, 2009).....	95
Tabla 30: Tamaños de descarga de los trituradores sizers (MMD, world reference list, 2006)...	95
Tabla 31: Área de influencia de los trituradores mineral sizer.	96
Tabla 32: Productividad esperada equipos LHD.....	98
Tabla 33: Efecto de la disminución de la reducción secundaria en la productividad de los LHD. 99	
Tabla 34: Parámetros de diseño módulo de minería de transición.....	99
Tabla 35: Productividad esperada LHD 7 yd ³ , para las distintas alternativas de diseño.	100
Tabla 36: Plan de producción línea H, III panel División Andina.	109
Tabla 37: Distribución de tamaños III panel noroeste.....	111
Tabla 38: Evaluación económica caso base, método convencional.	112
Tabla 39: Características Sizer MMD 1150.	116
Tabla 40: Características sizer MMD 1300.....	118
Tabla 41: Disminución de la reducción secundaria por aplicación de la MTS.	119
Tabla 42: Productividad esperada de los LHD.	120
Tabla 43: Parámetros de diseño módulo de minería de transición.....	120
Tabla 44: Productividad módulo MTS en las diferentes alternativas de diseño, LHD 7 yd ³	121
Tabla 45: Productividad módulo MTS en las diferentes alternativas de diseño, LHD 10 yd ³	121
Tabla 46: Velocidad de extracción para las distintas alternativas de diseño LHD 7 yd ³	121
Tabla 47: Velocidad de extracción para las distintas alternativas de diseño LHD 10 yd ³	122

Tabla 48: Costo de operación sizer MMD 1300.....	124
Tabla 49: Costo de operación III panel convencional y con MTS.....	125
Tabla 50: Desarrollos por alternativa.....	125
Tabla 51: Construcciones e infraestructura por alternativa.	126
Tabla 52: Costo de operación e indicadores económicos.	126

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1 Introducción

1.1 Generalidades

En el ámbito de la minería subterránea, el método de explotación de menor costo para aplicación en grandes yacimientos es el denominado "método de hundimiento" que consiste en fragmentar la roca por hundimiento y extraerla desde una infraestructura de puntos de extracción. Este método se ha practicado con éxito en todas las minas subterráneas de Codelco desde los inicios de su explotación debido a que sus respectivos yacimientos, estaban emplazados en roca mediana a intensamente fracturada, condición altamente favorable para su aplicación. Sin embargo, con el progreso de la explotación, la mayor parte de las reservas ya no están emplazadas en roca de esas características, sino que en roca más competente, por lo que el método ya no ofrece las mismas ventajas.

Además, los planes de largo plazo de Codelco, consideran un aumento progresivo de la producción de minería subterránea desde las 200 ktpd proveniente de los actuales sectores productivos, hasta cifras que podrían ser triplicadas en los próximos 20 años. La producción provendrá de explotación de cuerpos cada vez más profundos, asociados a macizos con calidades de rocas más competentes, en ambientes de altos esfuerzos y con el inconveniente de ser de menores leyes. En esas condiciones de mayor profundidad, la aplicación de los métodos convencionales de explotación con hundimiento gravitacional se hace menos competitiva.

Los principales aspectos que limitan en la actualidad la capacidad de producción de las minas explotadas por hundimiento se refieren a la hundibilidad del macizo rocoso, la velocidad de propagación del quiebre y al tamaño de los fragmentos obtenidos con este método. A pesar de la introducción de equipos de manejo de materiales e infraestructura de gran tamaño, compatibles con el tamaño de los fragmentos de roca, y de las variantes de diseño y control de producción, que en conjunto han permitido mantener operaciones en niveles de efectividad y seguridad razonables, el método de hundimiento se ha estancado en niveles de productividad, como la velocidad promedio de extracción menor que 0,5 t/m²-día y con un gradual aumento en los costos de producción (C. Cerrutti, P. Fuenzalida y F. Carrasco, 2.002).

Lo anterior nos permite identificar las restricciones y limitaciones que presenta el método al explotar roca primaria, las que no han podido ser solucionadas mediante equipos de producción de mayor capacidad, el uso de mallas de extracción más grandes e infraestructura cada vez de mayor tamaño, que incluye el uso de chancadores convencionales.

Es así, que el desafío en minería subterránea se concentra en superar esta barrera mediante la introducción de nuevas tecnologías emergentes, para la explotación a gran escala de reservas en rocas duras y cada vez más profundas. Estas apuntan a que las operaciones de arranque o fractura, fragmentación y el transporte de la roca, sean operaciones continuas, controlables, remotas y/o automáticas.

1.2 Objetivos

El objetivo principal es construir una guía de diseño para la minería de block/panel caving en base a la utilización de chancadores compactos sizers, tanto para minas en operación como para proyectos mineros nuevos, evaluando los beneficios que se producen en los sistemas de manejo de materiales.

1.3 Alcances

El presente trabajo tiene como alcance ser un estudio a nivel conceptual de la aplicación de chancadores de bajo perfil en minería subterránea masiva.

1.4 Metodología de trabajo

El presente trabajo se realizará utilizando la siguiente metodología de trabajo:

1. Establecer el estado del arte actual, esta es la primera parte del presente trabajo, y consiste en la revisión bibliográfica, esta es una en una revisión crítica de conceptos básicos del block/panel caving, sus aplicaciones y parámetros de diseño, principalmente los relacionados con la calidad de los macizos rocosos, las mallas de extracción históricamente usadas y la evolución en el tiempo del método, desde el block caving gravitacional, pasando por el panel caving hasta llegar a los diseños que incluyen chancadores en las cercanías del nivel de producción, analizando los sistemas de manejo de materiales respectivos.
Luego se realizará un benchmarking mundial referido a las operaciones mineras que usan sistemas de hundimiento con chancadores en el contorno del nivel de producción, incluyendo la experiencia chilena al respecto, lo anterior nos permitirá identificar las restricciones y limitaciones que presenta el método al explotar roca primaria, las que no han podido ser solucionadas mediante el uso de equipos de mayores dimensiones, mallas de extracción más grandes e infraestructura de gran tamaño.
2. Pruebas industriales, se identifican las tecnologías emergentes (preacondicionamiento (PA) y los mineral sizers), para aplicarlas al método de explotación, buscando identificar los beneficios que se generan. Para ello se realizarán las siguientes actividades:
 - Resumen de las tecnologías emergentes, explicando los avances a la fecha, dando énfasis a los equipos mineral sizers, partiendo por una breve descripción y sus principios de trituración, para luego pasar a un benchmarking mundial del uso de esta tecnología, incluyendo recomendaciones con respecto a su utilización.
 - Luego se continuará con una revisión de las pruebas industriales de los equipos mineral sizer realizadas en División Andina (primera y segunda fase), desde la preparación de la prueba, con las opciones de diseño propuestas hasta llegar a los resultados obtenidos.
 - Estas pruebas industriales hoy son el principal fundamento de un nuevo concepto de manejo de materiales, que incluye tanto el PA como los mineral sizers, y hoy se presenta como una alternativa a estudiar para la explotación de minerales primarios.
3. Posteriormente se desarrollará una guía de diseño para su aplicación, a través de diseños alternativos, tanto para minas en operación o proyectos nuevos, además se realizará una simulación del sistema de carguío y transporte mediante eventos discretos, a través de una estimación de los rendimientos potenciales con equipos LHD y mineral sizer para la explotación de mineral competente, buscando identificar los parámetros claves para el uso de la tecnología en la explotación de mineral primario.
4. En base a esta guía de diseño, se hará una evaluación técnico económica, referida a la aplicación en una mina en explotación, con las ventajas comparativas que incorpora en cada caso en particular. Finalmente se entregarán las principales conclusiones y recomendaciones para la aplicación de esta tecnología.

1.5 Capítulos de la tesis

Los contenidos de cada capítulo en particular se detallan a continuación.

Capítulo 1 Introducción: Donde se detallan las generalidades del trabajo, los objetivos, alcances y la metodología de trabajo a utilizar.

Capítulo 2 Revisión bibliográfica minería convencional: Que consiste en una revisión crítica de conceptos básicos del block/panel caving, sus aplicaciones y parámetros de diseño.

Capítulo 3 Tecnologías emergentes para minería subterránea: Acá se muestran las nuevas tecnologías que se aplican al método, buscando identificar los beneficios que se generan con su utilización.

Capítulo 4 Prueba industrial División Andina primera fase: Que resume las actividades realizadas en la primera fase de la prueba, desde los fundamentos y preparación de la prueba, hasta los resultados y conclusiones obtenidas.

Capítulo 5 Prueba industrial División Andina segunda fase: Que resume las actividades realizadas en la segunda fase de la prueba, desde la preparación de la prueba, hasta los resultados y conclusiones obtenidas.

Capítulo 6 Minería de transición con sizers (MTS): Dado los resultados obtenidos en las pruebas industriales, se genera un nuevo concepto de manejo de materiales en minería subterránea, denominado minería de transición con sizers, este capítulo realiza una definición y descripción de este nuevo concepto.

Capítulo 7 Guía de diseño para block/panel caving con MTS: Donde se desarrollan los pasos de la guía de diseño para block/panel caving con minería de transición con sizers.

Capítulo 8 Aplicación minería de transición con sizers en minas en operación (III panel norte de División Andina): Acá se aplica la guía de diseño planteada en el punto anterior, a una mina en operación.

Capítulo 9 Conclusiones y recomendaciones: Acá se entregan los resultados finales del estudio, a través de las conclusiones y recomendaciones principales.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA MINERÍA CONVENCIONAL

2 Revisión bibliográfica minería convencional

2.1 Conceptos básicos del método de hundimiento

Los métodos masivos de hundimiento son básicamente el sublevel caving, el block y panel caving, el block o panel caving inclinado y el front caving, de estos, los más utilizados en la minería masiva chilena son los dos primeros, sus principales características son: Se usan en las minas subterráneas más grandes del mundo, son métodos de alta producción, existen aplicaciones desde 12.000 a 48.000 tpd, su costo de operación es el más bajo de los métodos de hundimiento y son métodos posibles de automatizar.

A fines del siglo XIX, el método de explotación de block caving fue desarrollado en las minas de hierro de Menominee Ranges (E.T. Brown, 2003). A comienzos del siglo XX, se aplicó este método de explotación en las minas de cobre ubicadas en el oeste de Estados Unidos.

Durante esos años, la mina El Teniente introduce ese método en sus operaciones, y en el año 1982, se implementa en este yacimiento una variante evolucionada, denominada panel caving, a consecuencia de la dureza de la roca del yacimiento, por efecto de la profundización, la diferencia entre ambas aplicaciones se explica en las definiciones de ambos métodos:

Block caving: Método de explotación masivo en la cual un bloque de mineral de ciertas dimensiones, en algunos casos representando el área basal del cuerpo mineralizado, se corta en su base en forma completa y luego a partir de la extracción se produce la propagación del hundimiento. Cada bloque se explota en forma individual e independiente de los otros.

Panel caving: Es una variante del método de hundimiento (block caving), donde bloques consecutivos se hunden en forma continua manteniendo una frente de hundimiento única, de modo de evitar la dilución lateral y los esfuerzos de relajación producidos en el método convencional de block caving.

Las aplicaciones de estos métodos han sido variadas y se muestran en el punto siguiente.

2.2 Aplicaciones del método

Estos métodos se utilizan en yacimientos de las siguientes características, (R. Castro, 2008):

- ✓ Geología: Pipas, pórfidos en general donde exista mineralización masiva.
- ✓ Geometría: Los yacimientos deben ser capaces de poder sustentar una gran área.
- ✓ Calidad del macizo rocoso: Este debe ser débil para iniciar el caving y lo suficientemente resistente para soportar el nivel de producción.
- ✓ En general por ser un método de explotación masivo, debe existir baja variabilidad en las leyes.

La Tabla 1 muestra distintas aplicaciones del método en Chile, específicamente en la División El Teniente.

Tabla 1: Aplicación de los métodos de hundimiento en División El Teniente, Chile.

Sector Productivo	Sector	Metodo explotación	Roca		
Teniente SubB	Norte	Block Caving	Secundaria		
	Sur				
Teniente 1	Norte				
	Sur				
	Sur- BK5-BK9				
	Sur B10D				
Teniente 3 Isla	Brecha			Shrincage / PC	Sec & brechas
	Estándar				
	Ext. Martillos			PC	Primaria
	Sector HP			PC soc previa	
Teniente 4 Sur	Norte	Block Caving	Secundaria		
	Sector Fortuna	Panel Caving	Primaria		
Sector Regimiento					
4 Sur LHD	Sector B				
	Sector CD				
	Sector D Hw				
	Sector D Fw				
Teniente 5	Pilares N	Block Caving (scraper)	Prim & Sec		
Ten Sub 6	Sector N Fw	Panel Caving	Primaria		
	Area invariante	Panel Caving (soc avanzada)			
Esmeralda		Panel Caving (soc previa)			
Quebrada Teniente		Block Caving	Secundaria		
Diablo Regimiento		Panel Caving	Primaria		
Pipa Norte		Panel Caving			
Proyecto Pilar Norte		Panel Caving			

También en el mundo existen variadas aplicaciones, algunas agotadas, otras en explotación y también algunas en etapa de proyecto, estas últimas corresponden principalmente a aplicaciones profundas y en roca primaria, que muestran una utilización cada vez más sistemática del método de explotación a nivel mundial, ver Figura 1.

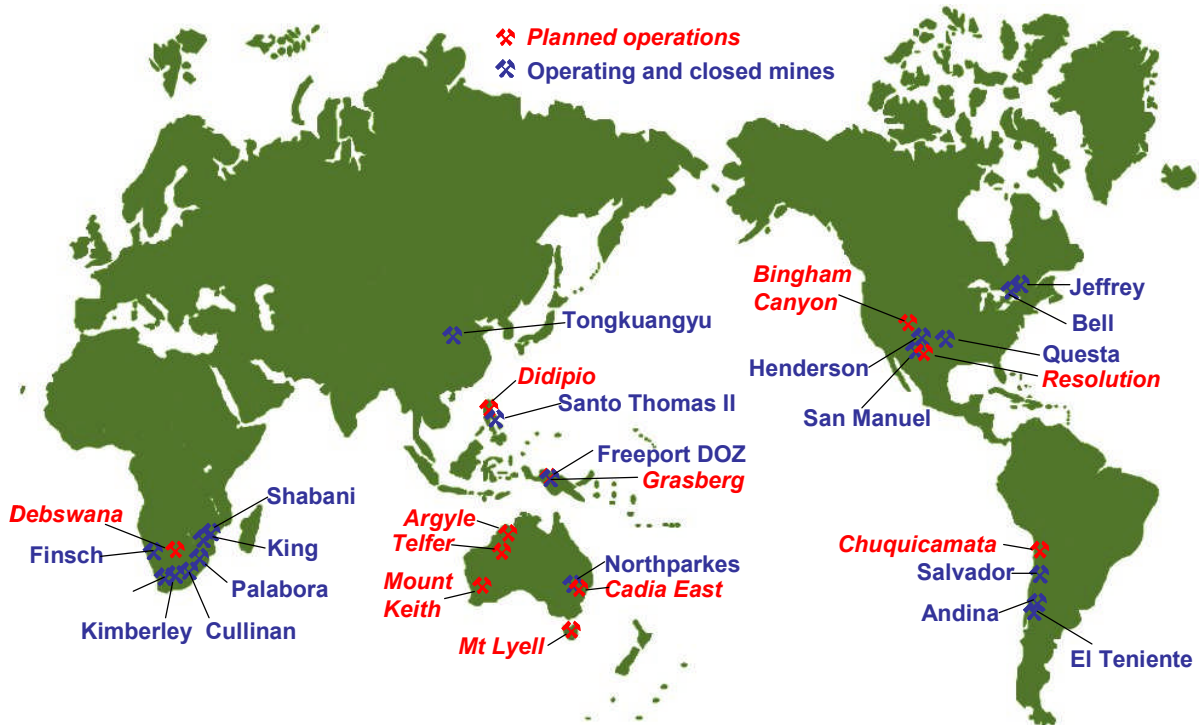


Figura 1: Minas de block o panel caving, en operación o agotadas (azul) y en etapa de proyectos (rojo), (modificada después de Ross 2004).

A estos se suman otros proyectos como Oyu Tolgoi, de Rio Tinto en Mongolia y la mina de Esmeraldas de Muzo, en Colombia.

2.3 Evolución en el tiempo

El método block caving convencional, donde el flujo de mineral era completamente gravitacional y se muestra en la Figura 2, ha ido evolucionando en el tiempo, debido principalmente a que los yacimientos actuales ya no están emplazados en rocas secundarias, con alta frecuencia de fracturas, esto ha ido provocando las siguientes modificaciones en el método: Mayor mecanización, con equipos de mayor capacidad (LHD de hasta 13 yd³), mallas de extracción más espaciadas, pasando de 8x7 m (sistema scraper) y llegando hasta los 17x20 m, actualmente en uso en la mina Diablo Regimiento de El Teniente, e infraestructura de mayor tamaño, lo que provoca grandes excavaciones subterráneas, y por último se ha producido un agotamiento de los bloques con roca secundaria, de mayores leyes, por lo que hace necesario explotar sectores de roca primaria, con menores leyes, por lo que es necesario mover una mayor cantidad de mineral para extraer la misma cantidad de fino.

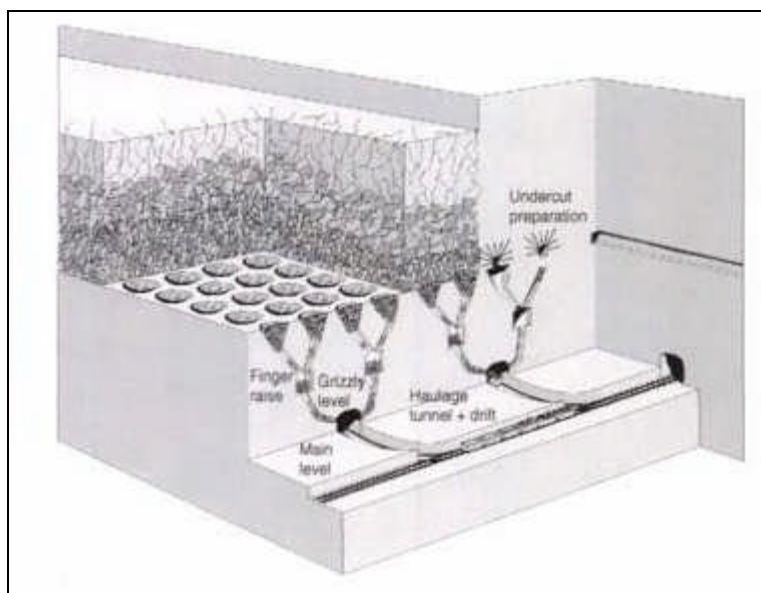


Figura 2: Block caving convencional (Underground mining methods, SME, 2001).

Esto ha provocado la siguiente secuencia de eventos: Cambio en el tipo de roca a explotar (secundaria a primaria), con la consecuente reducción de las leyes; esto genera la utilización de equipos de más capacidad, principalmente de los equipos de arranque y extracción de mineral, y mayor grado de mecanización, que permite mallas de extracción más grandes, por la necesidad de aumentar la producción a menores costos, lo que a su vez ha provocado infraestructuras más grandes.

Todo lo anterior ha producido un aumento de la producción de cada operación, en que aplicaciones de este método en la década del 20 ó 30 llegaban hasta 20 ktpd, las aplicaciones actuales lleguen hasta 100 ktpd o superen ese valor, ver Figura 3.

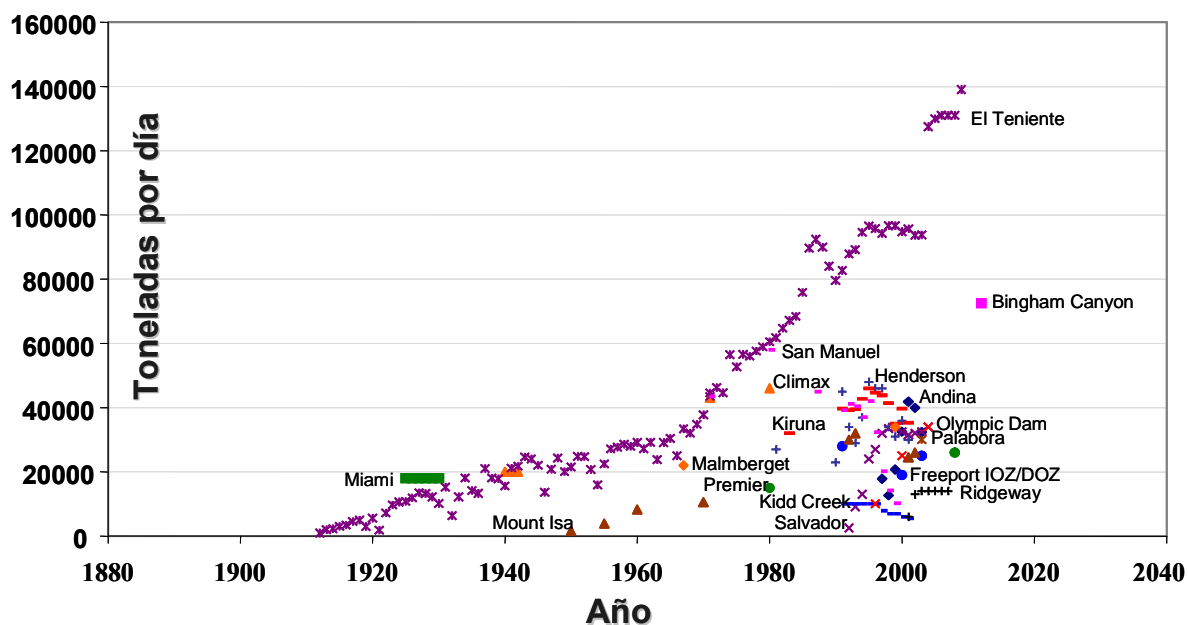


Figura 3: Evolución de la producción (en tpd) en las minas explotadas por hundimiento, (Brown 2004a).

Sin embargo la tasa de extracción se ha mantenido en rangos de $0,44 \text{ t/m}^2\text{-día}$, para el sistema parrillas y de $0,56 \text{ t/m}^2\text{-día}$, para el sistema LHD (mineral primario) de División Andina (A. Aguayo et al, 2004), además, la velocidad de extracción en División El Teniente, en los últimos 15 años no ha sobrepasado los $0,5 \text{ t/m}^2\text{-día}$, lo cual significa que para la extracción de 131.000 tpd que se tiene hoy día, se requiera un área de 297.000 m^2 abierta (A. Moyano, 2007).

Esto muestra que pese a la mayor producción que extraen las minas, la tasa de extracción se ha estancado en valores cercanos al $0,50 \text{ t/m}^2\text{-día}$.

Una de las últimas modificaciones introducidas al método, consiste en instalar chancadores de mandíbulas o híbridos (mandíbula – giratorio) en las cercanías del nivel de producción. Esto ha producido mejoras al sistema de manejo de materiales, pero también requiere grandes excavaciones subterráneas, además de provocar en algunos casos aumentos en los ciclos de transporte de los LHD, por la mayor distancia de transporte, pese a ser estos últimos de mayor capacidad.

Sin embargo la principal ventaja de esta alternativa, consiste en la utilización de correas transportadoras, sistema de menor costo de acarreo de mineral, en comparación con los convencionales de camiones y/o ferrocarril, la Tabla 2 resume esta evolución de los métodos de hundimiento.

Tabla 2: Evolución de los métodos de hundimiento.

PARÁMETRO	BLOCK CAVING	PANEL CAVING	PANEL CAVING c/chancadores
Mineral	Secundario	Primario	Primario
Mecanización	Baja	Alta	Alta
Sistema de extracción	Gravitacional	LHD 7 ó 10 yd ³	LHD 10 ó 13 yd ³
Chancadores	No aplica	No aplica	Mandíbulas
Granulometría niveles inferiores	Fina	Gruesa (< Un metro)	Mineral chancado (< 280 mm)
Equipos nivel de acarreo	Ferrocarril	Ferrocarril ó camiones	Correas transportadoras
Tasa de extracción proyectada	0,44 t/m ² -día	< 0,50 t/m ² -día	Esperado 0,50 t/m ² -día
Capacidad de producción	Mediana	Alta	Alta

2.4 Parámetros de diseño minero

El diseño minero por hundimiento consiste en una serie de parámetros que se enlazan para obtener el producto esperado, (Laubscher, 2000), en su manual de block caving, definió 25 parámetros, que se indican a continuación:

1. Hundibilidad.
2. Fragmentación primaria.
3. Espaciamiento de puntos de extracción.
4. Altura de columna.
5. Layout minero.
6. Potencial estallido de rocas.
7. Secuencia global.
8. Secuencia de hundimiento.
9. Esfuerzos inducidos por el caving.
10. Perforación y tronadura.
11. Desarrollos.
12. Estabilidad de las excavaciones.
13. Soporte.
14. Tamaño práctico de excavación.
15. Método de tiraje.
16. Tasa de extracción.
17. Interacción entre puntos.
18. Esfuerzos en las columnas de extracción.
19. Fragmentación secundaria.
20. Tronadura y reducción secundaria.
21. Dilución.
22. Tonelaje extraído.
23. Reparación de puntos.
24. Extracción de leyes/Mineral.
25. Subsistencia.

En función de lo anterior, se analizarán las tecnologías emergentes y su impacto en los sistemas de manejo de materiales, estos parámetros se explican en la Figura 4 y constituyen el alcance de este estudio, los detalles de cada uno en particular se muestra en los puntos a continuación.

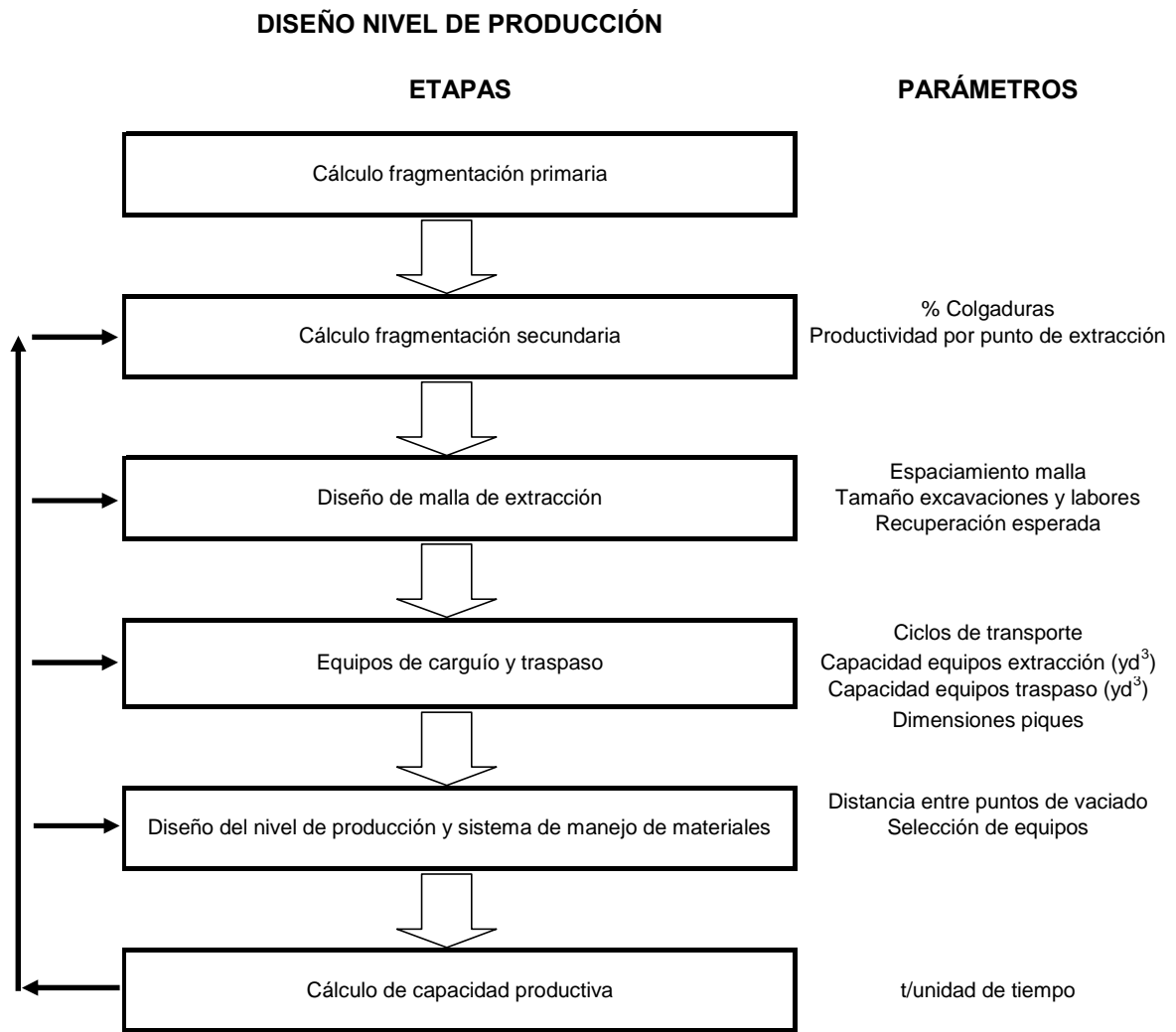


Figura 4: Parámetros del diseño minero a analizar.

Todos ellos tienen especial incidencia en el manejo de materiales del método de explotación.

2.5 Sistemas de manejo de materiales por Hundimiento

Dada la evolución del método, que procesa en la actualidad roca primaria, cada vez más competente y abrasiva, se propone realizar un análisis al manejo de materiales de los métodos de hundimiento, el que se vio afectado por los siguientes factores:

- Propiedades resistivas de los macizos rocosos, donde el mineral está emplazado en roca cada vez más dura y competente.
- Equipos e infraestructura usados en el método, dado que en la actualidad se utilizan equipos de extracción y reducción de mineral cada vez de mayores capacidades, generándose infraestructuras de gran tamaño, con altos costos.
- Mallas de extracción, lo anterior ha provocado que las mallas de extracción sean cada vez de mayores dimensiones.

Por esto, el manejo de materiales que antes se realizaba con métodos manuales, se ha ido mecanizando conforme a la evolución del método de explotación, llegando a manejar granulometrías cada vez más gruesas, con equipos de mayor capacidad, a través de mallas de extracción de mayores dimensiones, y requiriendo infraestructuras de gran tamaño.

La evolución de los equipos de extracción, cada vez de mayores capacidades, llegando en la actualidad hasta 13 yd³, ha provocado el aumento de las dimensiones de las mallas de extracción, si bien las mallas iniciales del block caving fueron de 10 x 10 m o menos, en la actualidad se ha llegado hasta a 17 x 20 m, lo que ha significado realizar labores mineras e infraestructura cada vez más grandes.

El manejo de materiales normal en un método de hundimiento parte con la extracción, que se realiza con un equipo LHD, desde 6 hasta 13 yd³ de capacidad, los cuales operan en el nivel de producción, cargando en los puntos de extracción, donde transportan el mineral a través de las calles de producción y descargan en los puntos de vaciado, estos últimos conectan hacia un nivel de reducción, generalmente con martillos picadores. Aquí es reducido de tamaño y finalmente este mineral con granulometría más pequeña, es enviado a un nivel de transporte, el cual lo conduce directamente a la planta de beneficio de minerales, a través de camiones o trenes.

La Figura 5 muestra un isométrico del manejo de materiales típico de un panel caving.

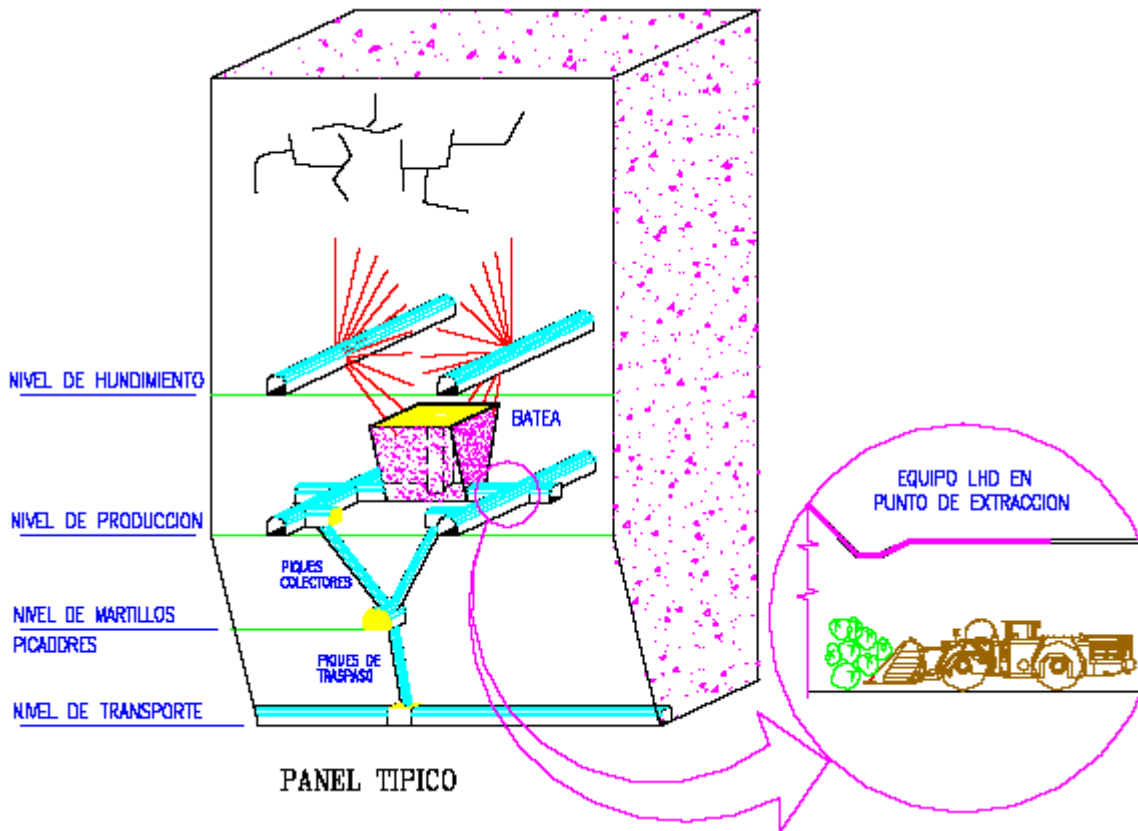


Figura 5: Diferentes niveles que forman parte del método de explotación panel caving.

En las minas que trabajan con mineral primario, que cada vez son más, la secuencia normalmente usada queda indicada en la Figura 6.

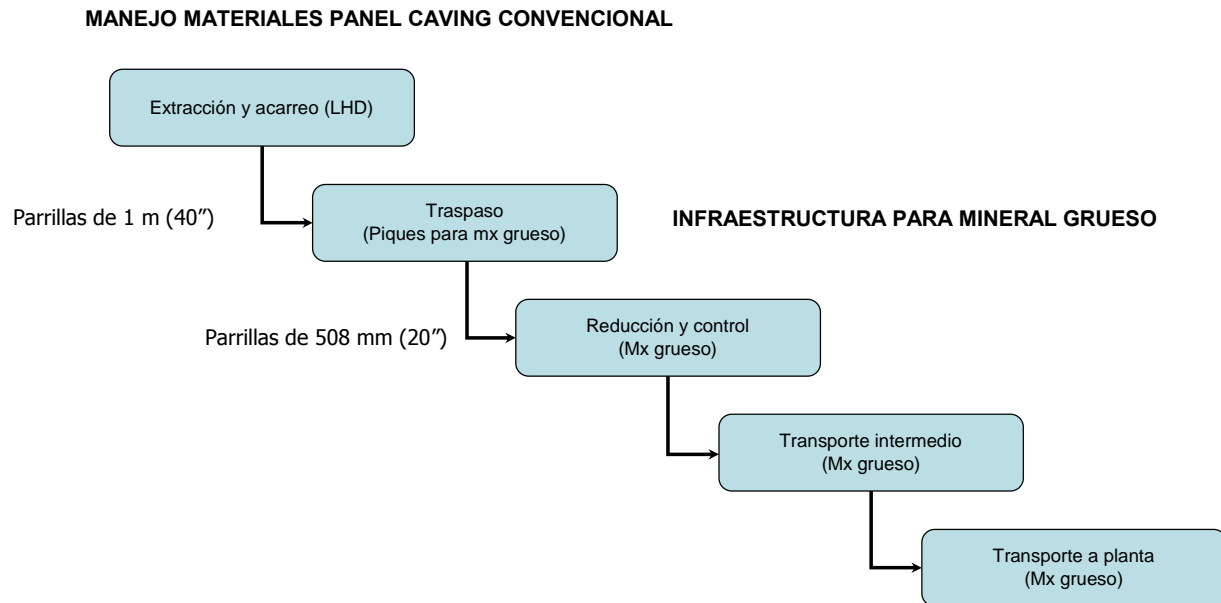


Figura 6: Flujo de materiales en panel caving convencional.

Una de los principales inconvenientes que presenta esta configuración, que si bien ha sido usada por largo tiempo en Chile, es que el manejo de materiales se realiza con mineral grueso, es decir, es necesario dimensionar la infraestructura necesaria (parrillas, piques, cámaras de picado, buzones, etc.) para tamaños de colpas generalmente del orden de 20" (508 mm) o en algunos casos mayores.

Esto requiere contar con niveles de reducción, donde se realiza un control granulométrico del mineral a través de parrillas y martillos picadores, que introducen interferencias a los sistemas de manejos de materiales. Además, en los niveles de transporte se requieren costosos sistemas de buzones y/o receptores de mineral para llevar el mineral a la planta concentradora, generalmente a través de sistemas de convoy ferroviario o camiones.

Como una alternativa a este sistema, se ha incluido el uso de chancadores en las cercanías del nivel de producción, produciendo la trituración del mineral en ese nivel, generando material fino hacia los niveles inferiores. Esto ha permitido el uso de correas transportadoras para el acarreo del mineral, la Figura 7 muestra esta disposición.

MANEJO MATERIALES PANEL CAVING C/CHANCADORES

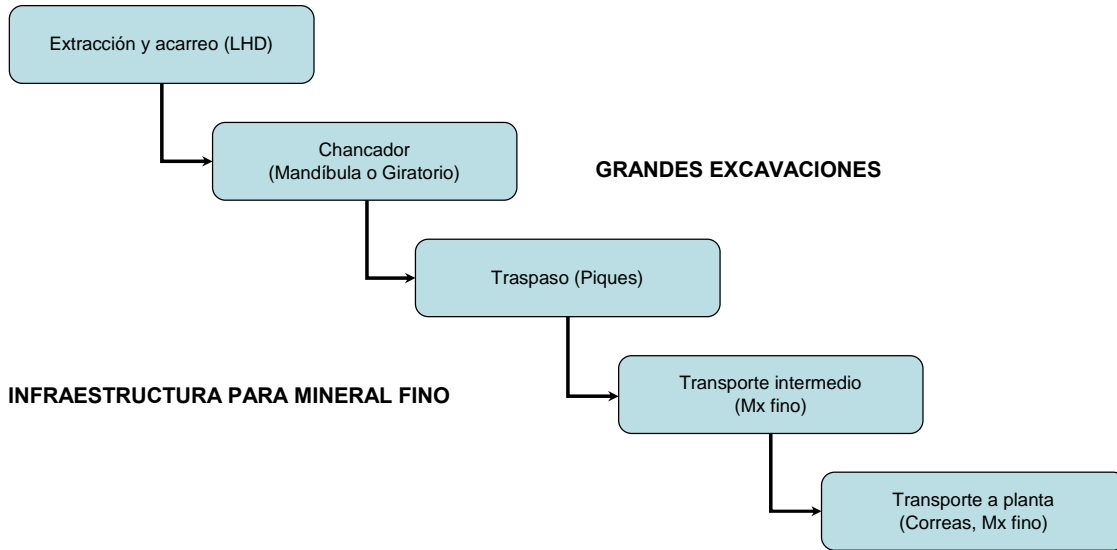


Figura 7: Manejo de materiales en panel caving con chancadores.

Si bien esto mejora en parte el manejo de materiales, principalmente por el transporte de mineral por correas transportadoras, genera grandes excavaciones para la instalación de los chancadores en el contorno de los niveles de producción, y por ende un aumento en los ciclos de los equipos LHD, disminuyendo su productividad. A continuación se muestra un benchmarking realizado a operaciones con chancadores en las cercanías del nivel de producción.

2.6 Benchmarking mundial panel caving con chancadores en nivel de producción

La siguiente es una revisión de operaciones mineras que utilizan sistemas de chancado en las cercanías de los niveles de producción alrededor del mundo.

2.6.1 Mina Northparkes, lift 2

Uno de los sistemas más simples, desde el punto de vista de su infraestructura productiva es el lift 2 de la mina de block caving Northparkes, en Australia (ver Figura 8) y cuya capacidad de producción en régimen alcanzó los 5 millones de toneladas por año.

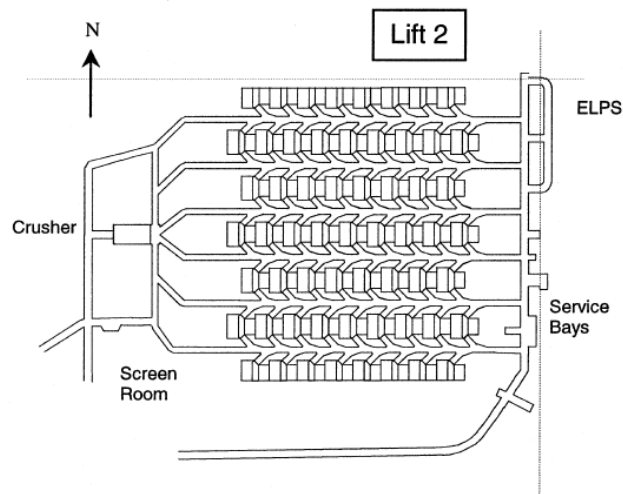


Figura 8: Nivel de producción de Northparkes, lift 2 (Duffield, 2000).

El nivel de producción de dicho sistema minero considera la utilización de una malla Herringbone (espina de pescado), que facilita la utilización de equipos LHD eléctricos.

El nivel de producción considera un único chancador (híbrido mandíbulas-giratorio), ver Figura 9, ubicado en la cabecera de los cruzados de producción, cuyo perfil se muestra a continuación:

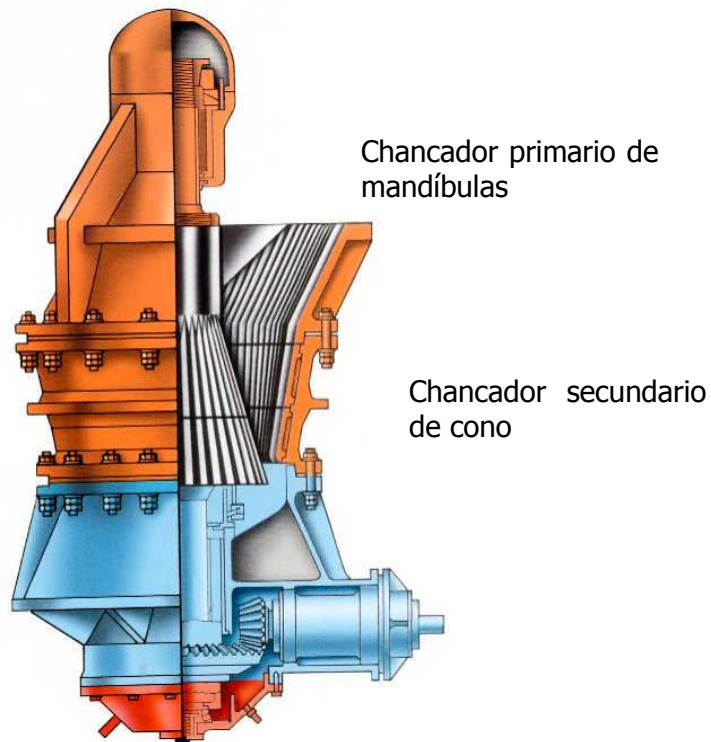


Figura 9: Esquema del chancador híbrido mandíbulas-giratorio (información técnica ThyssenKrupp Fördertechnik, 2010).

La característica principal del chancador tipo mandíbula - giratorio es la forma de la abertura de la alimentación, la cual se amplía hacia un lado, esta es normalmente dentada, y junto con el

manto superior forma la zona de chancado primaria. La trituración secundaria del material ocurre en el compartimiento inferior, donde se produce el tamaño final de producto especificado. El tipo chancadores tipo mandíbulas - giratorio se diseñan para manejar incluso rocas más grandes de alimentación, que el tamaño comparable de la trituradora giratoria, con el mismo diámetro del cono (especificaciones técnicas Jaw Type Gyratory Crusher ThyssenKrupp Fördertechnik GMBH)

El material chancado alimenta una correa transportadora que finalmente se conecta con un pique para la extracción del mineral a superficie que conformaba parte de la infraestructura productiva el lift 1 de la misma mina. Esto se explica en la Figura 10, (Duffield, 2000).

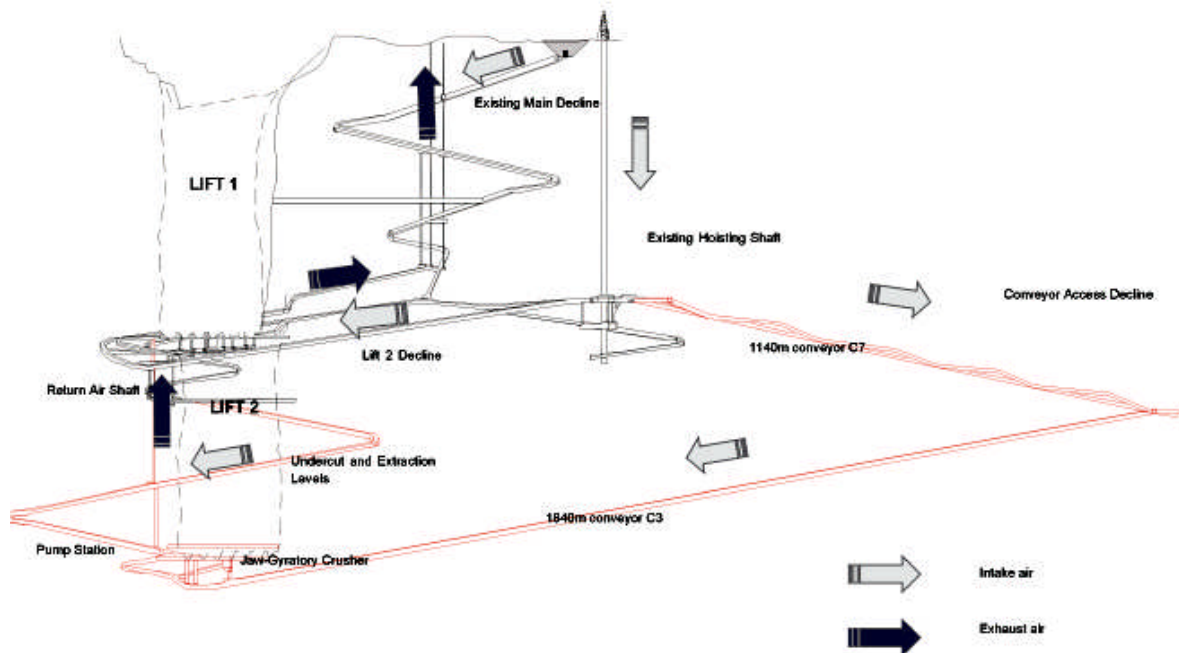


Figura 10: Diagrama general del diseño de Northparkes (Duffield, 2000).

2.6.2 Mina Palabora

Otra operación minera con chancadores, corresponde a la mina Palabora, en Sudáfrica, ver Figura 11, cuyo método de explotación es block caving. Para evitar inconvenientes en el manejo de materiales, con una capacidad se proyectó en 30 kt, el nivel de producción fue diseñado de manera tal que los equipos LHD vaciaran el mineral en cuatro estaciones de chancado ubicadas en la cabecera de los cruzados de producción (Calder et al, 2000).

Dichas estaciones de chancado alojan chancadores de mandíbula de 1.700 x 2.300 mm y permiten la descarga simultánea de dos equipos a una parrilla intermedia, donde el sobretamaño es reducido por martillos picadores.

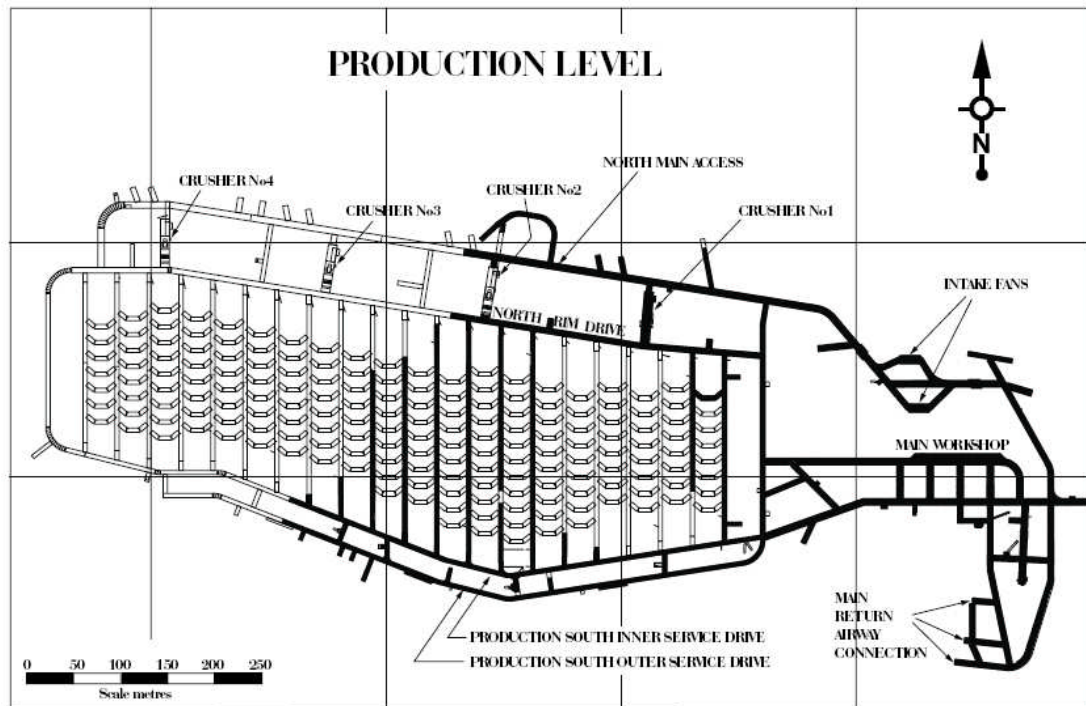


Figura 11: Vista en planta del nivel de producción Palabora (Calder et al, 2000).

2.7 Experiencia en Codelco Chile

En Codelco Chile también existen operaciones mineras que utilizan chancadores en las cercanías de los niveles de producción, estos son los casos de las minas Diablo Regimiento y Pipa Norte de División El Teniente, proyectos desarrollados por Codelco en los últimos años, a continuación se entregan detalles de estas operaciones mineras.

2.7.1 Mina Diablo Regimiento División El Teniente

La mina Diablo Regimiento, cuya capacidad productiva actual es del orden de las 12,5 ktpd, que pretende alcanzar su estado de régimen productivo hacia el año 2012, cuando la producción alcanzará las 25 ktpd. EL sistema de manejo de materiales considera la utilización de equipos LHD de 13 yd³, que vacían a chancadores de mandíbulas ubicados en las cabeceras de los cruzados de producción, como lo muestran los círculos indicados en la Figura 12.

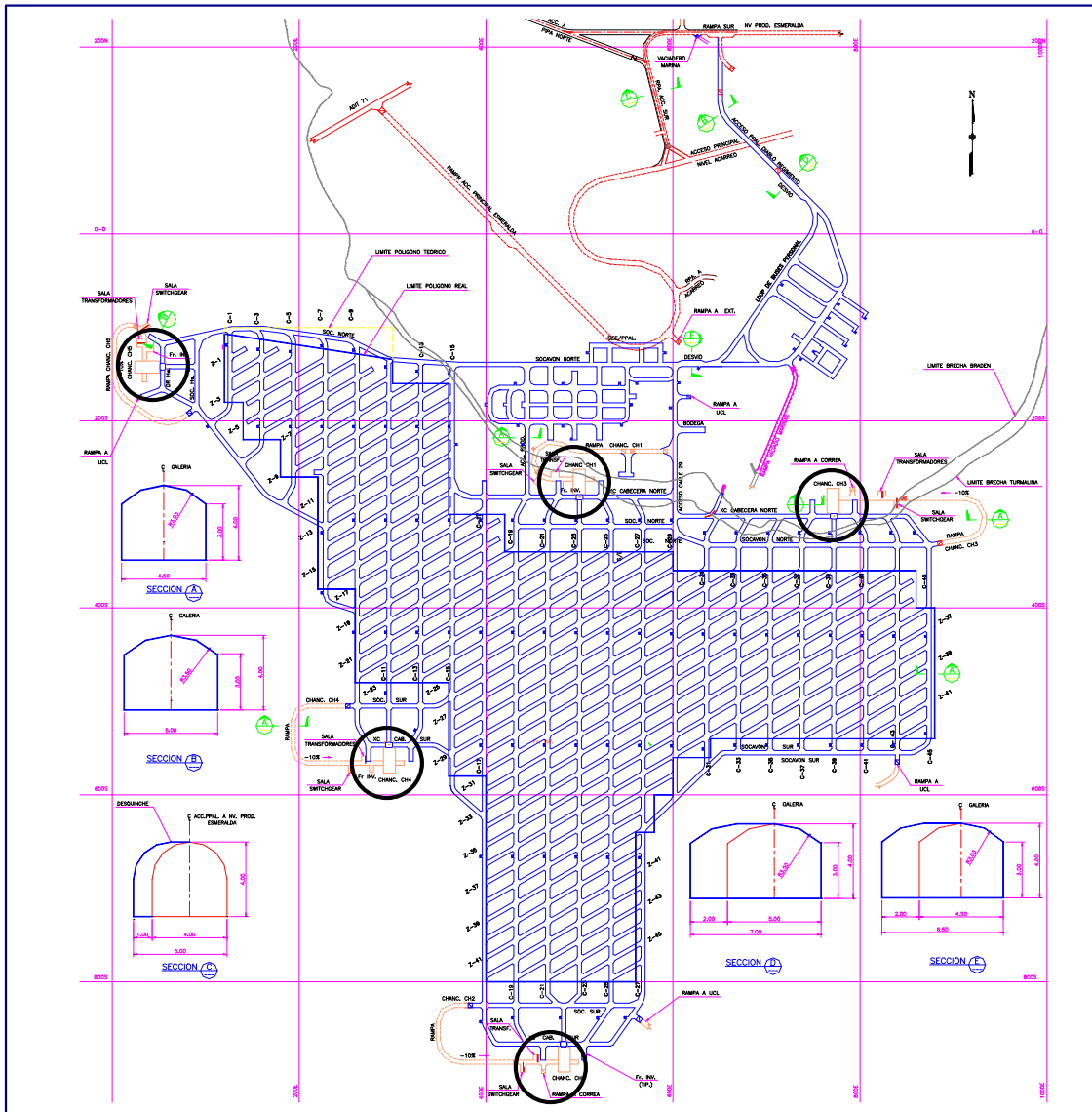


Figura 12: Nivel de producción del sector Diablo Regimiento, El Teniente, informe final ingeniería básica.

El proyecto completo contempla la construcción de cinco estaciones de chancado, cada una con un chancador del tipo mandíbulas, el modelo usado es del tipo doble toggle, y sus dimensiones son 84" por 66" (2.134 x 1.676 mm), (informe final ingeniería básica proyecto Diablo Regimiento, 2001). Los datos de rendimiento del equipo son:

- ✓ Para un tamaño máximo de colpa 1,5 x 1,5 x 1,5 m, es capaz de proporcionar 400 m³/h (720 tph, densidad 1,8 t/m³) a un CSS (close size setting) de 7", operando con una roca de alta resistencia a la compresión (170 MPa).
- ✓ Para efectos de diseño se ha adoptado para Diablo Regimiento 800 tph, ajustado a un CSS de 8" (203 mm), un 83% de su capacidad real, lo cual permitirá cubrir la ineficiencia que pudiese introducir al operar el chancador con una fragmentación con mayor proporción de colpas de 1,5 m y dejar espacio para alguna expansión marginal de la producción.
- ✓ El chancador pesa 260 t y usa un motor de 300 kW, 1.000 rpm.

El CSS se refiere a la abertura en posición cerrada que posee el chancador y corresponde al tamaño superior mínimo que entrega como producto.

El chancador descarga su producción sobre una correa transportadora de 48" de ancho, dotado de un electroimán para retirar los elementos metálicos extraños al sistema de transporte.

La instalación además cuenta con un colector de polvo, que es un equipo convencional, que con un volumen de aire de 6.000 cfm, captará entre 5 y 10 g/pie³ de polvo, empleando ductos metálicos cuya presión estática es de 8" columna de agua y un puente grúa, de 60 t de capacidad y además incluye un teclé para levantar partes y piezas de equipos con capacidad de 5 t, luz 10,5 m y altura de elevación 16 m, permitirá apoyar el mantenimiento de las instalaciones y equipos de la sala de chancado, asimismo, retirar los elementos indeseables como mallas, pernos de anclaje, fierros de construcción, maderas, etc., que descarguen los equipos LHD.

Las plantas de chancado poseen accesos que les permiten ser mantenidas sin perturbar la zona de producción, incluyendo una rotonda por la cual deben transitar los camiones que transportarán los componentes de los chancadores y correas. Los túneles de correas poseen espacio laterales para permitir la circulación de vehículos livianos que transportarán polines y los rollos de banda de reemplazo.

El sistema de transporte por correas es un importante usuario de la energía eléctrica, se considera una capacidad instalada de 2.720 kW, un 44% del total del proyecto, que asciende a 6.600 kW.

Toda esta configuración genera cavernas de más de 5.000 m³ de excavación y altos costos asociados, que en la actualidad sobrepasan los 50 MUS\$.

Otro aspecto interesante de esta operación minera es que el nivel de producción mostrado en la figura anterior, está diseñado para la utilización de equipos LHD autónomos, lo que facilita las interacciones entre estos en aquellas instalaciones comunes (estaciones de chancado). Aguas abajo del nivel de producción y los chancadores de mandíbulas considerados en el diseño, el sistema de manejo de materiales está compuesto por correas transportadoras que conducen a un pique, el cual se conecta con un nivel de transporte inferior, denominado Teniente 8, donde el mineral es extraído mediante ferrocarriles, como se observa en la Figura 13.

Martillo Picador Rammer

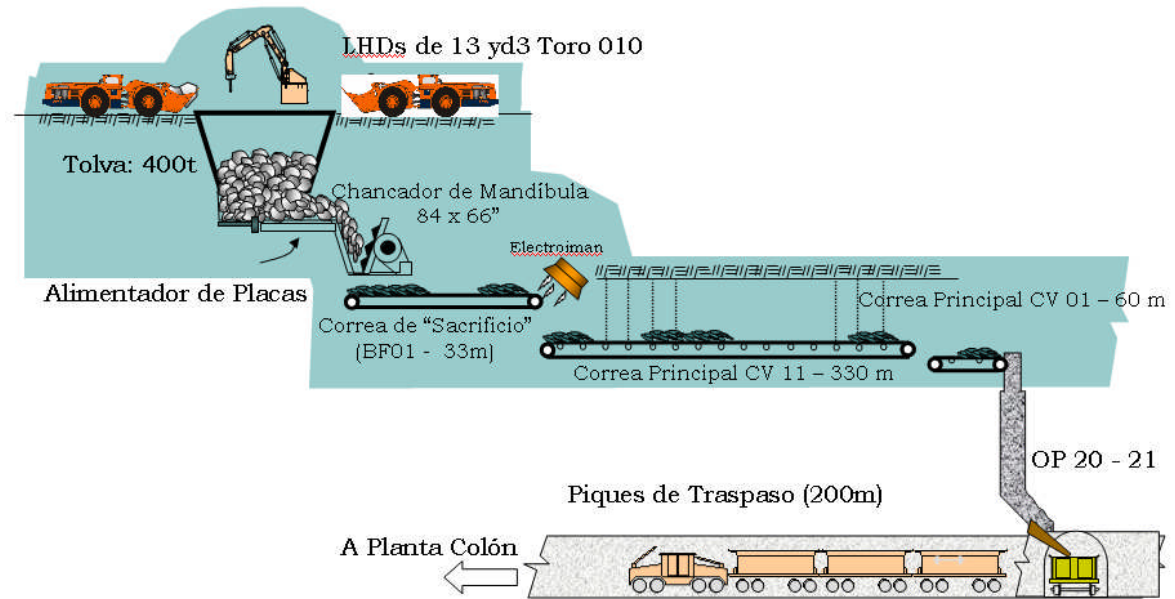


Figura 13: Sistema de manejo de materiales del sector Diablo Regimiento, División El Teniente (R. Castro, 2009).

La nueva fisonomía del proyecto ofrece distintos diseños a través del sector, debido a que sus condiciones geotécnicas son heterogéneas. La zona más benigna para el panel caving se encuentra aproximadamente bajo el sector Regimiento, es decir, abarca un área que va desde el centro hacia el este del sector. Otras zonas, como la parte central sur y la noroeste requerirán un prequebre, razón por la cual en ellas se aplicará un panel caving convencional.

De acuerdo a la información geológica y geomecánica expuesta, se visualiza que las zonas sur, con brecha hidrotermal y anhidrita turmalina, como la zona noroeste del Diablo Regimiento, con brecha turmalina y brecha braden, pueden presentar bajos resultados extractivos, producto de la pobre hundibilidad y granulometría gruesa que ha mostrado este tipo de roca en otros sectores de la mina.

Como consecuencia de lo antes mencionado y basado en la experiencia de División El Teniente, en cuanto a que en la brecha marginal y la brecha braden se presentan problemas de hundibilidad en el caso de estar empotradas en alguno de sus costados, se revisaron alternativas de prequebre técnica-económicamente, factibles de emplear para lograr la hundibilidad de dicho cuerpo litológico, así como obtener una granulometría manejable.

La solución adoptada fue realizada mediante la metodología del forzamiento o prequebre por niveles, que ha sido la que ha dado los mejores resultados operacionales para inducir el caving.

Esta solución consiste en desarrollar niveles, llamados "de forzamiento", en cotas superiores al nivel de hundimiento, tal como se aprecia en las figuras anteriores, previsto para el sector y desde los cuales se tronarán las columnas correspondientes como una forma de inducir la generación de granulometrías menores.

En los sectores donde se empleará hundimiento avanzado, un 65% del área total, se usará el sistema de socavación conocido por tiros paralelos, que consiste en desarrollar cruzados en

posición rectangular a las galerías de hundimiento, desde los cuales se perforan paradas de tiros paralelos a las galerías de hundimiento. Este sistema permite trabajar en forma segura en el nivel de socavación, porque el personal no necesita acercarse hasta la visera para cargar los tiros de socavación como ocurre en la socavación tradicional. Asimismo, permite manejar en forma más eficiente y segura el esponjamiento, ya que sólo requiere despejar aquella fracción de galería que servirá de "botada" al próximo polvorazo, y esta operación se efectúa dentro de la galería de hundimiento.

El sector remanente, minoritario en importancia de área, es decir, la zona central sur y noroeste, considera la técnica de socavación convencional, con tiros perforados desde y normales a la galería de hundimiento.

El nivel de producción, está localizado 20 m bajo el hundimiento y considera calles de producción dispuestas en rumbo N-S y zanjas de rumbo N60°E. Las calles de producción se sitúan cada 34 m y poseen un galibo de 4,5 x 4,0 m útiles.

Diablo Regimiento es un sector que posee columnas con 100% de mineral primario, de manera que la fragmentación esperada en los puntos de extracción es gruesa, estimándose que existirá un 30% sobre el tamaño de un metro. Esta condición ha hecho recomendable usar equipos LHD de 13 yd³ y excavaciones ad hoc, necesidades que se pueden satisfacer en forma adecuada empleando malla de 34 x 20 m.

Las condiciones de altura de bloque en Diablo Regimiento y sus potenciales esfuerzos asociados, han hecho recomendable la adopción del layout tipo Teniente que ofrece el mayor autosoporte. El layout tipo Henderson presenta cuatro direcciones de galerías que son fuente potencial de cuñas y posibles inestabilidades locales, mientras que el tipo Teniente exhibe sólo dos. Esto resulta además en mayor simplicidad para orientar exitosamente las galerías y zanjas de producción. El layout tipo Teniente presenta una segunda ventaja respecto del layout tipo Henderson: La maniobra del LHD para entrar en el punto de extracción es más fácil, por el mayor espacio que brinda el punto de extracción opuesto. Esta ventaja no la tiene el layout Henderson, lo cual se traduce en que el mismo equipo requiere mayor sección de galerías de producción para girar con seguridad, aumentando en consecuencia el costo de preparación del área y disminuyendo la resistencia del pilar de producción.

Cada planta tiene una capacidad de chancado de 10.000 tpd (diseño 600 t/h, 16,5 horas operación), pero sobretodo a pleno régimen cuando el sector deba producir 28 ktpd, lo que implica tres unidades y una estación de apoyo, totalizando cuatro estaciones en condiciones de operación.

En régimen de producción de 28 ktpd se requiere de un parque máximo de 8 equipos LHD de 13 yd³ de capacidad de balde. Los equipos operarán transportando mineral con el balde adelante y atrás, razón por la cual necesitan frontones para el giro de estos y una galería de maniobras entre el polígono y el cabezal principal donde se alimenta la tolva prechancado. Un taller de mantención y reparación localizado en el área cívica permitirá el mantenimiento de primer nivel de los equipos. El mantenimiento mayor será efectuado en el taller de la junta o mediante terceros.

El layout minero incluye la construcción de cinco plantas de chancado que forman parte de dos circuitos de movimiento de mineral independientes. El circuito "1" incluye las plantas 1, 2, 4 y 5, dos tolvas de 800 t cada una y la correa CV 06 que recoge el producto de las tolvas y, en forma

horizontal, lo envía al OP 20. El Circuito "2", incluye la planta 3 y la correa CV 07, descendente a 3,2°.

El sistema posee la opción de vaciar en dos tolvas, alternativamente, mediante un pequeño shuttle belt de 60" de ancho, flexibilidad que permite someterlas a labores de mantención y/o reparación, sin perjuicio de la continuidad de la producción.

Todas las correas son de 48" de ancho, salvo el shuttle belt y la correa CV 06 que son de 60" de ancho y todas las plantas poseen un diseño idéntico, siendo los elementos principales de cada una de ellas los siguientes:

- Tolva prechancado. Es de 400 t de capacidad, está construida de hormigón armado, planchas de recubrimiento y una cortina de cadenas tipo buque para control de flujo. El almacenamiento de la tolva permite al chancador una autonomía de 40 min. En su parte superior, la tolva esta dotada de una parrilla de 70 x 70 pulgadas de abertura, para garantizar que no lleguen al chancador colpas de mayor tamaño que las dimensiones de la boca de alimentación. Las dimensiones de la parrilla consideran que las colpas que transportarán los LHD poseen un factor de forma de 1/0,7/0,5 m.
- Alimentador de placas. Sus dimensiones son 2,3 m de ancho por 8 m de largo, está dotado de un armado de planchas "tipo artesa", que le permite encauzar el flujo de roca hasta el chancador de mandíbulas. El equipo considerado en la planta del sector Diablo Regimiento corresponde a un modelo que utiliza dos motores de 55 kW cada uno, los cuales permiten alcanzar una capacidad máxima de 1.200 m³/h y manejar colpas de hasta 1,8 m. Por diseño, este tipo de alimentadores permiten mantener una cama de piedra sobre su estructura, la cual alivia los efectos de la caída de roca a desnivel y prolonga la vida útil de las placas.

La calidad geotécnica del macizo rocoso del sector donde se desarrolla el proyecto Diablo-Regimiento se presenta en Tabla 3, (informe de ingeniería básica Diablo Regimiento, 2001).

Tabla 3: Clasificación de la calidad geotécnica del macizo rocoso en Diablo Regimiento.

Unidad Litológica	RMR Laubscher (1990)	Q de Barton(1974) (1993)
Andesita Primaria	49 a 53	0,8 a 14
Brecha Hidrotermal Turmalina Primaria	57 a 63	S/I

S/I: Sin Información.

Respecto a la información resumida en Tabla 3, se puede señalar lo siguiente:

- Según el índice de calificación de Laubscher (1990), el macizo rocoso in situ constituido por andesita primaria es de regular calidad geotécnica, por tanto favorable al hundimiento pero desfavorable como material base del pilar de producción.
- Según el índice de calificación de Laubscher (1990), el macizo rocoso in situ constituido por brecha hidrotermal turmalina primaria es de buena calidad geotécnica, por tanto desfavorable al hundimiento natural pero favorable como base del pilar de producción.
- Según el índice de calificación de Barton (1993), el macizo rocoso in situ constituido por andesita primaria es de muy pobre a buena calidad geotécnica.

2.7.2 Mina Pipa Norte División El Teniente

También al interior de División El Teniente, se encuentra el sector Pipa Norte, cuya configuración es similar al sector Diablo Regimiento (LHD – chancador – correas), que posee una capacidad en régimen de diseño de 10 ktpd. (informe de ingeniería básica proyecto Pipa Norte, 2001). La Figura 14 muestra esquemáticamente el sistema de manejo de materiales de dicho sector:

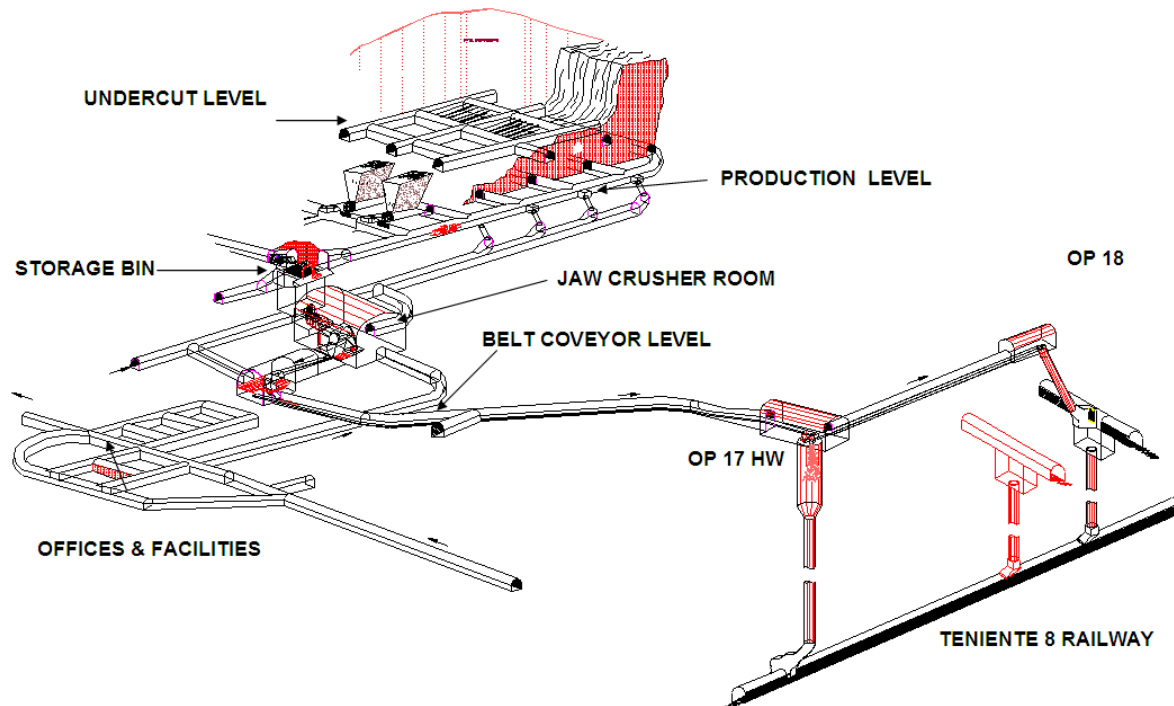


Figura 14: Sistema de manejo de materiales del sector Pipa Norte, División El Teniente.

El nivel de producción de dicho sector está diseñado para la utilización de equipos LHD de 13 yd³ semiautónomos, esto es, el equipo realiza las operaciones de carga y descarga de manera manual (telecomandos) mientras que el transporte es realizado de manera automática, la Figura 15 muestra la disposición en planta del nivel de producción del sector Pipa Norte:

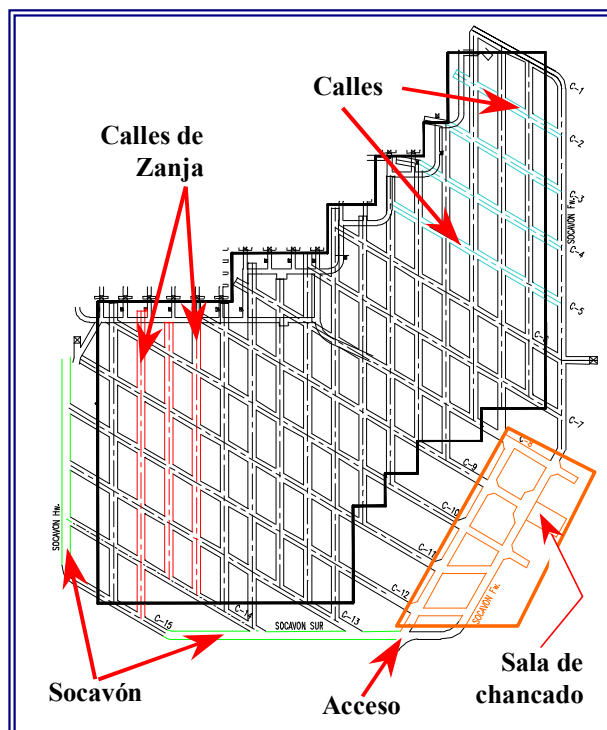


Figura 15: Nivel de producción Pipa Norte, División El Teniente.

El nivel de producción se encuentra ubicado en la cota 2.189 msnm, 19 m bajo el nivel de hundimiento y se compone de calles principales o de producción, orientadas con rumbo N 60° W, intersectadas por calles de zanjas orientadas con rumbo N-S.

En este nivel se desarrollan las actividades de extracción del mineral socavado en el nivel de hundimiento, para posteriormente ser transportado hacia la planta de chancado ubicada en este mismo nivel. También se realizan actividades de muestreo en puntos de extracción y reducción secundaria de colpas.

La ventilación de las calles de producción considera un flujo de aire circulando de sur a norte, en la misma dirección en que se moverán las aguas de drenaje, por lo cual las galerías tienen una inclinación hacia el norte.

Detalles del diseño del nivel de producción

- ✓ Malla 30 x 20 m.
- ✓ Distancia entre calles, 30 m.
- ✓ Distancia entre zanjas, 20 m a lo largo de la calle.
- ✓ Longitud punto de carguío, 10,8 m.
- ✓ Longitud de la zanja, 13 m.
- ✓ Ángulo de carguío, 60°
- ✓ Área de influencia por punto de extracción 300 m²

Dentro de las actividades y equipos involucrados en este nivel se incluyen:

- ✓ Desarrollos horizontales, para lo cual se utilizarán jumbos de perforación frontal o de avance, equipos LHD de 6 a 7 yd³ para la extracción de marinas y equipos de servicio o

apoyo a las operaciones como equipos para carguío de explosivos y transporte de materiales.

- ✓ Perforación de bateas, para lo cual se utilizarán jumbos de perforación radial para tiros en abanico de 2,5" a 3", equipos LHD de 6 a 7 yd³ para la extracción del esponjamiento, y equipos de servicio o apoyo a las operaciones como equipos para carguío de explosivos y transporte de materiales.
- ✓ Extracción de mineral, para lo cual se utilizarán equipos LHD de 13 yd³, considerando índices de disponibilidad mecánica de un 80% y una utilización del 86%.
- ✓ Reducción secundaria, para lo cual se utilizarán jumbos de hidrofracturamiento.
- ✓ Descuelgue de puntos de extracción, para lo cual se utilizará la técnica de aplicación de explosivos en altura.

La envergadura de la explotación, no justifica la utilización de más de una sala de chancado, la cual tendrá que entregar un producto de 11". Para este setting la capacidad de diseño de la unidad de chancado es de 846 tph, lo que resulta en un 49% de capacidad superior a la tasa de régimen del proyecto, 10.000 tpd. Esto deja un margen el cual no sólo permitirá a los mantenedores llevar adelante estrictas pautas de mantenimiento que necesita el sistema de acarreo de mineral automático, sino que también constituye un importante seguro operacional frente a condiciones generalizadas de mala fragmentación que puedan manifestarse en los puntos de extracción.

La revisión del sistema de manejo de minerales ha concluido con la consolidación de los diseños ya establecidos en la ingeniería conceptual, es decir, con una sistema de tolva prechancado de 400 t con parrilla de 70" x 70", alimentada directamente por equipos LHD, y plate feeder para alimentar a un chancador de mandíbula de dimensiones 84" x 66". Esta unidad descarga sobre una correa alimentadora de 60", 20 m de longitud, la que a su vez alimenta a otra correa transportadora de 48" y 333 m de longitud, la que lleva el mineral hasta dos piques principales, OP-17 y OP-18, que permiten traspasar el mineral hasta el nivel Teniente 8, para ser transportado por el ferrocarril hacia la planta concentradora Colón.

En el nivel de acarreo se realiza el transporte del mineral chancado a los piques OP-17 y OP-18, por medio de la correa transportadora 150-CV-01, de 48" de ancho, que descarga sobre un chute que desemboca a los piques mencionados anteriormente.

Dentro de las actividades y equipos involucrados en este nivel de acarreo se incluyen:

- ✓ Recepción del mineral chancado, por medio de una correa alimentadora, la cual traspasa el mineral chancado hacia la correa principal.
- ✓ Transporte del mineral chancado, por medio de correa principal.
- ✓ Traspaso de mineral, lo cual se realiza en el extremo sureste de la galería de correa principal, sobre un chute pantalón y compuertas hidráulicas para el control de flujo y descarga.

La sala de chancado corresponde a la excavación de mayor envergadura del proyecto ver Figura 16, en ella se instalarán los equipos involucrados en el chancado primario. La importancia de esta excavación, radica en su envergadura y por ser parte de la ruta crítica del proceso productivo, ya que no existe alternativa si la planta falla, por lo que todas las actividades relacionadas con la sala de chancado revisten vital importancia para el proceso productivo.

Esta excavación tiene un volumen estimado de 4.300 m³.

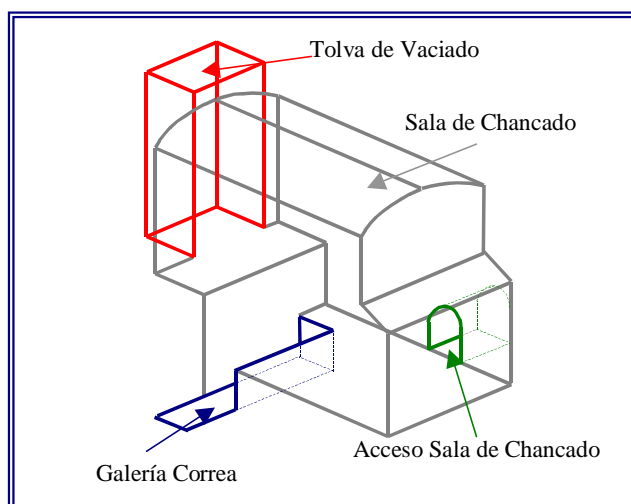


Figura 16: Esquema de excavación sala de chancado y tolva de vaciado.

2.8 Tabla resumen

La Tabla 4 resume las operaciones mineras que realizan chancado antes del acarreo o transporte de mineral. Todas estas operaciones se realizan con chancadores que requieren grandes dimensiones, y son ubicados en los contornos del nivel de producción, fuera de la zona mineralizada.

Tabla 4: Cuadro resumen operaciones mineras con chancadores.

MINA	MANEJO MATERIALES	PRODUCCIÓN tpd	LHD yd ³	MALLA DE EXTRACCIÓN metros	CHANCADOR	UBICACIÓN
NorthParkes (Lift 2)	LHD-Parrilla-Chancador-Correas	15.000	7	15x18	Mandíbulas-giratorio (x 1)	Fuera del Nv. producción
Palabora	LHD-Parrilla-Chancador-Correas	30.000	13	17x17	Mandíbulas 1700x2300 mm (x 4).	Fuera del Nv. producción
Diablo Regimiento	LHD-Parrilla-Chancador-Correa	25.000	13	17x20	Mandíbulas 1700x2100 mm (x 2 actual)	Fuera del Nv. producción
Pipa Norte	LHD-Parrilla-Chancador-Correa	10.000	13	15x20	Mandíbulas 1700 x 2100 mm	Fuera del Nv. producción

Estos diseños mineros, con chancadores en las cercanías del nivel de producción, trabajan con mallas de extracción cada vez más grandes, llegando hasta 17 x 20 m.

2.8.1 Mallas utilizadas en Codelco

La mayor dureza y menor presencia de fracturas en las rocas mineralizadas, genera granulometría más gruesa en los puntos de extracción, lo que requiere mallas de extracción más grandes, situación que ha contribuido al "gigantismo" en las minas actuales, con equipos también cada vez de mayores capacidades (llegando hasta LHD de 13 yd³). Esto ha producido que la evolución de las mallas de extracción hay ido en constante aumento, llegando hasta los 17 x 20 m en los proyectos desarrollados más recientemente.

La Tabla 5 muestra las mallas utilizadas en las minas en operación y/o agotadas de la corporación.

Tabla 5: Mallas utilizadas en Codelco.

División	Sector	Mineral	Tipo malla	Malla extracción	Inicio operación
Andina	III panel	Primario	Teniente	13x15	1995
El Salvador	IC	Secundario	Teniente	13x13	1994
Teniente	Ten-3 Isla martillos	Primario/Secundario	Teniente	10x16	1992
Teniente	Ten-4 Sur Sector CD	Primario	Teniente	15x17,32	1989
Teniente	Ten-4 Sur Sector D Fw	Primario	Teniente	15x20	1995
Teniente	Ten-4 Regimiento	Primario/Secundario	Teniente	15x17,32	1990
Teniente	Ten Sub-6	Primario	Teniente	15x17,32	1991
Teniente	Esmeralda	Primario	Teniente	15x17,32	1993
Teniente	Diablo Regimiento	Primario	Teniente	17x20	2005
Teniente	Pipa Norte	Primario	Teniente	15x20	2006

De esto se desprende que si bien existen varios tipos de malla, la más utilizada históricamente corresponde a la malla tipo Teniente.

2.9 Conclusiones

De la revisión bibliográfica se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ Las operaciones mineras actuales explotan cada vez más mineral proveniente de roca primaria, cada vez más competente y con menos frecuencia de fracturas. Esto se puede ver en el índice RQD que es cada vez más cercano al 100% y en las distintas clasificaciones de macizos rocosos (RMR, Q y GSI, etc.), que entregan rangos de valores cada vez más altos, lo que se va a ir acentuando con la profundización de los recursos mineros.
- ✓ Lo anterior ha producido que en la actualidad se trabaje con granulometrías mayores de mineral. Esto se ha solucionado en parte usando equipos de mayor capacidad, mallas de extracción más grandes y e infraestructura de mayor tamaño.
- ✓ El acarreo o transporte de mineral grueso, requiere utilizar camiones o ferrocarril, no permitiendo el uso de sistemas con sistemas de correas transportadoras, de más bajo costo de operación.
- ✓ Por esto y como una forma de mejorar el manejo de materiales, existen variadas operaciones mineras que utilizan sistemas de chancado cercanos al nivel de producción. Sin embargo estas constituyen estaciones fijas, generalmente de amplias dimensiones, que requieren excavaciones de gran tamaño y que normalmente se han ubicado en los contornos de los cuerpos mineralizados.
- ✓ A su vez estos chancadores fijos, generalmente de mandíbulas, requieren equipos o construcciones adicionales, como parrillas, tolvas de acumulación, alimentadores, etc. Lo que finalmente genera altos costos de inversión asociados a estas estaciones de chancado. Esto hace necesario asociarlos a extensas áreas productivas para que se logre recuperar la inversión, eso genera que los equipos LHD deban recorrer grandes distancias, las que se van incrementando conforme avanza el frente de hundimiento, aumentando los tiempos de ciclos asociados, bajando la productividad de los equipos LHD, esto se analizará en el desarrollo de la tesis.
- ✓ Estas estaciones de chancado constituyen sistemas rígidos, donde una mantención o reparación de alguno de sus elementos hace detener una parte de la producción de la

mina. Esto se evita en parte al contar con tolvas de acumulación de mineral, pero aumenta la infraestructura necesaria para el manejo de minerales.

- ✓ Estos sistemas convencionales de chancado trabajan con tamaños máximos de 1,5 m, aunque normalmente operan en rangos de 1,0 a 1,2 m. Para cumplir con esta restricción al explotar roca primaria (cada vez más gruesa y con menos fracturas), es necesario introducir parrillas de control y martillos picadores (fijos o móviles), los que hacen aumentar las interrupciones en el flujo de mineral.
- ✓ Esta restricción también produce un aumento en las tasas de reducción secundaria, introduciendo más obstáculos al proceso de producción.

Por esto, se recomienda estudiar las nuevas tecnologías de manejo de materiales emergentes (preacondicionamiento y equipos compactos de trituración de mineral), buscando mejorar los sistemas de manejo de materiales y que sean capaces de solucionar estos obstáculos, generando un sistema de manejo de minerales más continuo y flexible, logrando reducir la infraestructura asociada y mejorar las productividades de los equipos de producción.

Esto se muestra en el siguiente capítulo, donde se detallan las tecnologías emergentes y se realiza un benchmarking de los trituradores de bajo perfil mineral sizers aplicados a rocas duras.

CAPITULO III

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA

3 Tecnologías emergentes para minería subterránea

3.1 Preacondicionamiento

Dado el aumento de la producción de minería subterránea, que pasará desde las 200 ktpd actuales hasta 500 ktpd en los próximos 20 años (ver Figura 17) y con la finalidad de mejorar los resultados de la explotación de las reservas en condiciones más rigurosas, provenientes de cuerpos más profundos, se están realizando una serie de procesos de innovación en la corporación con el fin de contar con nuevas tecnologías para ser incorporadas en los proyectos futuros, de tal forma de mantener o mejorar los niveles de productividad y costos del actual método. Una de estas líneas de desarrollo, corresponde a la tecnología de preacondicionamiento de macizo rocoso (PA).

El objetivo principal del desarrollo de la tecnología PA ha sido construir un proceso técnicamente eficaz que permita tratar in situ y previo a la explotación, los cuerpos masivos de roca competente, con el propósito de transformarlos en un material que presente una mejor hundibilidad, mejor fragmentación, respuesta sísmica benigna, con altos estándares en seguridad y productividad, en ambientes de altos esfuerzos, dureza y con costos de operación competitivos (C. Cerrutti et al, 2009).

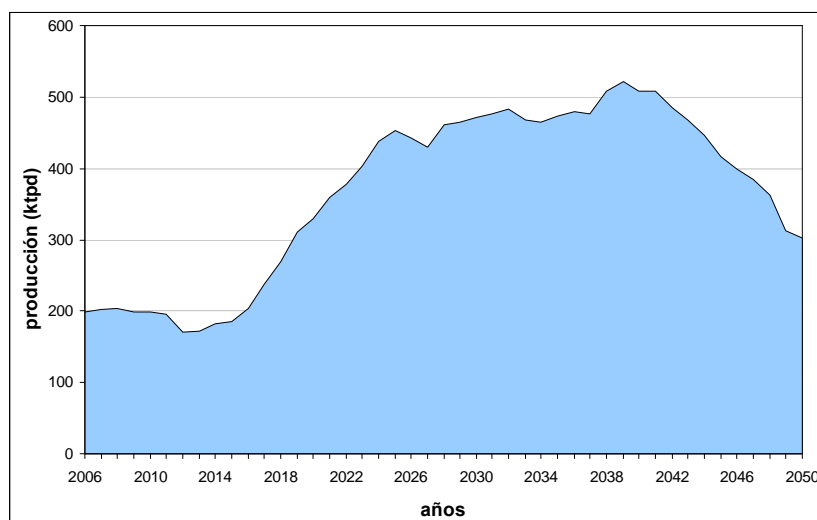


Figura 17: Perfil del plan de producción subterránea de Codelco.

Las alternativas tecnológicas en desarrollo, para llevar a cabo el PA son: Preacondicionamiento con fracturamiento hidráulico (PAFH) y Preacondicionamiento con explosivos (PAE). Una tercera alternativa de PA es usar una combinación de las dos tecnologías anteriores, esto es, producir un primer fracturamiento mediante FH y enseguida llevar a cabo el proceso de tronadura.

Fracturamiento Hidráulico: El desarrollo de esta línea de innovación ha consistido en adaptar la técnica de fracturamiento hidráulico, utilizado desde hace mucho tiempo en la industria del petróleo, a las condiciones y requerimientos de la explotación subterránea mediante métodos de block/panel caving.

El FH consiste en presurizar un tramo de una perforación, inyectar fluido a presión, comúnmente agua, para iniciar una fractura de tensión en las paredes de la perforación, o extender y/o abrir una fractura preexistente, y así propagarla hacia el interior del macizo rocoso.

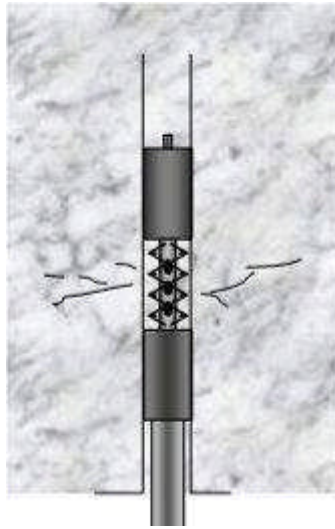


Figura 18: Fracturamiento hidráulico.

El PAFH es una tecnología factible de aplicar en roca primaria, en etapas previas a la explotación, tanto en condiciones de inicio de caving, como coexistiendo con un frente de explotación activo y en condiciones de mayores esfuerzos in-situ, como fue comprobado en El Salvador, Andina y El Teniente. El desarrollo de la técnica está disponible para ser usada en forma ascendente y descendente, lo que dependerá de la disponibilidad de labores, dimensiones y facilidades de accesos hacia el área donde se realizarán las perforaciones y la operación de fracturamiento hidráulico. Otros aspectos a considerar es la disponibilidad de los suministros requeridos e interferencia con la operación minera.

Teóricamente las fracturas producidas se desarrollan en la dirección del plano σ_1 σ_2 y se abren en la dirección perpendicular. Los parámetros tasa y tiempo de presión son claves para determinar la extensión espacial que cubre una fractura hidráulica y a partir de esa información se establece el diseño de la aplicación.

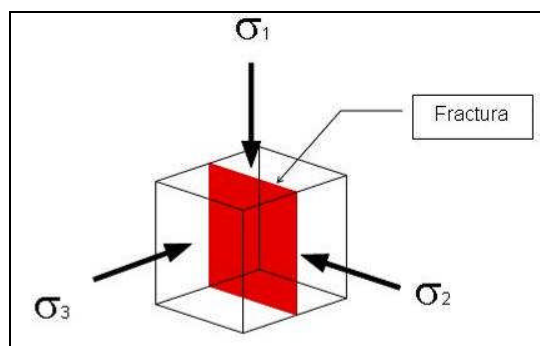


Figura 19: Orientación con respecto al estado tensional.

La aplicación de la tecnología en operación ascendente y descendente, se ha realizado en pozos de 96 mm, hasta 140 m de altura, desarrollando fracturas separadas a 1,5 m y alcanzando un radio de 40 m de extensión.

PA con explosivos: A diferencia del PAFH, en cuanto a la tecnología, el concepto de preconditionamiento está soportado en el amplio uso del explosivo en la industria minera, aunque en este caso, en forma confinada (sin cara libre).

La técnica de PAE se basa en la detonación precisa entre cargas explosivas en un escenario confinado. Este desarrollo ha sido posible por la introducción de los detonadores electrónicos de alta precisión, tecnología que ha permitido reducir substancialmente la dispersión de los retardos al rango de unos pocos milisegundos y a un número ilimitado de intervalos de retardos.

La metodología consiste en utilizar una adecuada caracterización del macizo rocoso y del explosivo, para configurar un diseño de tronadura ausente de caras libres, que asegure el efecto de ruptura de una porción deseada del volumen de macizo rocoso con daño controlado en su entorno. El principio de este tipo de tronadura se refiere a aprovechar las ondas mecánicas para generar daño en la roca.

El desarrollo de la tecnología está disponible para aplicarse en roca primaria, en etapas previas a la explotación, como fue comprobado en las pruebas realizadas en Andina y en El Salvador. La operación se ha materializado con recursos técnicos propios de la corporación, en colaboración con empresas especialistas en perforación y tronadura. La aplicación de PAE se ha desarrollado en pozos 5¾" de diámetro, en forma ascendente y descendente, con un alcance de 100 m de altura, este valor está acotado actualmente por la característica y densificación de la columna de explosivo.

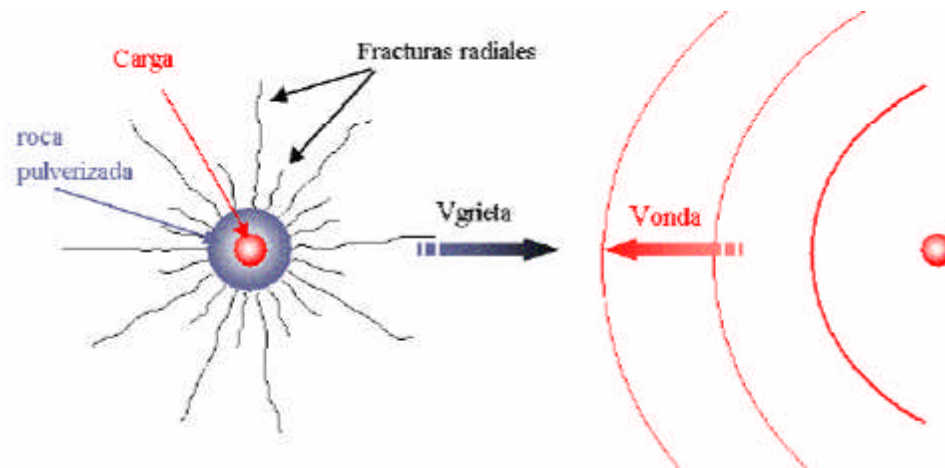


Figura 20: Principio de la tronadura confinada.

PA Mixto: La idea del acondicionamiento combinado o mixto, consiste en la aplicación conjunta del PAFH más PAE. La hipótesis considerada en la aplicación de tronadura en un medio previamente fracturado con PAFH tendría dos efectos fundamentales:

- Las discontinuidades generadas por el PAFH actuarían como superficies reflectoras para el campo de ondas generados por la detonación de las cargas explosivas, teniendo como resultado que los frentes de ondas sean reflejados entre las fracturas del PAFH para incrementar su potencial y generar nuevas fracturas.
- Se minimiza la posibilidad de acoplamiento de ondas fuera de la zona ya acondicionada con PAFH, disminuyendo el volumen de macizo que podría experimentar un evento sísmico relevante post tronadura.

Actualmente esta hipótesis está en etapa de comprobación. Un aspecto relevante es conocer el efecto de estas fracturas sobre el campo de ondas generado por la detonación de cargas explosivas.

Los resultados obtenidos en estas experiencias se resumen en la Tabla 6 y la evaluación de estos permiten concluir que el PA modifica las condiciones in situ de macizos rocosos competentes, generándose un material con mayor facilidad para uso de métodos de hundimiento y sin efectos adversos. Los principales efectos son:

- Sismicidad inducida: En general, el comportamiento con PA, se manifiesta con un aumento en la frecuencia de eventos de baja magnitud y una significativa disminución de eventos de magnitud que generan daños. La interpretación de esto es que la energía se disipa en una mayor cantidad de eventos. La consecuencia es una disminución del riesgo sísmico en la explotación del mineral primario.
- Hundibilidad: Se logró una reducción del área estimada de hundibilidad en sectores con PA, de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de Andina y El Salvador, ambos aplicados en sectores empotrados.
- Tiempo de conexión del caving: Se reduce de manera relevante el tiempo de conexión a cráter utilizando PA en sectores con caving virgen. Los resultados de El Teniente mostraron una velocidad de propagación del caving significativamente más alta que la estimada sin PA.
- Fragmentación e índices operacionales: Disminuye el sobretamaño, hay colgaduras más bajas y menos reducción secundaria. La reducción de la fragmentación se ha obtenido en las experiencias de El Salvador y Andina, con aplicaciones de PA mixto y que no se ha obtenido en aplicaciones de PAFH.

Tabla 6: Resultados obtenidos en experiencias de PA (C. Cerrutti, 2007).

Variable\Tipo de PA	PAE	PAFH+PAE		PAFH
	Andina 1999-2001	Salvador 2001-2006	Andina 2005-2006	Teniente 2004-2006
Menor tamaño de fragmentación (P80)	- 50%	- 45 %	- 30%	s/variación
Hundibilidad (radio hidráulico)	- 35 %			
Reducción Secundaria.		- 51%	- 26 %	
Colgaduras (5 a 12 m)		- 84%		
Sismicidad				Más benigna
Hundibilidad (conexión a cráter)				- 57 %

La comparación de resultados alcanzados a la fecha en las distintas pruebas, indican que el mayor aporte a la reducción de tamaño o fragmentación se logra con el uso de la variante con tronadura (PAE), sea éste solo o mixto.

Los resultados obtenidos hasta ahora en División El Teniente no muestran variación en el menor tamaño de la fragmentación, principalmente debido a que solo se ha aplicado PA con fracturamiento hidráulico (FH), sin embargo se ha producido una sismicidad más benigna y un menor tiempo de conexión a cráter.

Estado de desarrollo de la tecnología: Con los favorables resultados obtenidos en la experimentación del PA realizada, se dio inicio a una nueva fase de desarrollo tecnológico denominada "Profundización en el conocimiento de la tecnología de PA". El objetivo principal de esta fase es ampliar el conocimiento mejorando la predictibilidad e impactos del PA en la explotación minera, con el fin de validar, consolidar e implantar industrialmente la aplicación de PA. El desarrollo se llevará a efecto en actuales sectores en explotación de la corporación, con tecnologías de PAFH, PAE y mixto, para mejorar las actuales bases de diseño y la evaluación de su impacto, de tal forma que puedan irse incorporando a futuros proyectos, el diseño y la planificación minera de la explotación de mineral primario. Las líneas de desarrollo son: Mejoramiento del conocimiento y la técnica, evaluación del impacto y transferencia tecnológica.

3.2 Chancadores de bajo perfil mineral sizer

Una alternativa a las tecnologías tradicionales para hacer la conminución de roca en el proceso minero, la presentan los equipos trituradores denominados mineral sizers. El primer desarrollo fue realizado por la empresa MMD en la década de los '80, puesto en operación en las minas de kimberlita. Inicialmente fueron utilizados en roca con dureza baja a media, pero el avance tecnológico de estos equipo lo han hecho compatibles para operar con roca muy abrasiva, viscosa y de gran dureza, con la misma eficiencia e independiente del contenido de humedad.

El principio de operación de este equipo consiste de dos rodillos dentados, girando en sentidos opuestos, que actúan por fuerza de tracción y cizalle. En la mayoría de las rocas la razón de resistencia a la compresión con respecto a la de cizalle es alta, generalmente del orden de 10:1 y los equipos sizer rompen la roca por esta acción más que en compresión como lo hacen los chancadores convencionales.

Los mineral sizer son equipos de conminución no convencional, siendo capaces de procesar material de hasta 3 m³, con capacidades que superan las 12.000 t/hora. Este chancador es capaz de procesar material con alta humedad y pegajoso, o roca seca y dura, o bien, una combinación de los dos.

La principal característica es su menor peso y tamaño respecto a los chancadores tradicionales, lo que lo hace ideal para operaciones subterráneas. Requiere menor fundación, un sistema eléctrico simple y no requiere grandes excavaciones, se puede mover con relativa facilidad, arrastrándolo por rieles, o puede incluir un sistema de transporte con orugas, esto permite una considerable flexibilidad en la operación minera. El material puede ser alimentado en forma continua o discontinua. La disposición de los dientes en el rodillo permite que los trozos de bajo tamaño caigan directamente a través del equipo, resultando una gran capacidad de producción a muy baja velocidad de rotación, ocasionando menor desgaste, ahorro de energía, mayor control del tamaño de descarga en las tres dimensiones y gran reducción de finos en el producto. Son de bajo costo de capital y costo de operación, simples de operar, robustos y fácil de mantener. Las piezas de desgaste son pequeñas, de larga duración y usualmente podrían ser cambiadas en un turno. El rango de aplicación de estos equipos es hasta rocas de 2.500 mm con los modelos MMD 1500.



Figura 21: Mineral sizer modelo 1000, MMD 2002.

El concepto básico del sizer es el uso de dos rotores accionados a baja velocidad por un alto sistema de impulsión directo del esfuerzo de torsión. Este diseño produce los tres principios básicos que permiten conminuir los materiales, los que son: La acción trituradora en tres etapas, el efecto de clasificación de tamaño por rotación y el sistema helicoidal de dientes de apertura profunda, ver anexo A.

Este tipo de chancadores se muestra como una interesante alternativa a estudiar, por ello se realizó una revisión a las operaciones mineras u obras subterráneas que lo utilizan, buscando su aplicación a la explotación de mineral primario.

3.3 Benchmarking utilización mineral sizer en minería y obras subterráneas

En la exploración por incorporar los equipos mineral sizers en la minería de roca competente, se recopiló antecedentes de proveedores del equipo, se realizó ensayos de abrasividad a muestras de roca de División Andina y se visitó instalaciones con equipos trabajando en rocas con índices similares y mayores. El objetivo de este benchmarking, realizado en octubre del 2002, fue obtener información de primera fuente de los conceptos de diseño y operación de equipos trituradores mineral sizers y evaluar su capacidad de adaptación y utilización en operaciones mineras explotadas por el método de hundimiento, (informe visita a instalaciones MMD y DBT, Cerrutti et al, 2002).

3.3.1 Visita Túnel Lötschberg - Basistunnel en Suiza

El túnel en construcción se llama Ferden. Se trata de la excavación de 2 túneles carreteros de 45 km cada uno, con una sección de 6,5 x 7,4 m, operación en granito, las características de esta roca es de resistencia 270 a 300 MPa e índice de abrasividad de 5. La Figura 22 muestra un informe con el avance de obras de la empresa contratista.

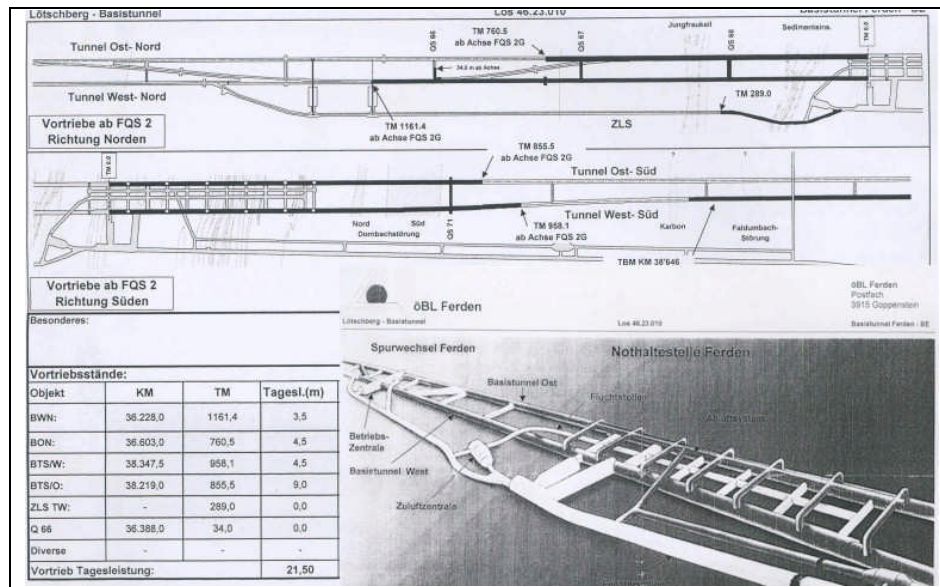


Figura 22: Avance de obras en túnel Lötschberg, Suiza.

El desarrollo se realiza con perforación y tronadura. Se efectúan 2 disparos día en turnos de 10 horas, con un avance promedio 4,5 m/disparo y 9 m/día. La Figura 23 muestra el frente de trabajo de uno de los túneles donde se puede apreciar también la parte frontal del equipo con el cargador y el triturador sizer montado sobre orugas.

La extracción de marina hasta superficie se realiza mediante cintas transportadoras. Los tamaños de colpas de tronaduras de avance son de hasta 80 cm. Para alcanzar la granulometría requerida por la correa, se utilizan tres equipos mineral sizers, dos son unidades móviles como se muestra en la Figura 24, como reductores de la granulometría y la otra es una unidad fija.



Figura 23: Sizer móvil en frente de trabajo.



Figura 24: Sizer móvil con accesorios (apron feeder, tolva y orugas).

El ciclo de operación es: 4 horas marina, 4 horas perforación, 2 horas fortificación y otros.

Los equipos mineral sizers móviles son de 3 dientes por anillo y 5 corridas de anillos y equipos fijos son de 3 dientes por anillo y 8 corridas de anillos.

La duración de los dientes con mayor desgaste oscila entre 70.000 y 100.000 t, el cambio de dientes o tips ocupa una hora y se puede cambiar cualquier diente independiente de los otros.

La instalación fija trabaja alimentada mediante camiones de 25 t, la Figura 25, la Figura 26, la Figura 27 y la Figura 28 muestra los elementos de la instalación fija.



Figura 25: Estación sizer fijo, sector rampa de descarga camiones.



Figura 26: Camión descargando sobre el apron feeder.



Figura 27: Apron feeder del mineral sizer.



Figura 28: Entrada de la roca al mineral sizer.

Finalmente se muestra el sistema de captación de polvos para la instalación fija, ver Figura 29.



Figura 29: Sistema captador de polvo.

3.3.2 Visita Mina División Polkowice de KGHM Polska Miedz S.A.

La División tiene dos minas: Polkowice y Sieroszowice, ambas subterráneas de cobre, ver Figura 30. El yacimiento corresponde a un manto de dolomita con potencia variable de 0,2 a 1 m, la ley de la mina es del orden de 2,5% de cobre como promedio y obtienen plata como subproducto. El método de explotación usado es el de cámaras y pilares.

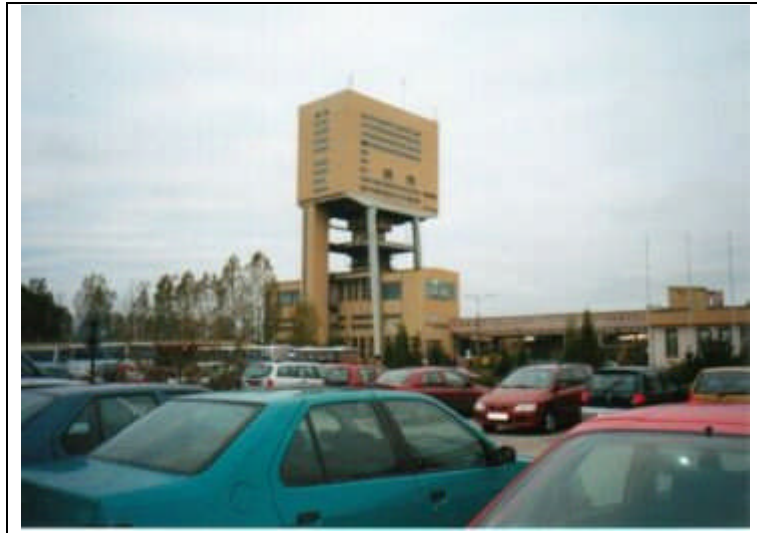


Figura 30: Mina Polkowice, Polonia.

El manejo de materiales se inicia con la extracción de mineral con equipos LHD de 5 t, desde las calles o cruzados del método, estos también realizan una pequeñas rampas, a una distancia entre 500 y 700 m, que utilizan para cargar los camiones de 15 t, estos últimos transportan el mineral hasta las estaciones fijas de chancado, construidas cada 4 km, las que están compuestas por una rampa de acceso y un alimentador que recibe el mineral para descargarlo al chancador.

De acuerdo con la información entregada en la visita, la mina cuenta con 16 instalaciones fijas de chancado, 15 con chancadores de mandíbula y una con un equipo mineral sizer, que puede ser móvil dado el menor tamaño del chancador, esta última se plantea como una alternativa para disminuir las distancias de transporte de los camiones, en la medida que avanza el frente de explotación y tiene una producción actual de 1.000 tpd.

El equipo mineral sizer está en operación desde noviembre de 1998 y se ha movido tres veces, a la fecha ha chancado 1,5 millones de toneladas con resistencias entre 180 y 200 MPa y se han cambiado 355 dientes de los cuales 80 son nuevos y el resto reconstruidos. La fuerza laboral asociada al mineral sizer es de un operador y dos personas esporádicas para los servicios asociados.

3.3.3 Fábrica MMD Manchester, Inglaterra

Esta es la principal compañía fabricante de los chancadores de bajo perfil mineral sizer, han vendido alrededor de 1.200 equipos alrededor del mundo. De estos alrededor del 10% corresponden a equipos para roca dura (modelos MMD 1000, 1150, 1250, 1300, 1.400 y 1500).

La dirección de la empresa se muestra de acuerdo en participar activamente en las prueba de validación de estos equipos en las minas de Codelco. Uno de los principales motivos para orientar estos equipos hacia la trituración de minerales duros y abrasivos, ha sido el avance en el desarrollo de los materiales que se usan en los elementos de desgaste, tanto tips como coronas, ver Figura 31.

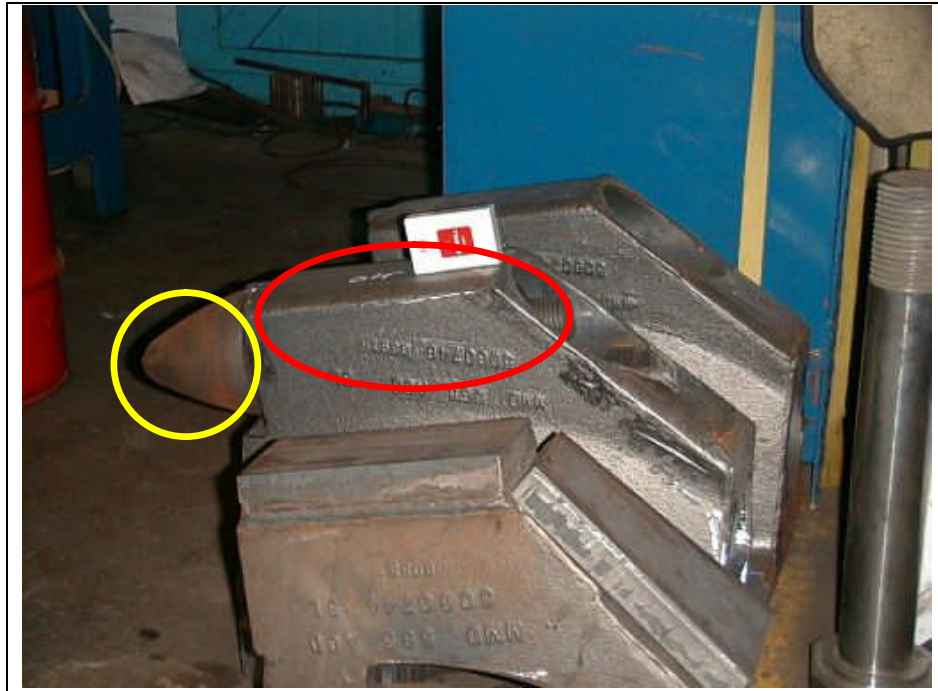


Figura 31: Tips (amarillo) y coronas (rojo) de los mineral sizers.

3.3.4 Conclusiones con respecto al uso de la tecnología de los mineral sizers

Las principales conclusiones respecto a los equipos trituradores mineral sizers, finalizado el benchmarking fueron:

- Las aplicaciones de estos equipos en Chile, estas son limitadas y al inicio de estos estudios (año 2000), solo se reducen a la existencia de un equipo en Chile, correspondiente a la adquisición en el año 1998 de un solo sizer modelo MMD 1350, para procesar materiales de caliche.
- Estos equipos muestran un alto potencial de utilización en la minería subterránea de roca primaria, debido principalmente a su reducido tamaño, alta productividad y su capacidad de aceptar rocas de alimentación sobre los 1,5 m, de acuerdo a lo indicado por sus fabricantes.
- La capacidad de trituración y reducción de mineral de estos equipos se ve satisfactoria, esto se pudo observar con rocas más duras y abrasivas, pero de menor tamaño que las colpas producto de la explotación de División Andina. Ante esta expectativa es necesario evaluar y validar esta tecnología para las condiciones reales de roca primaria.
- Respecto a la reunión técnica con los representantes de la empresa, a quienes se les presentaron los requerimientos específicos de la División Andina y las posibilidades de aplicación en la minería subterránea, ellos muestran especial interés en participar en el negocio de la minería del cobre en Chile.

Por esto se plantea la recomendación de realizar una prueba industrial de esta tecnología, para analizar su real potencial de aplicación en la explotación de mineral primario.

3.4 Análisis comparativo diversas opciones de chancado en interior mina

En función de las alternativas de chancadores utilizados en minería subterránea, se plantea ahora la necesidad de hacer un análisis comparativo inicial entre esos tipos de equipos y los sizers, presentados en este capítulo, ella se hace primeramente de forma general, tomando como base de comparación los sizers modelos MMD 1150 y 1300 y posteriormente en función a los valores de rendimientos y costos involucrados.

Tabla 7: Análisis general.

Chancador	Manejo de materiales	Ubicación chancador dentro del sistema de manejo de materiales	Equipos adicionales
Mandíbulas-giratorio	LHD-Parrilla-Chancador-Correas	Fuera del nivel de producción	Parrilla + Alimentador
Mandíbulas	LHD-Parrilla-Chancador-Correas	Fuera del nivel de producción	Parrilla + Tolva + Alimentador
Sizer MMD 1.150	LHD-Sizer-Correa	Dentro o fuera del nivel de producción	No requiere
Sizer MMD 1.300	LHD-Sizer-Correa	Dentro o fuera del nivel de producción	No requiere

La Tabla 7 muestra que los sizers son más flexibles a los diseños mineros, es decir, se pueden instalar en diferentes ubicaciones según sean los requerimientos de la operación minera en particular, además no requieren equipos adicionales.

Con respecto al análisis cuantitativo, los principales valores obtenidos se muestran en la Tabla 7, en ella se puede notar que si bien los valores de adquisición del chancador sizer son mayores que los convencionales, su costo de instalación en interior de las minas subterráneas es bastante menor, para valores de rendimientos y tamaños de alimentación similares, cabe destacar que este corresponde solo al primer análisis, los valores entregados serán detallados en los capítulos posteriores.

Tabla 8: Análisis cuantitativo.

Chancador	Modelo	Costo chancador MUS\$	Capacidad producción t/hora	Costo instalación en interior mina MUS\$	Tamaño máximo alimentación mm	Tamaño máximo descarga mm
Mandíbulas-giratorio	BK 160-210		1.700	15 (*)	3.300 x 1.600	185
Mandíbulas	Doble toggle 84x66"	1,23	800 a 840	50	1.700 x 2.300	280
Sizer MMD	1150	1,41	1.200	5	1.450 x 1.450	325
Sizer MMD	1300	1,94	1.500	5	1.700 x 1.700	350

(*) Valor de proyecto

CAPITULO IV

PRUEBA INDUSTRIAL EN DIVISIÓN ANDINA (PRIMERA FASE)

4 Prueba industrial División Andina (primera fase)

4.1 Fundamentos prueba industrial División Andina

En base a los antecedentes anteriores, se recomendó realizar una prueba industrial de estos equipos en División Andina, cuyo objetivo principal fue validar su uso con roca primaria. Para ello se debe determinar si a partir de una alimentación con mineral primario preacondicionado, el sizer es capaz de entregar un producto apto y a bajo costo para ser transportado posteriormente en forma continua, mediante el uso de correas transportadoras convencionales.

Un resultado positivo de esta fase de la prueba permitirá incorporar el equipo sizer en los actuales diseños de explotación convencional. En el corto plazo esto representa un importante impacto económico, principalmente por el hecho que, aguas abajo, permite la incorporación de tecnologías alternativas probadas, como correas transportadoras, más eficientes y de menor costo que las que operan actualmente, martillos picadores y transporte con camiones.

Posteriormente, si el resultado de la primera fase descrita es positivo, se pasará a la siguiente etapa, la cual consiste en validar el uso del sizer, para su aplicación en las operaciones mineras que utilizan el método de hundimiento por bloques.

El mercado mundial de proveedores de la tecnología de chancado primario mediante unidades de bajo perfil tipo sizer presenta básicamente una lista de seis empresas fabricantes, una de las cuales, MINING MACHINERY DEVELOPMENTS LTD. (MMD, de UK), lidera el grupo por poseer una considerable ventaja respecto a las demás debido al grado de desarrollo de equipos orientados hacia la trituración de roca dura y competente, (A. Contreras, C. Cerrutti y V. Encina, 2006).

4.2 Preparación primera fase prueba industrial III panel División Andina

4.2.1 Descripción del sector

La primera fase de la prueba industrial se desarrolló en un sector del III panel norte de División Andina y se realizó entre febrero del 2005 y abril del 2006, con una duración total de 15 meses. Este sector cuenta con mineral primario, que presenta grandes colpas en la explotación convencional, ver Figura 32.

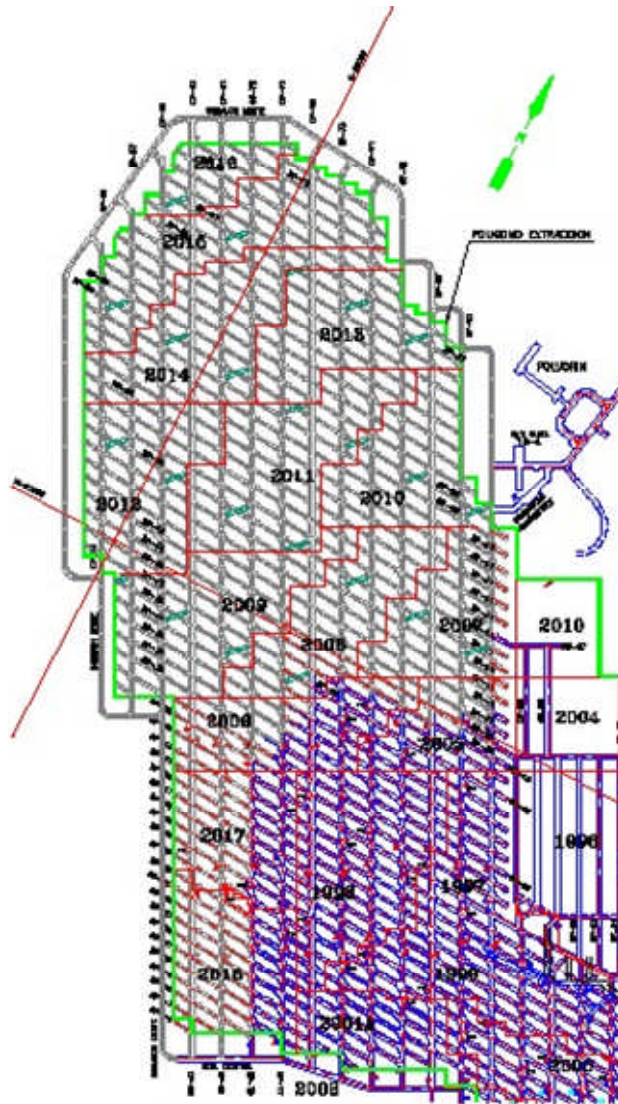


Figura 32: III panel Norte, disposición general.

4.2.2 Criterios de diseño

Dado que la primera fase de la prueba consideró verificar la capacidad del mineral sizer de procesar roca primaria preacondicionada, la ubicación se definió en un sector fuera del área actualmente en explotación, para que la prueba no interfiriera con la producción normal de la mina. Lo que se busca demostrar en esta primera fase es que el sizer es capaz de procesar roca primaria preacondicionada, que puede operar en conjunto con un equipo LHD, sin riesgos para el personal ni los equipos involucrados, que no interfiere la producción normal del III panel de División Andina y que no se modifican sustancialmente los diseños mineros, es decir, que su introducción a la mina no genere interferencias ni excavaciones mayores dentro del nivel de producción. A continuación se describen y analizan cada una de las opciones planteadas.

4.2.3 Opciones propuestas

Dado que no existen aplicaciones de esta tecnología en minería subterránea en Chile, se realizaron variados diseños, tanto respecto a los modelos de sizer a usar, como a la ubicación del equipo.

Lo primero fue definir el equipo adecuado de acuerdo a la granulometría esperada, para esto se evaluaron los siguientes modelos: MMD 1000; MMD 1150; MMD 1300 y MMD 1500. Para todos ellos se analizaron diferentes ubicaciones, tanto dentro del nivel de producción como en los niveles inferiores, como son:

- Sizer dentro de un foso en una calle de producción, sobre un vaciadero LHD, siete alternativas.
- Sizer sobre rieles en una calle de producción, una alternativa.
- Sizer en un nivel inferior, alimentado por dos piques (similar a una cámara de picado), una alternativa.

Los diagramas explicativos de estas alternativas de diseño se muestran en el anexo B.

Estos distintos modelos de sizers y ubicaciones definieron nueve posibles alternativas a evaluar. De estas, finalmente se optó por la número 9, que corresponde a un modelo sizer MMD 1150, instalado en un foso en una calle de producción, sobre un vaciadero LHD. Las razones para ello fueron:

- ✓ El modelo MMD 1150 es el más adecuado para la operación, básicamente por el tamaño esperado de alimentación del mineral preacondicionado (un metro máximo) y porque no requiere grandes excavaciones que signifiquen interferencias mayores con la producción.
- ✓ En cuanto al sector para realizar la prueba industrial, se definió ubicar el sizer en la mitad de la calle 69, sobre el vaciadero del pique de traspaso D69. La razón de ello fue que este se encuentra en un sector agotado, y en caso de falla no interferirá con la producción normal del III panel. Además esta ubicación no modifica los pilares del nivel de producción, dado que solo requiere una excavación al piso de la calle.
- ✓ También se optó por instalar el sizer en un foso, para verificar la operación conjunta de un solo equipo LHD con el sizer, sin necesidad de equipos adicionales.
- ✓ Para la descarga del sizer, solo se requiere un desquinche para la conexión hacia el pique del punto de vaciado.

Ver Figura 33 y Figura 34.

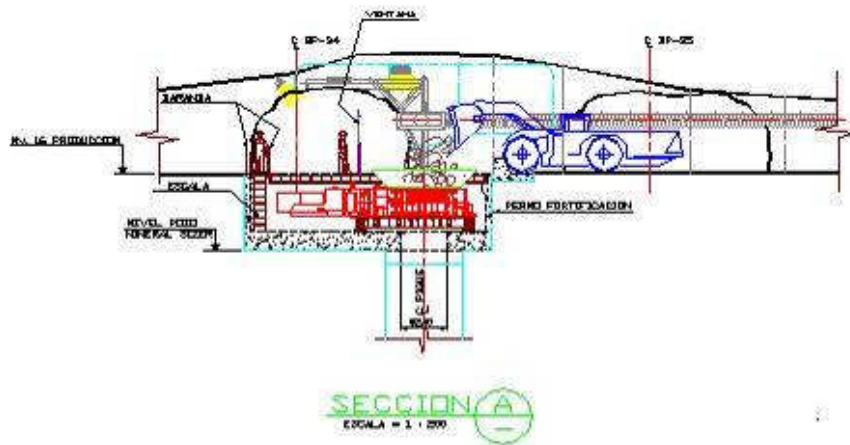


Figura 33: Perfil alternativa 9.

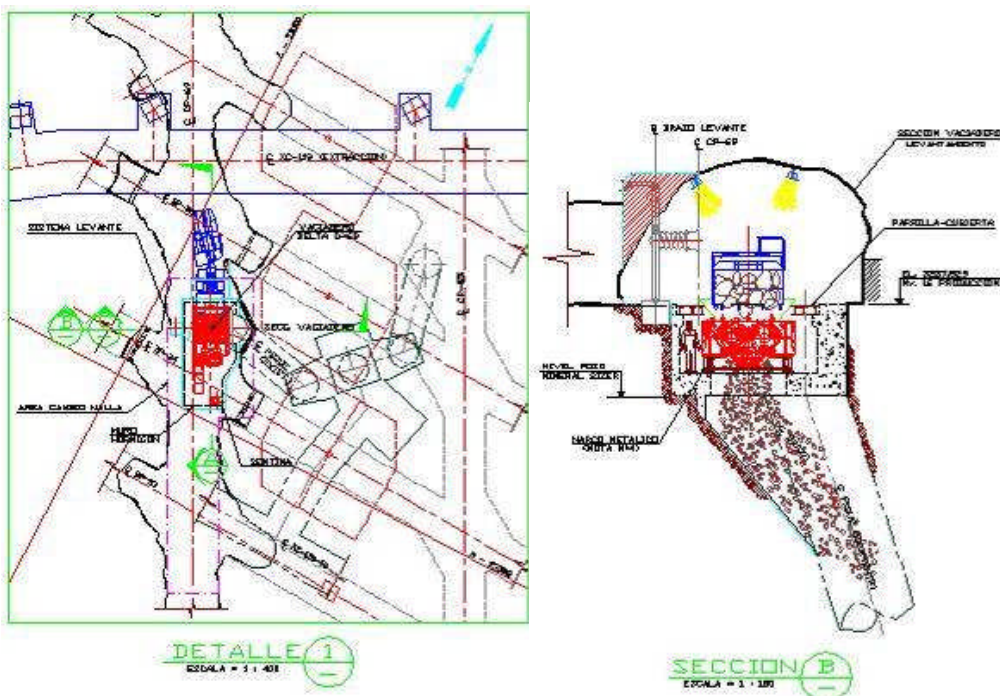


Figura 34: Planta y corte transversal alternativa 9.

Esta fue la configuración usada en la primera fase de la prueba industrial del equipo sizer. A continuación se entregan más detalles de esta primera fase de la prueba industrial y los resultados obtenidos.

4.3 Implementación primera fase prueba industrial

4.3.1 Generalidades

El objetivo específico de esta prueba de validación del sizer, fue verificar su operatividad en un ambiente de roca competente, tal que sustente una futura operación actuando como un equipo minero, es decir operando en una línea de manejo de materiales del método de explotación. De

esta manera, un primer aporte de valor considera la evaluación de reemplazar el conjunto martillo picador y camión, por el conjunto sizer y correa transportadora.

Además la prueba está orientada para evaluar el chancador sizer como equipo minero, del sistema de manejo de materiales de la mina, y no como una alternativa de reemplazo a chancadores primarios, secundarios o terciarios. De esta manera, el objetivo planteado de evaluar las condiciones de operación del chancador en un escenario de roca competente, ello se materializó en el protocolo de acuerdo entre el proveedor MMD y la División Andina.

4.3.2 Características de la prueba

La prueba se realizó en el sector central del III panel del nivel 16 y consistió en instalar el equipo sizer en la calle CP 69, sobre el brazo del pique de traspaso D69. Como se aprecia en las figuras anteriores, el proceso de alimentación de minerales fue realizado por el área de producción del nivel 16, donde se extraía el mineral desde los puntos de extracción con equipos LHD de 7 yd³ y se transportaba y descargaba directamente sobre el sizer.

La disposición del sizer en terreno restringió las posibilidades de alimentación, de tal manera que este pudo ser alimentado sólo por el norte. La razón principal de esto, radicó en la decisión de no realizar nuevas excavaciones tal que disminuyeran la robustez de los pilares, evitando así afectar la estabilidad del sector.

4.3.3 Caracterización del material de alimentación

Las características principales corresponden a material preacondicionado de roca primaria con colpa de tamaño sobre un metro. La litología corresponde a granodiorita río blanco y en menor cantidad brecha magmática. Estas se observa de un color gris a gris negrusco, con tamaños desde 30 cm a 4 m, primando tamaños superiores a 50 cm. Como material de relleno tiene anhidrita y yeso, sellando fracturas y como costras. La mena principal es calcopirita y se presenta diseminada, en cúmulos gruesos y vetillas finas. Algunos atributos de estos materiales se presentan en la Tabla 9.

Además contiene molibdenita en proporciones menores, esta se dispone en vetillas muy finas y en menor cantidad como manchones. Como mineral de ganga existe principalmente pirita que se encuentra tanto en vetillas, como diseminado. La alteración en estas rocas corresponde a sericítica con un efecto moderado y alteración potásica de fuerte a moderada, esta última se evidencia por la presencia de feldespatos potásicos que en algunos casos le entrega una tonalidad rosácea a la roca; existe en cantidad menor biotita secundaria. Se observa también clorita y en menor cantidad epidota.

Tabla 9, Características mineral de alimentación al sizer

Características	Litología Principal	
	Granodiorita Río Blanco	Brecha Magmática
Frecuencia de Vetillas		
Débiles en sondajes	2 a 5	2 a 5
Resistencia en sondajes	0,8	0,8
IRS	125 MPa	155 MPa
FF lineal en galerías	3,1	3,1
RMRL in situ	63	63
FF/m ³ en celdas	3 a 4	3 a 4
Rellenos Discontinuidades	72% yeso-Anh, 20% Cpy-Py, 8% Qz	

Existe una manifestación de humedad en los puntos de las calles 71 y 73 la cual se ha ido incrementando con el tiempo, esta puede ser causada por puntos aledaños los cuales poseen extracción sobre un 100% y la humedad se ha ido filtrando hacia el sur.

4.3.4 Antecedentes del equipo mineral sizer

Las especificaciones generales del equipo sizer, entregadas por su fabricante son:

- Fabricante: MMD Inglaterra.
- Modelo: MMD 1150.
- Costo: 1.100 kUS\$ (2004)
- Tamaño máximo de entrada: 1,45 m (57")
- Tamaño máximo de salida: 0,325 m (13")
- Distancia entre rodillos: 1.150 mm.
- Rendimiento nominal: 1.200 t/hora.
- Voltaje alimentación: 4.160 volt.
- Motor eléctrico: 500 kW.
- Velocidad de rotación rodillos: 24 rpm.

4.3.5 Manejo de materiales primera fase prueba industrial

En esta etapa inicial de la primera fase, denominada "chancabilidad", existían variadas dudas sobre el funcionamiento de los equipos sizer al procesar roca primaria preacondicionada. El equipo se instaló en una zona agotada, alejada de las zonas productivas, para que no interfiriera con la operación normal de la mina. Esto provocó que los LHD debían recorrer largas distancias para alimentar el sizer. La Figura 35 muestra el manejo de materiales durante esta etapa.

También hay que destacar, que para facilitar un poco el traslado de mineral, fue necesario levantar una zanja para permitir el paso de los equipos LHD.

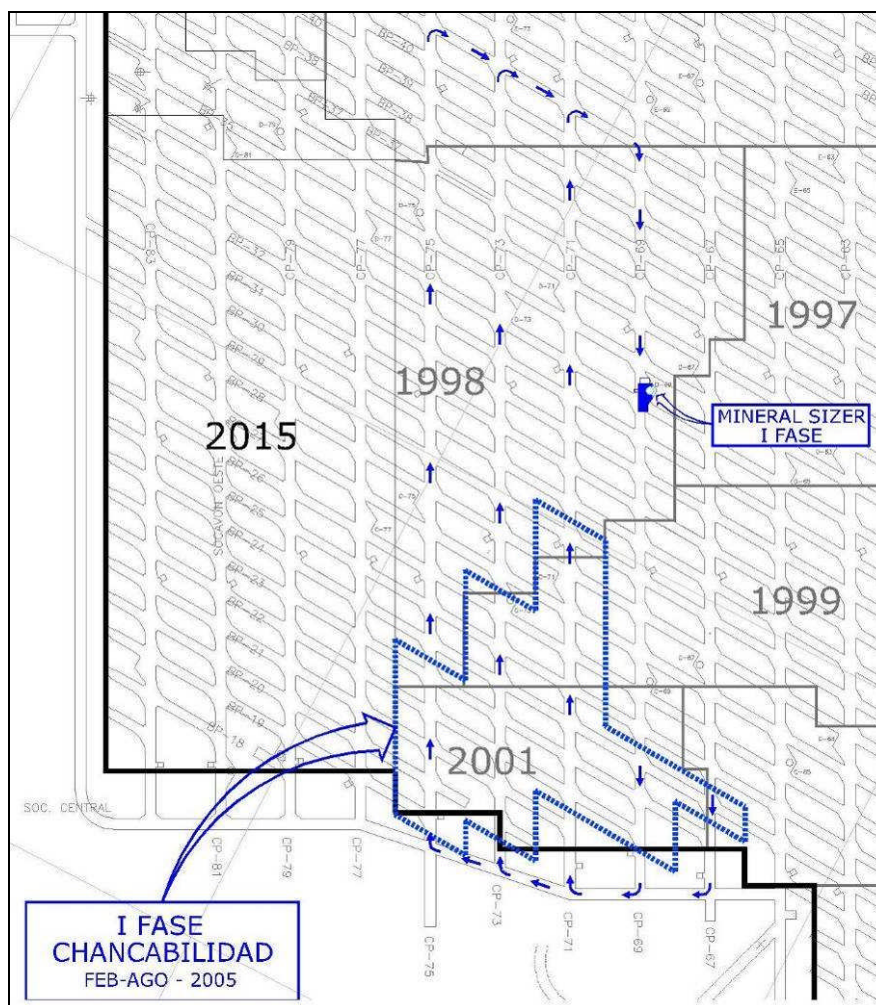


Figura 35: Manejo de materiales al sizer en la primera fase "chancabilidad"

Esta situación se mejoró con el paso del tiempo, dada la entrada en operación de los puntos de extracción ubicados al norte del equipo sizer, esta etapa final de la primera fase, denominada "estandarización", permitió continuar procesando minerales desde zonas más cercanas al equipo. La configuración en esta etapa se muestra en la Figura 36.

El detalle del tonelaje procesado se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Tonelaje procesado I fase prueba industrial.

Mes	Tonelaje	Acumulado
	t	t
Marcha blanca	240	240
feb-05	8.130	8.370
mar-05	4.240	12.610
abr-05	16.665	29.275
may-05	18.657	47.932
jun-05	16.521	64.453
jul-05	34.080	98.533
ago-05	19.420	117.953
sep-05	5.710	123.663
oct-05	14.030	137.693
nov-05	19.310	157.003
dic-05	17.600	174.603
ene-06	6.930	181.533
feb-06	14.770	196.303
mar-06	22.550	218.853
abr-06	16.010	234.863
Promedio	t/mes	15.658

Este tonelaje se considera bajo para la capacidad de procesamiento del sizer, alcanzándose un valor inferior a 16 kt/mes en los 15 meses de la prueba. Por esto, es necesario someter este equipo a mayores tasas de alimentación de mineral.

Con respecto al rendimiento instantáneo del sizer, el proveedor entregó valores nominales de 1.200 t/hora. Los valores medidos durante la prueba industrial alcanzan a casi 1.800 t/hora. Esto muestra que el equipo tiene alta capacidad de procesar minerales duros y abrasivos. La Tabla 12 muestra el detalle obtenido en los 15 meses de la prueba.

Tabla 12: Rendimientos instantáneos primera fase.

MES	TIEMPO DE OPERACIÓN		TONELAJE	RENDIMIENTO INSTANTÁNEO
	EFFECTIVAS	VACIO		
	horas	horas	toneladas	t/hora
Marcha blanca	0,12		240	2.000
feb-05	6,90	108,02	8.130	1.178
mar-05	3,30	73,13	4.240	1.285
abr-05	13,51	176,02	16.665	1.234
may-05	11,48	171,92	18.657	1.625
jun-05	7,74	92,75	16.521	2.134
jul-05	15,37	159,04	34.080	2.217
ago-05	10,93	93,61	19.420	1.777
sep-05	3,21	24,80	5.710	1.779
oct-05	8,04	67,35	14.030	1.745
nov-05	9,60	96,44	19.310	2.011
dic-05	9,67	83,32	17.600	1.820
ene-06	4,34	35,63	6.930	1.597
feb-06	6,49	66,64	14.770	2.276
mar-06	11,48	106,60	22.550	1.964
abr-06	8,51	74,75	16.010	1.882
Acumulado	131	1.430	234.863	1.797

Otro aspecto analizado es la disponibilidad del equipo, el sizer mostró valores altos, del orden del 88%, las mantenciones requeridas apuntan solo a cambios en los elementos de desgaste (tips y coronas principalmente). Los tiempos que demoraban estas actividades fueron reduciéndose con el tiempo, mientras mejoraba el conocimiento de los mecánicos en este tipo de equipos. La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 13: Disponibilidad y utilización sizer primera fase.

MES	TIEMPO OPERACIÓN		COLACIÓN	RESERVA	MANTENCIÓN	REPARACIÓN	TOTAL	DM	UE
	EFFECTIVAS	VACIO							
	horas	horas	horas	horas	horas	horas	horas	%	%
Marcha blanca	0,12								
feb-05	6,90	108,02	28,00	174,77	14,00	4,31	336	94,6%	6,0%
mar-05	3,30	73,13	62,00	595,07	10,50	0,00	744	98,6%	4,3%
abr-05	13,51	176,02	59,45	418,41	27,86	24,75	720	92,7%	7,1%
may-05	11,48	171,92	56,00	453,45	51,15	0,00	744	93,1%	6,3%
jun-05	7,74	92,75	34,00	527,01	58,50	0,00	720	91,9%	7,7%
jul-05	15,37	159,04	60,00	444,45	39,50	25,64	744	91,2%	8,8%
ago-05	10,93	93,61	51,00	476,14	108,32	4,00	744	84,9%	10,5%
sep-05	3,21	24,80	24,00	409,14	90,85	0,00	552	83,5%	11,5%
oct-05	8,04	67,35	62,00	474,99	120,62	11,00	744	82,3%	10,7%
nov-05	9,60	96,44	59,00	397,61	12,50	144,85	720	78,1%	9,1%
dic-05	9,67	83,32	61,00	502,51	68,50	19,00	744	88,2%	10,4%
ene-06	4,34	35,63	58,00	570,03	38,00	38,00	744	89,8%	10,9%
feb-06	6,49	66,64	56,00	326,71	56,00	160,16	672	67,8%	8,9%
mar-06	11,48	106,60	62,00	467,27	96,65	0,00	744	87,0%	9,7%
abr-06	8,51	74,75	60,00	570,96	4,00	0,00	718	99,4%	10,2%
Acumulado	131	1.430	792	6.809	797	432	10.390	88,2%	8,4%

Un punto importante a destacar constituye la utilización del sizer, que alcanzó solo un 8,4%, este valor se explica en parte por lo alejado de los puntos de extracción con que era alimentado y a la baja tasa mensual que resultó de la prueba (16 kt/mes).

En base a los datos anteriores anteriores, se puede comentar que:

- ✓ Costo operación directo: El resultado de la prueba es 0,267 US\$/t. Valor que se mantiene bajo el valor programado de 0,347 US\$/t.
- ✓ Proyección de costos: En función a los resultados obtenidos en el ejercicio de validación y en base a otros antecedentes recopilados de otras faenas mineras e información aportada por el fabricante, acerca de componentes del equipo con vida útil mayor al alcance de la prueba entrega un costo de 0,300 US\$/t. El valor anterior, al ser sensibilizado con un ejercicio de dotación de personal más probable, se reduce a 0,214 US\$/t.
- ✓ Tonelaje tratado: Se procesó un total de 235 kt de roca primaria competente y abrasiva.
- ✓ Granulometría: El D80 total de alimentación fue 1.073 mm y el P80 total del producto fue de 214 mm, con esto, la razón de reducción D80 v/s P80 alcanza a cinco veces, el tamaño mayor alimentado fue de 2.269 mm, mientras que el tamaño mayor del producto fue de 374 mm.
- ✓ Rendimiento instantáneo: El valor promedio durante la prueba fue 1.797 t/hora. El mayor rendimiento instantáneo medido alcanzó 2.276 t/hora.
- ✓ La disponibilidad del equipo sizer alcanzó un valor de 88,2%, con una utilización del 8,4%.
- ✓ Esta baja utilización del sizer se explica por lo alejado de los puntos de extracción, de donde se extraía mineral para alimentarlo, esto produce altos tiempos de ciclo y una baja productividad de los equipos LHD.

- ✓ Las condiciones ambientales evaluadas, referidas a la concentración de polvo respirable, se puede concluir preliminarmente que se encuentran sobre el valor de referencia de 0,5 mg/m³, lo que significa que la futura aplicación industrial del equipo debe considerar un diseño adecuado para el sistema de extracción de polvo.
- ✓ Control de riesgos: No se registraron incidentes ni daños.

4.4 Productividad equipo LHD y sizer

En función a estos resultados, se hace un análisis de la productividad del equipo LHD trabajando en conjunto con el sizer, este análisis se hace en base al caso base de División Andina, que muestra que los equipos LHD trabajando en condiciones normales tienen una productividad media de casi 300 t/hora, para una distancia media de transporte de 50 m. En base a esto si analizamos estos datos con los obtenidos en ambas etapas de esta primera fase "chancabilidad" y "estandarización", obtenemos los resultados mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14: Productividad del equipo LHD en operando en conjunto con el sizer.

I FASE PRUEBA INDUSTRIAL ANDINA

Febrero 2005 a Abril 2007

Rendimiento LHD 7,5 yd³				
Parámetros e Indicadores LHD	Unid	Caso base	Chancabilidad	Estandarización
Volumen	yd ³	7,5	7,5	7,5
Factor de conversión volumen	m ³ /yd ³	0,765	0,765	0,765
Factor de llenado	-	0,9	0,9	0,9
densidad aparente	t/m ³	1,65	1,65	1,65
Capacidad	t	8,5	8,5	8,5
Velocidad cargado	km/hr	8	8	8
Velocidad vacío	km/hr	10	10	10
Tiempo de carga	seg	31	31	31
Tiempo descarga	seg	15	15	15
Distancia media	metros	50	540	100
Tiempo de viaje	seg	41	437	81
Ciclo sin pérdidas	seg	87	483	127
Perdidas	seg	16	16	17
Total ciclo LHD	seg	103	500	144
Rendimiento LHD	t/hr	298	61	213
Rendimiento instantáneo sizer	t/hr		1.797	1.797
Utilización LHD/Mineral sizer	t/hr		3,4%	11,8%
			Utilización media	7,6%
Tonelaje procesado	toneladas		117.953	116.910

De esto se desprende que la distancia de acarreo del LHD en la etapa "chancabilidad" fue excesiva, con tiempos de ciclo de 500 segundos (8,3 minutos), lo que provoca una baja productividad del equipo LHD, del orden de 60 t/hora y una utilización del sizer del 3,4%.

Si bien esto mejoró en la etapa de "estandarización", donde el tiempo de ciclo se reduce a 144 segundos (2,4 minutos), generando una productividad del equipo LHD, de 213 t/hora y por ende un aumento en la utilización del sizer a 11,8%.

Si se analizan estos valores para las dos etapas constitutivas de la primera fase de la prueba industrial, se obtienen valores de 7,6% de utilización del equipo, valores similares al 8,4% indicado en la Tabla 13.

4.5 Conclusiones y recomendaciones primera fase prueba industrial

4.5.1 Conclusiones primera fase prueba industrial

Las principales conclusiones de esta fase fueron:

- ✓ El equipo sizer demostró ser apto para chancar rocas de alta competencia y abrasividad, cabe destacar, que todo el mineral alimentado al equipo fue procesado, incluyendo tamaños superiores a los teóricamente aceptados por este, sin presentar algún rechazo.
- ✓ Respecto a los parámetros claves de operación, como son la productividad, granulometría del producto, costos y disponibilidad, muestra resultados superiores a los rangos esperados y con tendencia a ser mejores.
- ✓ También se verificó que el conjunto, chancador sizer alimentado con un equipo LHD, opera en buena forma, esto augura una validación positiva en el ámbito de su uso industrial. Acá es necesario destacar que de acuerdo a otras experiencias recopiladas, estos equipos generalmente son alimentados por apron feeder.
- ✓ El equipo no presentó daño o ruptura de alguna de sus partes. Las piezas principales expuestas a golpes y fricción, como base de los dientes, laterales y barra rompedora, presentan un desgaste menor que el esperado
- ✓ Solo las puntas de dientes o tips presentan desgaste, esto de acuerdo al fin para el cual han sido diseñadas. Cabe notar que hacia el final de la prueba, este desgaste se observó más parejo y con tendencia clara a disminuir. Esto como resultado de las acciones de control para evitar sobretamaños en alimentación.
- ✓ Por último, se puede decir de acuerdo a los resultados obtenidos, que la productividad del sizer está directamente relacionada con la tasa de alimentación que sea capaz de dar el equipo LHD, en ambas etapas, el sizer estuvo muy alejado de los puntos de extracción en producción, lo que produjo altos tiempos de ciclos de los LHD y consecuentemente baja productividad, por esto el sizer alcanza utilidades bajas, menores al 10%, las que deben ir aumentando si mejora la productividad del equipo LHD.

4.5.2 Recomendaciones primera fase

Las principales recomendaciones fueron:

- ✓ Los resultados obtenidos permitieron sustentar positivamente la decisión de compra del sizer.
- ✓ Se deben aprovechar los espacios de mejoramiento en el control de desgaste de los tips, para ello se sugiere continuar probando distintos materiales.
- ✓ Se recomienda instalar el equipo sizer en un sector en producción, para someterlo a mayores tasas de alimentación, ojala con dos o más equipos LHD y verificar su comportamiento en ese escenario.

Por esto se recomienda continuar con la ejecución de la segunda fase del proyecto.

CAPITULO V

PRUEBA INDUSTRIAL DIVISIÓN ANDINA (SEGUNDA FASE)

5 Prueba industrial División Andina (segunda fase)

5.1 Preparación segunda fase prueba industrial III panel División Andina

La minería subterránea con mineral primario, considera incorporar los sizer en el método actual de explotación, los beneficios generales esperados que sustentan avanzar con esta etapa del proyecto son que el sizer produce la reducción temprana del mineral, en el mismo nivel de producción y acepta tamaños de colpas o rocas mayores que las parrillas de los puntos de vaciado, lo que podría disminuir los requerimientos de reducción secundaria y las interferencias en el manejo de materiales, esto permitiría eliminar el nivel de reducción. Además, la descarga del sizer produce rocas de menor tamaño que la minería convencional, lo que mejora el flujo dentro del pique, reduciendo las trancas de mineral, también los piques se podrían reducir de diámetro, de 3 a 2 m, se podrían utilizar buzones secundarios en reemplazo de los primarios y permitiría reemplazar los camiones por correas transportadoras. Todo esto se puede lograr en un espacio reducido, sin las grandes excavaciones que requieren los chancadores convencionales.

5.2 Criterios de diseño

Los criterios de diseño planteados son no vulnerar condiciones generales de planificación, diseño y operación estándar del método. Para ello todas las opciones a desarrollar deben privilegiar adaptarse al contexto de lo existente en la mina, buscando la menor interferencia operacional, en los desarrollos y alteración de la infraestructura (menos excavaciones y desquiches). Por esto, se definió continuar con el equipo sizer dentro del nivel de producción, que es donde el equipo debiera entregar los mayores beneficios, también soluciones de apoyo como ventilación, drenaje, iluminación, alimentación eléctrica, de seguridad, monitoreo y telecomando, deben ser desarrolladas en las etapas posteriores de ingeniería para la opción elegida. Se mantiene que el mineral de alimentación al sizer debe ser primario preacondicionado.

A continuación se describen y analizan cada una de las opciones planteadas.

5.3 Opciones propuestas

Preliminarmente se propuso diseños a nivel perfil conceptual de cuatro alternativas generales, que fundamentalmente dependen del lugar donde se ubica el sizer y corresponden a instalarlo sobre un vaciadero LHD, dentro de un punto de extracción, en la mitad de un cruzado zanja o en una calle de producción.

El diseño conceptual de cada una de ellas se muestra en el anexo C y se resumen en la Tabla 15.

Tabla 15: Opciones propuestas segunda fase sizer.

ALT.	UBICACIÓN SIZER	ALIMENTACIÓN POSIBLE	COSTO ESTIMADO US\$
1	Sizer a nivel de piso sobre vaciadero LHD	Dos LHD de 7 yd ³	107.889
2.1	Sizer en cruzado zanja a nivel de piso	Dos LHD de 7 yd ³	113.634
2.2	Sizer a nivel de piso en cruzado zanja con alimentador para descarga sobre el motor	Dos LHD de 7 yd ³	135.592
2.3	Sizer a nivel de piso en cruzado zanja con estructura metálica para descarga sobre el motor	Dos LHD de 7 yd ³	124.758
3	Sizer a nivel de piso en punto de extracción	Tres LHD de 7 yd ³	129.909
4.1	Sizer en pozo en calle de producción	Dos LHD de 7 yd ³	127.916
4.2	Sizer en pozo en cruzado zanja	Dos LHD de 7 yd ³	133.122

El costo estimado incluye solo las excavaciones (pozo, desquinches y/o levantes de techo), construcciones y equipos o estructuras adicionales, no considera el costo de adquisición del sizer.

5.4 Parámetros para la matriz de decisión

Para la elección de la mejor alternativa se definieron los siguientes parámetros a evaluar, identificando fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada una de las opciones, ver Tabla 16.

Tabla 16: Parámetros a evaluar definición ubicación sizer.

TÉCNICAS	
Sencillez del sistema	Facilidad de instalación
	Cantidad de componentes
	Armonía del diseño
Geomecánico	Desquinches caja/piso/techo
	Estabilidad de los pilares
Operacionales	Alimentación posible
	Operación conjunta LHD - sizer
	Cobertura de puntos de tiraje
Mantenimiento	Facilidades para mantenimiento
ECONÓMICAS	Inversión
	Costo de operación
	Requerimiento flota sizer

En función de estos parámetros se definió la mejor opción para el desarrollo de la segunda fase de la prueba industrial.

5.5 Comentarios opciones analizadas

De la matriz de evaluación se definieron las mejores alternativas para el desarrollo de la segunda fase de la prueba industrial, los resultados de esta fueron: La opción 3, sizer en el punto de extracción, y la 4.1 y 4.2, sizer en pozo representan la mejor evaluación, por esto se determina avanzar con el desarrollo de ingeniería conceptual de estas opciones para tomar decisión final de la segunda fase de la prueba industrial, los principales aspectos a desarrollar

son complementar los diseños y revisar el efecto en la estabilidad del sector al dejar 1/2 ó una zanja sin hundir.

5.6 Diseños mineros segunda fase prueba industrial

Finalmente, de todas las opciones evaluadas, finalmente se optó por la número 4.2, es decir el sizer instalado en un pozo en la mitad de una zanja que se deja sin hundir. Los principales fundamentos para ello fueron: No interfiere ninguna calle de producción, dejando libre tránsito para los LHD, permite la alimentación desde dos calles contiguas, es decir, será posible alimentar al equipo a mayores tasas, verificando su comportamiento en esta nueva configuración. En cuanto al sector, se define instalarlo dentro de un área productiva, es decir, que cuente con mineral de puntos de extracción de los cuales se está comenzando su tiraje, también se continúa con el sizer instalado en un foso, en el lado del motor habrá que construir una estructura metálica que permita el paso del equipo LHD por ese lado y se verificará la operación conjunta del sizer, esta vez al ser alimentado por dos equipos LHD.

La Figura 37 y la Figura 38 muestran el diseño establecido para la segunda fase.

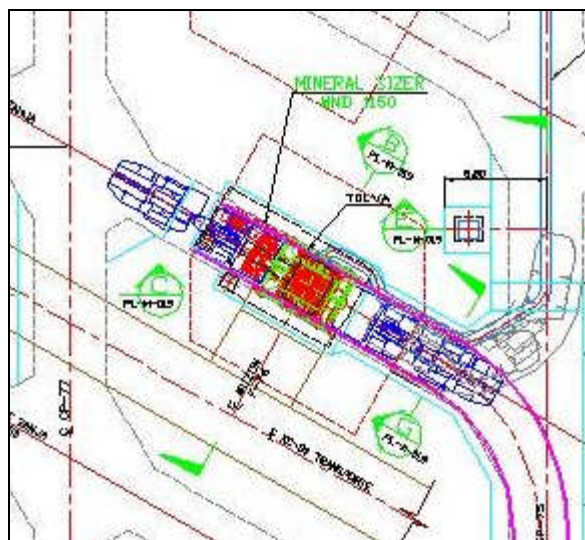


Figura 37: Opción 4.2, planta sizer en pozo en una zanja.

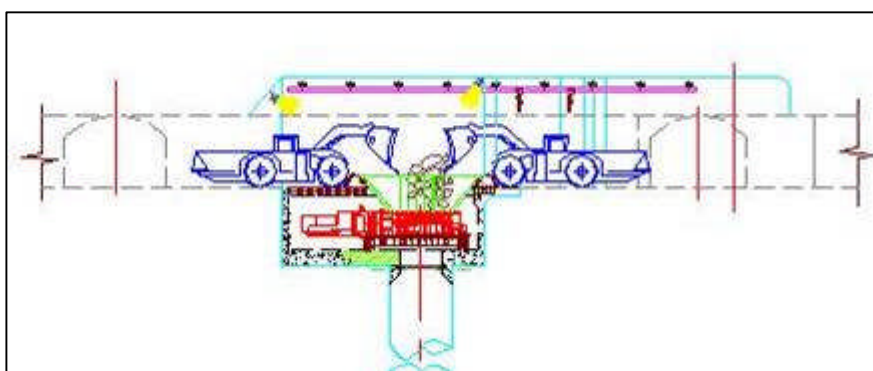


Figura 38: Opción 4.2, perfil sizer en pozo en una zanja.

A continuación se entregan más detalles de esta segunda fase de la prueba industrial y los resultados obtenidos.

5.7 Manejo de materiales segunda fase prueba industrial

En esta fase, la idea era que el equipo fuera sometido a mayores tasas de alimentación, por esto se instaló en la mitad una zanja que se dejó sin hundir, en reemplazo de los dos vaciaderos Fernanda, para tener la posibilidad de alimentarlo por dos calles contiguas, a altas tasas, con el equipo sizer bajo zona hundida. La Figura 39 muestra la condición de diseño esperada.

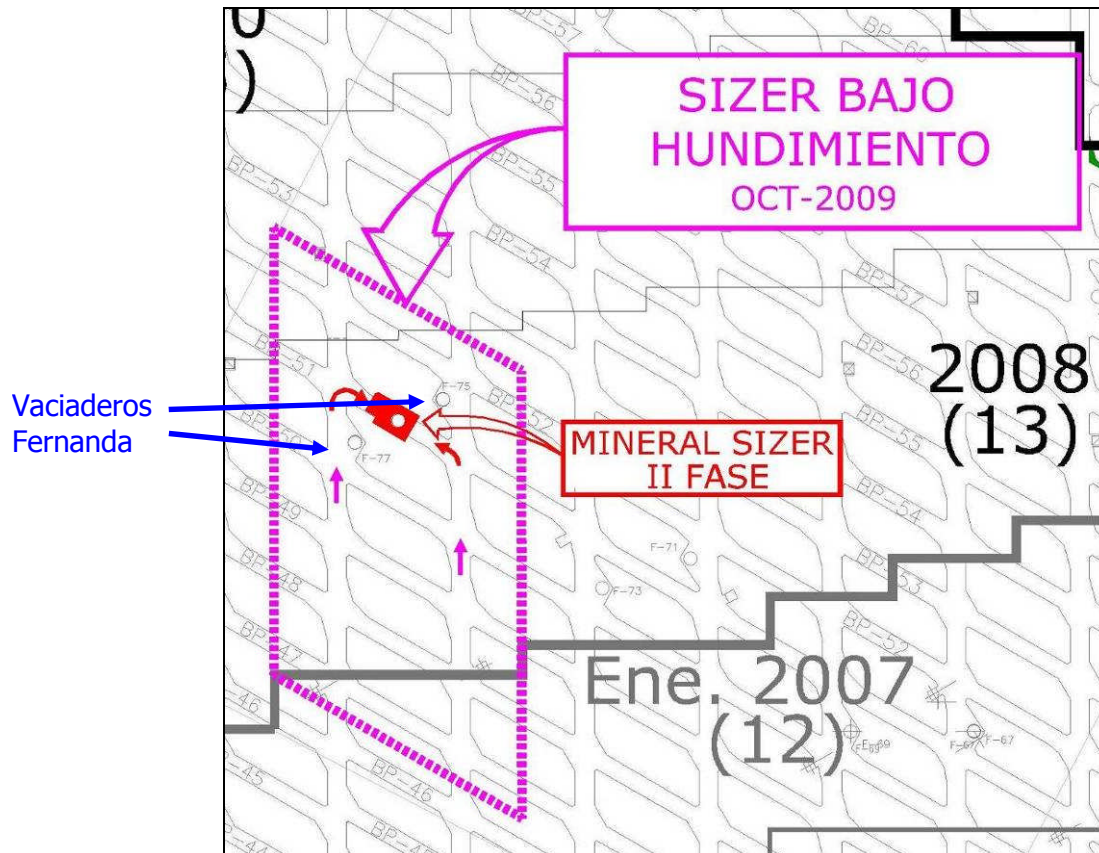


Figura 39: Condición de diseño proyectada de la segunda fase prueba industrial (sizer bajo hundimiento).

Lamentablemente, por problemas de atrasos del hundimiento, esta condición no se completó en el período de tiempo que duró esta etapa, lo que aumentó los tiempos de ciclos de los equipos LHD. La Figura 40 muestra la zona de explotación y el manejo de materiales al sizer durante la segunda fase.

La Figura 41 y la Figura 42 muestran un esquema del módulo de operación de la segunda fase.



Figura 41: Módulo de operación segunda fase, vista en planta.

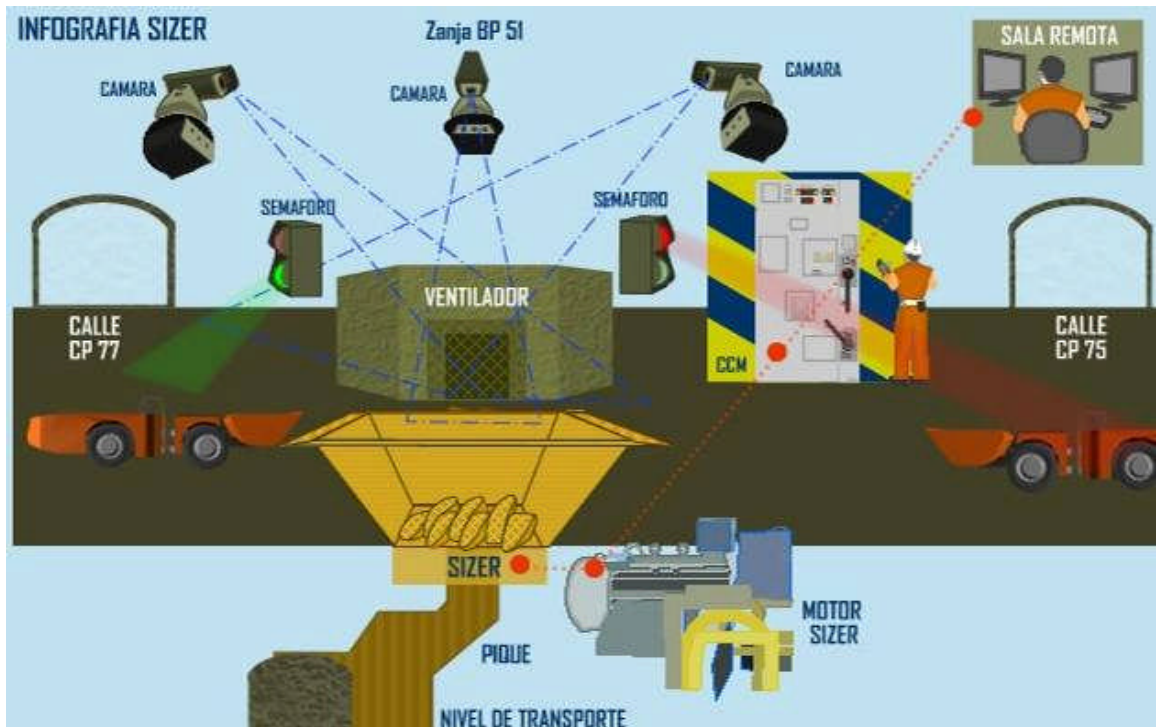


Figura 42: Infografía módulo de operación segunda fase.

En la Figura 42 se observa de manera esquemática los complementos incluidos en esta fase y la disposición de cada uno de ellos.

La segunda fase de prueba duró un total de 9 meses y sus resultados se muestran a continuación.

5.9 Resultados protocolo de aceptación segunda fase prueba industrial

Si bien el sizer no estaba de acuerdo a la condición de diseño, es decir, bajo zona hundida, los resultados del protocolo de aceptación de la segunda fase se muestran en la Tabla 17, con cada una de las variables a verificar.

Tabla 17: Protocolo segunda fase prueba industrial, (P. Fuenzalida y M. Escudero, 2008).

ELEMENTOS A VERIFICAR	CRITERIO	VALIDACIÓN	ESTADO ACTUAL/VALOR MEDIDO
Viabilidad de ser alimentado por dos palas	Pueden operar dos palas, una por cada calle	Verificación en al menos 10 turnos	OK, se realiza la operación sin inconvenientes.
Productividad del módulo	El Mineral Sizer operando en conjunto con dos palas	Al menos 400 t/hora	OK, se alcanza en 19 ocasiones, el promedio es de 309 t/hr.
Disponibilidad mecánica (DM)	Optimizar el sistema de mantención	DM mantenciones >= 80%	OK, Acumulado 81%
		DM Global >= 70%	OK, Acumulado 72,3%
Mejoras en Nivel 17	Menor tiempo de carguo camión por buzón F-76 (TCCF76)	TCCF76 <= TCC (Otros buzones)	OK, Buzón F 76 (Sizer) = 0,47 minutos < Promedio 4 Buzones cercanos = 0,67 minutos
	Menor número de eventos de destranque en pique y buzón F-76 (NEDF76)	NEDF76 <= NED (Otros buzones)	OK, No se registraron eventos de destranque en buzón del Sizer, si en los buzones cercanos.
Costo de operación (CO)	Menor reducción secundaria	Disminución de los eventos de reducción secundaria	OK, Reducción de un 25% a 15%
	Costo operación Mineral Sizer (COMS)	COMS <= 0,347 US\$/t	OK, Acumulado 0,284 US\$/t
Movilidad y reposicionamiento dentro del pozo	Comprobar movilidad del Mineral Sizer	Desplazar el Mineral Sizer completo (sin motor ni caja reductora), desde el fondo del pozo al piso de la calle de producción	Por indicaciones de División Andina no se realizó
Toneladas a procesar	Duración 9 meses (septiembre/07 a mayo/08)	200,000 toneladas	OK, 290.372 toneladas (31 mayo 2008)

En relación a estos resultados, se concluye que el sizer MMD 1150, cumplió con el protocolo establecido, con esto se demuestra que es factible operar estos equipos en un contexto de minería subterránea, sometido a un sistema de alimentación con dos equipos LHD de producción, operando simultáneamente. Al 31 de Mayo del 2008, el sizer había procesado 525 kt, incluidas ambas fases.

Con respecto a la granulometría de descarga, en la segunda fase no se tomaron valores al respecto, por lo que se mantienen los datos informados en la primera fase.

5.9.1 Costo de operación sizer

Los costos de operación del sizer en dólares por tonelada tratada tienen las consideraciones siguientes:

- Los costos incluyen: mano de obra (operación y mantención), energía consumida, lubricantes y elementos de desgaste.
- Mano de obra considera el mismo requerimiento programado, como criterio conservador, y corresponde al valor considerado en la primera fase (0,185 US\$/t).
- El costo de la energía necesaria para chancar se calcula en base a la potencia disponible (400 kW), multiplicado por las horas que efectivamente está chancando y por el costo de energía de 0,039699 US\$/kWh, todo esto dividido por el tonelaje del mes.

- En el caso que el chancador sizer esté operando en vacío, el costo de la energía se calcula multiplicando las horas de operación por el voltaje en media tensión (4160 volt), por la intensidad de corriente (25 A), por $\sqrt{3}$, por $\cos(\varphi)$ y por el costo de la energía.
- Los precios de los elementos de desgaste se mantuvieron los mismos de la primera fase.
- Los lubricantes se estimaron como un 10% de la energía consumida.

Tabla 18: Resumen costo de operación sizer MMD 1150.

MES	TONELAJE MENSUAL	MANO DE OBRA	ENERGIA	ELEMENTOS DESGASTE	LUBRICANTES	TOTAL MENSUAL	COSTO ACUMULADO
	toneladas	US\$/t	US\$/t	US\$/t	US\$/t	US\$/t	US\$/t
sep-07	7.183	0,185	0,033	0,000	0,003	0,222	0,222
oct-07	28.773	0,185	0,041	0,031	0,004	0,261	0,253
nov-07	40.984	0,185	0,032	0,064	0,003	0,284	0,270
dic-07	28.597	0,185	0,034	0,099	0,003	0,322	0,284
ene-08	34.811	0,185	0,033	0,129	0,003	0,350	0,300
feb-08	51.539	0,185	0,028	0,062	0,003	0,278	0,294
mar-08	53.552	0,185	0,027	0,064	0,002	0,279	0,291
abr-08	25.837	0,185	0,026	0,016	0,002	0,229	0,285
may-08	19.056	0,185	0,033	0,042	0,003	0,263	0,284
Fase I	0,266	US\$/t			Fase II	0,284	US\$/t

A continuación se muestra el detalle del costo de operación, donde la mano de obra y los elementos de desgaste son los que tienen la mayor incidencia.

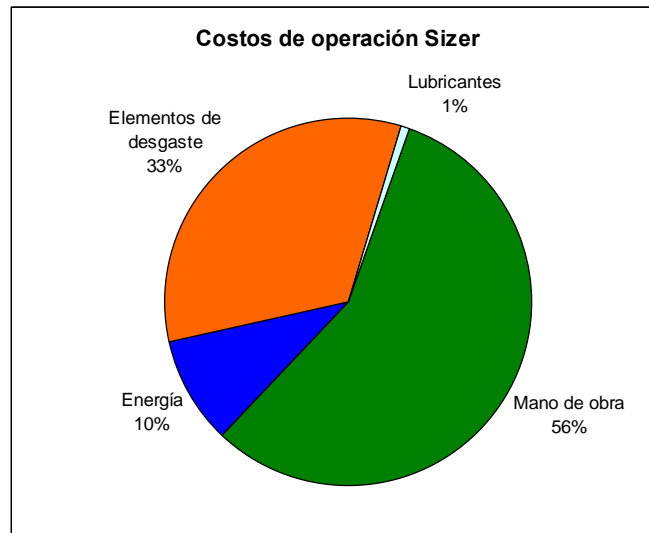


Figura 43: Porcentaje de participación en costos de operación.

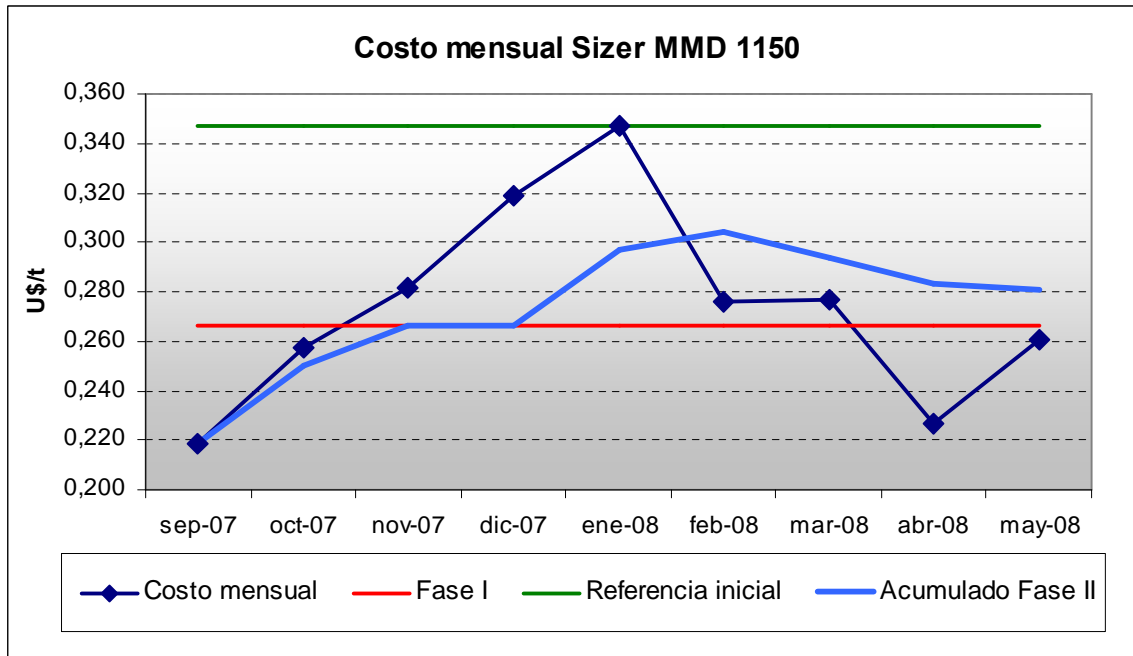


Figura 44: Costos mensuales de operación segunda fase.

5.9.2 Reducción secundaria

En la operación actual, las parrillas de los puntos de vaciado en el nivel de producción tienen dos vigas en forma de cruz, para el control de sobretamaño en los piques de traspaso. Por esto, las rocas mayores a 1 m deben ser separadas para la reducción secundaria. En la eventualidad que queden atrapadas en la parrilla, opera un martillo picador móvil que las reduce en ese mismo lugar.

El material extraído de las calles CP75 y CP77, y que van a dar al sizer, superan en tamaño al de las calles cercanas. Esto se demuestra con registros de los puntos de extracción tomados desde diciembre del 2007 y la construcción a partir de estos de las curvas granulométricas promedio de las calles que alimentan al sizer y el resto de las calles del III panel de Andina.

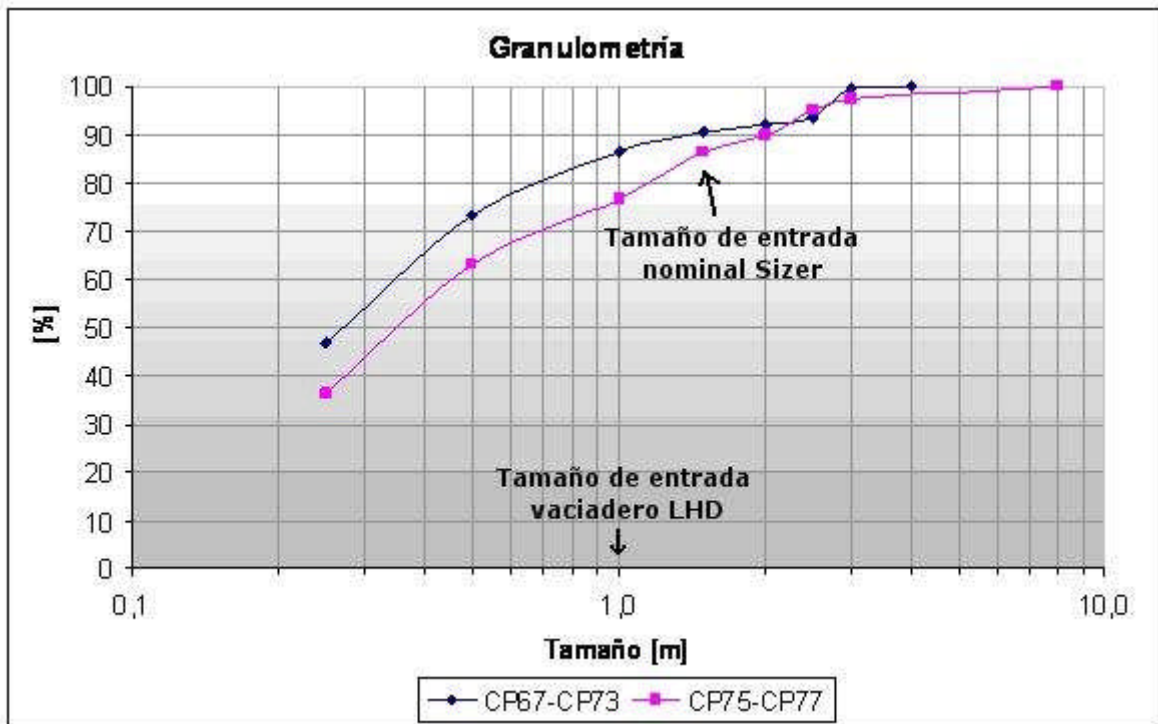


Figura 45: Curvas granulométricas promedio tercer panel División Andina.

Del gráfico anterior se observa que no es comparable el número de eventos de reducción secundaria entre las calles asociadas al sizer con el resto de la mina, ya que el tamaño del material es superior, y por ende tiene un mayor número de estos eventos.

Realizando un análisis teórico de este gráfico vemos que si se estuviera utilizando la minería convencional en calles CP75 y CP77 se tendría que reducir un 25% del material, ya que el sistema de parrillas permite tamaños por debajo del metro de diámetro. Al utilizar el sizer este valor se reduce de un 25% al 15%. Este porcentaje estimado es conservador y menor al real, ya que en la práctica el equipo sizer está procesando tamaños superiores al de diseño (más de 2 m), tal como se aprecia en la Figura 46 y en la Figura 47, para dos fechas distintas de extracción.

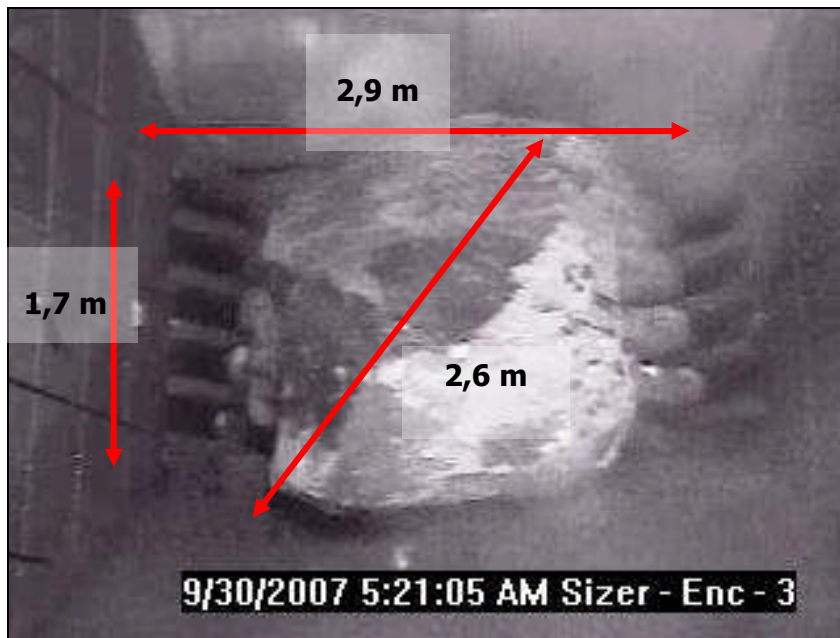


Figura 46: Roca de sobretamaño triturada por el chancador sizer.

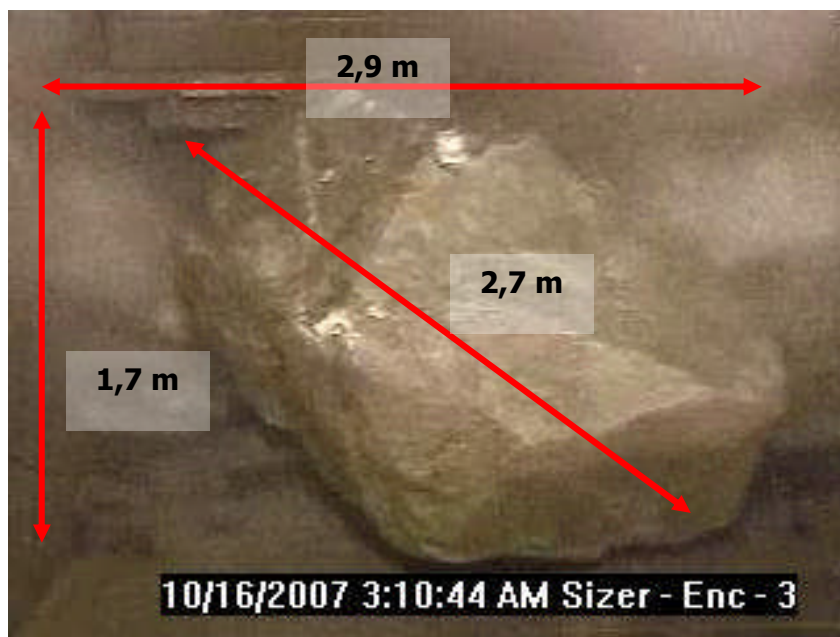


Figura 47: Roca de sobretamaño triturada por el chancador sizer.

5.9.3 Tonelaje acumulado

A continuación se resumen los tonelajes de la segunda fase de la prueba industrial. En total el sizer procesó 290 kt, ver Tabla 19.

Tabla 19. Resumen tonelajes cumplidos y programados.

Mes	Tonelaje	Acumulado
	t	t
Marcha blanca	51	51
sep-07	7.183	7.234
oct-07	28.773	36.007
nov-07	40.984	76.991
dic-07	28.587	105.578
ene-08	34.811	140.389
feb-08	51.539	191.928
mar-08	53.552	245.480
abr-08	25.837	271.316
may-08	19.056	290.372
Promedio	t/mes	32.264

Si bien la tasa mensual promedio se ha duplicado con respecto a la primera fase, pasando de 16 a 32 kt/mes, el sizer aún muestra posibilidades de trabajar a mayores tasas de alimentación, tal como sucedió en el mes de marzo, cuando se procesaron 54 kt/mes.

5.10 Disponibilidad mecánica y utilización

Con respecto a la disponibilidad, si bien los valores obtenidos son más bajos que en la primera fase, el sizer continúa mostrando valores aceptables, del orden de un 72%, también los tiempos de cambios de elementos de desgaste se han reducido dada la experiencia adquirida, la Tabla 20 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 20: Disponibilidad y utilización sizer segunda fase.

MES	TIEMPO DE OPERACION			RESERVA	MANTENCIÓN	REPARACIÓN	TOTAL	DM	UE
	EFFECTIVAS	VACIO	ATOLLOS						
	horas	horas	horas	horas	horas	horas	horas	%	%
Fase I	130,7	1430,0		7601,0	797,0	431,7	10390	88,2%	8,4%
sep-07	4,2	27,6	2,4	196,3	53,5	0,0	284	81,2%	12,4%
oct-07	25,4	125,4	3,2	261,8	198,8	42,6	657	63,3%	16,5%
nov-07	25,0	146,4	1,3	306,1	127,3	23,9	720	79,0%	14,5%
dic-07	18,4	111,2	3,0	417,4	117,8	76,1	744	73,9%	13,9%
ene-08	22,9	125,7	1,5	413,0	127,5	45,2	736	76,5%	15,3%
feb-08	31,3	155,4	1,1	368,0	110,8	29,4	696	79,9%	16,6%
mar-08	31,7	154,1	0,6	264,8	192,3	100,3	744	60,7%	17,0%
abr-08	13,7	71,4	0,6	496,6	32,8	104,9	720	80,9%	15,9%
may-08	9,5	77,2	0,5	362,9	186,5	107,1	744	60,5%	10,9%
Acumulado II fase	182	994	14	3.087	1.147	530	6.044	72,3%	15,3%

Tabla 21: Comparación disponibilidad primera y segunda fase.

	Operación	Mant & rep	Totales	Horas operación/horas totales	Horas mant & rep/horas totales	DM	Tonelaje
Fase	Horas	Horas	Horas	%	%	%	procesado kt
Primera	1.561	1.229	10.390	15,0%	11,8%	88,2%	235
Segunda	1.191	1.677	6.044	19,7%	27,7%	72,3%	290

La disminución de la disponibilidad se explica dado que en la primera fase el equipo operó mucho tiempo en vacío, por lo que las horas de operación constituyen solo un 15% del total de las horas disponibles, y las horas de mantención y reparación constituyen solo un 11,8% del total, este efecto genera una alta disponibilidad. Sin embargo estos valores se aumentan en la segunda fase, alcanzando a 19,7% y 27,7% respectivamente, lo que genera una baja en la disponibilidad, llegando al valor mostrado de 72,3%, que debiera ser el valor esperado para una operación industrial.

Acá es necesario destacar el aumento de la utilización del equipo sizer con respecto a la primera fase, que solo alcanzó un valor de un 8,4%. Este índice se incrementa hasta un 15,3% al ser alimentado por dos equipos LHD, sin embargo este valor que continua bajo y se explica por lo alejado de los puntos de extracción con que era alimentado, con distancias medias de 100 m, al no estar el sizer bajo hundimiento, lo que aumenta los tiempos de ciclo de los equipos LHD, manteniendo la baja productividad.

5.11 Productividad equipos LHD y sizer

Con estos nuevos datos, se hace nuevamente el análisis de la productividad de los equipos LHD trabajando en conjunto con el sizer. Este análisis también se hace tomando como referencia el caso base de División Andina, que muestra que los equipos LHD trabajando en condiciones normales tienen una productividad media de casi 300 t/hora. Si analizamos estos datos con los obtenidos en esta segunda fase, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 22.

Tabla 22: Productividad de dos equipos LHD en operando en conjunto con el sizer.

Rendimiento LHD 7,5 yd³				
Parámetros e Indicadores LHD	Unid	Caso base	II fase	II fase
		Un LHD	Un LHD	Dos LHD
Volumen	yd ³	7,5	7,5	15
Factor de conversión volumen	m ³ /yd ³	0,765	0,765	0,765
Factor de llenado	-	0,9	0,9	0,9
densidad aparente	t/m ³	1,65	1,65	1,65
Capacidad	t	8,5	8,5	17,0
Velocidad cargado	km/hr	8	8	8
Velocidad vacío	km/hr	10	10	10
Tiempo de carga	seg	31	31	31
Tiempo descarga	seg	15	15	15
Distancia media	metros	50	100	100
Tiempo de viaje	seg	41	81	81
Ciclo sin pérdidas	seg	87	127	127
Pérdidas	seg	16	16	16
Total ciclo LHD	seg	103	143	143
Rendimiento LHD	t/hr	298	214	428
	Valor medido	t/hr	207	309
Rendimiento instantáneo sizer	t/hr		1.797	1.797
Utilización LHD/Mineral sizer	%		11,9%	23,8%
		Valor promedio	%	16,0%
		Valor medido	%	15,3%
Turnos de operación	turnos		256	133
Mejora reducción secundaria	%	10,0%		
Pérdidas		40%	38%	38%
Mantenimiento y reparación	%	5%	5%	5%
Pérdidas varias	%	10%	10%	10%
Pérdidas operacionales	%	25,0%	22,5%	22,5%
Rendimiento efectivo LHD	t/hr	179	134	268
Rendimiento efectivo LHD	t/día	4.298	3.211	6.422

De esto se desprende que la distancia media de transporte de los equipos LHD continúa siendo alta, no alcanzándose la operación de diseño, es decir, con el sizer bajo hundimiento, esto provoca que la utilización del sizer siga baja, del orden del 16%, restringido por la alimentación de los equipos LHD, que también trabajan a bajas tasas.

Este valor de utilización de un 16% es similar a la utilización mostrada en la Tabla 20, que alcanza un valor de un 15,3%

Si ahora hacemos el mismo ejercicio, pero suponiendo que el equipo sizer trabaja bajo las condiciones de diseño, es decir bajo hundimiento siendo alimentado de puntos de extracción cercanos, los valores que se obtienen se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23: Productividad de dos LHD operando en conjunto con el sizer, bajo condiciones de diseño.

Rendimiento LHD 7,5 yd³				
Parámetros e Indicadores LHD	Unid	Caso base	II fase	II fase
		Un LHD	Un LHD	Dos LHD
Volumen	yd ³	7,5	7,5	15
Factor de conversión volumen	m ³ /yd ³	0,765	0,765	0,765
Factor de llenado	-	0,9	0,9	0,9
densidad aparente	t/m ³	1,65	1,65	1,65
Capacidad	t	8,5	8,5	17,0
Velocidad cargado	km/hr	8	8	8
Velocidad vacío	km/hr	10	10	10
Tiempo de carga	seg	31	31	31
Tiempo descarga	seg	15	15	15
Distancia media	metros	50	50	50
Tiempo de viaje	seg	41	41	41
Ciclo sin pérdidas	seg	87	87	87
Pérdidas	seg	16	16	16
Total ciclo LHD	seg	103	103	103
Rendimiento LHD	t/hr	298	298	597
Rendimiento instantáneo sizer	t/hr		1.797	1.797
Utilización LHD/Mineral sizer	%		16,6%	33,2%
Mejora reducción secundaria	%	10,0%		
Pérdidas		40%	38%	38%
Mantenimiento y reparación	%	5%	5%	5%
Pérdidas varias	%	10%	10%	10%
Pérdidas operacionales	%	25,0%	22,5%	22,5%
Rendimiento efectivo LHD	t/hr	179	187	373
Rendimiento efectivo LHD	t/día	4.298	4.477	8.955

Esto muestra que el sizer podría tener utilidades sobre 30% al trabajar con dos equipos LHD, el doble del valor obtenido en la segunda fase de la prueba industrial, solo extrayendo mineral de puntos de extracción cercanos, estos valores serían los esperables en un escenario de operación normal, mejorando además la productividad de los equipos LHD, al tener una disminución en la reducción secundaria.

5.11.1 Seguridad

El operar con sizer no se traducen en la inclusión de nuevos riesgos en el sistema de manejo de materiales de la mina subterránea. La configuración de este no lo hace distinto a un vaciadero convencional y la teleoperación hace del módulo una herramienta segura y cómoda de trabajo.

Los mantenedores del equipo no estuvieron expuestos a riesgos no controlados, los procedimientos de trabajo aseguraron la calidad de éste, sin exponerse a situaciones consideradas inadecuadas.

5.12 Conclusiones y recomendaciones segunda fase prueba industrial

5.12.1 Conclusiones segunda fase prueba industrial

Las principales conclusiones obtenidas en esta segunda fase son:

- El sizer es capaz de operar normalmente bajo la condición de alimentación por ambos lados de él, con dos equipos LHD trabajando en calles de producción contiguas, ya sea en forma simultánea o alternada.
- Al 31 de Mayo del 2008, fecha de finalización de la segunda fase del proyecto, el sizer ha procesado la suma total de 525 kt, sin presentar rechazos.
- En condiciones de mayor exigencia operativa, alimentación de dos equipos LHD, una por cada calle de producción, los indicadores de operación y de mantención alcanzados en esta fase mejoran en forma importante con respecto a los valores alcanzados en la primera fase (más del doble, que fue el aumento de los equipos LHD). Los indicadores mejorados son: Porcentaje de utilización efectiva y productividad del módulo, medido en t/hora.
- La disponibilidad disminuye al reducirse las horas de operación en vacío, acercándose a los valores esperados en una operación industrial.
- Al usar el sizer en el nivel de producción se disminuye la reducción secundaria en un 10% teórico, en forma inmediata, a partir de las curvas granulométricas de las calles de producción de las que se alimenta, CP 75 y CP 77, esto mejora la productividad de los equipos LHD, disminuyendo sus tiempos de pérdidas.
- En un primer análisis "aguas abajo" del sistema sizer – LHD operando en el nivel de producción, se verifica una disminución del tiempo de carguío promedio de los camiones del buzón donde descarga el sizer (buzón F76/XC80), mejor factor de llenado del camión, mejor limpieza en las pistas por ausencia de "derrames" de mineral y ausencia de problemas de enlampamiento y atollos por colpas, esto disminuye los tiempos de ciclo de camiones, además reduce las interferencias que actualmente se producen en los buzones del nivel 17.
- La regularidad y tamaño de mineral de producto que entrega el sizer abren la posibilidad de modificar o eliminar el nivel de reducción, con sus respectivas cámaras de picado y parillas, posibilitando además el reemplazo del actual buzón primario por uno de menores dimensiones.
- Por la ubicación en que se encuentra el sizer, la productividad alcanzada, si bien es sustancialmente mejor que en la primera fase, se espera mejorar aún más cuando las condiciones de operación se acerquen a lo planificado, es decir, puntos de extracción más cercanos con ciclos de LHD más cortos.
- La instalación del sizer dentro del área de producción, no presenta mayores dificultades y con la experiencia ganada en estas fases concluidas, puede ser convenientemente optimizada, tanto en los tiempos como en la infraestructura instalada.
- La operación telecomandada del sizer y sus componentes periféricos, funcionaron en forma adecuada, con seguridad y confiabilidad, con lo cual hace aún más atractiva la instalación en lugares alejados y con poca presencia de operadores.
- La incorporación del sizer a los actuales diseños mineros del III panel se ven factibles de realizar, ya que no se requieren grandes modificaciones y no interfiere con la planificación existente.
- Las pruebas realizadas con acero Astralloy, en los tips y coronas, si bien se logró un aumento de la duración de estas piezas, aún es necesario revisar sus costos, dado que este tipo de acero duplica el costo del material actual.

- Desde el punto de vista de la seguridad operacional, la exposición al riesgo a que se ven sometidos los operadores mineros es considerablemente más baja, ya que toda la operación es a distancia, salvo las actividades de mantención, que con algunas modificaciones, pueden ser considerablemente minimizadas de realizar en terreno.
- Existe un potencial de mejoramiento de los procesos de cambios de piezas de desgastes del equipo, que podrían mejorar, los indicadores de disponibilidad mecánica alcanzados.
- El costo de operación del equipo sizer alcanzada en esta segunda fase, de 0,284 US\$/t, se mantiene bajo el valor esperado de 0,347 US\$/t.
- Las principales dificultades que ha mostrado el sizer son la alimentación con tamaños superiores a los de diseño, esto trae como consecuencias dos problemas principales: Desgaste acelerado de los tips y coronas y problemas de atascamiento de mineral en la tolva, que es necesario reducir usando martillos picadores. Además ha existido una falta de mantención adecuada, debido al poco conocimiento de este tipo de equipos en minería subterránea.

5.12.2 Recomendaciones segunda fase prueba industrial

Las principales recomendaciones obtenidas en esta segunda fase son:

- Debido a la lejanía de los puntos de extracción de los cuales se alimentó esta prueba, se recomienda continuar con ella en el mismo lugar, en condiciones de operación "bajo hundimiento", vale decir, con puntos de extracción cercanos, con mineral fresco y con una alta exigencia operativa al equipo sizer, para consolidar los parámetros de productividad y duración de los elementos de desgaste.
- Esta condición, que recién fue completada en los últimos meses del año 2009, representa una real oportunidad de medir la operación del sizer, operando en conjunto con dos LHD, sometido a mayores tasas de alimentación.
- Si bien las piezas de desgaste (tips y coronas) fabricados con acero Astralloy han dado mejores resultados que los aceros originales, es recomendable seguir probando aleaciones y formas que mejoren aún más los rendimientos, costos y duración de estas piezas.
- Fundamentados en el conocimiento obtenido y la experiencia alcanzada por la División con esta prueba, hacen recomendable continuar con otras etapas que incorporen este nuevo concepto de manejo de materiales, que denominaremos "Minería de transición con sizers", el que será definido y aplicado en los próximos capítulos.

CAPITULO VI

MINERÍA DE TRANSICIÓN CON SIZERS (MTS)

6 Minería de transición con sizers (MTS)

En función a los buenos resultados obtenidos en las pruebas industriales realizadas en División Andina, ahora falta definir diseños mineros acordes al uso de los sizers, para ello se plantea la generación de una guía de diseño para la aplicación de este nuevo concepto de manejo de materiales en minería subterránea, a minas en operación o a proyectos mineros subterráneos nuevos.

6.1 Definición

La minería de transición es un nuevo concepto de manejo de materiales, para ser utilizado en los métodos de hundimiento, que incorpora el uso masivo de los equipos mineral sizers, para producir la trituración temprana de los minerales lo más cercano a su origen, idealmente en el nivel de producción. Esto mejora significativamente el manejo de materiales en los niveles inferiores, reduciendo el tamaño de la infraestructura necesaria y los niveles requeridos. Permitiendo además el uso de sistemas de transporte continuo como las correas transportadoras, o manteniendo en uso camiones o sistemas de convoy ferroviario, los que también se ven beneficiados por el menor tamaño del mineral. Puede ser aplicado introduciendo complementariamente la tecnología del preacondicionamiento, con todos los beneficios que esta genera.

Este concepto consiste en un paso intermedio entre los sistemas de manejo de materiales actuales y uno donde todos los procesos unitarios relacionados son continuos, remotos y automatizados, ver Tabla 24.

Tabla 24: Evolución de los sistemas de manejo de materiales.

MANEJO DE MATERIALES MÉTODOS DE HUNDIMIENTO, SIGLO XXI

PARÁMETRO	MINERÍA DE TRANSICIÓN	MINERÍA CONTINUA
Mineral	Primario PA	Primario PA
Mecanización	Alta	Alta
Sistema de extracción	LHD 7, 10 ó 13 yd ³	¿?
Chancadores	Mineral sizer	Mineral sizer
Granulometría niveles inferiores	Mineral chancado	Mineral chancado ¿?
Sistema de acarreo de mineal	Camiones	
	Convoy ferroviario	
	Correas transportadoras (*)	Correas transportadoras
Tasa de extracción	0,50 t/m ² -día o más	Se espera >1,00 t/m ² -día
Capacidad de producción	Alta	Alta

(*): Sistema recomendado para la minería de transición.

La Figura 48 muestra un esquema isométrico de la minería de transición con sizers, con los niveles y equipos necesarios.

Preacondicionamiento

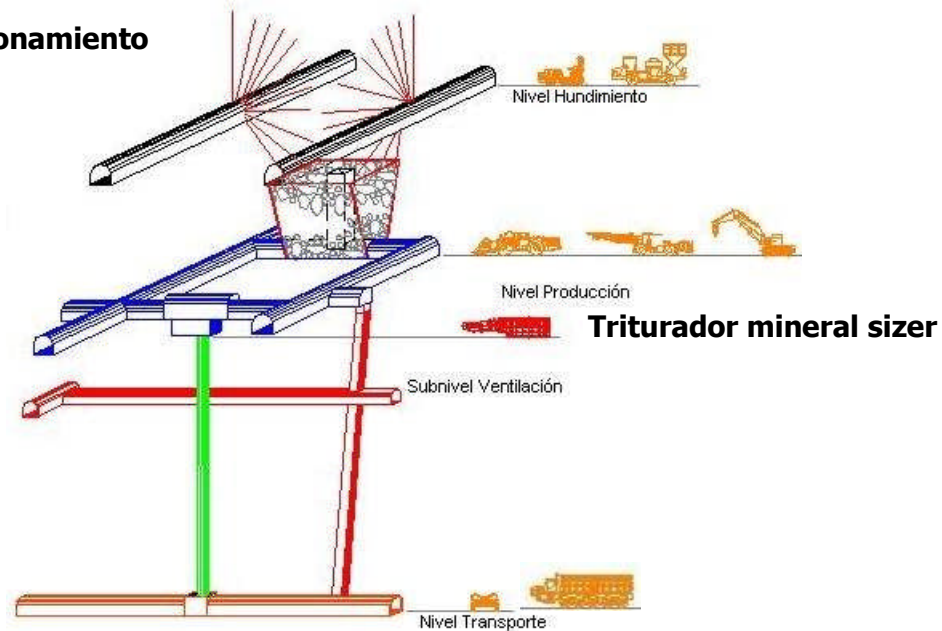


Figura 48: Esquema de minería de transición con sizer, (P. Fuenzalida y G. Nuñez, 2005).

Este sistema de manejo de materiales tiene la ventaja de eliminar el nivel de reducción, ya que el mineral es chancado directamente en el nivel de producción, realizándose una trituración temprana de la roca.

El tamaño de salida observado durante las pruebas industriales realizadas en el III panel de División Andina, demostró que no es necesario otro tratamiento de la roca. La granulometría obtenida nos permite transportar el mineral a través de los camiones actuales o reemplazarlos por correas transportadoras, que dado su bajo costo de operación sería lo más recomendable.

6.2 Diseño Preacondicionamiento

Esta tecnología complementaria busca intervenir el macizo rocoso antes de llevar a cabo los procesos de socavación y hundimiento. Esta operación apunta a intensificar el estado natural de fracturamiento in situ del macizo rocoso con el propósito de asegurar su hundibilidad y producir una fragmentación menos gruesa del mineral hundido, la que permite un escurrimiento más expedito del mineral hacia los puntos de extracción.

El beneficio esperado del preacondicionamiento es mejorar las condiciones de hundibilidad y propagación del caving, y en consecuencia, disminuir los riesgos del método. Eventualmente podría incluso liberar las restricciones iniciales de tasas de extracción, también obtener un producto del hundimiento de menor tamaño, disminuyendo las operaciones de descuelgue de zanjas y reducción secundaria, mejorando la disponibilidad de los puntos de extracción. Los resultados de las experiencias de PA desarrolladas se mostraron en la Tabla 6.

6.3 Mineral sizer

Los modelos posibles de usar en la minería de transición son los modelos grandes, es decir del MMD 1000 al 1500. A continuación se muestra un detalle de las unidades vendidas de estos modelos en los últimos años, ver Figura 49.

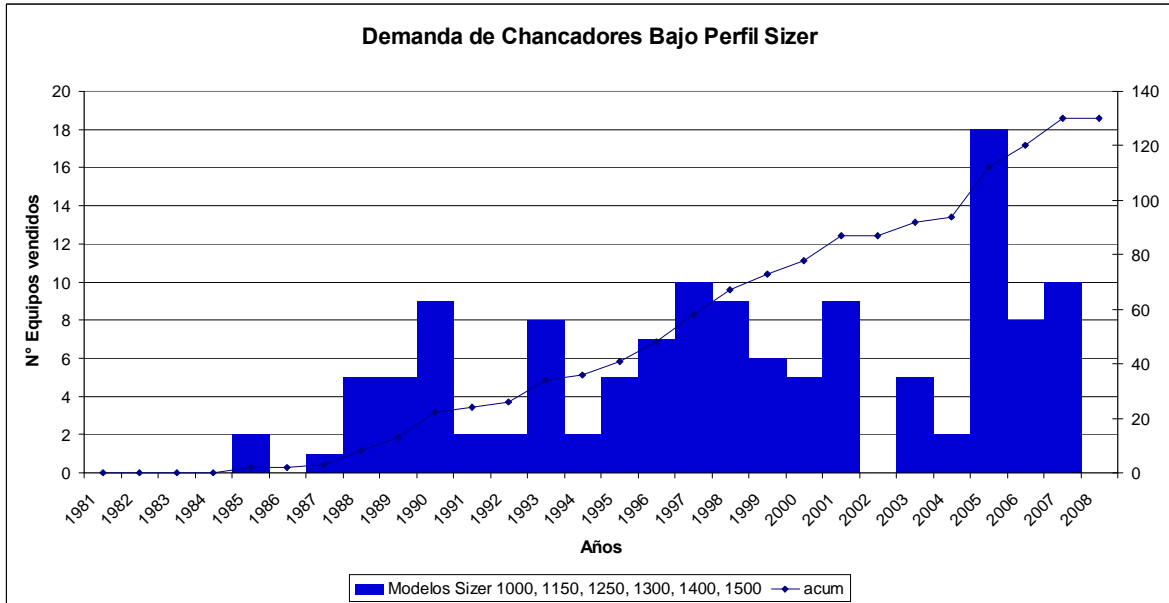


Figura 49: Evolución de las ventas de equipos sizer (MMD, 2008)

Ello muestra un aumento en la demanda en los últimos 20 años, mostrando que estos equipos están cada vez más requeridos para su aplicación en el procesamiento de minerales duros y abrasivos.

6.3.1 Tonelaje acumulado

Dado el avance de las pruebas realizadas en División Andina, a la fecha el sizer lleva acumulado un tonelaje sobre las 950.000 t, esto se aprecia en la Figura 50.

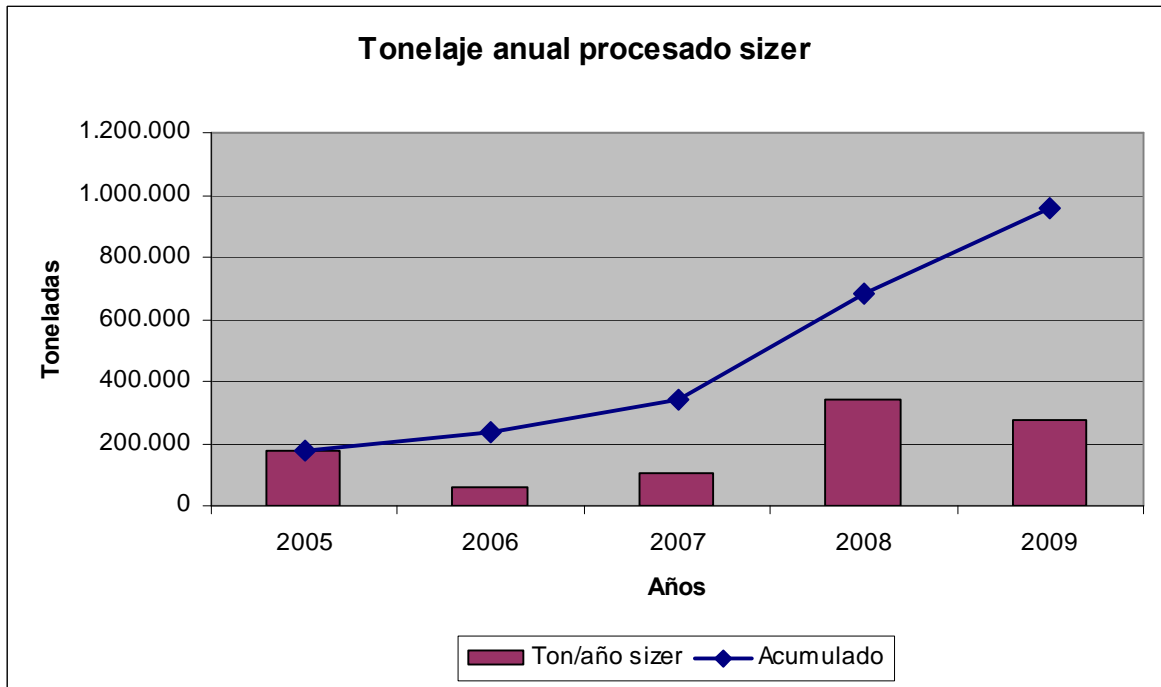


Figura 50: Tonelaje acumulado sizer por año de operación.

6.4 Manejo de materiales en minería de transición

La reducción del tamaño en las cercanías del nivel de producción, genera importantes beneficios al manejo de materiales en los niveles inferiores, principalmente porque disminuye el tamaño de los equipos e instalaciones y se opera con mineral de tamaños controlados, de alrededor de 12 a 14 pulgadas, capaz de ser transportado por correas transportadoras.

El diagrama de manejo de materiales de la minería de transición se muestra en la Figura 51.

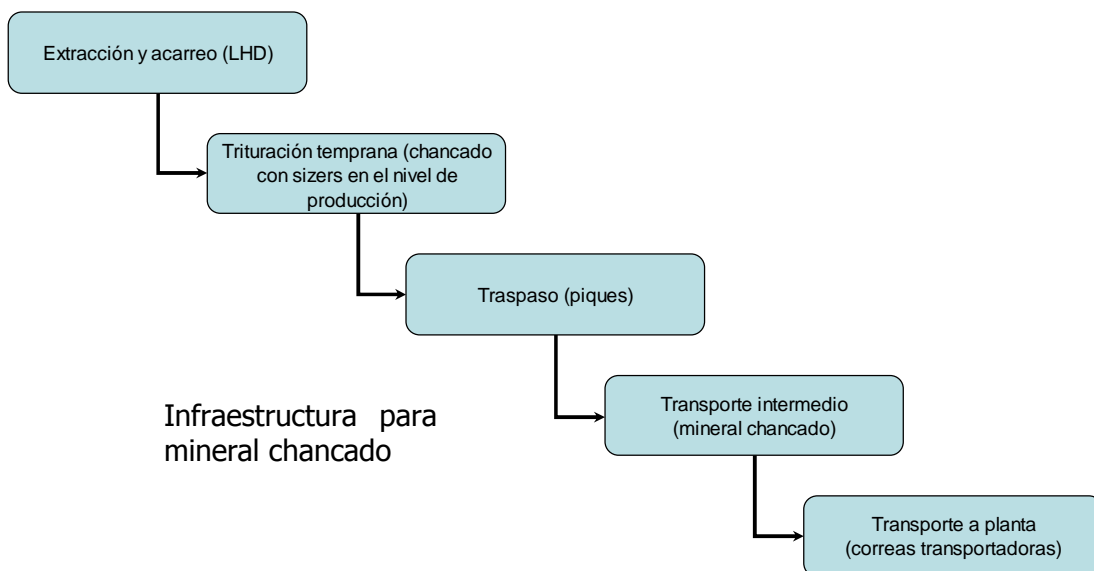


Figura 51: Manejo de materiales en minería de transición.

6.5 Ventajas de la minería de transición

Las principales ventajas que se generan con la utilización de la minería de transición con sizers son:

- Trituración del mineral lo más cercano al origen, lo que mejora el flujo de mineral hacia los niveles inferiores, disminuyendo el costo de destranque de piques.
- Mejora los tiempos de ciclos de los equipos LHD y su productividad al haber menor porcentaje de reducción secundaria.
- Los puntos de vaciado del nivel de producción son reemplazados por estaciones sizer, las que no necesitan parrillas y requieren martillos picadores solo eventualmente.
- Disminuyen los desarrollos necesarios, dado que se elimina el nivel de reducción y se reemplazan dos piques de vaciado inclinados (uno por calle) por uno directo.
- Disminuye la infraestructura requerida en los niveles inferiores (cámaras de picado y buzones de menor tamaño).
- Bajo costo de operación del mineral sizer comparado con los chancadores convencionales.
- Es posible reemplazar los camiones por correas transportadoras.

Todo lo anterior reduce tanto el costo de operación como las inversiones necesarias, lo que se detalla en el punto siguiente.

6.6 Costo de operación III panel Andina con minería de transición con sizers

Bajo este escenario, se hizo un análisis comparativo de los costos de operación del III panel de División Andina, considerando la minería convencional actual y los posibles costos de aplicar la minería de transición con sizers. Si bien existe un pequeño aumento en el costo de preparación mina del nivel de producción, debido a las construcciones necesarias de la estación sizer (en la mitad de una zanja que se deja sin hundir), existen reducciones de costos en:

- Extracción: El equipo LHD tiene menores interrupciones dado que el sistema sizer acepta mayores tamaños que el convencional con parrillas, esto genera más productividad en la extracción mina.
- Reducción secundaria y traspaso: Por las mismas razones expuestas anteriormente, se reduce la reducción secundaria, dado que el equipo sizer tritura rocas que debieran reducirse mediante el uso de explosivos, además el traspaso en los piques se ve beneficiado por un flujo más continuo y con menos interrupciones.
- Mantenimiento y reparación de las labores: Durante toda la prueba, el pique asociado al sizer no registró ningún evento de trancas o enllanpamiento, así tampoco el buzón respectivo no requirió mantenimiento ni reparación, actividad que si se realizó en todos los otros buzones cercanos.
- Transporte de mineral: Se puede mejorar el factor de llenado de los camiones por tener una granulometría de menor tamaño y de forma más regular.

Esto genera menores costos de operación por la aplicación de la minería de transición, la Tabla 25 resume estos costos de operación para el III panel de División Andina, para el caso actual y la aplicación de la minería de transición, (informe bloque de valor GCPMS, 2008).

Tabla 25: Resumen de costos de la minería convencional y de transición.

COSTO OPERACIÓN	Minería	Minería
III PANEL ANDINA	Convencional	Transición
	US\$/t	US\$/t
Preparación mina	1,01	1,06
Extracción	0,75	0,60
Reducción 2a y traspaso	0,64	0,35
Operación chancado	0,00	0,19
Mant y reparación labores	0,40	0,28
Transporte	0,60	0,60
Servicios y CG	1,23	1,07
Total (US\$/t)	4,63	4,14

La reducción de costos que se produce alcanza un 10,5%, lo que sin duda genera un impacto positivo en el VAN de las operaciones mineras donde se aplique. Otros parámetros claves esperados son la mayor disponibilidad de área y una velocidad de extracción más alta.

Lo anterior debe ser evaluado para cada caso de análisis en particular, tanto de minas en operación como de nuevos proyectos. Esto se realizará a través de una guía de diseño para la aplicación de la minería de transición con sizers en minas en operación o proyectos mineros nuevos.

La guía de diseño planteada, tiene por objetivo entregar las herramientas y criterios para definir un diseño adecuado de minería de transición en diferentes condiciones, dado que si bien los proyectos mineros se desarrollan y evalúan por distintas metodologías, es necesario incorporar las tecnologías emergentes y los beneficios que presenta su aplicación, sobretodo en los proyectos mineros subterráneos nuevos.

Esta guía de diseño tiene como base la aplicación del preacondicionamiento (FH) y el concepto de minería de transición con sizers, los puntos que contiene se detallan a continuación en el siguiente capítulo.

CAPITULO VII

GUÍA DE DISEÑO BLOCK/PANEL CAVING CON MTS

7 Guía de diseño Block/Panel Caving con MTS

7.1 Justificación de la aplicación

Se debe indicar cuáles son los problemas o inconvenientes de la operación actual o del proyecto nuevo que justifican y hacen recomendable la aplicación de la MTS.

7.2 Descripción del sector y criterios de diseño

Se debe hacer una breve descripción del sector o proyecto donde se evaluará la aplicación de la MTS y explicitar cuáles serán los criterios de diseño planteados, como ejemplo se pueden nombrar: No vulnerar condiciones generales de planificación, diseño y operación, obtener la menor interferencia operacional, tanto en los desarrollos como en la infraestructura (como menos excavaciones y desquiches), aprovechar al máximo las capacidades del sizer en producción, etc.

En este punto también se debe indicar el tipo y dimensiones de la malla de extracción de la mina o sector a evaluar. Si bien la más utilizada en Chile corresponde a la tipo Teniente, las evaluaciones también pueden considerar la utilización de otros tipos de mallas, como por ejemplo la Henderson.

7.2.1 Geometría del sector o yacimiento

Dependiendo del estudio geomecánico, se debe tender a definir la orientación de las calles en la menor dimensión del yacimiento, esto es para permitir la instalación de estaciones de chancado en las cercanías del nivel de producción y evitar las calles de producción muy largas.

7.2.2 Programa de producción

Dependiendo del mineral a procesar a lo largo de los años de la explotación de la mina y de las velocidades de extracción planificadas, el plan minero entrega las áreas activas para cada período, las que a su vez, definen la cantidad de equipos de producción necesarios para el procesamiento de dicho tonelaje. Los cambios que se producen en el plan por la aplicación de la MTS deben ser analizados en cada caso en particular.

También el plan minero entrega la secuencia de hundimiento, que indica la incorporación de área nueva, lo que a su vez está relacionado con los equipos de producción necesarios en cada período.

7.2.3 Estudio geológico, litológico y geomecánico

Las características geológicas y litológicas del mineral, es un factor de gran importancia, dado que el tipo de roca define algunos aspectos del diseño de los equipos de producción y reducción del mineral. Se requiere conocer al menos: Litología, RQD, frecuencia de fracturas, caracterización del macizo rocoso por al menos dos clasificaciones.

Además se debe hacer un análisis de los esfuerzos presentes en las distintas orientaciones que pueden tener las calles de producción, ya que la disposición y largo de dichas calles, son factores que influyen en la cantidad de equipos de producción a incorporar y en la infraestructura asociada en los procesos posteriores, que dependiendo del diseño minero, podrían ser los piques de traspaso a niveles inferiores, correas transportadoras, cruzados de transporte, entre otros. Esto define la factibilidad de los distintos diseños mineros que son posibles de aplicar.

Lo anterior toma especial atención en las alternativas que utilizan los sistemas de chancado en las cercanías o dentro del nivel de producción, dado que se genera un punto singular al tener una o más zanjas sin hundir.

7.2.4 Manejo de materiales actual

Se debe revisar el sistema de manejo de materiales actual del proyecto, para analizar sus posibilidades de mejora. En este punto se deben indicar los tamaños máximos que acepta el sistema, por ejemplo, abertura de las parrillas de los puntos de vaciado del nivel de producción, tamaño máximo que acepta la boca del chancador, etc.

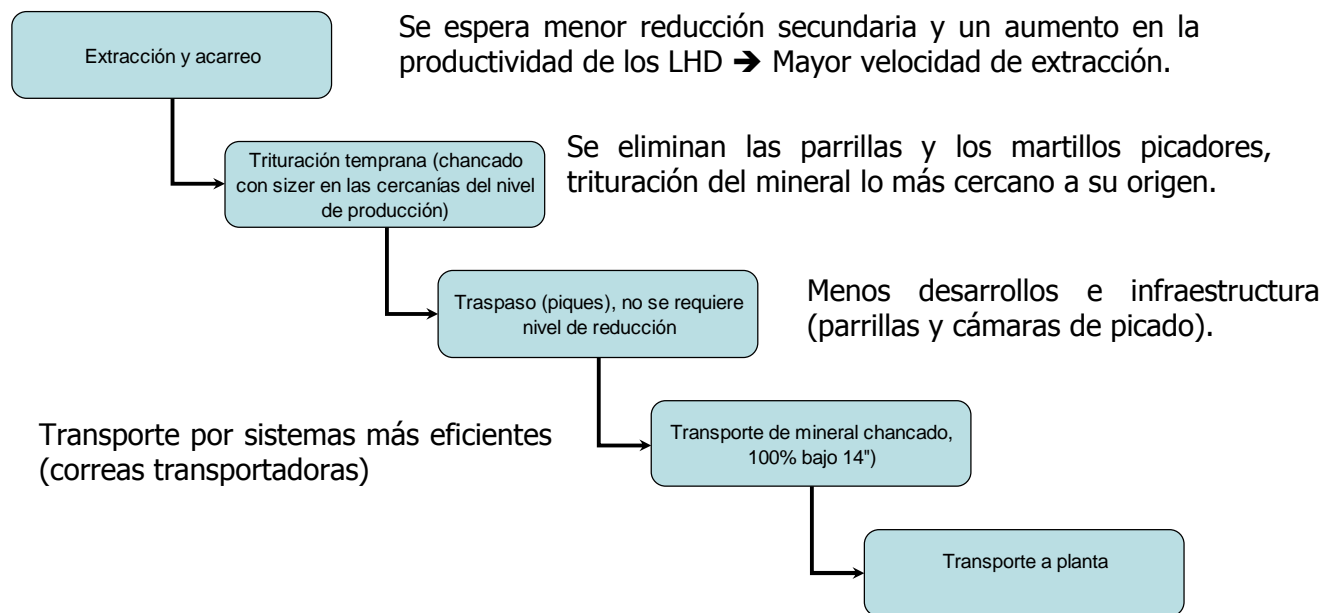


Figura 52: Manejo de materiales con MTS.

7.2.5 Infraestructura asociada

La tendencia es utilizar equipos compactos y evitar las grandes excavaciones que se realizan en la actualidad, evitando el "gigantismo" en las operaciones mineras.

7.3 Curvas granulométricas

La granulometría del mineral primario es uno de los puntos importantes a considerar, dado que de la correcta definición de los equipos a utilizar, principalmente LHD, dependerá la mayor productividad o menor costo del sistema utilizado.

Para la medición de la fragmentación se puede utilizar la metodología "Flip Chart" (C. Cerrutti, C. Castro, A. Maira, 2009). Esta consiste en la inspección visual de la pila de mineral en el punto de extracción, en la cual se estiman porcentajes relativos de tamaños de fragmentos, estandarizados en clases de tamaños. Esta metodología fue desarrollada para la mina Palabora durante el estudio ICS II (Internacional Caving Study II), en reemplazo del análisis fotográfico digital, el cual se estimó que demandaba demasiado tiempo y recursos para entregar los resultados esperados (curvas de fragmentación).

Los rangos de tamaños definidos para la medición granulométrica en los puntos de extracción se muestran en la Tabla 26 y son:

Tabla 26: Rangos de tamaños definidos.

Fino	Medio	Grueso	Muy Grueso
D < 0,25 m	0,50 m ≤ D < 1,0 m	1,5 m ≤ D < 2,0 m	2,5 m ≤ D < 3,0 m
0,25 m ≤ D < 0,5 m	1,0 m ≤ D < 1,5 m	2,0 m ≤ D < 2,5 m	D ≥ 3,0 m

Donde "D" es el semieje mayor de la colpa.

En la Figura 53 se muestra el formulario con la plantilla utilizada para la medición de la fragmentación en los puntos de extracción de minas en operación. Donde cada cuadrado negro indica la cantidad de fragmentos de igual tamaño.

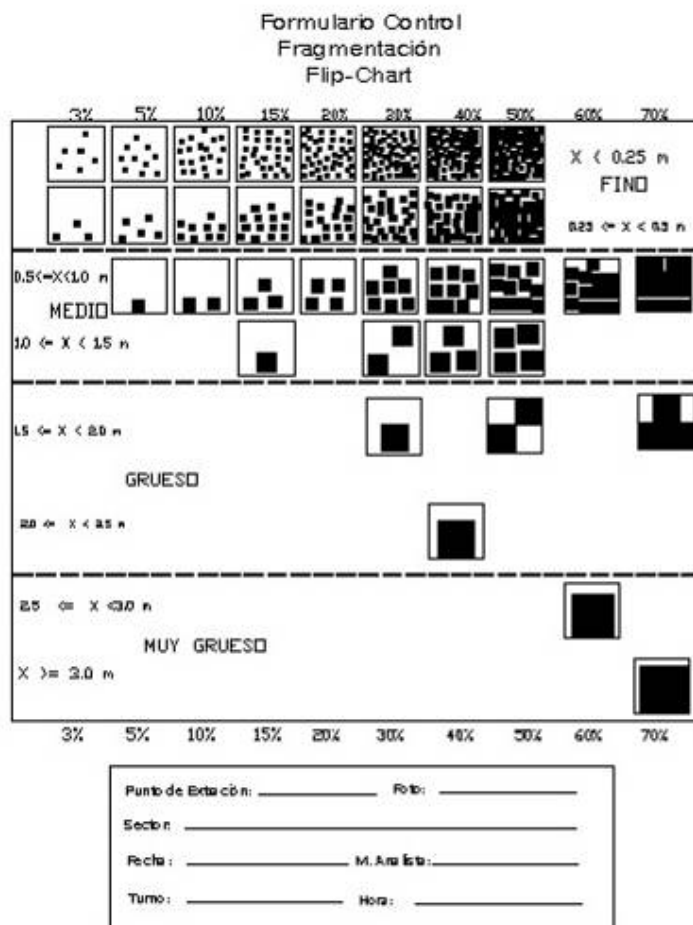


Figura 53: Plantilla Metodología Flip-Chart.

La Tabla 27, muestra un ejemplo de una planilla de registro de fragmentación.

Tabla 27: Planilla Registro Fragmentación.

Punto	Fecha	Turno	< 0,25 m	0,25 - 0,5 m	0,5 - 1,0 m	1,0 - 1,5 m	1,5 - 2,0 m	2,0 - 2,5 m	2,5 - 3,0 m	>3,0 m	Colpa Mayor
CP67BP50E	08/01/2008	C	75	25	0	0	0	0	0	0	0,3
CP67BP50E	15/01/2008	B	60	40	0	0	0	0	0	0	0,4
CP67BP50E	17/01/2008	A	55	30	15	0	0	0	0	0	0,8
CP67BP50E	24/01/2008	C	100	0	0	0	0	0	0	0	0,2
CP67BP50E	31/01/2008	A	80	20	0	0	0	0	0	0	0,3
CP67BP50E	05/02/2008	C	70	30	0	0	0	0	0	0	0,3
CP67BP50E	14/02/2008	A	60	30	10	0	0	0	0	0	0,6
CP67BP50E	26/02/2008	A	100	0	0	0	0	0	0	0	0,2
CP67BP50E	11/06/2008	A	100	0	0	0	0	0	0	0	0,2

A partir de estos datos se generan las curvas de fragmentación del mineral.

Para proyectos mineros nuevos, se deben considerar las curvas granulométricas esperadas, usando por ejemplo el programa Block Cave Fragmentation (BCF), este fue desarrollado para estimar los tamaños de los fragmentos de rocas en un punto de extracción durante el hundimiento del bloque. El BCF inicial fue desarrollado por D. Laubscher en colaboración con A. Guest y P. Bartlett para una aplicación en la mina Premier, en Sudáfrica. La programación fue realizada por G. Esterhuizen. Posteriormente el programa fue mejorado y aplicado en el estudio de factibilidad del hundimiento de la mina Palabora. El programa usa una técnica simplificada

para determinar el tamaño de los bloques in situ y reglas empíricas para predecir como los bloques se podrían reducir (ICS I, Esterhuizen, 1999).

También existen aplicaciones del programa SIZE para estimar las curvas de fragmentación primaria en el proyecto Chuquicamata subterránea y que fue desarrollado por la empresa INGEROC, (estudio técnico de fragmentación CHUS, INGEROC, 2008).

7.4 Caso base de comparación

En función de los parámetros anteriores se define el caso base de comparación, este consiste en la definición y evaluación económica del sistema actual, es decir, contra que nos vamos a comparar.

7.5 Aplicación del PA

7.5.1 Parámetros para el Diseño

Tal como se definió en el punto 6.1, la tecnología del PA se considera complementaria a la aplicación de la MTS, por esto, para llevarlo a cabo, es necesario realizar una serie de pruebas para calibrar o establecer los parámetros necesarios del equipo de bombeo así como para definir el ambiente en el cual se crearán las fracturas. La información que se debe obtener de estas pruebas es:

- Presión de iniciación de fractura.
- Presión de propagación de la fractura.
- Presión de reapertura de la fractura.
- Magnitud y orientación de los esfuerzos principales in-situ.
- Estimación de la longitud de la fractura; geometría y extensión en base a tasa de crecimiento.

Estos parámetros son necesarios para el diseño del PA con fracturamiento hidráulico (FH) según el actual estado del arte de la técnica. En el futuro, con más antecedentes de la aplicación de la tecnología y desarrollo de conocimiento respecto a la orientación y forma de las fracturas, se podría estandarizar la operación, lo que permitiría diseñar con menos requerimiento de pruebas previas, pero para esto, se requiere más experiencia de su uso.

7.5.2 Criterios de diseño Fracturamiento Hidráulico

Los criterios para el diseño de PA con FH son los siguientes:

- Selección del volumen a precondicionar: Un criterio que se ha utilizado en el diseño considera realizar fracturas en la roca primaria hasta el contacto primario-secundario.
- Diseño de las perforaciones: Los parámetros a definir son orientación y longitud de las perforaciones para realizar desde ellas el FH.
- Malla de Perforación: Es función de la orientación y geometría de las fracturas plausibles de realizar en el macizo de interés y sujeto a las facilidades de acceso para realizar las obras.

- Secuencia de Fracturamiento: Esta debe ser definida considerando el plan de producción, socavación e incorporación de nuevos sectores.
- Franjas de protección: Se deben considerar dos zonas de protección, una envolvente de seguridad en torno al área donde se efectuará el preacondicionamiento (envolvente de subsidencia y sismicidad) para hacer las instalaciones principales como el sistema hidráulico y oficina de control y otra envolvente durante la operación de fracturamiento propiamente tal por seguridad a las personas.
- Diámetro de perforación disponible: En las pruebas realizadas en la corporación, se han utilizado diámetros HQ (96 mm) correspondientes a las perforaciones utilizadas para extraer sondajes en la etapa de caracterización, sin embargo, está en prueba disminuir este diámetro a NQ (72 mm).
- Rendimientos: Los rendimientos promedios logrados en generación de fracturas son de 13 fracturas/día, en condiciones normales de trabajo.

7.6 Diseños mineros con minería de transición con sizers (MTS)

A continuación se muestran los posibles diseños a aplicar en minas nuevas, es decir, donde existe la posibilidad de incluir modificaciones en las disposiciones de las mallas de extracción y en general en los sistemas de manejo de materiales. Se presentan diseños donde los trituradores mineral sizers se encuentran dentro, fuera y abajo del nivel de producción.

Independiente de la (o las) alternativa (s) elegidas para evaluar, se deben indicar los equipos de producción que la constituyen y la distancia media de acarreo de mineral de los equipos LHD.

7.6.1 Sizer dentro del nivel de producción (alternativa 1)

Esta constituye una experiencia probada en la corporación (segunda fase de la prueba industrial de División Andina). Esta opción, que denominaremos "Alternativa 1 A" muestra variadas ventajas, se puede aplicar en minas en operación y en proyectos mineros nuevos, ver Figura 54, y considera la utilización de la malla tipo Teniente, la más ampliamente utilizada y la operación conjunta del mineral sizer con dos equipos LHD.

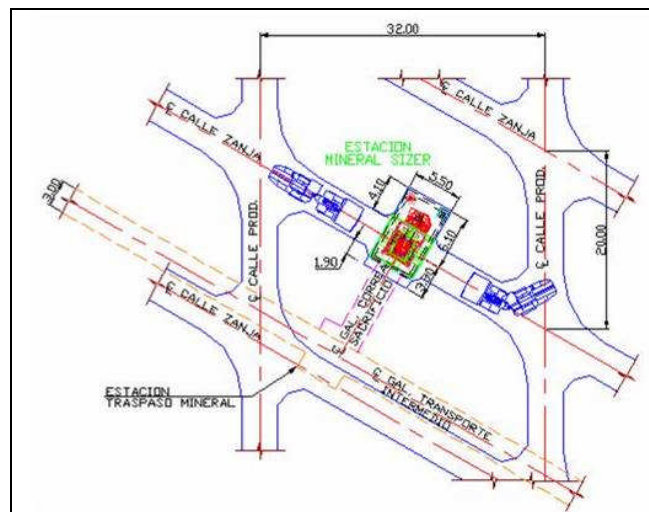


Figura 54: Alternativa 1 A, sizer en una zanja dentro del nivel de producción.

Otra opción, denominada "Alternativa 1 B", considera el uso de una malla de alta productividad, y presenta una malla de extracción tipo Henderson que cambia la orientación de los brazos de producción en las estaciones sizers. Esta opción solo se puede aplicar en proyectos mineros nuevos, ver Figura 55 y Figura 56, y permitiría la operación conjunta del sizer con dos, tres y hasta cuatro equipos LHD.

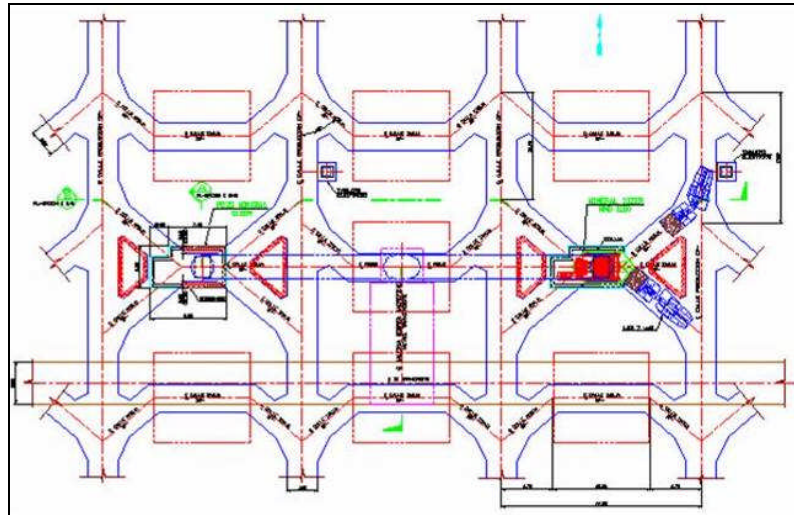


Figura 55: Alternativa 1 B, malla de alta productividad.

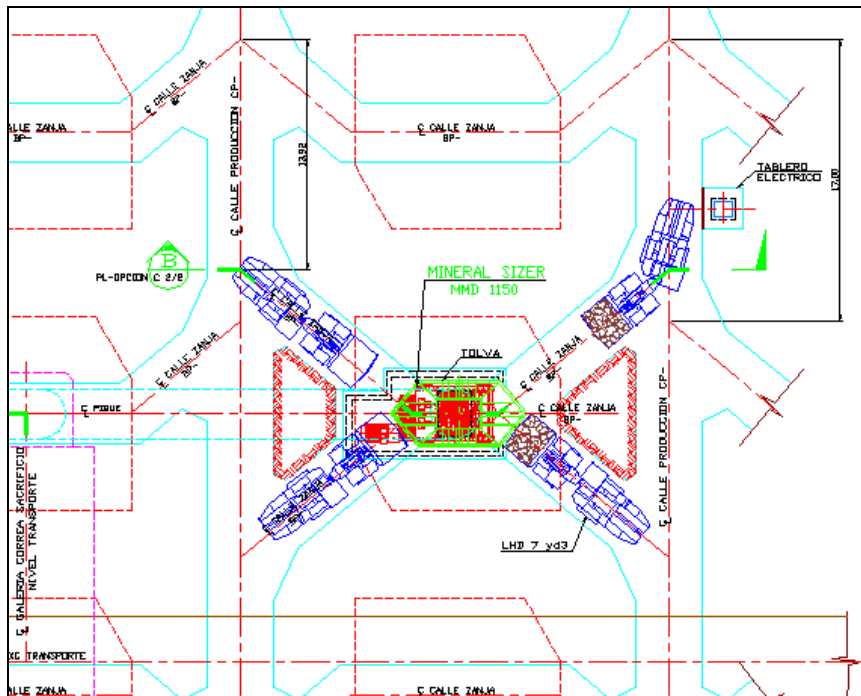


Figura 56: Alternativa 1 B, detalle malla de alta productividad.

Estas opciones permiten instalar el sizer dentro del nivel de producción, permitiendo la instalación de sistemas de acarreo continuo de mineral, como lo son las correas transportadoras, dado que la trituración del mineral se produce en el nivel de producción, además no se requiere el nivel de reducción y control.

Para estas dos opciones se necesitan solo dos niveles (producción y transporte o acarreo con correas), por lo que el sistema de manejo de materiales se simplifica, como lo muestra la Figura 57.

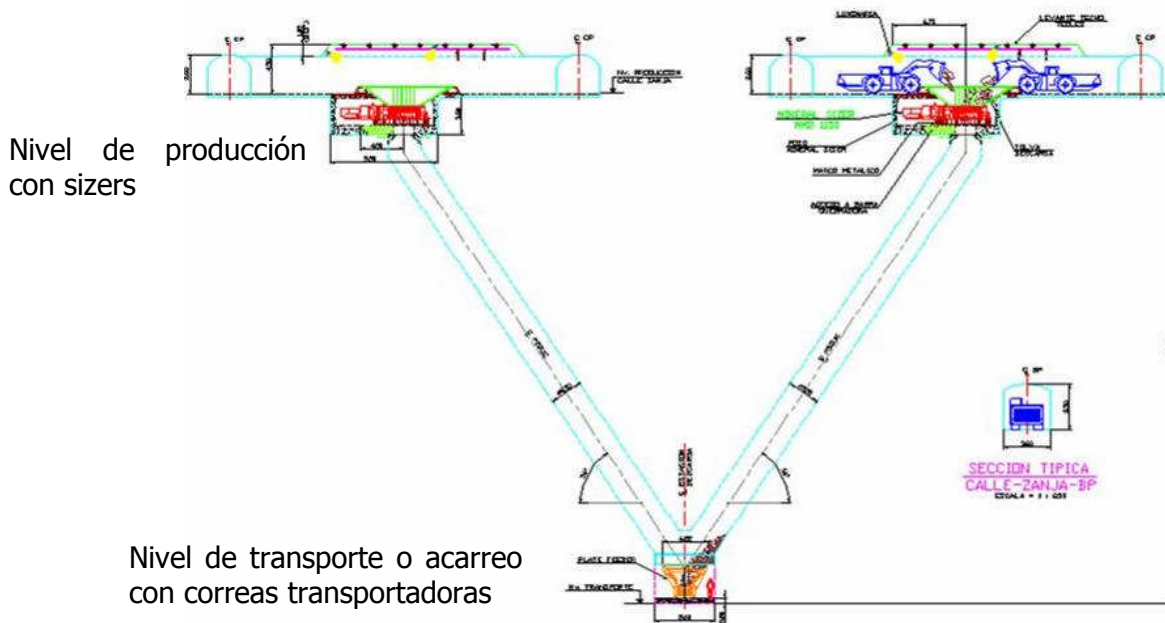


Figura 57: Perfil Alternativa 1, sizer dentro del nivel de producción.

Las dos variantes de la Alternativa 1 también pueden trabajar en el nivel de transporte o acarreo con camiones de alto tonelaje, aunque no es lo más recomendable, dado el mayor costo de operación de los camiones.

7.6.2 Sizer en el contorno del nivel de producción (alternativa 2)

Otra posible aplicación la constituye ubicar el equipo mineral sizer en el contorno del nivel de producción. Esta opción que denominaremos "Alternativa 2", también constituye una experiencia probada en la corporación (mina Diablo Regimiento de División El Teniente), con sistemas centralizados de chancado, pero usando chancadores de mandíbulas.

El utilizar la tecnología sizer muestra múltiples ventajas dadas principalmente por la menor dimensión de las excavaciones y construcciones asociadas, esta opción se puede aplicar en minas en operación y en proyectos mineros nuevos, y considera la utilización de la malla tipo Teniente (alternativa 2 A, ver Figura 58) o Henderson (alternativa 2 B, ver Figura 59), y la operación conjunta del sizer con tres a cinco equipos LHD. Además representa una alternativa a los sistemas de chancado convencional utilizadas en las cercanías de los niveles de producción.

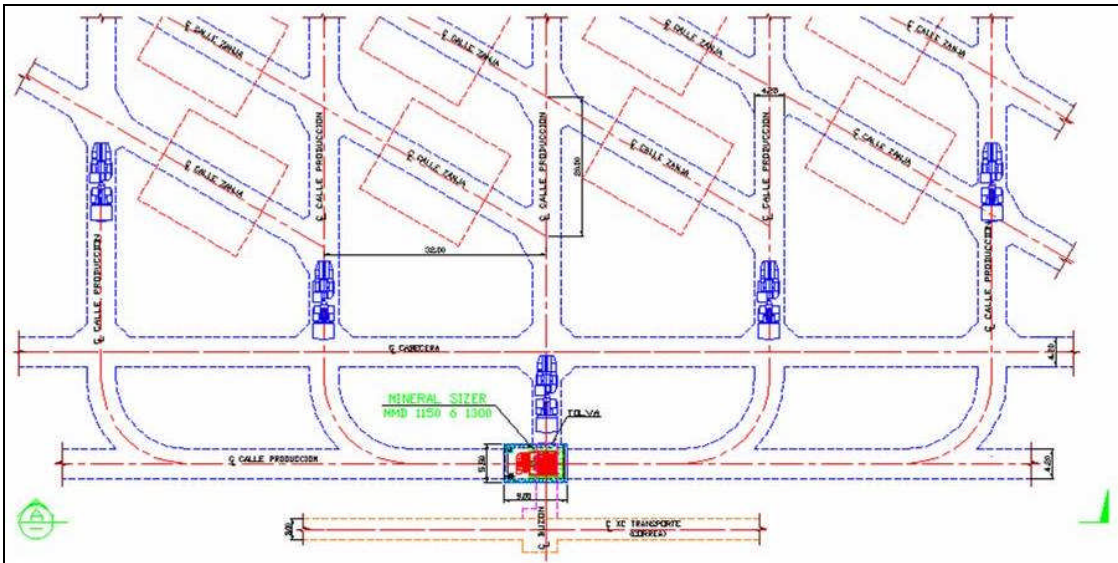


Figura 58: Alternativa 2 A, malla Teniente y sizer en contorno del nivel de producción.

En la alternativa 2 A, los equipos LHD usan las cabeceras para cambiar de sentido, para poder extraer el mineral a ambos lados de las calles.

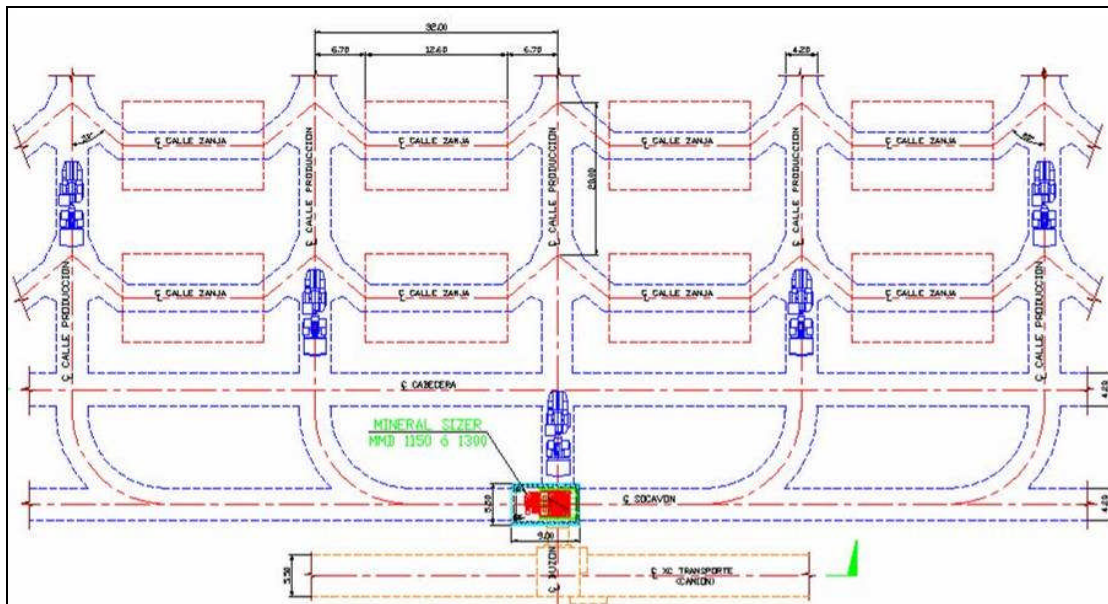


Figura 59: Alternativa 2 B, malla Henderson y sizer en contorno del nivel de producción.

Esta alternativa también permite el uso de correas transportadoras en los niveles inferiores, dado que la trituración del mineral se produce en el nivel de producción, además no se requiere el nivel de reducción y control, como se muestra en la Figura 60.

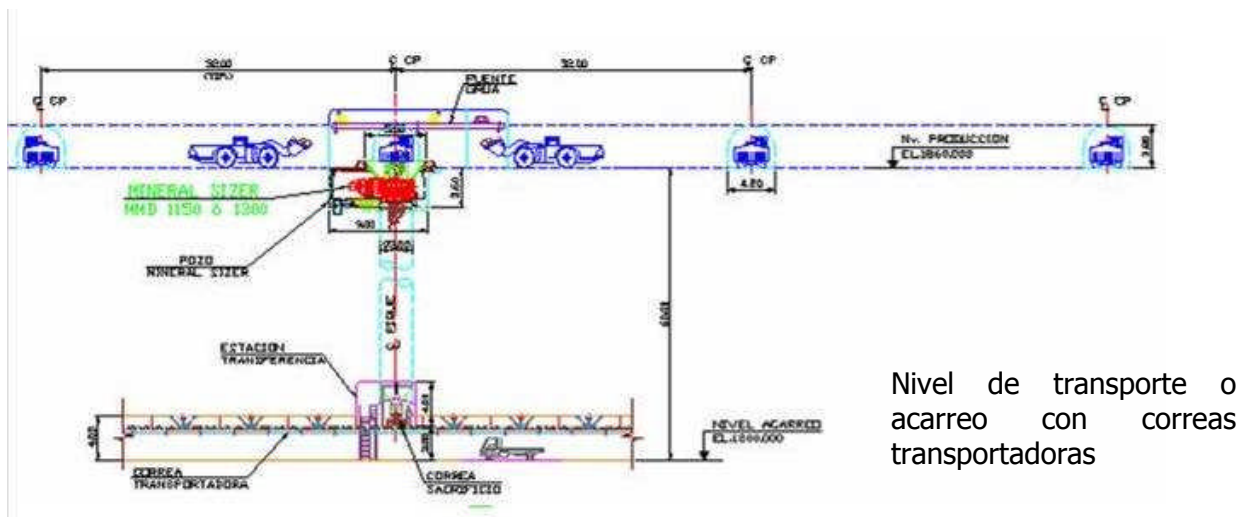


Figura 60: Perfil Alternativa 2, sizer fuera del nivel de producción.

Las dos variantes de la Alternativa 2 también pueden trabajar en el nivel de acarreo con camiones de alto tonelaje, aunque no es lo más recomendable, dado el mayor costo de operación de los camiones, los que se cargan a través de buzones convencionales.

7.6.3 Sizer en contorno del nivel de producción con transportadores (alternativa 3)

En las dos alternativas anteriores la descarga al equipo sizer se realiza directamente con los equipos LHD, produciendo una alimentación discontinua, una posible mejora a lo anterior es la incorporación de equipos transportadores continuos, (por ejemplo Apron feeder, panzer u otros), donde el mineral proveniente de los puntos de extracción sea descargado en ellos, para luego ser vaciado en forma más continua al equipo sizer.

Esta alternativa presenta las variantes de una utilización de una malla tipo Teniente (alternativa 3 A, ver Figura 61) o con malla Henderson (alternativa 3 B, ver Figura 62)

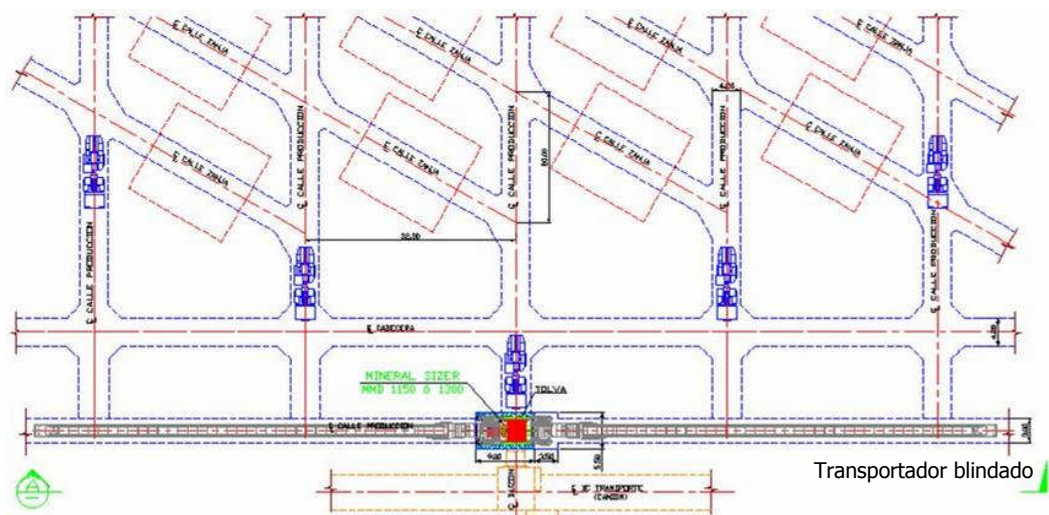


Figura 61: Alternativa 3 A, malla Teniente con sizer en contorno del nivel de producción con alimentadores.

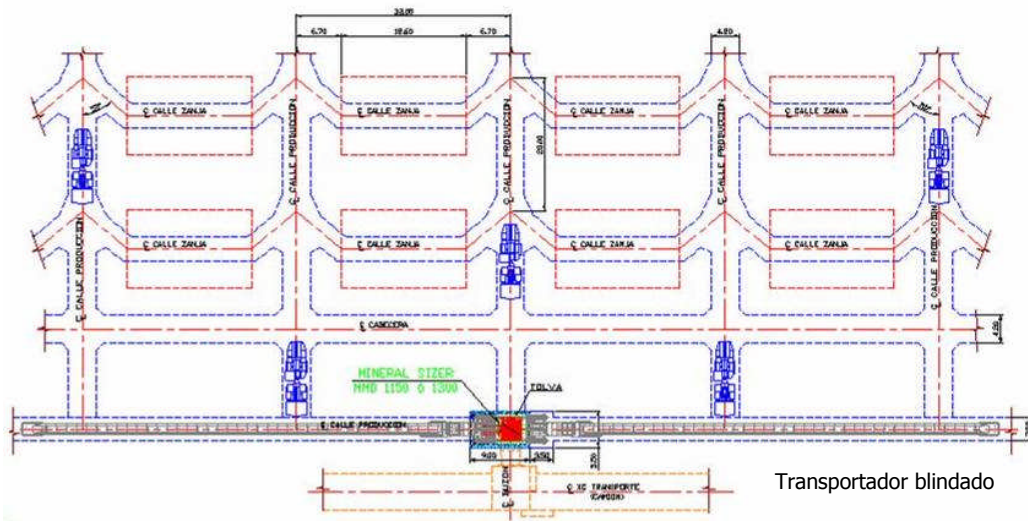


Figura 62: Alternativa 3 B, malla Henderson con sizer en contorno del nivel de producción con alimentadores.

El perfil se muestra en la Figura 63.

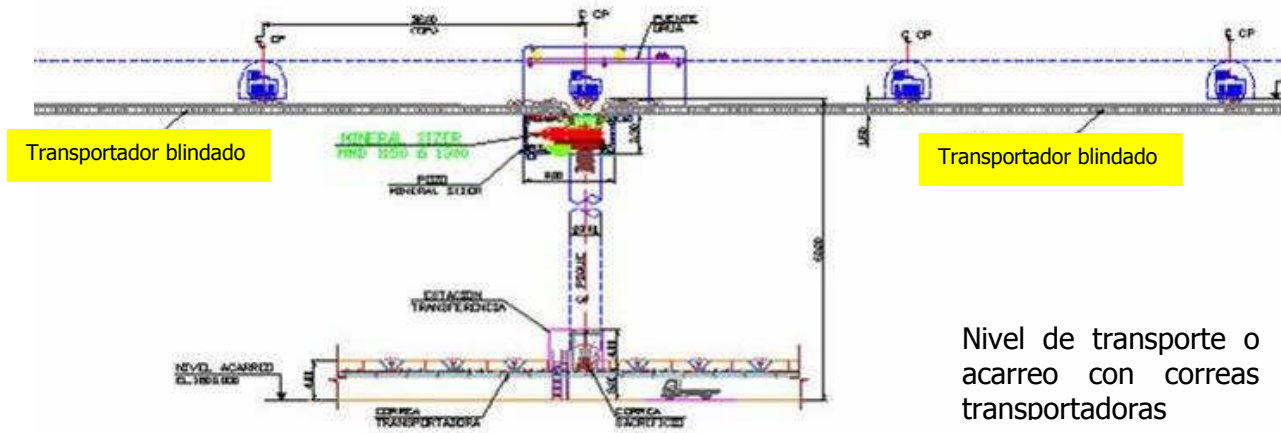


Figura 63: Perfil alternativa 3.

7.6.4 Sizer bajo el nivel de producción (alternativa 4)

Otra posible opción, que denominaremos "Alternativa 4", la constituye ubicar el sizer en un nivel inferior, y que sea alimentado por transportadores, como lo muestra la Figura 64, la definición del largo del transportador dependerá de cada operación en particular, pero de acuerdo a las primeras estimaciones realizadas, el chancador mineral sizer es capaz de procesar mineral proveniente de hasta seis equipos LHD, descargando en sus respectivos puntos de vaciado.

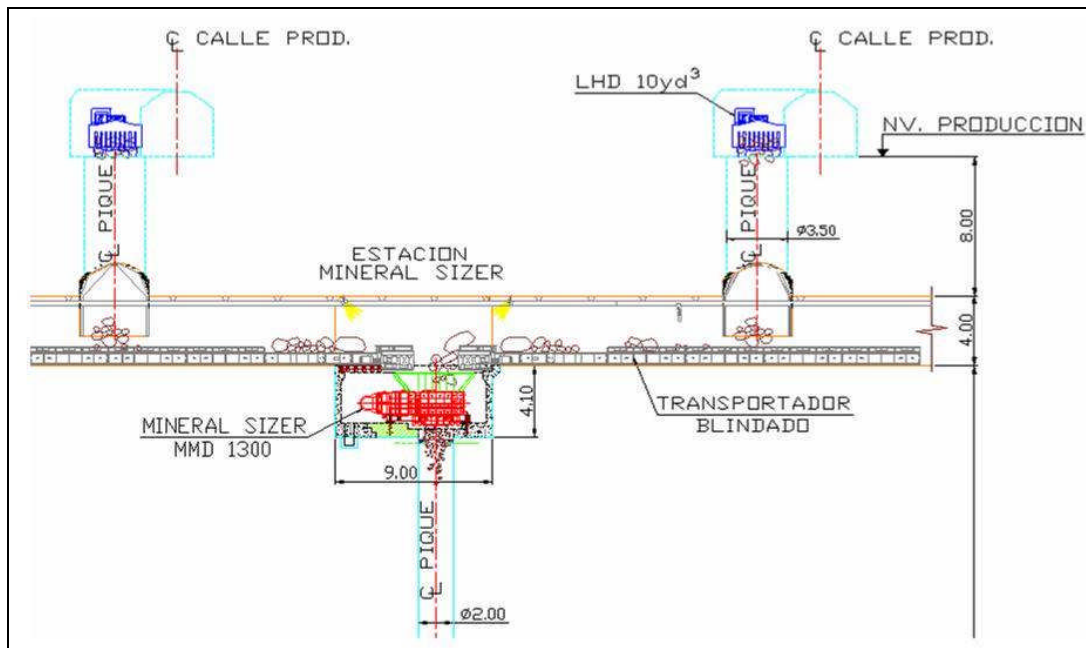


Figura 64: Alternativa 4, sizer en nivel inferior alimentado por transportador.

Dado que el sizer está ubicado en un nivel inferior, no se generan modificaciones en el nivel de producción, manteniendo los sistemas de piques de vaciado con parrillas. Esta alternativa tiene la desventaja que se pierde el beneficio de la trituración de mineral en el nivel de producción, con lo que se tiene un sistema de manejo de materiales con mineral grueso hasta el nivel de reducción, que es donde está ubicado el chancador mineral sizer. Sin embargo permite lograr una alimentación a mayores tasas, sin equipos ni excavaciones adicionales en el nivel de producción.

El transporte de mineral en el nivel inferior, puede ser con correas transportadoras, lo más recomendable o con los camiones convencionales de minería subterránea.

7.7 Selección del sizer adecuado (alimentación de mineral)

La selección del modelo de sizer adecuado a utilizar, se debe realizar en función a la granulometría esperada de alimentación a la que será sometido el equipo. De la revisión de los datos entregados por los fabricantes de este tipo de equipos, se relacionan los modelos adecuados para la granulometría esperada.

En la Tabla 28 se muestran distintos modelos de equipos con sus respectivos tamaños de alimentación, entregados por uno de los fabricantes.

Tabla 28: Modelos de sizer adecuados para roca dura (MMD, world reference list, 2006).

EXPERIENCIA MUNDIAL TRITURADORES SIZERS

Modelo		TAMAÑOS DE ALIMENTACIÓN			
		Real mm	Real pulgadas	Nominal mm	Nominal pulgadas
MMD 1.000	Promedio	1.179	46,4		
	Tamaño máximo	1.600	63,0	1.350	53,1
MMD 1.150	Promedio	1.220	48,0		
	Tamaño máximo	2.269	89,3	1.450	57,1
MMD 1.250	Promedio	1.495	58,9		
	Tamaño máximo	2.500	98,4	1.550	61,0
MMD 1.300	Promedio	1.413	55,6		
	Tamaño máximo	2.500	98,4	1.700	66,9
MMD 1.400	Promedio	2.500	98,4		
	Tamaño máximo	2.500	98,4	1.850	72,8
MMD 1.500	Promedio	2.850	112,2		
	Tamaño máximo	3.000	118,1	2.000	78,7

Esta tabla muestra la experiencia mundial con estos trituradores, con los tamaños promedios y máximos en las distintas aplicaciones. De aquí se pueden extrapolar los modelos adecuados dependiendo de la granulometría esperada (P80 y tamaño máximo). Se recomienda usar el P80 dado que el equipo sizer ha demostrado, a través de las pruebas industriales realizadas en Codelco, que es capaz de procesar tamaños mayores a su capacidad de diseño.

Por ejemplo si tenemos una operación minera donde el P80 esperado es de 1.200 mm, se recomienda utilizar el modelo MMD 1000 ó 1150. En cambio si tenemos granulometrías más gruesas, del orden de 1.500 mm, se recomienda usar equipos más grandes, como el MMD 1250 ó el 1300.

Por último, dada la experiencia adquirida se recomienda verificar la boca de alimentación, dado que si esta es de forma rectangular se pueden producir más eventos de rocas de grandes dimensiones que queden "colgadas", no siendo alcanzadas por los dientes del equipo. Esto apunta a que si la granulometría es gruesa, se deben adicionar anillos a los rodillos, generando una boca de entrada más cuadrada, lo que aumenta la capacidad para procesar rocas grandes.

Con respecto a la descarga de los equipos LHD sobre los rodillos del sizer, se debe realizar desde la menor altura posible, para evitar los golpes de las rocas sobre los rodillos.

También es importante verificar el costo de adquisición y operación de estos equipos. La Tabla 29 resume las principales características de tres modelos de sizers y sus costos asociados. El MMD 1300 se presenta en dos versiones, con cuatro y cinco corridas de anillos.

Tabla 29: Características diferentes modelos sizer (MMD, 2009).

MODELO	UNIDAD	MMD 1.150	MMD 1.300	MMD 1.300	MMD 1.500
Costo adquisición	kUS\$	1.405	1.936	2.723	3.000
Costo operación	US\$/t	0,28	0,26	0,28	0,20
Peso total	t	70	93	100	190
Tamaño máximo entrada diseño	mm	1.450	1.700	> 1.700	2.000
Tamaño de salida diseño (P80)	mm	250	300	300	350
Tamaño de salida diseño (P100)	mm	325	350	350	400
Anillos por rodillo	Unidades	5	4	5	4
Rendimiento nominal (+/- 20%)	t/hora	1.200	1.500	1.500	2.000
Voltaje de alimentación	Volt	4.160	4.160	4.160	4.160
Potencia del motor	kW	400	500	500	650

El costo de adquisición es puesto en fábrica (Manchester, UK) y el costo de operación considera mano de obra, consumo de elementos de desgaste (tips y coronas), energía y lubricantes.

El costo de operación corresponde a una primera estimación en base a los resultados de la prueba industrial de División Andina, para una aplicación minera en particular, se debe realizar una evaluación detallada de este ítem.

Ello muestra que son capaces de procesar grandes tamaños de alimentación a altas productividades. Independiente de la evaluación respectiva, también se pueden considerar los otros equipos para roca dura, como el MMD 1000, 1250 y 1400.

7.8 Selección del sizer adecuado (descarga de mineral)

La revisión de los tamaños de descarga de los trituradores sizers, tiene relación con el sistema de acarreo de mineral que se utilizará en los niveles inferiores, la Tabla 30 muestra la experiencia mundial al respecto.

Tabla 30: Tamaños de descarga de los trituradores sizers (MMD, world reference list, 2006).

EXPERIENCIA MUNDIAL TRITURADORES SIZERS					
Modelo		TAMAÑOS DE DESCARGA			
		Real	Real	Nominal	Nominal
		mm	pulgadas	mm	pulgadas
MMD 1.000	Promedio	287	11,3		
	Tamaño máximo	350	13,8	300	11,8
MMD 1.150	Promedio	279	11,0		
	Tamaño máximo	374	14,7	325	12,8
MMD 1.250	Promedio	314	12,3		
	Tamaño máximo	350	13,8	350	13,8
MMD 1.300	Promedio	315	12,4		
	Tamaño máximo	350	13,8	350	13,8
MMD 1.400	Promedio	350	13,8		
	Tamaño máximo	350	13,8	375	14,8
MMD 1.500	Promedio	403	15,9		
	Tamaño máximo	450	17,7	400	15,7

En función de esto, y dado que las correas normalmente en uso en minería subterránea son entre 48 y 60", y la bibliografía indica que para valores minerales gruesos el ancho de la correa es 1/5 del tamaño máximo (Belt conveyors for bulk materials, CEMA, 1988), por esto, los tamaños máximos recomendados para las correas nombradas van desde 10 a 12"

respectivamente, sin embargo, dado que los sizers entregan un tamaño de producto regular en las tres dimensiones, sin presencia de "lajas", estos valores podrían aumentar hasta 14" según la experiencia del fabricante (MMD, 2009). Para tamaños de descarga superiores, se recomienda utilizar camiones o ferrocarril.

Para minas en operación con un sistema de acarreo y transporte de mineral existente, por ejemplo los camiones de 80 t de División Andina, el análisis de reemplazo por correas transportadoras se debe hacer en función de una evaluación económica detallada.

7.9 Dimensiones de la malla de extracción y área de influencia de los sizers

Independiente de la alternativa elegida para evaluar, cada una de ellas tiene asociada un área de influencia por sizer, para ello se definieron cinco mallas de extracción como las más comunes, estas son: 13x15 m; 15x15 m; 15x17,32 m; 15x20 m y 17x20 m.

El área de influencia se calcula considerando las dimensiones de la malla y suponiendo que a cada calle se asocian 16 puntos de extracción, de acuerdo a esto y dependiendo de las calles involucradas en cada alternativa de diseño se define el área por sizer. Este valor se muestra en la Tabla 31 y la Figura 65.

Tabla 31: Área de influencia de los trituradores mineral sizer.

	Dimensiones malla de extracción			Área de Influencia Sizer (m2)	Calles Operativas
Alternativa N° 1	13	x	15	6.240	2
	15	x	15	7.200	2
	15	x	17,32	8.314	2
	15	x	20	9.600	2
	17	x	20	10.880	2
Alternativa N° 2	13	x	15	9.360	3
	15	x	15	10.800	3
	15	x	17,32	12.470	3
	15	x	20	14.400	3
	17	x	20	16.320	3
Alternativa N° 3 y N° 4	13	x	15	15.600	5
	15	x	15	18.000	5
	15	x	17,32	20.784	5
	15	x	20	24.000	5
	17	x	20	27.200	5

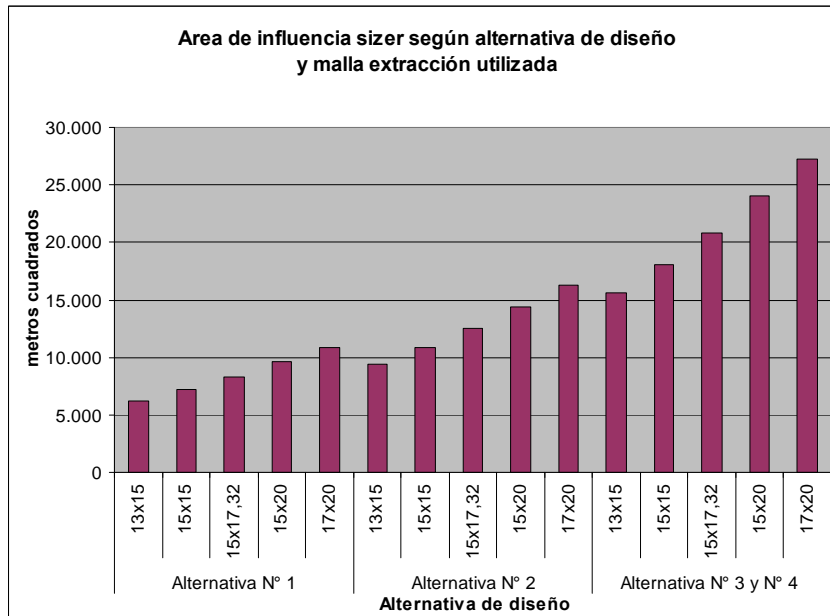


Figura 65: Área de influencia de los sizers en función de la malla de extracción.

7.10 Disminución de la reducción secundaria

Una de las principales ventajas esperadas de la aplicación de la minería de transición consiste en el aumento de la productividad de los equipos LHD, producto de la disminución de la reducción secundaria.

Para evaluar esto se debe considerar las restricciones por tamaños máximos que presenta el sistema de manejo de materiales de cada operación en particular, ojala detallado por nivel, por ejemplo tamaños máximos de las parrillas del nivel de producción y reducción, con esto se analizan las mejoras que se producen en este sentido.

7.11 Productividad esperada equipos LHD

La productividad esperada para los equipos LHD de diferentes capacidades se muestra en la Tabla 32, esto representa una forma estándar de presentarlo, se puede revisar en función de las características propias de cada operación en particular.

Tabla 32: Productividad esperada equipos LHD.

Rendimiento LHD				
Parámetros e Indicadores LHD	Unid	LHD 7 yd³	LHD 10 yd³	LHD 13 yd³
Volumen	yd ³	7,5	10	13
Factor de conversión volumen	m ³ /yd ³	0,765	0,765	0,765
Factor de llenado	-	0,9	0,9	0,9
densidad aparente	t/m ³	1,65	1,65	1,65
Capacidad	t	8,5	11,4	14,8
Velocidad cargado	km/hr	8	8	8
Velocidad vacío	km/hr	10	10	10
Tiempo de carga	seg	31	31	31
Tiempo descarga	seg	15	15	15
Distancia media	metros	50	50	50
Tiempo de viaje	seg	41	41	41
Ciclo sin pérdidas	seg	87	87	87
Perdidas	seg	16	16	16
Otros	seg			
Total ciclo LHD	seg	103	103	103
Rendimiento LHD	t/hr	298	398	517

Pérdidas		40%	40%	40%
Mantenimiento y reparación	%	5%	5%	5%
Pérdidas varias	%	10%	10%	10%
Pérdidas operacionales	%	25,0%	25,0%	25,0%

Rendimiento efectivo LHD	t/hr	179	239	310
Rendimiento efectivo LHD	t/día	4.298	5.731	7.450

Se deja una fila "Otros", para indicar posibles tiempos no incluidos.

7.11.1 Influencia de la distancia de acarreo de mineral

Los datos mostrados en la Tabla 32, representan la capacidad de carguío y transporte de los equipos LHD a una distancia promedio de acarreo de 50 m, a distancias superiores la productividad comienza a descender como muestra la Figura 66.

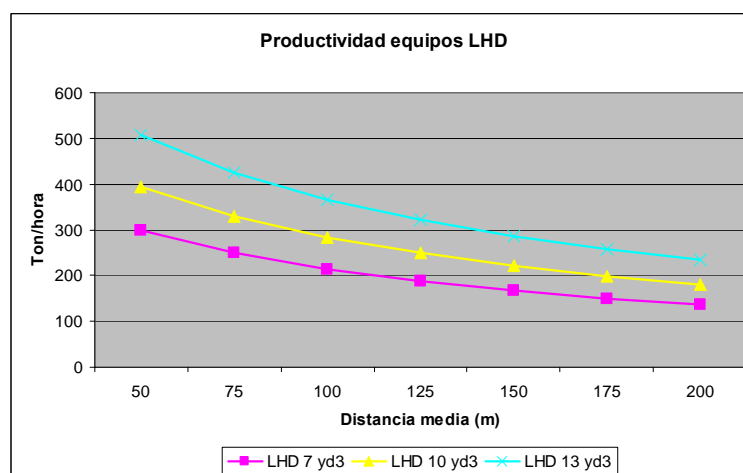


Figura 66: Productividad equipo LHD en función de la distancia de acarreo.

Por ello, es necesario revisar la distancia de transporte promedio de cada operación en particular, para corregir la productividad por este aspecto.

7.12 Productividad esperada módulo de minería de transición

Acá se comienzan a asociar los efectos, es decir, se relacionan los beneficios que se producen en el manejo de materiales con la operación conjunta de los equipos LHD y los trituradores sizers.

7.12.1 Efecto de la disminución de la reducción secundaria en la productividad de los LHD al aplicar MTS

La tendencia esperada es la disminución de la reducción secundaria, y por ende el aumento en la productividad de los equipos LHD, como ejemplo, si consideramos una disminución de la reducción secundaria de un 10% (ver Figura 45), con lo que se reducen las pérdidas operacionales, obtenemos los siguientes valores de productividad de los LHD.

Tabla 33: Efecto de la disminución de la reducción secundaria en la productividad de los LHD.

Mejora reducción secundaria	%	10,0%		
Pérdidas		38%	38%	38%
Mantenimiento y reparación	%	5%	5%	5%
Pérdidas varias	%	10%	10%	10%
Pérdidas operacionales	%	22,5%	22,5%	22,5%
		LHD 7 yd ³	LHD 10 yd ³	LHD 13 yd ³
Rendimiento efectivo LHD	t/hr	187	249	323
Rendimiento efectivo LHD	t/día	4.477	5.970	7.761
Mejora productividad LHD	%	4,2%	4,2%	4,2%

7.12.2 Cuadro resumen por alternativa de diseño

La productividad del módulo depende tanto de la alternativa de diseño elegida (de la número uno a la cuatro), como de las capacidades de los equipos LHD que se utilicen, a continuación se estima la productividad del módulo en función de las distintas alternativas para el caso particular del III panel de División Andina, el que puede ser aplicado a otras minas o proyectos de acuerdo a los diseños específicos de cada uno. Los parámetros de diseño del módulo se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34: Parámetros de diseño módulo de minería de transición.

	Ubicación	Distancia media	% de disminución	Calles de producción	LHD por
	sizer	de transporte	reducción secundaria	asociadas	sizer
Caso Base		50	0%	dos	2
Alternativa 1	En una zanja sin hundir	50	10,0%	dos	2
Alternativa 2	En el contorno del NP	120	10,0%	tres	3
Alternativa 3	En el contorno del NP con panzer	110	10,0%	cinco o más	5
Alternativa 4	Bajo en NP	50	0%	cinco o más	5

Notas: - Cada módulo se asocia a un sizer. NP: Nivel de producción
 - El 10% corresponde al valor obtenido en la segunda fase de la prueba industrial.

Tabla 35: Productividad esperada LHD 7 yd³, para las distintas alternativas de diseño.

	Un LHD	Dos LHD	Tres LHD	Cuatro LHD	Cinco LHD
Caso Base	179	358	537	716	895
Alternativa 1	187	373	560	746	933
Alternativa 2	120	240	361	481	601
Alternativa 3	127	253	380	486	608
Alternativa 4	179	358	537	716	895

Esto se muestra gráficamente, mostrando también las productividades de los equipos sizers, modelo MMD 1150 y 1300.

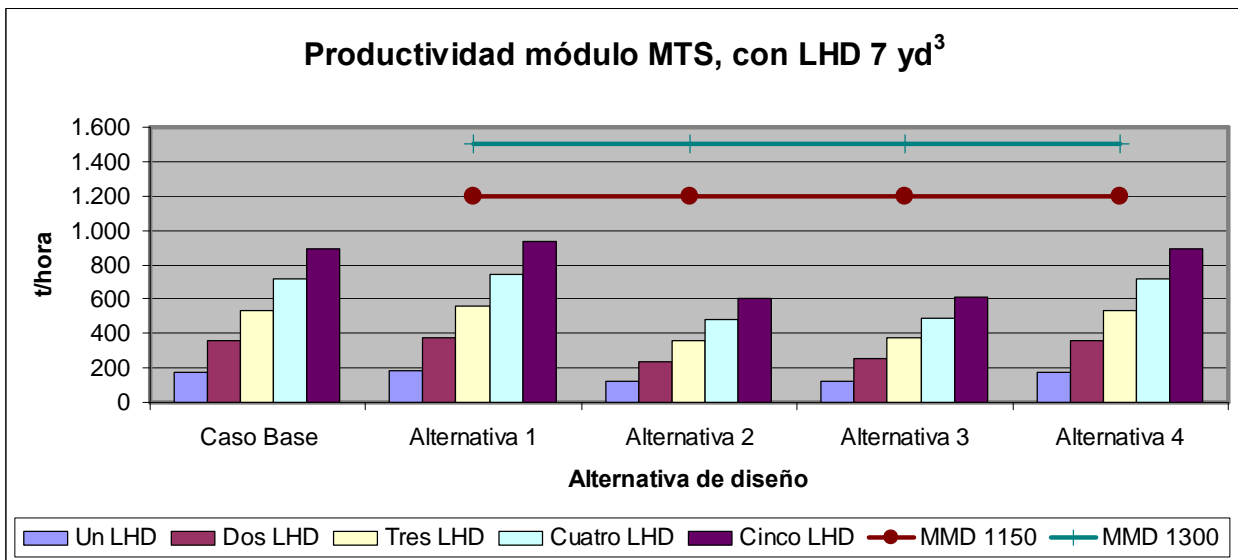


Figura 67: Productividad de LHD 7 yd³ y diferentes modelos de sizers.

Acá se muestra la productividad de los equipos LHD para las distintas alternativas de diseño, de ahí se desprende que si bien para este caso los valores que se obtienen son menores a las capacidades de los sizers, dependen del diseño que se plantee o que se elija utilizar para cada operación en particular, este análisis también se puede hacer para equipos LHD de 10 y 13 yd³ de capacidad.

Esto obviamente está relacionado con la productividad de los equipos LHD, si aumenta la distancia de acarreo de mineral, los valores en t/hora se reducen y pueden cambiar los valores mostrados.

7.13 Velocidad de extracción para las alternativas de diseño

En función a los datos anteriores, es posible calcular la velocidad de extracción, medida en (t/m²-día), para las distintas alternativas de diseño que se evalúen. Se espera lograr aumentos en este índice, dada la menor reducción secundaria y el aumento de la productividad de los LHD.

7.14 Simulación de la operación de la minería de transición

El objetivo de la simulación es construir un modelo que describa de la mejor forma la operación actual, para buscar las mejoras que se producen al introducir las tecnologías emergentes. Para ello y una vez definidas las productividades esperadas de los equipos LHD se recomienda realizar simulaciones y sensibilizaciones del sistema de manejo de materiales a utilizar (alternativa de diseño; modelo de sizer a utilizar, capacidad del equipo LHD, etc.), dado que siempre es más barato que las pruebas industriales.

La simulación se puede desarrollar usando software adecuados (ProModel, Arena u otro) y los pasos a seguir se muestran en los siguientes puntos.

7.14.1 Construcción del modelo

El proceso se inicia con la llegada del mineral a los puntos de extracción, continúa con la carga, acarreo y descarga del mineral en el equipo sizer mediante los equipos LHD o transportadores, la trituración del mineral y el flujo de mineral hacia los niveles inferiores, los parámetros de entrada son:

- Funcionamiento LHD: Velocidad cargado y vacío, capacidad, tiempos de carga y descarga, número de equipos, etc.
- Funcionamiento del sizer: Rendimiento en t/hora
- Plano mina: Layout nivel de producción, malla de extracción, distancias.
- Curvas de fragmentación.

El modelo debe considerar las calles o sectores involucradas en el análisis.

7.14.2 Criterios de diseño del modelo

Los criterios del modelo son:

- Turnos de trabajo (12 u 8 horas), con las horas efectivas de trabajo.
- Asignación de calles y puntos de extracción por el criterio de tiraje regular: La asignación realiza primero la búsqueda de la calle con menor extracción, una vez en ella se dirigen al punto que también posea el menor tiraje, esto es para simular un descenso parejo de la columna de mineral.
- Extracción de mineral: Cada ciclo extrae una baldada desde cada punto habilitado, cada punto es extraído una sola vez por cada asignación de calle, extrayendo hasta un máximo de baldadas determinado, o hasta el cierre del punto por un bolón o una colgadura. Al cambiarse de punto dentro de la calle aplica el criterio del menos extraído.
- Cierre de una calle de producción: Una calle se cierra si tiene más de una cierta cantidad de puntos bloqueados. Depende de cada operación en particular.
- Habilitación de una calle: Ocurre al turno subsiguiente de haber sido cerrada, posterior al proceso de tronadura secundaria.
- Para el mineral sizer se debe considerar su capacidad de diseño, tamaño máximo de alimentación y descarga, costo de operación, cantidad de LHD por sizer, etc.

7.14.3 Parámetros operacionales

El modelo evalúa variable de salida definida como "Producción" (TPD, t/mes, t/calle, etc.) en función de las diferentes combinaciones de operación de los equipos LHD con el triturador sizer.

Los equipos adecuados para procesar mineral duro se mostraron en la Tabla 28 y en la Tabla 29.

Con respecto a los equipos LHD, se definen los modelos de 7, 10 y 13 yd³, cuyas productividades fueron mostrados en el punto 7.12, acá se debe incluir el efecto de la disminución en la reducción secundaria producto de la aplicación de la MTS.

7.14.4 Resultados

Los resultados se analizan en función de la mejor combinación entre los equipos LHD, transportadores (opcional) y mineral sizer, buscando la mayor productividad del sistema de manejo de materiales bajo un criterio de selección definido, que puede ser: El menor costo de operación, o el que genere las menores inversiones, el que tenga mayor confiabilidad, etc..

7.14.5 Conclusiones y recomendaciones de la simulación

Las conclusiones y/o recomendaciones deben apuntar a definir la ubicación de equipo sizer dentro del sistema de manejo de materiales, el modelo de sizer adecuado a la operación, el tamaño y cantidad de los equipos LHD, etc.

7.15 Evaluación económica

Posteriormente se realiza la evaluación económica del proceso, en base a tres puntos principales.

7.15.1 Datos de entrada

Para la realización de cualquier evaluación económica respecto al paso de una explotación por minería convencional a una minería de transición, es necesario contar con una serie de información respecto a las alternativas o modificaciones que se deseen evaluar para cualquier proyecto minero. Es así como se ha definido considerar los siguientes datos de entrada:

- Plan Minero: Es necesario contar con el programa de producción a fin de poder definir los beneficios posibles de obtener para cada período de explotación. Adicionalmente, el secuenciamiento de hundimiento, es clave para la determinación de parámetros operacionales relacionados a cada opción a evaluar.
- Leyes: De acuerdo al punto anterior, la información respecto a las leyes del sector a evaluar, son parte indispensable dentro la obtención del beneficio económico que implica la explotación de dicho mineral.
- Recuperación: También es necesario contar con los datos como la recuperación metalúrgica dentro del plan minero, para el cálculo de los ingresos que genera la extracción de mineral del sector.

- Inversión asociada a equipos mineros y desarrollos: Las distintas configuraciones a proponer para una minería de transición, pueden implicar la incorporación o eliminación de algunos equipos o labores mineras asociadas, lo que influye directamente en las inversiones del proyecto minero, ante lo cual, se debe contar con dichos valores de inversión o ahorro.
- Inversión asociada a equipo sizer: Uno de los cambios asociado al paso de una minería convencional a una minería de transición, es el reemplazo de los chancadores de mandíbulas, giratorios o cualquiera que haya sido considerado, por trituradores sizers, por lo que se necesita contar con cotizaciones del modelo requerido.
- Ingenierías: Dentro de las inversiones de cualquier proyecto, es necesario considerar las ingenierías asociadas a cada diseño, que podrían variar de acuerdo a los requerimientos de HH de cada una de ellas.
- Construcción y montaje de equipos: Los equipos chancadores, ya sean giratorios, mandíbulas, sizer u otros, implican la construcción de infraestructura necesaria para su montaje y posterior operación, cuyo valor de inversión, dependerá del tipo de chancador y la cantidad requerida.
- Productividad equipos: Un factor importante para la determinación del requerimiento horario de cada uno de los distintos equipos considerados en el diseño minero, es el rendimiento asociado a cada uno de ellos. Lo anterior, ya que el cálculo de las flotas y adquisiciones de dichos equipos, produce efectos sobre la decisión de adquisición o arriendo de ellos, lo que finalmente repercute en la evaluación económica.

7.15.2 Costo de operación

Dentro de los impactos generados en el paso de una minería convencional a una minería de transición, es posible mencionar que se afecta el costo de operación de la mina. Lo anterior, se explica de acuerdo a los siguientes factores:

- Productividad: Para efectos de analizar el costo de extracción, la productividad horaria juega un papel importante dentro de dicho costo, ya que para cada uno de los diseños a proponer de la minería de transición, se tendrá una productividad acorde a los parámetros operacionales de cada una de ellas.
- Costo Horario: Un punto importante dentro de las evaluaciones económicas, es la incorporación o eliminación de algunos equipos mineros que implica cada alternativa a evaluar, por lo que se requiere contar con el costo horario de cada uno de ellos, a fin de que se vea reflejado en el costo mina. Adicionalmente, dicho costo asociado a la productividad, permite obtener el costo por tonelada de mineral extraído para cada una de las opciones.
- Costo operación equipo sizer: Dado que se quiere evaluar la incorporación de los equipos sizer dentro del proceso de extracción del mineral desde la mina, se debe contar con un costo asociado a dicha operación, que considere factores operacionales propios de cada mina.
- Tiempo efectivo: En línea con lo descrito anteriormente, las productividades se asocian al tiempo efectivo por turno en cada una de las alternativas de diseño minero, tanto para la minería de transición, como para la minería convencional.

Una vez que se cuenta con toda la información anteriormente descrita, es posible llevar a cabo la respectiva evaluación económica, la que a su vez, necesitará otros antecedentes, como los que se detallan a continuación.

7.15.3 Flujos e indicadores económicos

En este punto se requieren:

- Orientaciones comerciales: Para el desarrollo de la evaluación económica, es necesario contar con ciertos parámetros económicos, asociados a los informes respecto a las orientaciones comerciales, como lo es el precio del cobre en el período de corto plazo. Dichos informes, se elaboran una vez al año para todos los proyectos de la corporación.
- Horizonte de evaluación: Dependiendo del programa minero, el proyecto deberá evaluarse para un cierto periodo de tiempo, de acuerdo a la vida útil de la mina.
- Indicadores (VAN, TIR, IVAN): Como resultado de la evaluación, existen algunos indicadores económicos que son claves para la toma de decisiones. Por un lado, el VAN (valor actual neto), indica el valor del proyecto al presente, a partir de un determinado número de flujos de caja en años posteriores (horizonte de evaluación), que a su vez, se generan a partir de las inversiones. Mientras que el TIR (tasa interna de retorno), representa a la tasa de interés con la cual el VAN es cero.

7.16 Manejo de materiales propuesto con MTS

En función de los resultados obtenidos, una vez aplicada la guía de diseño, se definen los diseños mineros para el manejo de materiales propuesto, con la aplicación de la minería de transición con sizer a la operación minera en particular.

7.17 Cuadro resumen

A continuación se muestra un diagrama de flujo que resume de toda la secuencia explicada, la idea básica es maximizar los beneficios que se presentan al utilizar esta tecnología, principalmente en los sistemas de manejo de materiales, tanto de las minas en operación como en proyectos nuevos, ver Figura 68.

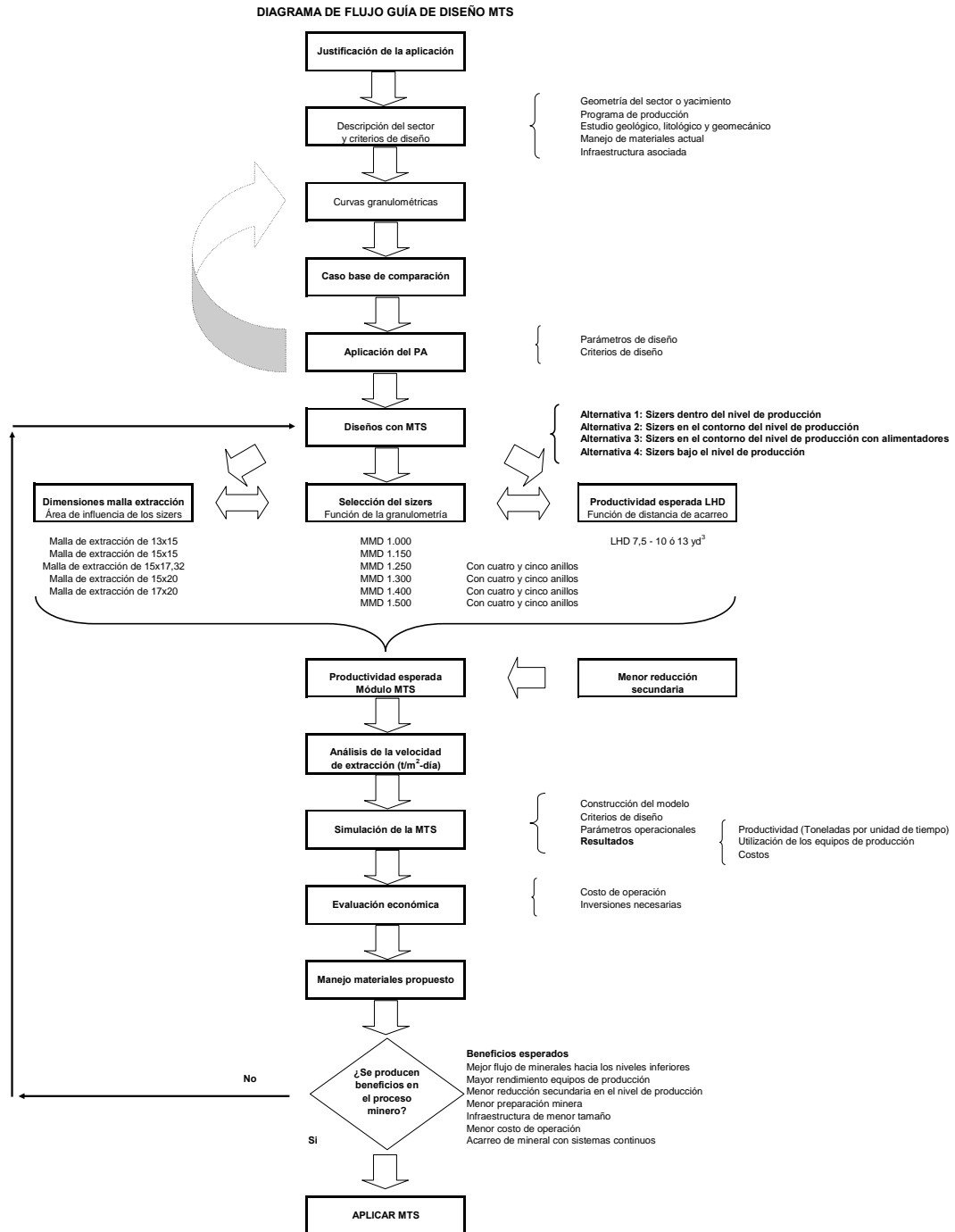


Figura 68: Diagrama de flujo guía de diseño MTS.

7.18 Conclusiones y recomendaciones de la guía de diseño

Finalmente se deben presentar las conclusiones y/o recomendaciones generales, especificando las ventajas de la operación con minería de transición con sizers y los beneficios detectados.

Esta guía de diseño será aplicada a modo de ejemplo a un sector del III panel noroeste de División Andina, como una forma de mostrar los beneficios esperados de la tecnología sizers, sin

embargo, queda planteada como una herramienta para su posterior aplicación a otras minas en operación o en los proyectos estructurales de la corporación del cobre.

CAPITULO VIII

***APLICACIÓN MINERÍA DE TRANSICIÓN CON SIZER (MTS) EN EL III PANEL
NORTE DIVISIÓN ANDINA***

8 Aplicación Minería transición con sizers (MTS) en el III panel Norte División Andina

8.1 Justificación de la aplicación

Desde la finalización de la prueba industrial realizada en División Andina, ocurrida en mayo del 2008, el sizer ha seguido operando en la misma posición, generando variados beneficios y llegando casi al millón de toneladas procesadas. Ello ha contribuido al mayor conocimiento de este tipo de equipos operando en roca primaria, lo que hace posible pensar en continuar con su aplicación en otros sectores del III panel, que presentan también mineral primario.

8.2 Descripción del sector y criterios de diseño

La aplicación de la minería de transición se realizará en el sector asociado a los vaciaderos de la línea H, la más al norte del III panel, esta corresponde a una zona que está aún en preparación por lo que se podrían realizar las modificaciones necesarias que permitan la aplicación de esta tecnología.

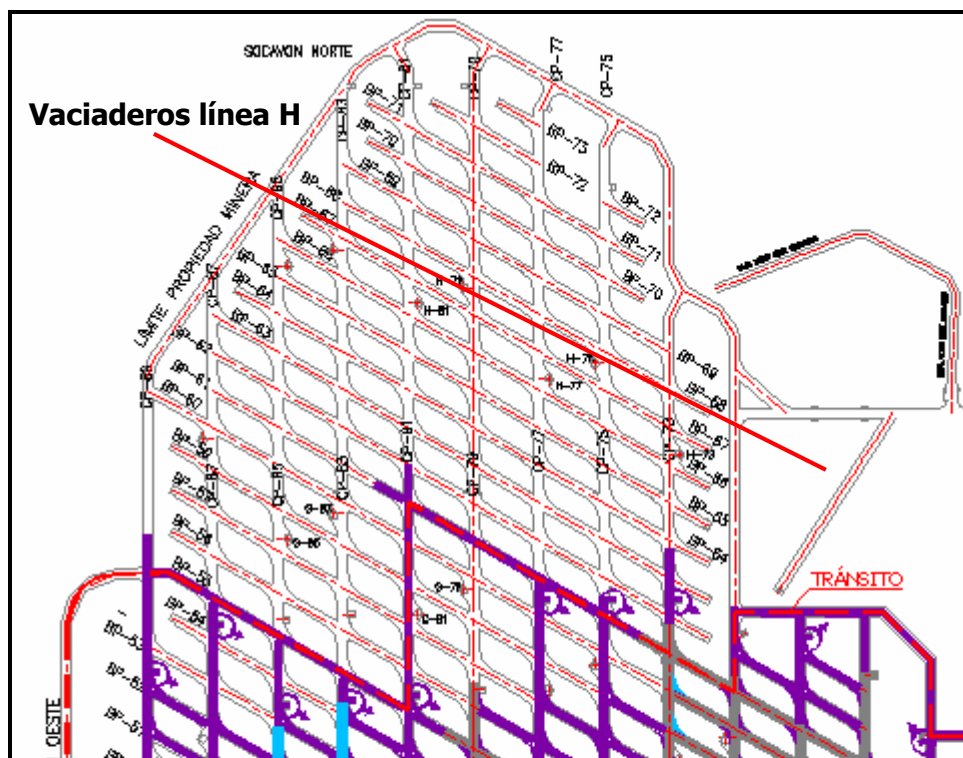


Figura 69: Sector de aplicación de la minería de transición.

La malla de extracción del III panel norte corresponde a una tipo Teniente de 13 x 15 m.

Los criterios de diseños son no alterar la producción normal del sector a evaluar, disminuir el porcentaje de reducción secundaria, aumentar la utilización del sizer y generar beneficios económicos.

8.2.1 Geometría del sector o yacimiento

La geometría del sector permite instalar los sizers dentro del nivel de producción o en el contorno de este.

8.2.2 Programa de producción

El remanente del tercer panel de Andina tiene programado explotarse hasta el 2018, siendo su última línea de vaciaderos la letra "H", ver Tabla 36. Dentro de la planificación se tiene considerado el método convencional, pero debido al resultado de las pruebas del módulo de minería de transición se propone incluir dentro de la planificación este sector, realizando una evaluación para la explotación del sector mediante MTS.

Tabla 36: Plan de producción línea H, III panel División Andina.

TONELAJE SEGÚN AREA DE INFLUENCIA LINEA H

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
TON	15,962	488,270	1,643,584	2,866,703	4,714,111	5,275,164	1,749,634	1,854,238	18,607,665
% CU	0.989	1.016	0.945	0.952	0.948	0.874	0.870	0.726	0.900
% REC	94.3	94.0	93.6	93.2	92.2	91.8	92.9	84.3	91.691

El plan minero nos indicará donde es posible ubicar los nuevos diseños planteados.

8.2.3 Estudio geológico, litológico y geomecánico

Las características de la roca presente en el III panel fue mostrada en la Tabla 9, el sector no está asociado a altos esfuerzos.

El análisis geomecánico se debe realizar principalmente para la alternativa "1", que considera el triturador mineral sizer dentro del nivel de producción.

8.2.4 Manejo de materiales actual

División Andina utiliza el método tradicional de explotación de minas por hundimiento, con un nivel de producción, reducción y control y transporte por camiones. El manejo de materiales se explica en la Figura 70.

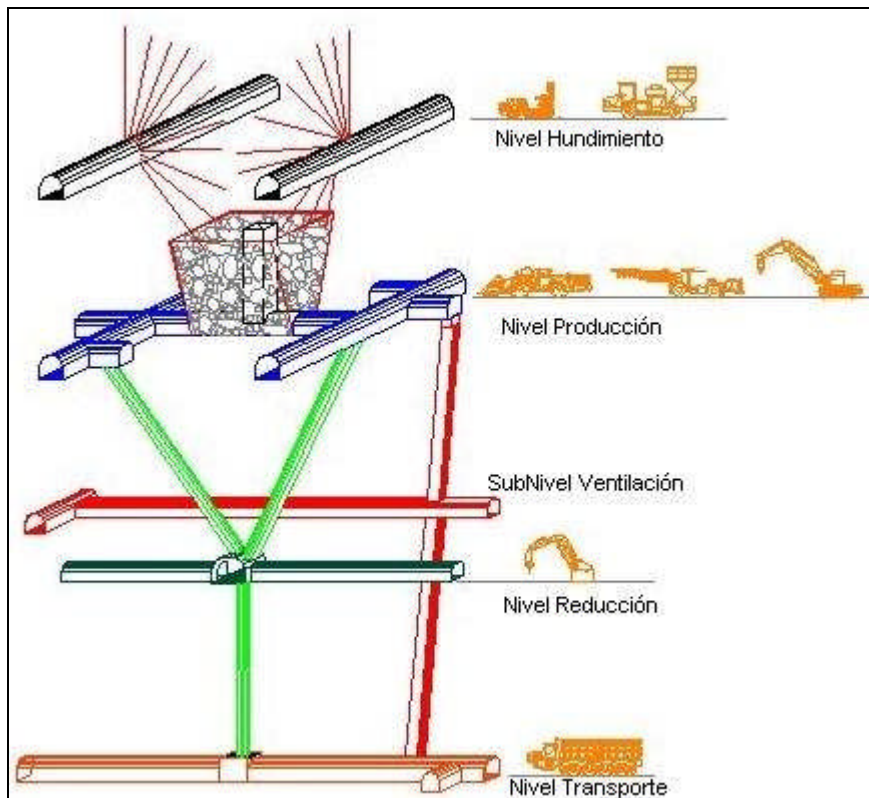


Figura 70: Esquema minería convencional.

En el nivel de hundimiento se socava el mineral que pasa al nivel de producción. Ahí los equipos LHD de 7 yd³ lo transportan a vaciaderos que cuentan con una parrilla en forma de cruz sobre el pique de 3 m de diámetro, esto genera una abertura de 0,9 m (35 pulgadas), como muestra la Figura 71. Estos se conectan con el nivel de reducción, donde se ubica una cámara de picado que recibe el mineral de dos piques. Aquí se controla la granulometría con otra parrilla de 24 pulgadas (0,6 m) y martillos picadores telecomandados. El mineral pasa al nivel de transporte, donde es cargado en los camiones de 80 t mediante buzones primarios, para ser llevado a las plantas de chancado interior mina.

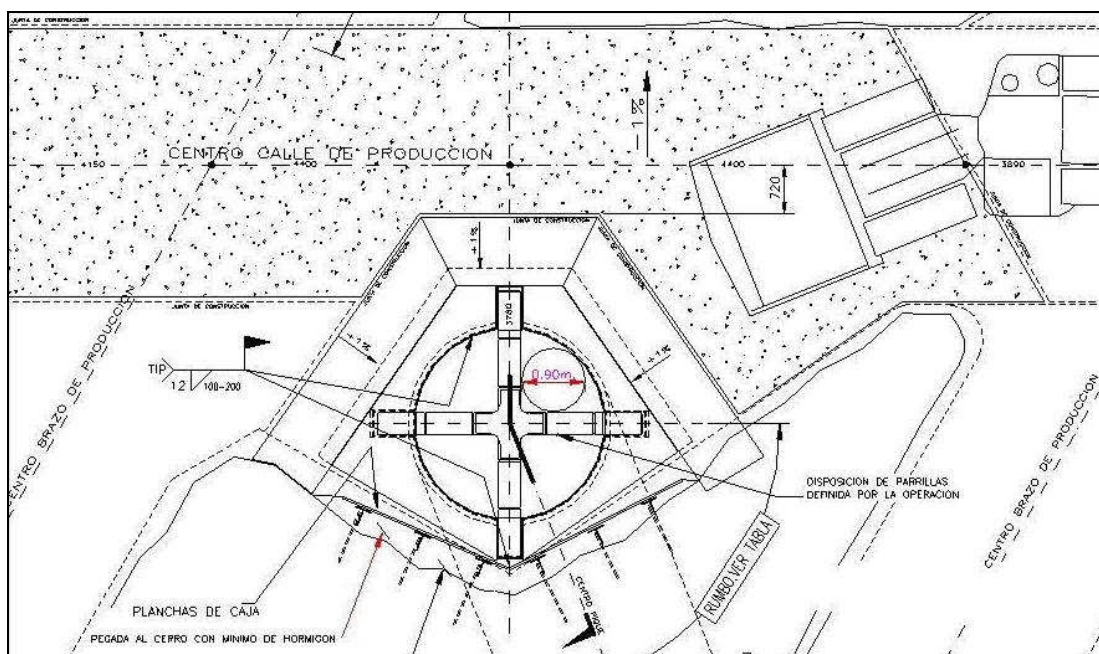


Figura 71: Punto de vaciado del III panel de División Andina.

8.2.5 Infraestructura asociada

El sistema de manejo de materiales mostrado no genera mayores excavaciones en el nivel de producción, y consiste en un sistema bastante estándar. El mineral fluye con las interrupciones indicadas (parrillas en el nivel de producción y en el de reducción), hacia el nivel de transporte o acarreo, donde se realiza el transporte por camiones de 80 t que representan altos costos de operación, además de continuas mantenciones de pistas.

8.3 Curvas granulométricas

La distribución granulométrica base del III panel noroeste, se muestra en la Tabla 37 y en la Figura 72. En ella se muestra que existe entre un 37% del material con tamaños sobre un metro, esta es una curva real de la operación.

Tabla 37: Distribución de tamaños III panel noroeste.

Altura Acum. (m)	Tamaño (metros)							
	< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	> 3,0
[0-10]	28	55	81	92	97	99	99	100
[10-20]	25	47	68	84	91	95	99	100
[20-30]	22	43	63	80	88	93	99	100
[30-40]	0	0	0	0	0	0	0	0
[40-50]	0	0	0	0	0	0	0	0
promedio	22	43	63	80	88	93	99	100

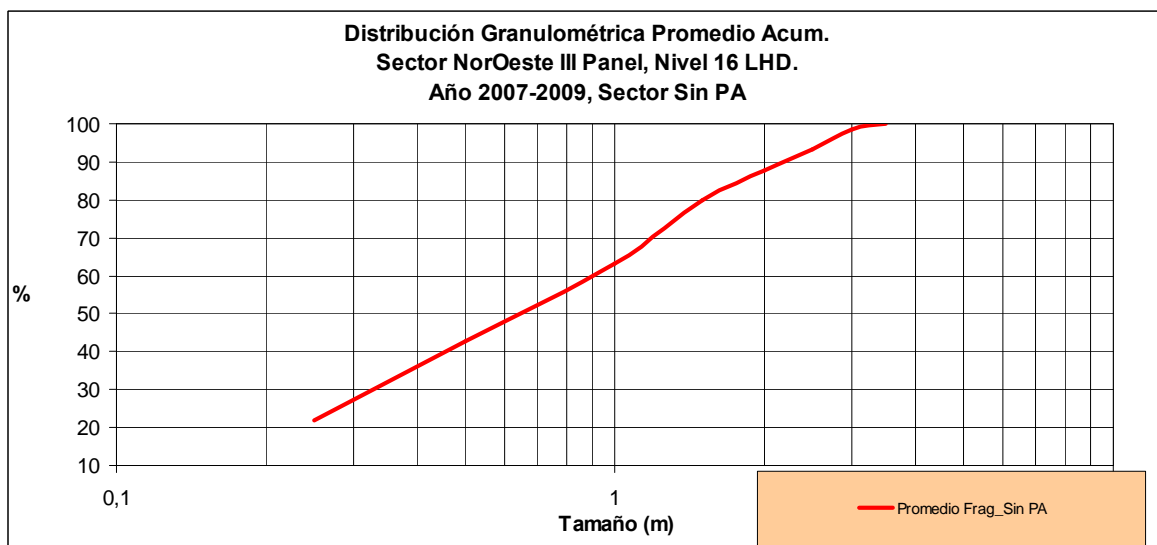


Figura 72: Distribución granulométrica línea base III panel Noreste.

8.4 Caso base de comparación

El costo de explotar la línea H del III panel de División Andina, por el método tradicional alcanza entrega un VAN (10%) de 51.602 kUS\$, este será el caso base de comparación.

Tabla 38: Evaluación económica caso base, método convencional.

DESPUES DE IMPUESTO	
Tasa dcto. 8%	8%
V.A.N :	78.456
T.I.R :	61%
I.V.A.N :	2,15
PERIODO PAGO :	Años
Tasa dcto. 10%	10%
V.A.N :	68.709
T.I.R :	61%
I.V.A.N :	2,04
PERIODO PAGO :	Años

Este valor incluye los desarrollos y construcciones para ese sector, que corresponden principalmente a 7 puntos de vaciado, 4 cámaras de picado con sus respectivos buzones primarios. Se considera también la adquisición de 4 martillos picadores.

8.5 Aplicación del PA

El PA se ha estado aplicando en esta División desde el año 1999, tanto el fracturamiento hidráulico como el con explosivos, sus resultados se mostraron en la Tabla 6.

8.6 Diseños mineros con minería de transición con sizer

Para la aplicación de la MTS en la línea H del III panel, se plantean tres posibles diseños mineros. Primero la alternativa 1 A, similar a la utilizada en la prueba industrial, la que fue mostrada ampliamente en los capítulos anteriores, en segundo lugar la 2 A, con dos estaciones sizer ubicadas fuera de los límites del nivel de producción y la 3 A, que incorpora un transportador de mineral. Con esto, los diseños y equipos necesarios para cada alternativa son:

Alternativa 1 A:

- Tres trituradores mineral sizer instalados en una zanja que se deja sin hundir, dentro del nivel de producción.
- Dos equipos LHD para alimentación de mineral por cada sizer.
- La distancia media de acarreo de los equipos LHD es de 50 m.
- Tres piques directos entre niveles de producción y transporte.
- Tres buzones livianos en el nivel de transporte.
- Transporte de mineral usando los actuales camiones de 80 t o reemplazarlos por correas transportadoras.

Esto significa continuar con el diseño del módulo de la minería de transición se mostró en la Figura 41, explicada en el punto 5.6. Con esto el diseño minero queda como se muestra en la Figura 73.

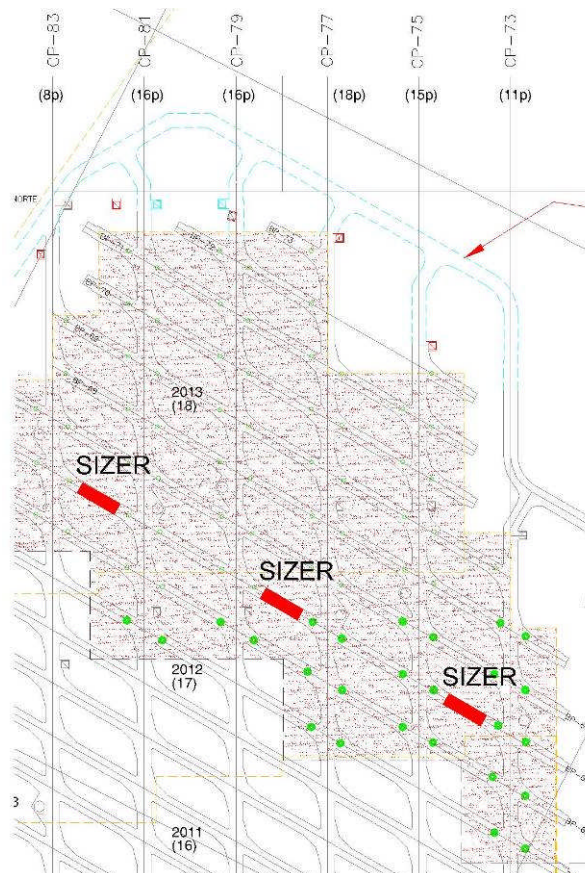


Figura 73: Diseño minero alternativa 1 A.

Alternativa 2 A:

- Dos trituradores mineral sizer instalados fuera del nivel de producción.
- Tres equipos LHD para alimentación de mineral por cada triturador mineral sizer.
- La distancia media de acarreo para los equipos LHD es de 120 m.
- Dos piques directos entre niveles de producción y transporte.
- Dos buzones livianos en el nivel de transporte.
- Transporte de mineral usando los actuales camiones de 80 t o reemplazarlos por correas transportadoras, ver Figura 74.

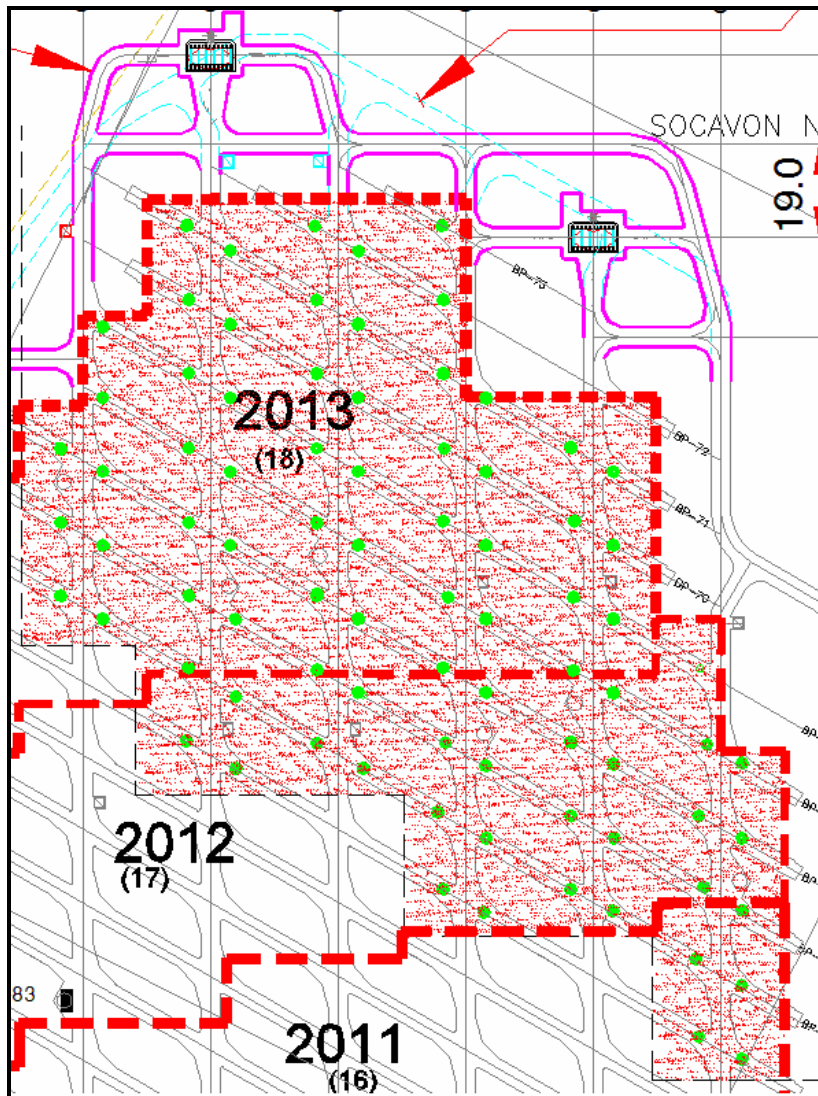


Figura 74: Diseño minero alternativa 2 A.

Alternativa 3 A:

- Un triturador mineral sizer instalados fuera del nivel de producción.
- Tres equipos LHD para alimentación de mineral.
- Un transportador que recibe el mineral de los LHD y lo descarga en el sizer.
- La distancia media de acarreo para los equipos LHD es de 110 m.
- Un pique directo entre el nivel de producción y el de transporte.

- Un buzón liviano en el nivel de transporte.
- Transporte de mineral usando los actuales camiones de 80 t o reemplazarlos por correas transportadoras, ver Figura 74.



Figura 75: Diseño minero alternativa 3 A.

No se consideró la opción del sizer bajo el nivel de producción (alternativa 4), dado que lo que se busca es disminuir la reducción secundaria en el nivel de producción.

8.7 Selección del sizer adecuado (alimentación de mineral)

El equipo actualmente instalado en División Andina es el modelo MMD 1150. Sus principales características técnicas son:

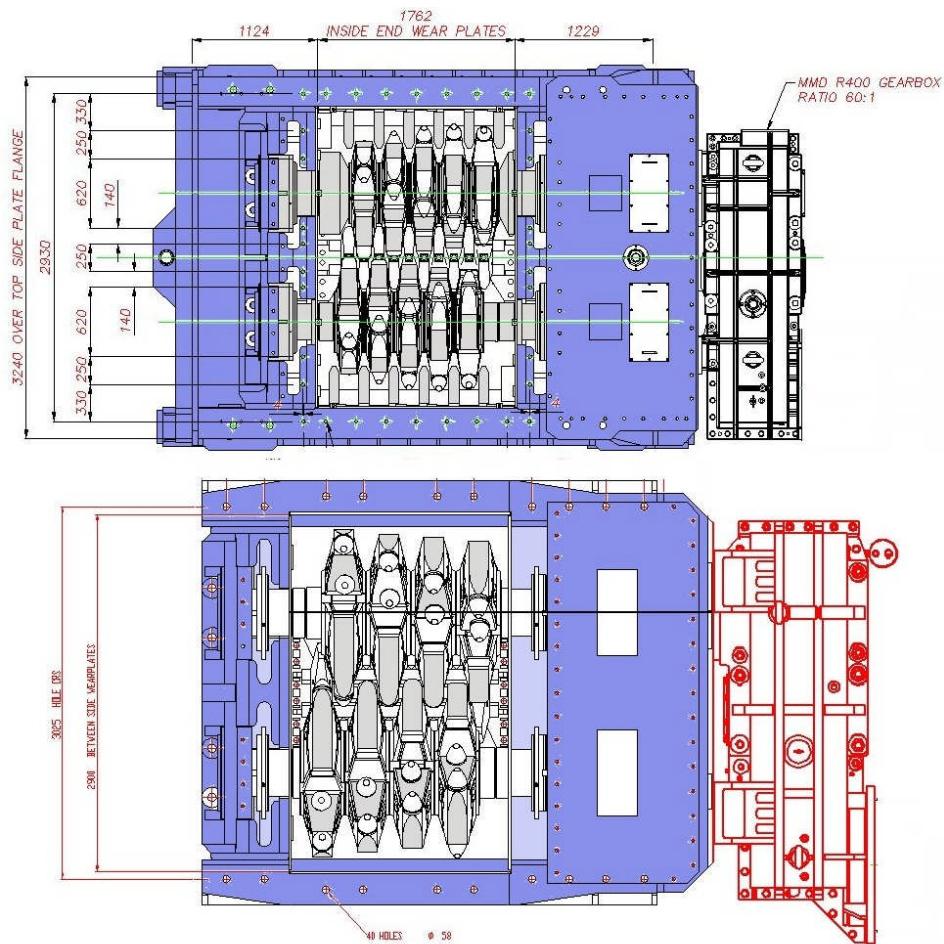
Tabla 39: Características Sizer MMD 1150.

Fabricante	MMD
País fabricante	Inglaterra
Modelo	1150
Costo	kUS\$ 1.400
Tamaño de entrada de diseño	1,450 m
Tamaño de entrada real	2,345 m
Tamaño de salida	0,38 m
Boca de alimentación	1,70 x 2,90 m
Rendimiento nominal	1.200 t/hora
Voltaje de alimentación	4.160 Volt
Potencia del motor	400 kW

Este equipo, si bien ha funcionado correctamente en Andina, permite incluir mejoras al sistema global de manejo de minerales de la mina subterránea, pero, dada la granulometría actual del III panel, se recomienda la utilización de un nuevo modelo sizer, denominado MMD 1300, que presenta las siguientes ventajas comparativas:

- Aumenta el tamaño de alimentación de diseño, desde los actuales 1.450 mm a 1.700 mm, pudiéndose llegar eventualmente a valores mayores a 2.000 mm.
- Esto permite la disminución de la reducción secundaria en el nivel de producción.
- El sizer cuenta con rodillos más resistentes.
- Existe la posibilidad de incorporar una corrida adicional de anillos por rodillo, generando una boca de alimentación más grande.

La Figura 76 muestra una comparación entre los diferentes modelos de sizer, el actualmente en uso y el planteado como mejora.



Sizer MMD 1150

Sizer MMD 1300

Figura 76: Diagrama comparativo MMD 1150 v/s MMD 1300.

Las ventajas que genera el uso de este chancador son:

- Rodillos más robustos.
- Permite mayor tamaño de alimentación.
- Mayor rendimiento instantáneo.
- No requiere mayores excavaciones

Como desventajas se pueden nombrar que tiene un mayor costo de adquisición, requiere un mayor consumo de energía y los elementos de desgaste son más caros.

Sus características técnicas son:

Tabla 40: Características sizer MMD 1300.

Fabricante	MMD
País fabricante	Inglaterra
Modelo	1300
Costo (con cuatro o cinco anillos por rodillo)	kUS\$ 1.900 a 2.700
Tamaño de entrada de diseño	1,700 m
Tamaño de salida	0,35 m
Boca de alimentación	1,70 x 2,90 m
Rendimiento nominal	1.500 t/hora
Voltaje de alimentación	4.160 Volt
Potencia del motor	500 kW

También dentro del conocimiento adquirido, se podrían implementar nuevas modificaciones al diseño, como son:

- Usar tips y coronas de materiales más resistentes. Las pruebas realizadas hasta ahora con tips fabricados con Astralloy muestran que hay posibilidades de mejora en ese sentido.
- Permitir que los rodillos sean de fácil retiro, es decir, que la mantención se reduzca a cambiar un rodillo completo y que los tips desgastados se reemplacen en un taller fuera del sizer.

Estas modificaciones es necesario revisarlas con el fabricante para verificar su factibilidad de aplicación.

8.8 Selección del sizer adecuado (descarga de mineral)

La experiencia mundial indica que la granulometría de descarga del triturador mineral sizer modelo MMD 1300, alcanza los 315 mm (12,4”), con un nominal entregado por el fabricante de 350 mm (13,8”).

Por esto se recomienda continuar con los camiones de 80 t para el transporte de mineral. También se podría realizar una evaluación detallada para su reemplazo por correas transportadoras, pero dada la vida útil de la mina, hasta el 2018, se estima que es mejor terminar con el sistema actual.

8.9 Dimensiones de la malla de extracción y área de influencia de los sizers

De acuerdo a la malla de extracción utilizada en el III panel noroeste, 13 x 15 m, el área de influencia de la línea H alcanza a 16.194 m², con esto el área de influencia por sizer sería:

- Alternativa 1 A: 5.398 m² (tres sizer).
- Alternativa 2 A: 8.097 m² (dos sizer).
- Alternativa 3 A: 16.194 m² (un sizer)

8.10 Disminución de la reducción secundaria

Otro punto a verificar es si existe una disminución en la reducción secundaria producto de la aplicación de la MTS, esto se verifica en que dado el tamaño máximo que acepta el sistema de manejo de materiales actual del III panel de División Andina, que alcanza a los 0,9 m, se tiene un 36,7% de granulometría mayor que debe ser reducida mediante el uso de martillos picadores o por reducción secundaria con explosivos.

Ante esto si mantenemos el sizer modelo MMD 1150, actualmente en uso, tenemos que este porcentaje se reduce a un 20,0%, lo que genera un 16,7% de mejora en ese aspecto. Ahora si aplicamos el modelo recomendado, es decir el MMD 1300, tenemos una reducción secundaria aún menor, que alcanza solo a un 12,2%, lo que produce una mejora de un 24,6%, lo que aumenta la productividad del sistema al tener menos interrupciones y por ende menos pérdidas operacionales, esto reafirma la idea de usar el modelo MMD 1300 y el detalle del cálculo se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41: Disminución de la reducción secundaria por aplicación de la MTS.

SISTEMA ACTUAL	Unidad	Tonelaje 1.000.000 LHD 7 yd ³ + parrillas en puntos de vaciado								
Granulometría	Rango (m)	< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	> 3,0	
% Acumulado	%	22,0%	42,6%	63,3%	80,0%	87,8%	93,3%	98,7%	100,0%	
% Parcial	%	22,0%	20,7%	20,7%	16,7%	7,8%	5,4%	5,4%	1,3%	
Reducción secundaria	%				16,7%	24,6%	30,0%	35,4%	36,7%	
Tonelaje < Un metro	Toneladas	219.565	206.522	206.522						
Tonelaje > Un metro	Toneladas				167.391	78.261	54.348	54.348	13.043	
Reducción secundaria	%	36,7%								

CON MTS	Unidad	Tonelaje 1.000.000				SIZER MMD 1.150				
Granulometría	Rango (m)	< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	> 3,5	
% Acumulado	%	22,0%	42,6%	63,3%	80,0%	87,8%	93,3%	98,7%	100,0%	
% Parcial	%	22,0%	20,7%	20,7%	16,7%	7,8%	5,4%	5,4%	1,3%	
Reducción secundaria	%				16,7%	7,8%	13,3%	18,7%	20,0%	
Tonelaje < 1,5 metros	Toneladas	219.565	206.522	206.522	167.391					
Tonelaje > 1,5 metros	Toneladas					78.261	54.348	54.348	13.043	
Reducción secundaria	%	20,0%		% mejora 16,7%						

CON MTS	Unidad	Tonelaje 1.000.000				SIZER MMD 1.300, CON 5 ANILLOS				
Granulometría	Rango (m)	< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	> 3,5	
% Acumulado	%	22,0%	42,6%	63,3%	80,0%	87,8%	93,3%	98,7%	100,0%	
% Parcial	%	22,0%	20,7%	20,7%	16,7%	7,8%	5,4%	5,4%	1,3%	
Reducción secundaria	%						5,4%	10,9%	12,2%	
Tonelaje < Dos metros	Toneladas	219.565	206.522	206.522	167.391	78.261				
Tonelaje > Dos metros	Toneladas						54.348	54.348	13.043	
Reducción secundaria	%	12,2%		% mejora 24,6%						

8.11 Productividad esperada equipos LHD

En este punto se analiza la productividad de los equipos LHD de distintas capacidades, analizando el impacto que tiene la disminución de la reducción secundaria y la distancia de acarreo para cada una de las alternativas de diseño, ver Tabla 42.

Tabla 42: Productividad esperada de los LHD.

		LHD	LHD	LHD	Disminución en	Distancia media
	Unidad	7,5 yd ³	10 yd ³	13 yd ³	reducción secundaria	de transporte (m)
Caso Base	t/hora	179			0,0%	50
Alternativa 1 A	t/hora	197	263	343	24,6%	50
Alternativa 2 A	t/hora	127	170	221	24,6%	120
Alternativa 3 A	t/hora	134	179	233	24,6%	110
Alternativa 4 A	t/hora	179	239	311	0,0%	50

Dado que el sector opera con LHD de 7 yd³, el análisis se realizará con los mismos equipos, sin embargo se puede evaluar la utilización del LHD de 10 yd³.

8.12 Productividad esperada módulo de minería de transición

En este punto se revisa la productividad de los equipos LHD de 7 yd³ para el sector correspondiente a la línea H del III panel de División Andina, de acuerdo a las alternativas de diseño planteadas (1 A, 2 A, 3 A y 4 A), aquí se nota que si bien en el caso base (minería convencional) se tiene una distancia media de acarreo de 50 m, este valor va cambiando de acuerdo a la alternativa evaluada. Esto se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43: Parámetros de diseño módulo de minería de transición.

	Ubicación	Distancia media	% de disminución	Calles de producción	LHD por
	sizer	de transporte	de reducción secundaria	asociadas	módulo
Caso Base		50	0%	dos	2
Alternativa 1	En una zanja sin hundir	50	24,6%	dos	2
Alternativa 2	En el contorno del NP	120	24,6%	siete	3
Alternativa 3	En el contorno del NP con panzer	110	24,6%	siete	3
Alternativa 4	Bajo en NP	50	0%	dos	2

Notas: - Cada módulo se asocia a un sizer.
- El 24,6% corresponde al valor obtenido en el punto anterior.

NP: Nivel de producción

En función de esto se calcula la productividad del módulo de minería de transición para las diferentes alternativas, esto se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44: Productividad módulo MTS en las diferentes alternativas de diseño, LHD 7 yd³.

	Unidad	Un LHD	Dos LHD	Tres LHD	MMD 1300
Caso Base	t/hora	179	358	538	
I fase	t/hora	86			
II fase	t/hora	134	268		
Alternativa 1 A	t/hora	197	395	594	1.500
Alternativa 2 A	t/hora	127	254	382	1.500
Alternativa 3 A	t/hora	134	268	402	1.500
Alternativa 4 A	t/hora	179	358	537	1.500

De esta tabla se puede comentar que en la alternativa 1 A se produce un aumento en la productividad del módulo por la disminución de la reducción secundaria, para las alternativas 2 A y 3 A, se reduce este valor por el aumento en la distancia de acarreo, pese a que también disminuye la reducción secundaria y en la alternativa 4 A no existe mejora en la productividad de los LHD dado que el sizer se encuentra en un nivel inferior.

El análisis se realiza también usando equipos LHD de 10 yd³, con esto los valores de productividades aumentan dada la mayor capacidad de estos equipos.

Tabla 45: Productividad módulo MTS en las diferentes alternativas de diseño, LHD 10 yd³.

Productividad	Unidad	Un LHD	Dos LHD	Tres LHD	MMD 1300
Alternativa 1 A	t/hora	263	527	791	1.500
Alternativa 2 A	t/hora	170	339	509	1.500
Alternativa 3 A	t/hora	179	357	536	1.500

8.13 Velocidad de extracción para las alternativas de diseño

En función a los datos anteriores, la velocidad de extracción, medida en t/m²-día, calculada en función a la productividad de los equipos LHD dividida por el área total del sector asociado a la línea H, que corresponde a 16.194 m², los valores obtenidos se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46: Velocidad de extracción para las distintas alternativas de diseño LHD 7 yd³.

Veloc. Extracción	Unidad	Un LHD	Dos LHD	Tres LHD
Caso base	t/m ² -día	0,27	0,53	0,80
I fase	t/m ² -día	0,13	-	-
II fase	t/m ² -día	0,20	0,40	-
Alternativa 1 A	t/m²-día	0,29	0,59	0,88
Alternativa 2 A	t/m ² -día	0,19	0,38	0,57
Alternativa 3 A	t/m ² -día	0,20	0,40	0,60
Alternativa 4 A	t/m ² -día	0,27	0,53	0,80

Acá se muestra que la alternativa 1 A produce un aumento en la tasa de extracción asociado a la mayor productividad de los equipos LHD, por la menor reducción secundaria que se produce.

Y para las productividades de los equipos LHD de 10 yd³, se obtienen los siguientes valores.

Tabla 47: Velocidad de extracción para las distintas alternativas de diseño LHD 10 yd³.

Veloc. Extracción	Unidad	Un LHD	Dos LHD	Tres LHD
Alternativa 1 A	t/m ² -día	0,39	0,78	1,17
Alternativa 2 A	t/m ² -día	0,25	0,50	0,75
Alternativa 3 A	t/m ² -día	0,26	0,53	0,79

Acá la mayor velocidad la sigue mostrando la alternativa 1 A, la que se ve beneficiada por la mayor capacidad de los equipos LHD.

8.14 Simulación de la operación de la minería de transición

En función a los datos anteriores se desarrolla la simulación se desarrolló usando el software ProModel. El objetivo es construir de un modelo del nivel de producción del III panel noroeste, para estudiar la mejor combinación de equipos, cantidad y capacidad del LHD, modelo del equipo sizer y, productividad del sistema.

El alcance corresponde al manejo de materiales en el Nivel de Producción, desde los puntos de extracción mediante los equipos LHD hasta depositarlo en el sizer.

8.14.1 Construcción del modelo

Los parámetros de entrada son: La productividad del o los equipos LHD y el o los sizers, medido en t/hora; layout del nivel de producción, considerando las dimensiones de la malla de extracción y las distancias de acarreo y finalmente las curvas de fragmentación del sector.

El modelo considera las calles de producción con ocho zanjas cada una y 16 puntos de extracción respectivamente. La distancia que recorre el LHD entre cada punto de extracción es de 15 m.

Los diseños para ambas alternativas en análisis se mostraron en la Figura 73 y la Figura 74.

8.14.2 Criterios de diseño del modelo

Los criterios del modelo son:

- Dos turnos diarios de 12 horas con 7,5 horas efectivas de trabajo.
- Asignación de calles y puntos de extracción por el criterio de tiraje regular. La asignación realiza primero la búsqueda de la calle con menor extracción. Una vez en ella se dirigen al punto que también posea el menor tiraje. Esto es para simular un descenso parejo de la columna de mineral.

- Extracción de mineral. Cada ciclo extrae una baldada desde cada punto habilitado. Cada punto es explotado una sola vez por cada asignación de calle, extrayendo un máximo de 15 baldadas. El punto se cierra al ocurrir un bolón o una colgadura. Al cambiarse de punto dentro de la calle aplica el criterio del menos extraído.
- Cierre de una calle de producción. Una calle se cierra si tiene más de 4 puntos bloqueados.
- Habilitación de una calle. Ocurre al turno subsiguiente de haber sido cerrada. Si durante la producción de un turno se cierran todas las calles, los equipos esperan hasta que estén nuevamente habilitadas.

8.14.3 Parámetros operacionales

El modelo evalúa variable de salida definida como "Producción" (tpd, t/mes, t/calles, etc.) en función de diferentes combinaciones de operación de los equipos LHD con el sizer.

Se han definido los siguientes parámetros de los equipos:

Triturador mineral sizer:

- Modelo MMD 1300.
- Rendimiento instantáneo: 1.500 t/hora
- Tamaño máximo de entrada: 1.700 mm.

Equipos LHD: Los actualmente en uso de 7 yd³

8.14.4 Resultados

Los resultados obtenidos de la simulación son:

Alternativa 1 A:

- La utilización del triturador mineral sizers operando en conjunto con dos equipos LHD tiene un valor de 37,6%. Un poco más baja a lo indicado en la tabla correspondiente, que alcanzaba a 39,8% esperado (597 t/hora : 1500 t/hora).
- La productividad del módulo alcanza un valor de 694 t/hora, un 16% más alto que el valor esperado de 597 t/hora.
- Esto muestra que la combinación dos equipos LHD de 7 yd³ trabajando en conjunto con un triturador mineral sizers MMD 1300 en la alternativa de diseño 1 A, funciona de acuerdo a lo esperado.

Alternativa 2 A:

- La utilización del triturador mineral sizers operado en conjunto con tres equipos LHD está en el rango entre 45,60% y 43,98%. Un poco más alta que lo indicado en la tabla correspondiente, que alcanzaba a 38,5% esperado (577 t/hora : 1500 t/hora), esto se debe a la mayor distancia de acarreo a que son sometidos los equipos LHD.
- La productividad del módulo alcanza un valor de 676 t/hora, un 17% más alto que el valor esperado de 577 t/hora.

- Esto muestra que la combinación tres equipos LHD de 7 yd³ trabajando en conjunto con un triturador mineral sizers MMD 1300 en la alternativa de diseño 2 A, funciona de acuerdo a lo esperado.

8.14.5 Conclusiones y recomendaciones de la simulación

Respecto a la ubicación definida: La alternativa de ubicación del triturador mineral sizer que preliminarmente es la más conveniente en función de la productividad del módulo de MTS en la alternativa 1 A, esto podría generar algún problema de inestabilidad de los pilares al dejar una línea intercalada de zanjas sin hundir. Sin embargo, en la prueba industrial se utilizó ese diseño, con un adecuado refuerzo del pilar que queda sobre la zanja sin hundir, y a la fecha no se han registrado inconvenientes.

La alternativa 2 A no presenta este inconveniente al estar ubicados los dos trituradores sizer fuera del nivel de producción.

Respecto al modelo de sizer adecuado: Se ve más adecuado el modelo MMD 1300, dado que permite mayores tamaños de alimentación y entrega un tamaño adecuado para el transporte de mineral mediante los camiones de 80 t actualmente en uso. No se hizo la simulación usando el sizer MMD 1150 ya que este se encuentra operando desde el 2005 y existe una cantidad suficiente de datos sobre su operación en el III panel.

Respecto de la simulación de la operación triturador mineral sizers y equipos LHD: De acuerdo a lo anterior, la combinación de mejor rendimiento sería el sizer MMD 1300 con dos equipos LHD de 7 yd³, sin embargo es necesario verificar los posibles problemas que se generan en los puntos singulares, que se producen en las zanjas que se dejan sin hundir.

Por último, se realizará una estimación de costos para complementar la decisión.

8.15 Evaluación económica

8.15.1 Costo de operación

El costo de operación esperado del chancador sizer MMD 1300, trabajando en una condición de operación normal de producción, tiene un valor de 0,228 US\$/t, el detalle de este costo se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48: Costo de operación sizer MMD 1300.

Ítem	Valor	Unidad
Mano de obra	0,076	US\$/t
Energía	0,029	US\$/t
Consumo de piezas de desgaste	0,120	US\$/t
Lubricantes	0,003	US\$/t
Total	0,228	US\$/t

Este se calculó bajo los siguientes supuestos:

- Al sizer se le realiza todos los días media hora de mantención programada.
- El cambio de cada tips tiene una duración promedio de una hora.
- Los tips duran en promedio 97.000 t antes de un cambio.
- Los tips del MMD 1300 tienen un 60% más de volumen que los del 1150.
- El consumo de lubricantes se estima un 10% del costo de la energía.

En función de esto se entrega el costo de operación con minería convencional y de transición.

Tabla 49: Costo de operación III panel convencional y con MTS.

III PANEL ANDINA					
COSTO OPERACIÓN	Minería	Minería	Minería	Minería	Minería
III PANEL ANDINA	Convencional	Transición	Transición	Transición	Transición
		Camiones 80 ton	Camiones 80 ton	Camiones 80 ton	Camiones 80 ton
	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton
		1 A	2 A (7 yd3)	2 A (10 yd3)	3 A (10 yd3)
Preparación mina	1,10	0,98	0,98	0,98	0,97
Extracción	0,74	0,61	0,95	0,85	0,81
Reducción 2a y Traspaso	0,64	0,51	0,51	0,51	0,51
Operación chancado	-	0,23	0,23	0,23	0,23
Mant y reparación labores	0,40	0,34	0,34	0,34	0,34
Transporte Secundario	0,43	0,39	0,40	0,40	0,55
Transporte Principal	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Servicios y CG	1,29	1,19	1,32	1,29	1,32
Total (US\$/ton)	4,76	4,42	4,90	4,76	4,89

Todo lo anterior es necesario verificarlo a través de una evaluación económica, para las alternativas planteadas. El período de tiempo planteado es del 2011 al 2018.

8.15.2 Desarrollos

Los desarrollos asociados a cada alternativa se muestran en la Tabla 50.

Tabla 50: Desarrollos por alternativa.

Desarrollos	Unidad	Base	1 A	2 A	3 A
Nivel de producción	ml	2.428	2.428	2.433	2.589
Nivel de reducción	ml	560	0	0	0
Nivel de transporte	ml	576	576	610	610

8.15.3 Construcciones e infraestructura

Las construcciones e infraestructura por alternativa de diseño son:

Tabla 51: Construcciones e infraestructura por alternativa.

Ítem	Unidad	Base	1 A	2 A	3 A
Puntos de carguío	unidad	83	83	83	83
Puntos de vaciado	unidad	7	0	0	0
Pavimento CP	ml	646	646	646	646
Pavimento Transporte	ml	576	576	610	610
Martillos	unidad	4	0	0	0
Cámaras de picado	unidad	4	0	0	0
Buzón primario	unidad	4	0	0	0
Estación sizer	unidad	0	3	2	1
Buzón secundario	unidad	0	3	2	1
Transportador	unidad	0	0	0	1

En el análisis económico se consideró la reubicación del sizer ubicado actualmente en el BP 51 del III panel dado en ese sector se agotará el mineral primario en el año 2011.

8.15.4 Flujos e indicadores económicos

En función de los datos anteriores, se calculan los flujos e indicadores económicos para las diferentes alternativas, los resultados se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52: Costo de operación e indicadores económicos.

ALTERNATIVA	Costo operación US\$/t	LHD yd ³	10% VAN kUS\$	Aporte VAN kUS\$
Caso base	4,76	7	68.709	0
Alternativa 1 A	4,42	7	77.025	8.316
Alternativa 2 A	4,90	7	77.458	8.749
Alternativa 2 A	4,76	10	78.370	9.661
Alternativa 3 A	4,89	10	75.029	6.321

Si bien todas las alternativas evaluadas generan un beneficio económico, se recomienda utilizar la alternativa de diseño 1 A ó 2 A con equipos LHD de 7 ó 10 yd³ para la aplicación de la MTS en el III panel noroeste de División Andina.

8.16 Manejo de materiales propuesto con MTS

Con esto el manejo de materiales propuesto para las alternativas 1 A y 2 A queda de la siguiente forma.

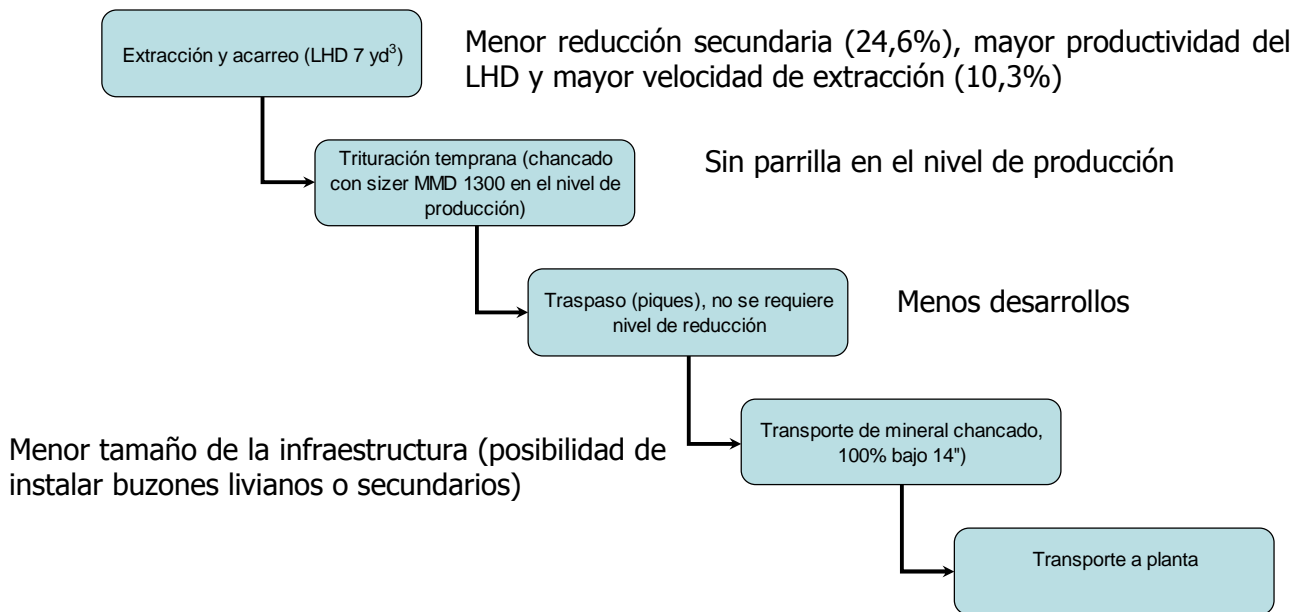


Figura 77: Manejo de materiales con MTS en el III panel norte Alternativa 1 A.

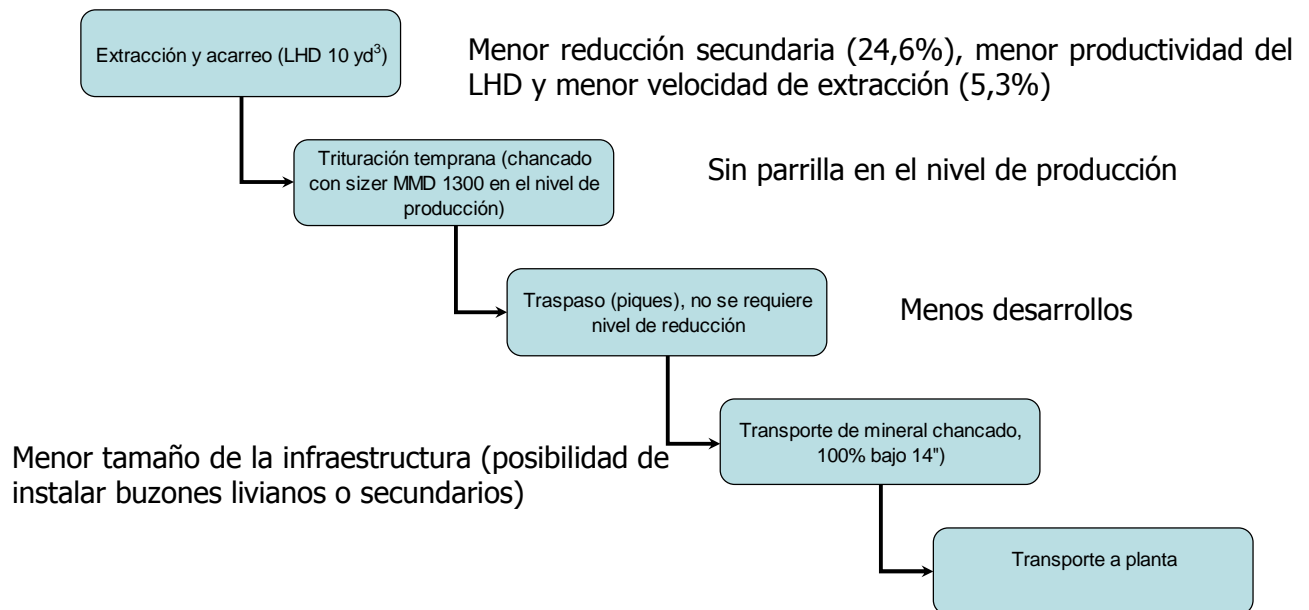


Figura 78: Manejo de materiales con MTS en el III panel norte Alternativa 2 A (10 yd³).

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9 Conclusiones y recomendaciones

9.1 Pruebas industriales en División Andina

El equipo mineral sizer es capaz de operar con roca primaria, altamente competente y alto contenido de cuarzo. Además, funciona correctamente al ser alimentado directamente con uno o dos equipos LHD. Además su introducción en el manejo de materiales de minería subterránea no provoca alteraciones ni requiere grandes excavaciones para su operación.

Durante la primera fase, el sizer fue sometido a bajas tasas de alimentación, dado la excesiva distancia de acarreo que debían recorrer los LHD para alimentarlo. Esto, que si bien se mejoró en parte en la segunda fase, no permitió medir el comportamiento del sizer bajo las condiciones de diseño planteadas. Por lo anterior, se debe evaluar su operación en condiciones de mayor exigencia operativa.

9.2 Minería de transición con sizers y guía de diseño

La minería de transición con sizers representa un nuevo concepto de manejo de materiales para ser aplicado en minería subterránea con roca primaria, que presenta múltiples ventajas comparativas con respecto a los sistemas convencionales, principalmente por la trituración temprana de los minerales y su fácil implantación.

La guía de diseño representa una serie de pasos que se deben realizar secuencialmente y que permiten realizar una evaluación técnica económica ordenada de la aplicación de la minería de transición con sizers, tanto para minas en operación como para proyectos nuevos.

9.3 Aplicación MTS en el III panel norte

En función a los resultados obtenidos, una vez aplicada la guía de diseño en todos sus pasos, se concluye que es factible la aplicación de la minería de transición con sizers en el III panel norte de División Andina. Además representan la primera oportunidad de aplicar la MTS a un sector productivo con operación en régimen y produce mínimas interferencias con la minería convencional actual.

La mejor alternativa de diseño debe corresponder a un análisis detallado de las ventajas y/o desventajas que cada una presenta.

Si analizamos la alternativa 1 A se obtienen los siguientes beneficios:

- Se reduce el costo de operación del método en un 7,1% y se produce un incremento del VAN 8.316 kUS\$, equivalente a un 12,1%.
- Se produce la trituración temprana del mineral, lo que disminuye la reducción secundaria en un 24,6%, esto produce aumentos en la productividad de los equipos LHD de 7 yd³ y en la velocidad de extracción de un 10,3%, dado que se mantiene la distancia de acarreo al estar ubicados los sizers dentro del nivel de producción.
- La planificación mina debe evaluar el impacto económico que se produce con el aumento en la velocidad de extracción.

- Disminuye los desarrollos en los niveles inferiores y el tamaño de la infraestructura necesaria.

Como desventajas se pueden nombrar las siguientes:

- Existe un potencial pérdida de reservas al dejar una zanja sin hundir, se debe realizar un estudio detallado de estos puntos singulares.

Si analizamos la alternativa 2 A con LHD de 10 yd³, se obtienen los siguientes beneficios:

- Se mantiene el costo de operación del método y se produce un incremento del VAN 9.661 kUS\$, equivalente a un 14,1%.
- Acá también se produce la trituración temprana del mineral lo que disminuye la reducción secundaria en el mismo porcentaje indicado.
- Se produce un pequeño incremento en los desarrollos del nivel de producción.
- Disminuye los desarrollos en los niveles inferiores y el tamaño de la infraestructura necesaria.
- Es posible utilizar equipos LHD de mayor capacidad (10 yd³), lo que disminuye el impacto del aumento de la distancia de acarreo.

Como desventajas se pueden nombrar las siguientes:

- Dado que los sizers se ubican fuera del nivel de producción, se produce un aumento de la distancia de acarreo, lo que disminuye la productividad de los equipos LHD de 10 yd³ y la velocidad de extracción en un 5,3%.

Los nuevos diseños mineros deben considerar la aplicación del triturador mineral sizer modelo MMD 1300, en reemplazo del 1150, dado que permite trabajar con granulometrías de mayor tamaño.

Se debe continuar trabajando junto con el fabricante en la mejora de los elementos de desgaste, tanto en los materiales que los componen como en la forma de ellos. Hasta ahora se han probado aceros tipo Astralloy (de mayor costo) y diseños de mayor volumen que han aumentado la duración de estos, sin embargo aún existe un importante espacio de mejora.

Para el funcionamiento del equipo sizer, en División Andina se utiliza el mismo operador de la sala de control, lo que no aumenta la dotación de la operación mina.

9.4 Conclusiones generales

Las minas en operación representan una real oportunidad de aplicar la minería de transición con sizers en la gran minería del cobre. Sus ventajas comparativas y fácil incorporación, que no genera interferencias mayores al proceso productivo, pueden significar importantes reducciones de costos, tanto de adquisición como de operación, dado a que se simplifica el manejo de materiales, que es donde esta tecnología tiene el mayor impacto.

Se pueden esperar reducciones de costos de operación del orden de un 10% y de similar magnitud o mayores en lo relacionado a las construcciones e infraestructura necesaria.

También es importante destacar, que con esta tecnología, se mejoran las productividades de los equipos de producción, principalmente los LHD, dado que el sistema de manejo de materiales de la minería de transición acepta tamaños mayores que los sistemas convencionales. Ello reduce las interferencias en el flujo de mineral hacia los niveles inferiores y puede disminuir la reducción secundaria en el nivel de producción, haciéndolo más eficiente y permitiendo la incorporación de métodos de transporte continuo de mineral como son las correas transportadoras, de más bajo costo que los camiones y los sistemas de convoy ferroviario.

Sin embargo, donde esta tecnología puede generar los mayores impactos, al ser incorporada desde las primeras etapas de ingeniería, es en los proyectos estructurales (PNNM, PCHUS y PSSS), ello permitirá realizar diseños acordes al uso de la tecnología, a través de la guía de diseño presentada, permitiendo obtener el máximo beneficio económico.

También se podrían realizar diseños variando tanto los tipos de mallas de extracción, como sus dimensiones y las capacidades de los equipos de producción, a través de simulaciones, que permitan definir las mejores alternativas de diseño para el manejo de materiales en los diferentes proyectos.

9.5 Recomendaciones

Se recomienda continuar con los estudios relacionados a la aplicación de los equipos trituradores mineral sizers, así también con pruebas industriales relacionadas, que aumenten el grado de conocimiento de esta tecnología, para verificar de manera más sólida sus beneficios al ser aplicada dentro del sistema de manejo de materiales de las minas subterráneas.

Se recomienda evaluar su aplicación en los proyectos estructurales de la corporación, que es donde la tecnología puede presentar los mayores beneficios, al dar la posibilidad de generar diseños que sean adecuados para el uso de esta tecnología.

Se debe analizar las formas para evaluar el uso de las tecnologías emergentes en los nuevos proyectos mineros en desarrollo, dado que ofrecen ventajas comparativas con respecto a los sistemas convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Cerrutti, P. Fuenzalida y F. Carrasco: Informe final proyecto IM2 50/02, Estudio de minería alternativa III panel Andina, capítulo resumen ejecutivo, 2002.
2. C. Cerrutti, P. Fuenzalida y F. Carrasco: Informe final proyecto IM2 50/02, Estudio de minería alternativa III panel Andina, capítulo prueba sizer, 2002.
3. C. Cerrutti, P. Fuenzalida y F. Carrasco: Informe final proyecto IM2 50/02, Estudio de minería alternativa III panel Andina, capítulo minería de transición, 2002.
4. C. Cerrutti, P. Fuenzalida y F. Carrasco: Informe final proyecto IM2 50/02, Estudio de minería alternativa III panel Andina, capítulo minería de alta productividad, 2002.
5. Reseña de la innovación tecnológica en la minería del cobre "caso Codelco", Cochilco 2005.
6. R. Castro: Diplomado en diseño de minas explotadas por hundimiento "Introducción al diseño de métodos explotación por hundimiento", 2008.
7. SME: Underground mining methods, 2001
8. E. Aguayo et al: LHD v/s mechanized grizzly in III panel of Andina, 2004.
9. A. Moyano: Análisis de la velocidad de extracción en mina El Teniente, 2007.
10. D. Laubscher: Manual de block caving, 2000.
11. Duffield: Nivel de producción de Northparkes, 2000.
12. Esquema de chancador híbrido mandíbulas – giratorio, información técnica ThyssenKrupp Fördertechnik, 2010.
13. Duffield, esquema general del diseño de Northparkes, 2000.
14. Calder et al: Información técnica de la mina Palabora, 2000.
15. Calder et al: Vista en planta del nivel de producción de Palabora, 2000.
16. Informe final ingeniería básica proyecto Diablo Regimiento, 2001.
17. R. Castro: Sistema de manejo de materiales mina Diablo Regimiento, 2009.
18. Informe de ingeniería básica proyecto Pipa Norte, 2001.
19. C. Cerrutti et al: Aplicaciones de acondicionamiento de macizos rocosos en Codelco y sus resultados, 2009.
20. C. Cerrutti: Desarrollo experimental del PA, fase I, 2007.
21. Información técnica MMD, 2002.
22. C. Cerrutti et al: Informe técnico visita a instalaciones MMD y DBT, 2002.
23. A. Contreras, C. Cerrutti y V. Encina: Informe final proyecto IM2 TT 17/06, Desarrollo de mercado de proveedores de la tecnología de chancado primario mediante unidades de bajo perfil tipo sizer, 2006.
24. C. Cerrutti, A. Zamora y P. Fuenzalida: Informe final proyecto IM2 71/03, Prueba industrial mineral sizer I fase, 2005.
25. P. Fuenzalida y M. Escudero: Informe final proyecto IM2 42/06, Prueba industrial módulo de minería de transición, sizer II fase, 2008.
26. P. Fuenzalida y G. Núñez: Esquema de la minería de transición con sizers, 2005.
27. Información técnica, MMD, 2008.
28. F. Raña, G. Puga y G. Prudencio: Informe bloque de valor GCPMS, 2008.
29. C. Cerrutti, C. Castro y A. Maira: Metodología "Flip chart", 2009.
30. SRK news: Predicting caving fragmentation with BCF software No. 28 SRK's Internacional Newsletter, 2001.
31. Ingeroc: Informe técnico estudio de fragmentación proyecto CHUS, 2008.
32. MMD: World referente list, 2006.
33. Belt conveyors for bulk materials, CEMA, 1988.
34. Información técnica MMD, 2009.

35. Diplomado en diseño y planificación de minas explotadas por hundimiento, Universidad de Chile, 2008.
36. Memoria de título Juan Carlos Arce, USACH 2002.
37. Memoria de título Chang Ja Kim, Universidad de Chile, agosto 2009.
38. Memoria de título Fabián Osorio Carles, USACH, 2005.
39. R. Castro y S. Troncoso: Asesoría especialista en procesos de fragmentación y manejo de materiales en minería subterránea, 2009.

Anexo A

A Mineral sizer para operación con roca primaria

A.1 ¿Qué es un mineral sizer?

Mineral Sizer es un Equipo de Conminución no convencional, especialmente diseñado para minería subterránea. Siendo capaz de procesar material de hasta 3 metros cúbicos, con capacidades que superan las 12.000 toneladas métricas por hora. Este Chancador es capaz de procesar material con alta humedad y pegajoso; o roca seca y dura, o bien, una combinación de los dos.

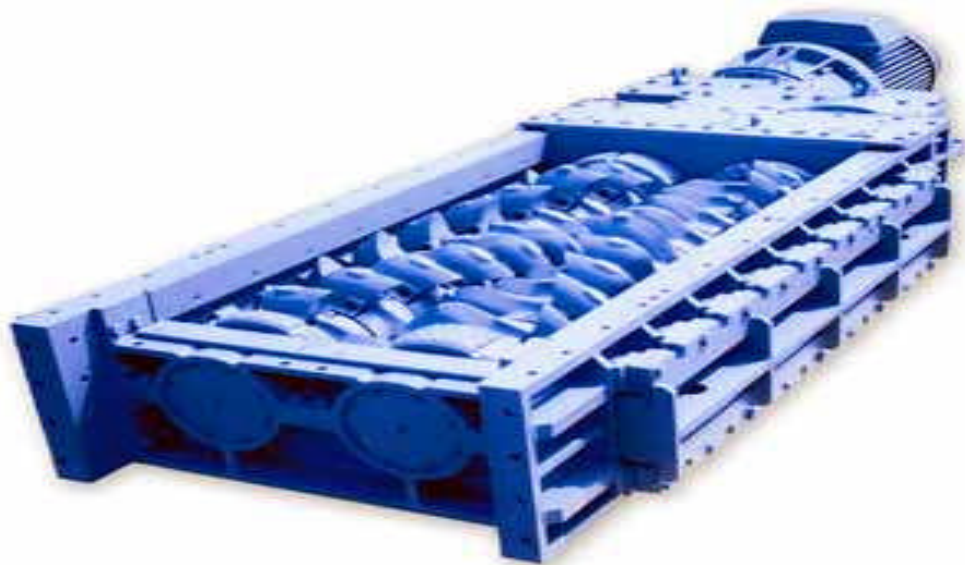


Figura 79. Chancador Mineral Sizer.

A.2 *Funcionamiento*

El concepto básico del Sizer es el uso de dos rotores con los dientes grandes en los ejes de diámetro bajo accionados a baja velocidad por un alto sistema de impulsión directo del esfuerzo de torsión. Este diseño produce los tres principios básicos que permiten conminuir los materiales usando TECNOLOGÍA SIZER.

Los tres principios son:

- La acción Trituradora en tres etapas
- El efecto de clasificación de tamaño por rotación
- Sistema Helicoidal de Dientes de Apertura Profunda

A.2.1 Primera etapa

Primera etapa de la conminución: En principio, el material es tomado por las caras de ataque de dientes opuestos del rotor. Éstos someten a la roca a una carga en puntos múltiples, induciendo un esfuerzo en el material para aprovechar cualquier debilidad natural.



Figura 80. Primera etapa de chancado.

A.2.2 Segunda etapa

Segunda etapa de la conminución: En esta el material se rompe en tensión, sometiéndolo a una carga en tres puntos, aplicada entre las caras anteriores de los dientes de un rotor y las caras posteriores de los dientes del otro rotor.



Figura 81. Segunda etapa de chancado.

A.2.3 Tercera etapa

Tercera etapa de la conminución: Los trozos del material que se han quedado con excesivo tamaño se rompen a medida que los rotores golpean cortando a través de los dientes fijos de la barra quebradora, por lo que se consigue un tamaño de producto controlado y tridimensional.



Figura 82. Tercera etapa de chancado.

A.2.4 Efecto de clasificación de tamaño por rotación

El diseño del rotor con dientes entrelazados permite que el material de menor tamaño fluya libremente y que pase por los espacios que cambian constantemente los cuales son generados por los ejes que giran a velocidad relativamente baja.



Figura 83. Sizer de dientes entrelazados

A.2.5 Sistema helicoidal de dientes

El sistema helicoidal de dientes de apertura profunda transporta el material de mayor tamaño hasta un extremo de la máquina, ayudando a extender la alimentación a través de la longitud total de los rotores. Se puede emplear dicha característica también para rechazar material de sobre tamaño de la máquina.



Figura 84. Sistema helicoidal de dientes.

A.3 Designación de los mineral sizer

A.3.1 Distancia entre centros

La distancia entre centros combinada con la configuración de los dientes controla el tamaño máximo del material de alimentación que el equipo puede procesar con eficacia.

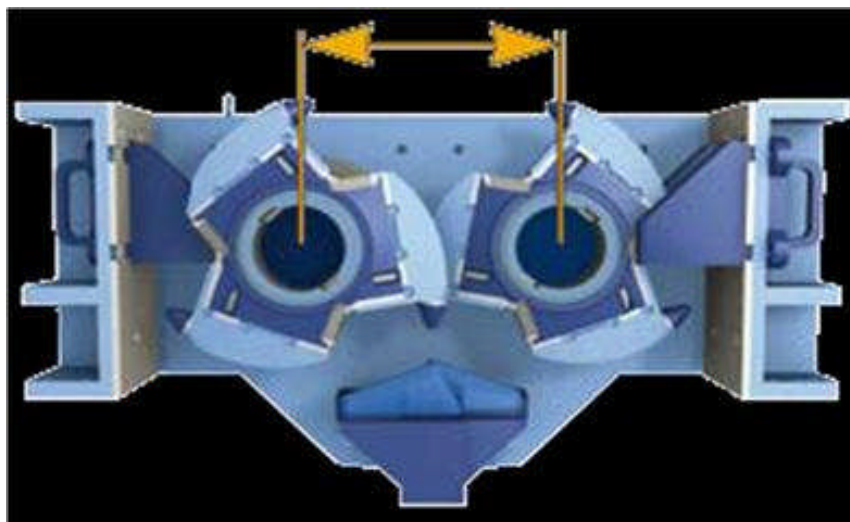


Figura 85. Distancia entre centros.

A.3.2 Longitud de entrada

La longitud de la entrada tiene un efecto importante sobre el volumen de material que el equipo puede procesar.

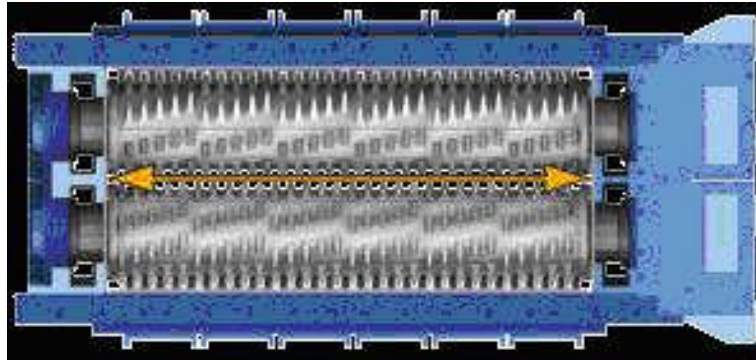


Figura 86. Longitud de entrada.

A.3.3 Giro hacia el interior

El giro hacia el interior es la forma normal de operación de la mayoría de las configuraciones de dientes, debiéndose emplear siempre con materiales húmedos y pegajosos.

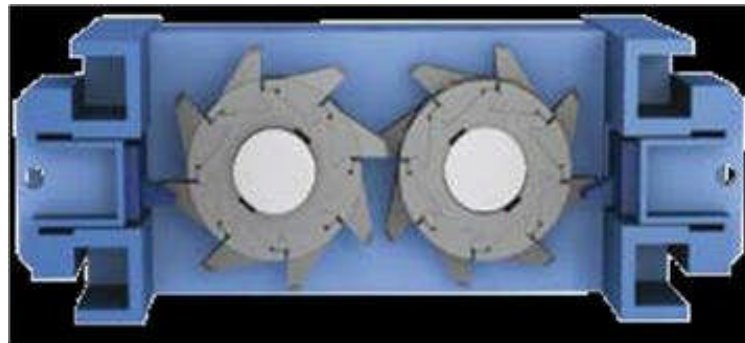


Figura 87. Giro hacia el interior.

A.3.4 Giro hacia el exterior

En las Trituradoras secundarias y terciarias, se puede utilizar el giro hacia el exterior con determinados materiales para producir productos más pequeños que con el giro hacia el interior.

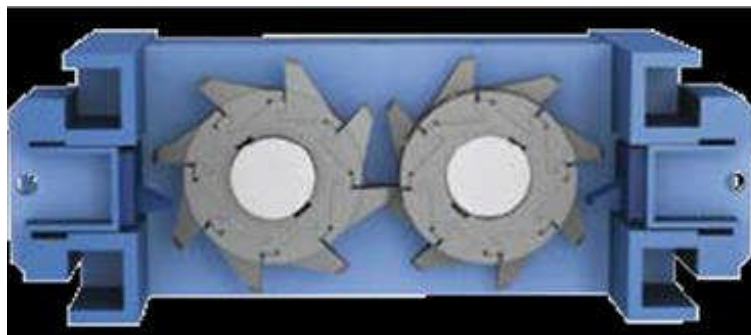


Figura 88. Giro hacia el exterior.

A.4 Mineral sizers para roca primaria

A.4.1 MMD 1000

- Generalmente, con una unidad eléctrica de 400 kW, pesa aprox. 60 toneladas.
- En terreno, su máxima capacidad de tratamiento es de 6500 tph.
- Su capacidad de tratamiento promedio es de 1800 tph.
- Puede ser utilizado en chancado primario.
- La distancia adicional entre centros permite hacer frente a un mineral de tamaño mayor.

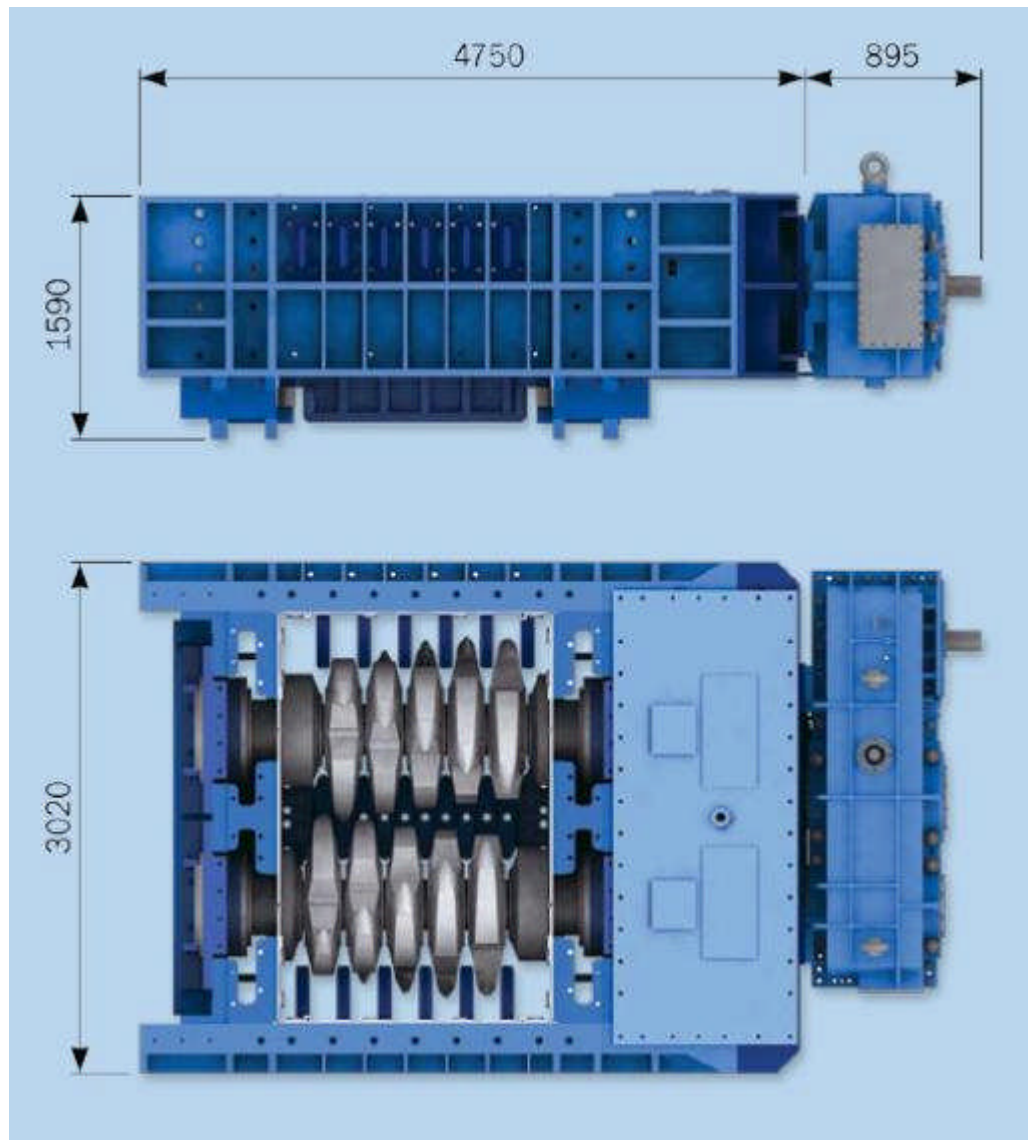


Figura 89. Dimensiones Mineral Sizer 1100.

A.4.2 MMD 1300

- Generalmente, con unidades eléctricas de 400 kW, pesa aprox. 95 toneladas.
- En la práctica, su máxima capacidad de tratamiento es de 4500 tph.
- Su capacidad de tratamiento promedio es de 2500 tph.

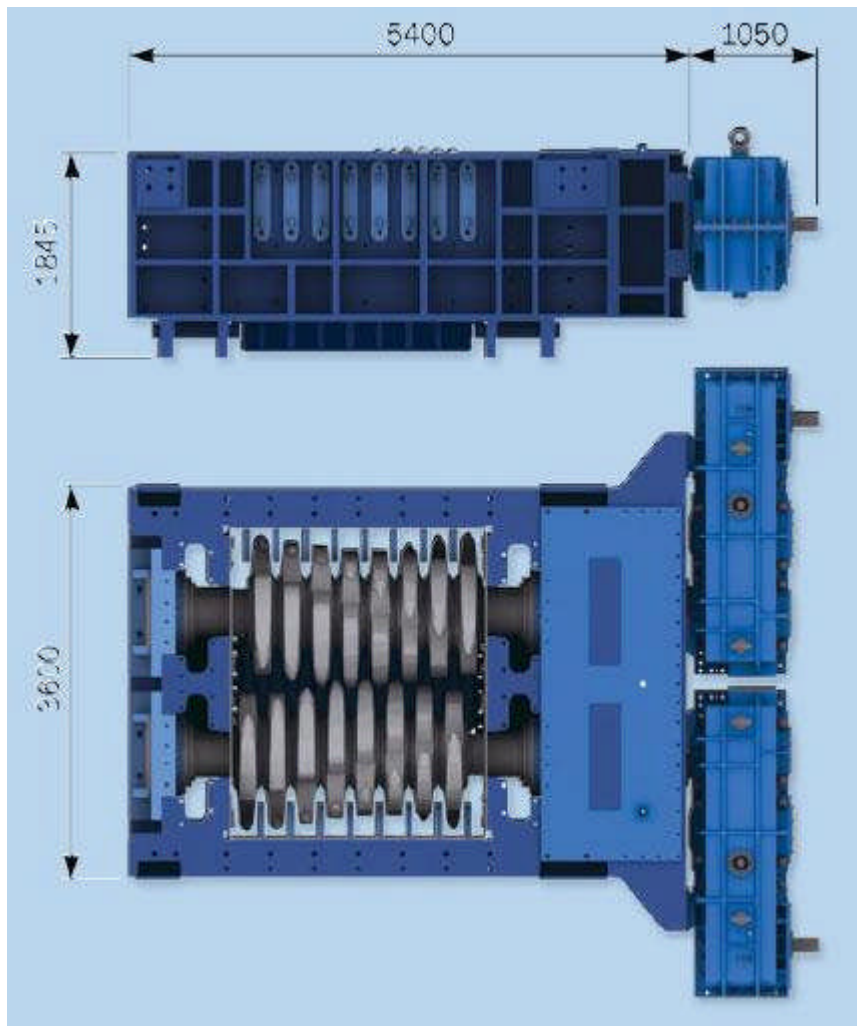


Figura 90. Dimensiones Mineral Sizer 1300.

A.4.3 MMD 1500

- Pesa aprox. 160 toneladas.
- En terreno, su máxima capacidad de tratamiento es de 20.000 tph en una mina de cobre en USA.
- Es la unidad de máxima capacidad desarrollada hasta ahora, en promedio trata 10.000 tph.
- Actualmente es la unidad de mayor tonelaje disponible.

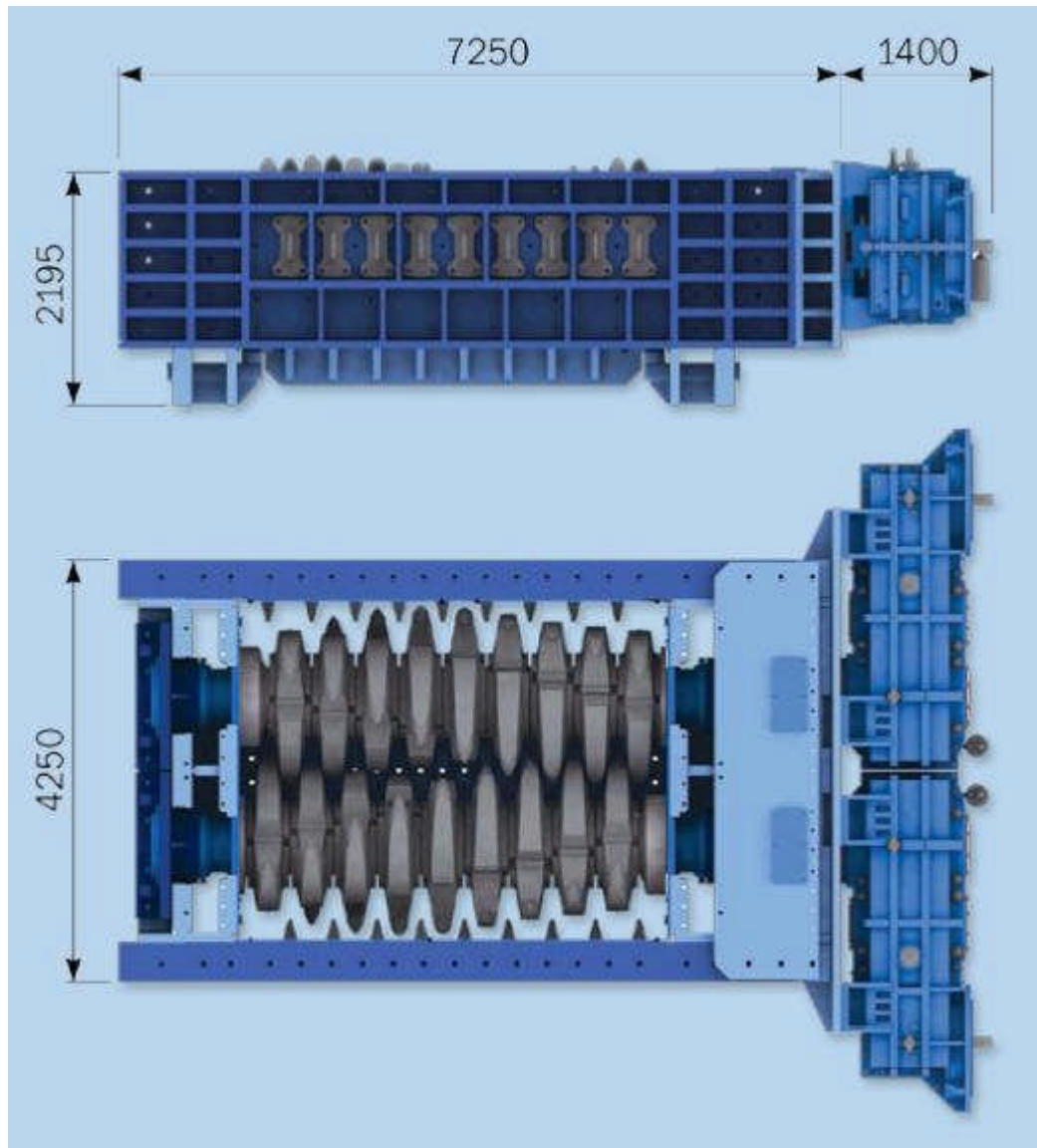


Figura 91. Dimensiones Mineral Sizer 1500.

Syncrude	Canada	MMD 1250	4 Tooth Rotor		Oilsand	Oil			
Zhungeer Coal Co.	China	MMD 1250	4 Tooth Rotor	225kWx2	Coal	Mining (Coal)	1800	300	2500
Zhungeer Coal Co.	China	MMD 1250	4 Tooth Rotor	225kWx2	Coal	Mining (Coal)	1800	300	2500
Unicem CDA	Italy	MMD 1250	4 Tooth Rotor	x1	Limestone	Cement	1500	350	800
Perak Hanjung	Malaysia	MMD 1250	4 Tooth Rotor	x2	Limestone	Cement		350	1200
Vulcan Materials	Mexico	MMD 1250	4 Tooth Rotor	263kWx2	Limestone (Coral)	Aggregate	1200	300	2000
Incasa	Mexico	MMD 1250	4 Tooth Rotor	263kWx1	Limestone	Aggregate	1250	300	2000
Kumba Resources Ltd	South Africa	MMD 1250	4 Tooth Rotor	x2	Coal	Mining (Coal)	1200	300	1250
Lignitos de Meirama	Spain	MMD 1250	4 Tooth Rotor	250kWx2	Overburden	Mining (Coal)	2500	250	3000
Lucky Cement	Taiwan	MMD 1250	4 Tooth Rotor	420kWx2	Limestone	Cement	1000	350	1200
Blue Circle	United Kingdom	MMD 1250	4 Tooth Rotor		Limestone / Shale	Cement	1500	350	1000
Material Services	USA	MMD 1250	4 Tooth Rotor	224kWx2	Limestone	Aggregate	1200	300	2000
Yandi	Australia	MMD 1300	3 Tooth Rotor	300kWx2	Iron Ore	Mining (Metalliferrous)	2100	300	2300
Robe River	Australia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	x1	Iron Ore	Mining (Metalliferrous)			
Century Zinc	Australia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	400kWx2	Zinc Ore	Mining (Metalliferrous)		300	2500
CVRD - MBP	Brazil	MMD 1300	4 Tooth Rotor	500HPx2	Bauxite	Mining (Metalliferrous)	1200	300	3100
MRN	Brazil	MMD 1300		x1	Bauxite	Mining (Metalliferrous)	1200	300	3000
MRN	Brazil	MMD 1300	4 Tooth Rotor	373kWx2	Bauxite	Mining (Metalliferrous)		300	3000
BHP Diamonds Inc.	Canada	MMD 1300	4 Tooth Rotor	x2	Kimberlite	Precious Stone	1300	300	2000
BHP Diamonds Inc.	Canada	MMD 1300	4 Tooth Rotor	x2	Kimberlite	Precious Stone	2500	350	1500
Soquimich	Chile	MMD 1300	4 Tooth Rotor	373kWx1	Nitrate	Mining	1200	300	2000
PT Semen Padang	Indonesia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	x1	Limestone	Cement	1200	300	2000
PT Semen Padang	Indonesia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	x1	Limestone	Cement	1200	300	2000
Joy Mining	Russia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	225kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1200	350	3500
Joy Mining	Russia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	225kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1200	350	3500
Joy Mining	Russia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	225kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1200	350	3500
Joy Mining	Russia	MMD 1300	4 Tooth Rotor	225kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1200	350	3500
Ban Pu Coal Co.	Thailand	MMD 1300	4 Tooth Rotor	375kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1500	300	4500
Ban Pu Coal Co.	Thailand	MMD 1300	4 Tooth Rotor	375kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1500	300	4500
Ban Pu Coal Co.	Thailand	MMD 1300	4 Tooth Rotor	375kWx1	Overburden	Mining (Coal)	1500	300	4500
BHP Goonyella	Australia	MMD 1400	3 Tooth Rotor	x2	Overburden	Mining (Coal)	2500	350	10000
Robe River	Australia	MMD 1500	4 Tooth Rotor	400kWx2	Iron Ore	Mining (Metalliferrous)	2500	250	5500
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	4 Tooth Rotor	522kWx2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc. Delete	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	10000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	3 Tooth Rotor	x2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Suncor Energy Inc.	Canada	MMD 1500	4 Tooth Rotor	522kWx2	Oilsand	Oil	3000	400	8000
Drummond Coal	Colombia	MMD 1500	3 Tooth Rotor	750kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM	450	20000
Drummond Coal	Colombia	MMD 1500	3 Tooth Rotor	750kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM	450	20000
Drummond Coal	Colombia	MMD 1500	3 Tooth Rotor	750kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM	450	20000
Drummond Coal	Colombia	MMD 1500	3 Tooth Rotor	750kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM	450	20000
De Beers	South Africa	MMD 1500	3 Tooth Rotor	275HPx1	Kimberlite	Precious Stone	2000	300	800
Asarco	USA	MMD 1500	3 Tooth Rotor	224kWx1	Overburden	Mining (Metalliferrous)	ROM	450	10000
Drummond Coal	USA	MMD 1500	3 Tooth Rotor	630kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM		10000
Asarco	USA	MMD 1500	3 Tooth Rotor	224kWx1	Overburden	Mining (Metalliferrous)	ROM	450	10000
Drummond Coal	USA	MMD 1500	3 Tooth Rotor	630kWx2	Overburden	Mining (Coal)	ROM		10000

Anexo B

B Opciones propuestas primera fase prueba industrial

B.1 Alternativa 1 Sizer MMD 1000 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la zanja)

Esta alternativa plantea ubicar el sizer en un foso en una calle de producción, con el motor del equipo hacia la zanja, requiere realizar una conexión hacia el pique del punto de vaciado y permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

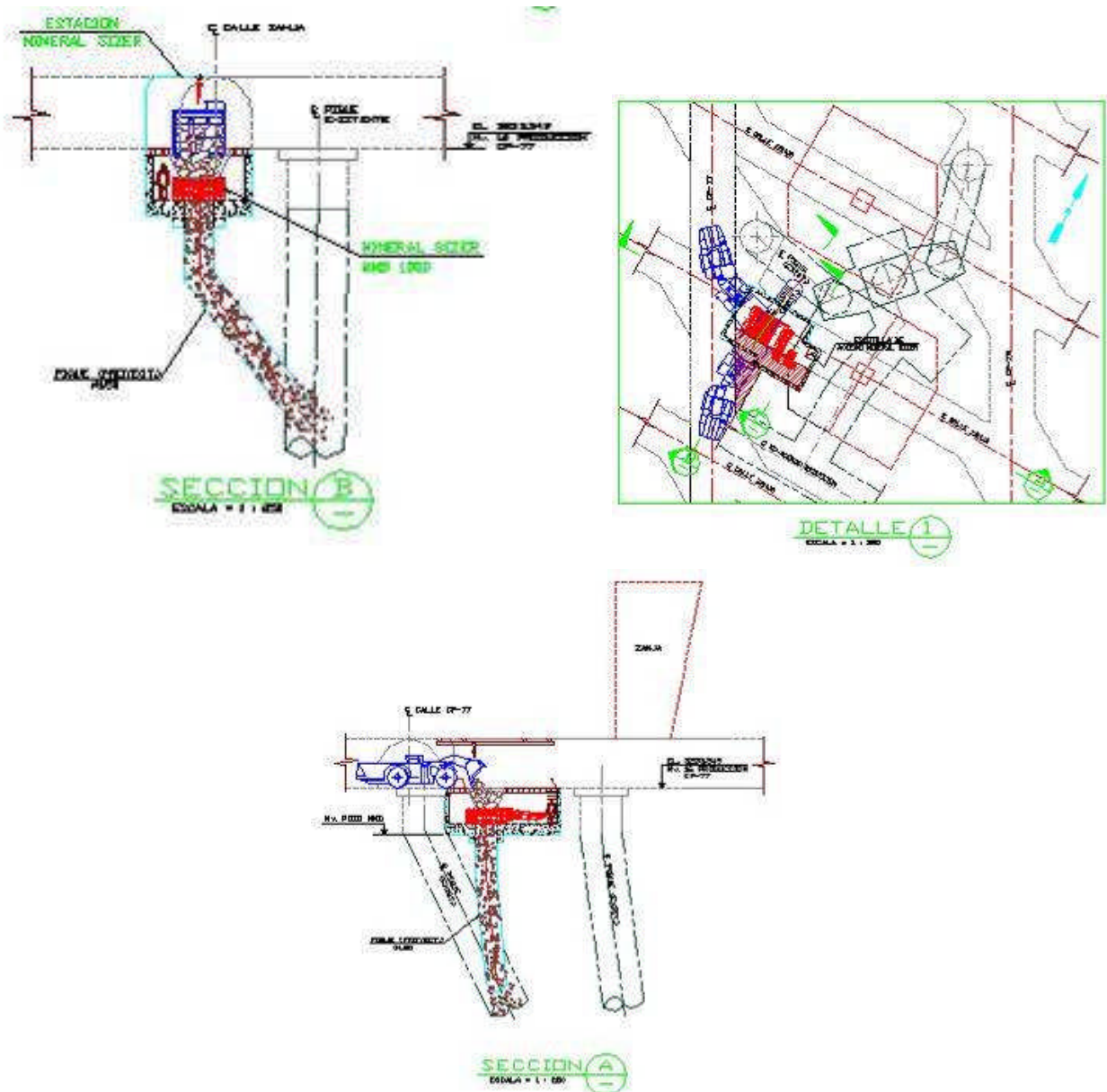


Figura 92, Diseños mineros alternativa 1

B.2 Alternativa 2 Sizer MMD 1000 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle)

Esta alternativa es similar a la anterior y plantea ubicar el sizer en un foso en una calle de producción, con el motor del equipo hacia la calle, ello requiere realizar un tapado metálico sobre el motor del sizer, para permitir que la pala descargue por ese lado, además requiere realizar una conexión hacia el pique del punto de vaciado y permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

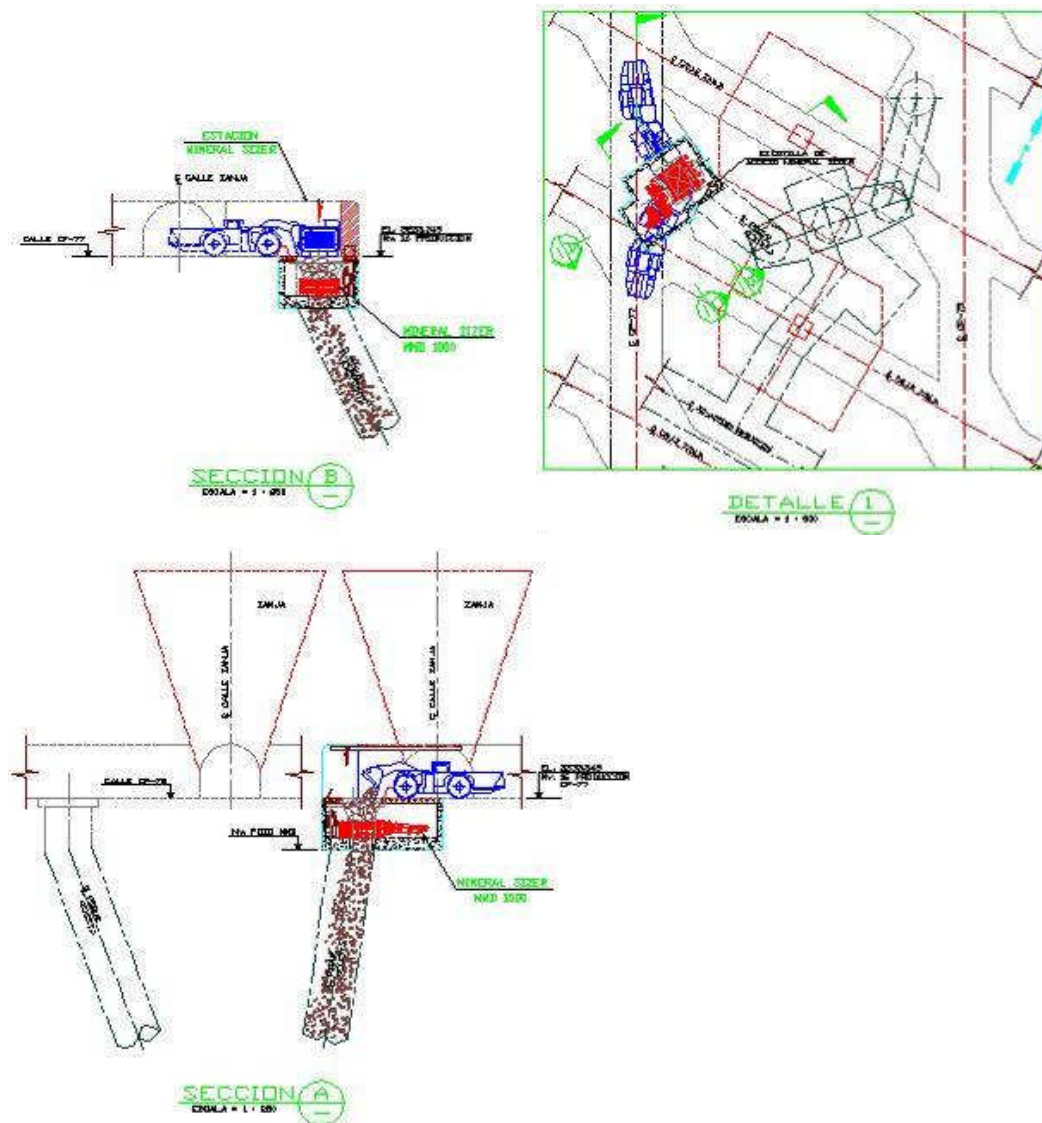


Figura 93, Diseños mineros alternativa 2

B.4 Alternativa 4 Sizer MMD 1300 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle)

Esta alternativa también considera utilizar el sizer MMD 1300, ello involucra realizar mayores excavaciones, plantea ubicar el sizer en un foso en una calle de producción, con el motor del equipo hacia la zanja, para evitar realizar un tapado metálico sobre el motor del sizer, para permitir que la pala descargue por ese lado, esta alternativa requiere de una conexión hacia el pique del punto de vaciado y también permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

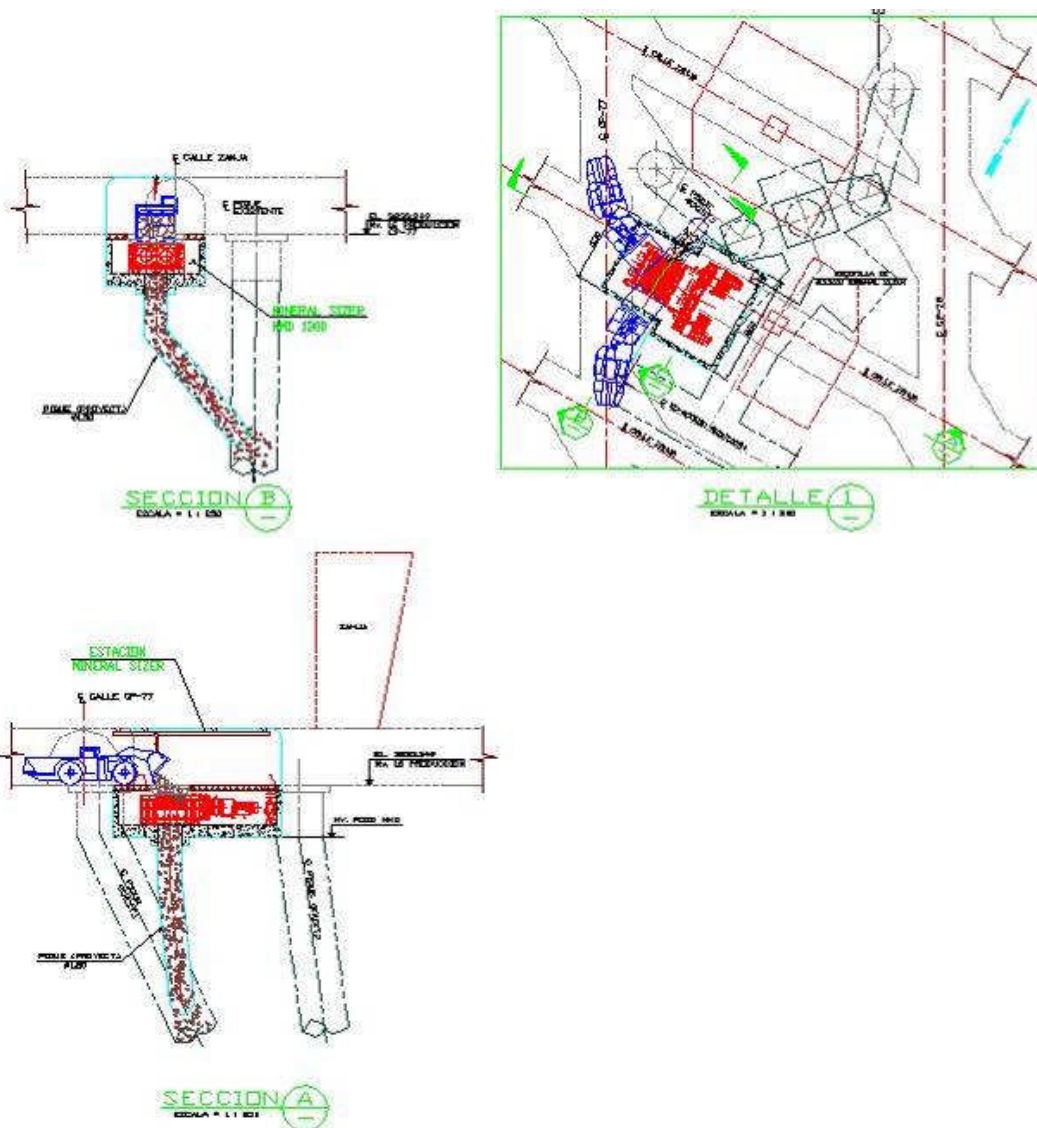


Figura 95, Diseños mineros alternativa 4

B.5 Alternativa 5 Sizer MMD 1300 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle)

Esta alternativa también considera utilizar el sizer MMD 1300, ello involucra realizar mayores excavaciones, plantea ubicar el sizer en un foso en una calle de producción, con el motor del equipo hacia la calle, ello requerirá realizar un tapado metálico sobre el motor del sizer, para permitir que la pala descargue por ese lado, esta alternativa no requiere de una conexión hacia el pique del punto de vaciado, dado que la descarga del sizer se ubica sobre el pique y también permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

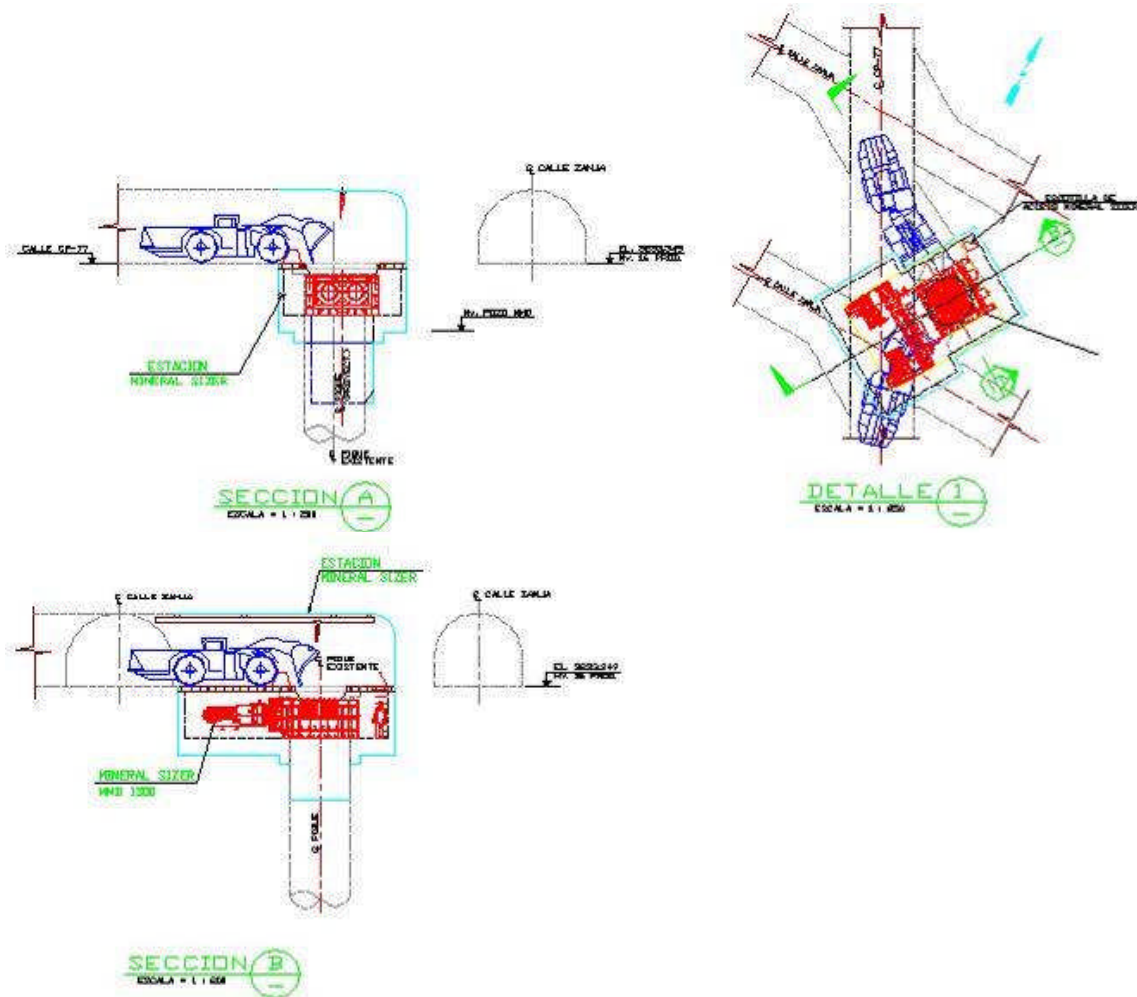


Figura 96, Diseños mineros alternativa 5

B.6 Alternativa 6 Sizer MMD 1500 sobre Vaciadero LHD (Motor hacia la calle)

Esta alternativa considera utilizar un equipo sizer aún más grande, el modelo MMD 1500, ello involucra realizar aún mayores excavaciones, lo que puede debilitar los pilares del nivel de producción, plantea ubicar el sizer en un foso en una calle de producción, con el motor del equipo hacia la calle, ello requerirá realizar un tapado metálico sobre el motor del sizer, para permitir que la pala descargue por ese lado, esta alternativa no requiere de una conexión hacia el pique del punto de vaciado, dado que la descarga del sizer se ubica sobre el pique y también permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

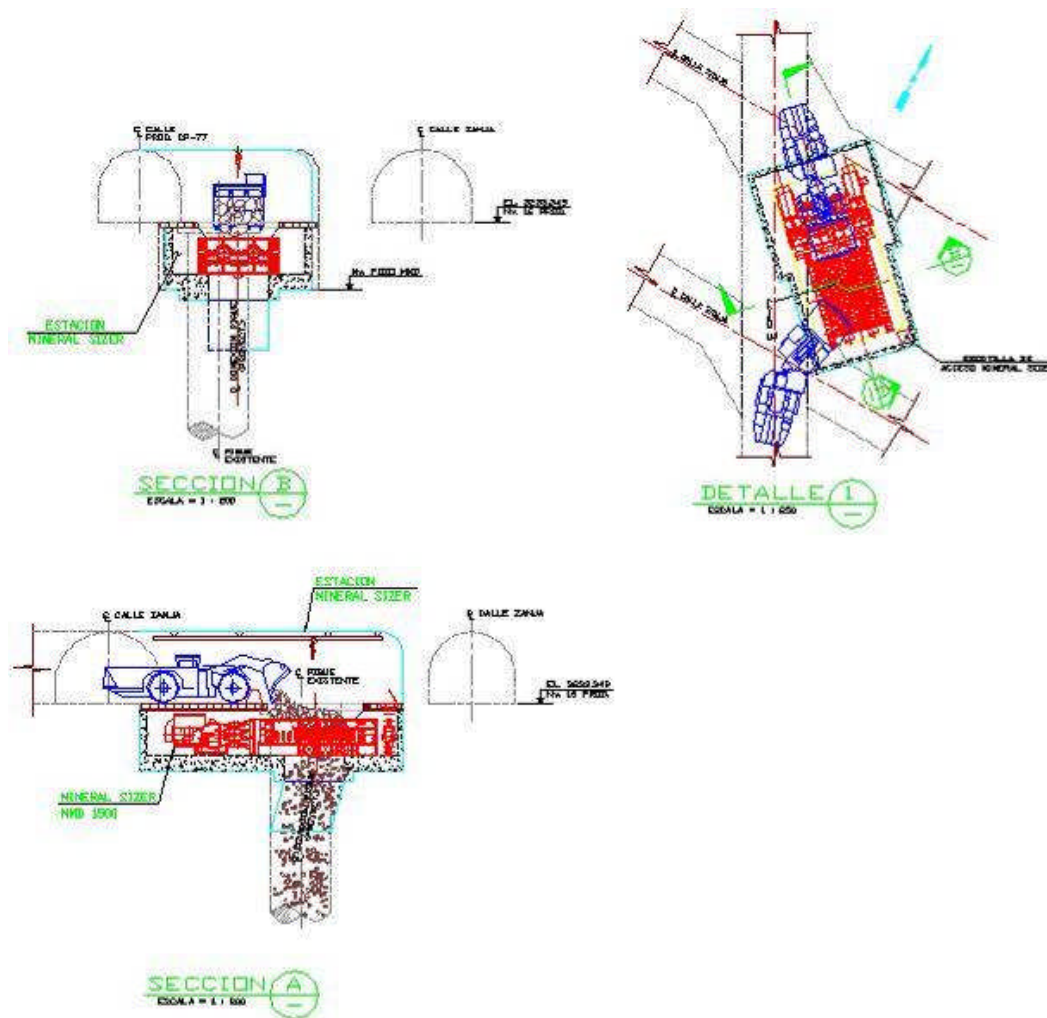


Figura 97, Diseños mineros alternativa 6

B.7 Alternativa 7 Sizer MMD 1000 sobre rieles

Esta alternativa considera utilizar un equipo más pequeño de todos, el modelo MMD 1000, ello involucra realizar menos excavaciones, con lo que no se intervienen mayormente los pilares del nivel de producción, plantea ubicar el sizer en rieles para permitir su movilidad a través del nivel de producción, ello requerirá que las palas tengan que levantar el balde para descargar sobre el sizer, esta alternativa no requiere de una conexión hacia el pique del punto de vaciado, dado que la descarga del sizer se ubica sobre el pique y también permitiría la alimentación con dos palas, ambas en una misma calle, esto debe ser evaluado dado los aspectos de seguridad involucrados.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

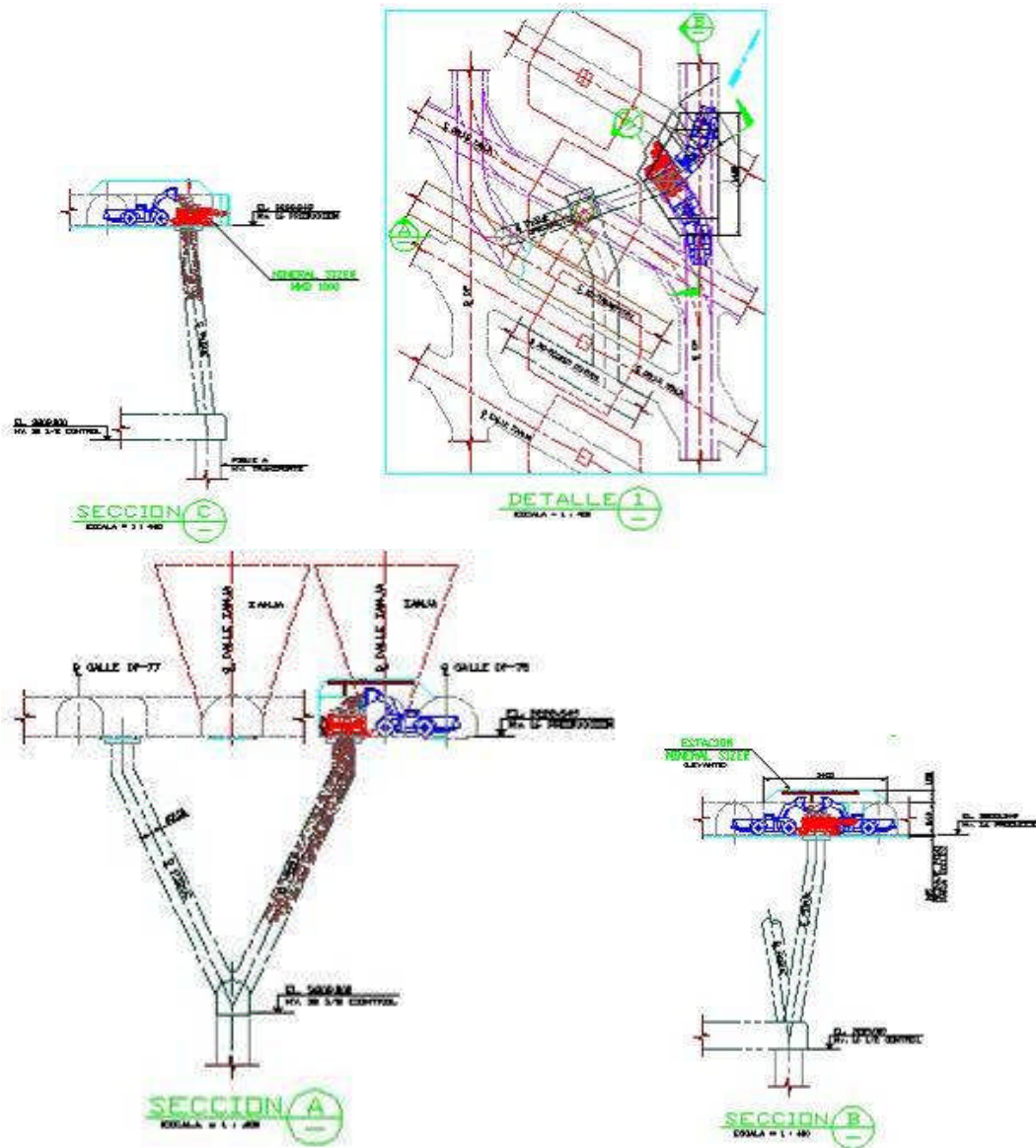


Figura 98, Diseños mineros alternativa 7

B.8 Alternativa 8 Sizer MMD 1000 en el Sub nivel de ventilación

Esta alternativa también considera utilizar el sizer modelo MMD 1000 y plantea ubicar el sizer en el nivel inferior, la gran duda que genera este diseño es que no se tiene control de las rocas que caigan sobre el equipo cuando el pique esté vacío, ello puede generar grandes daños, sobre todo a los rodillos del sizer, además este sistema no mejora el manejo de materiales en el nivel de producción, dado que se mantienen las parrillas que controlan el flujo de mineral.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

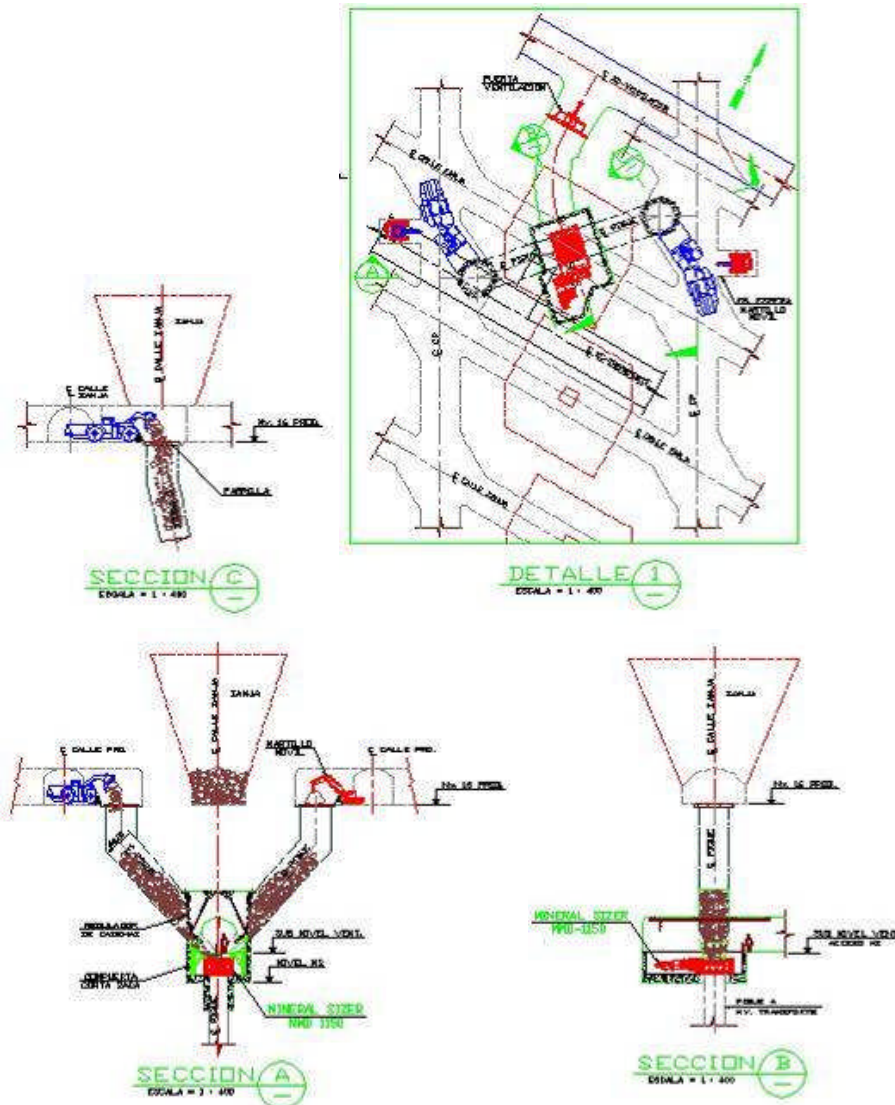


Figura 99, Diseños mineros alternativa 8

B.9 Alternativa 9 Sizer MMD 1150 en calle de producción

Esta alternativa considera utilizar un equipo un poco más grande, el modelo MMD 1150, ello involucra realizar menos excavaciones, con lo que no se intervienen los pilares del nivel de producción, plantea ubicar el sizer en la mitad de una calle de producción, con descarga solo por un lado, para evitar la operación de dos palas en una misma calle, requiere un desquinche para la conexión hacia el pique del punto de vaciado.

A continuación se muestran algunas figuras que explican esta alternativa.

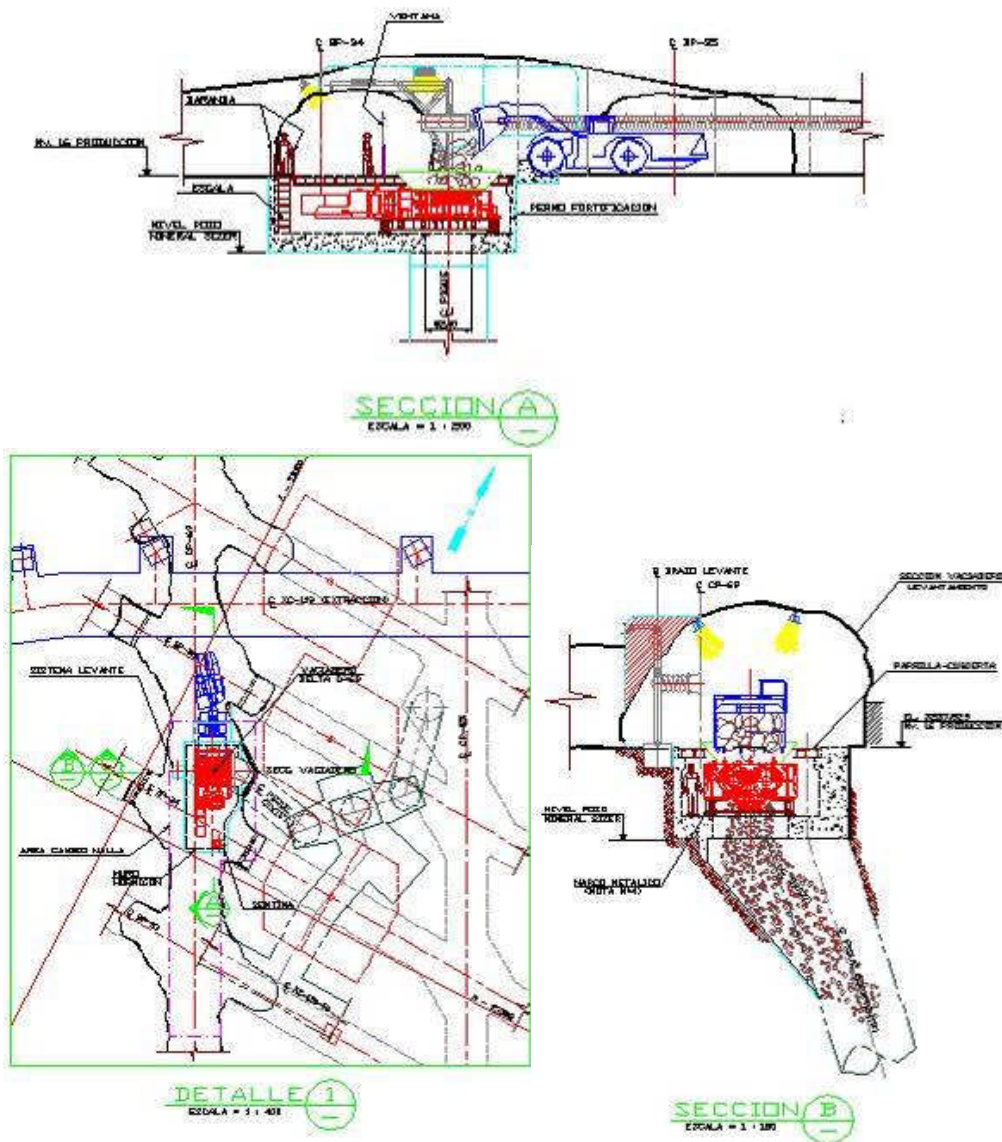


Figura 100, Diseños mineros alternativa 9

Anexo C

C Opciones propuestas primera fase prueba industrial

C.1 Alternativa 1 Sizer Sobre Vaciadero LHD

Esta alternativa considera la ubicación del sizer sobre un punto de vaciado LHD, en la misma configuración del método convencional, por tanto, la operación también convencional, los LHD extraen la roca desde los PE, acarrean y descargan al Vaciadero LHD con la diferencia que se antepone el Sizer. Las principales características son:

- La instalación no interfiere tránsito de LHD por la calle. El diseño muestra que el LHD puede descargar por ambos lados. Esto elimina la necesidad de maniobra del LHD para llegar con el balde adelante a la descarga en vaciadero.
- La prueba de esta opción no requiere desarrollo vertical, se realizaría sobre un vaciadero existente. Sin embargo, el desquinche al techo y la caja, podría comprometer estabilidad del pilar, debe ser revisado por el área gemocánica.
- El diseño muestre 2 LHD descargando al vaciadero es para indicar puede hacerlo optativamente, este diseño no considera la operación de 2 equipos operando simultáneamente con el mismo vaciadero.

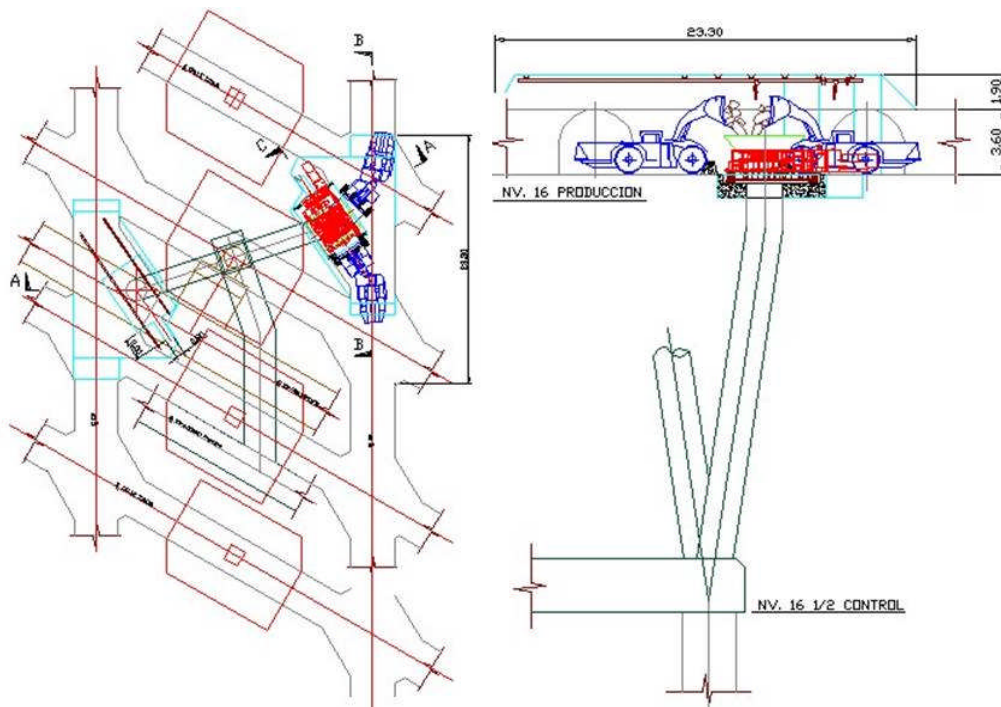


Figura 101, Opción 1, planta y perfil

C.2 Alternativa 2 Sizer en Cruzado Zanja

Ubicar el Sizer en un cruzado zanja, a nivel de piso. En general, las principales características son:

- La instalación Sizer atiende dos calles vecinas.
- Requiere desquinche de pilar para maniobra del LHD en ingreso con el balde hacia el Sizer.
- La prueba requiere desarrollo de pique para conexión desde el Nv. 16 al nivel 16½ de reducción
- Pierde una línea de zanja. (por evaluar opción de recuperar avanzando delante del frente de hundimiento)
- La aplicación industrial de esta opción podría incluir cambios desde fabrica en la ubicación del motor que faciliten el diseño.

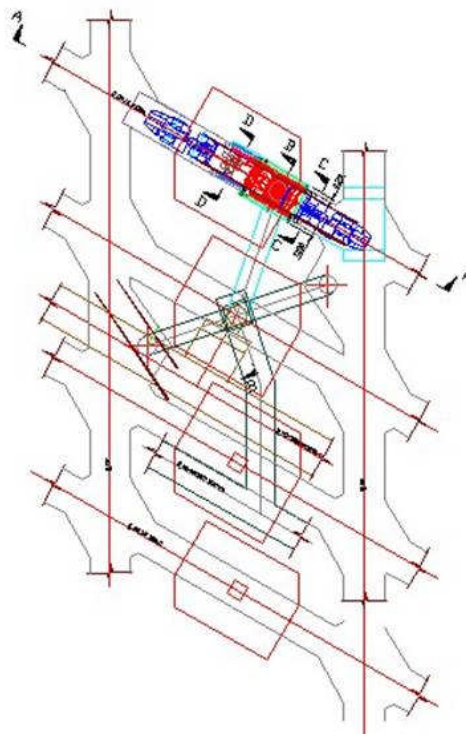


Figura 102, Opción 2, Sizer en cruzado zanja

Las variantes que esta opción corresponden a la singularidad del diseño que permite cargar por el lado del motor del equipo, son las siguientes:

C.2.1 Alternativa 2.1 Acceso a descargar por el lado del motor

Desquinche a la caja para ingreso de LHD por el lado del motor, figuras siguientes.

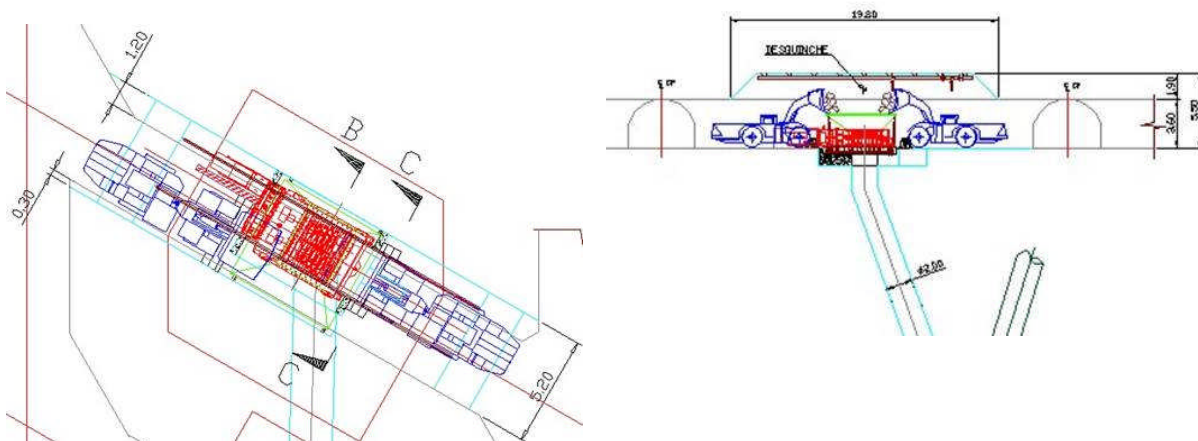


Figura 103, Opción 2.1, Planta y perfil

Principales características de esta variante:

- Requiere desquinche al techo y hacia las cajas

C.2.2 Alternativa 2.2 Alimentador para descarga por sobre el motor

Por el lado del motor, el LHD descarga el mineral sobre el alimentador que lo lleva hasta la tolva Sizer. Principales características de esta variante:

- Requiere mayor desquinche al techo y a las cajas.
- Requiere rampa por el lado del motor para llegada del LHD al alimentador.
- Equipo adicional para alimentar al sizer, (Alimentador)
- La movilidad del Sizer se dificultaría para hacerla desde ambos accesos.

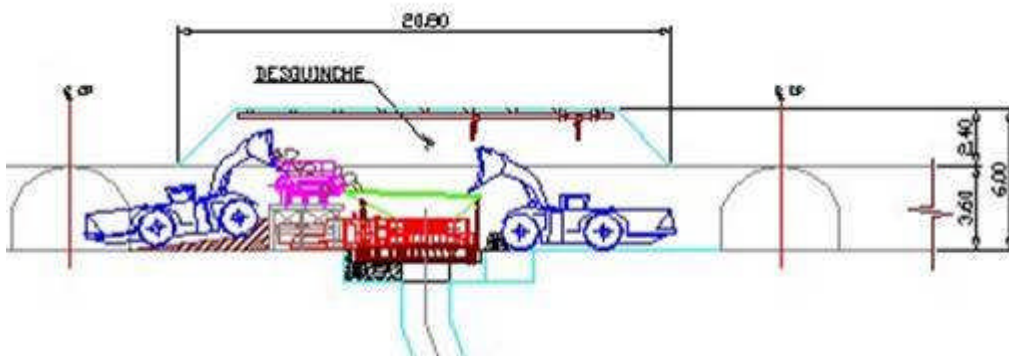


Figura 104, Opción 2.2, Sizer en zanja con alimentador sobre el motor

C.2.3 Alternativa 2.3 Estructura fija para descarga por sobre el motor

De la anterior, el alimentador es reemplazado por una estructura fija, rampa de operación natural, por gravedad. Principales características respecto a variante anterior:

- Mayor desquinche al techo y a las cajas.
- Requiere mayor altura de rampa por el lado del motor para llegada del LHD al alimentador.
- Reemplaza alimentador por estructura fija

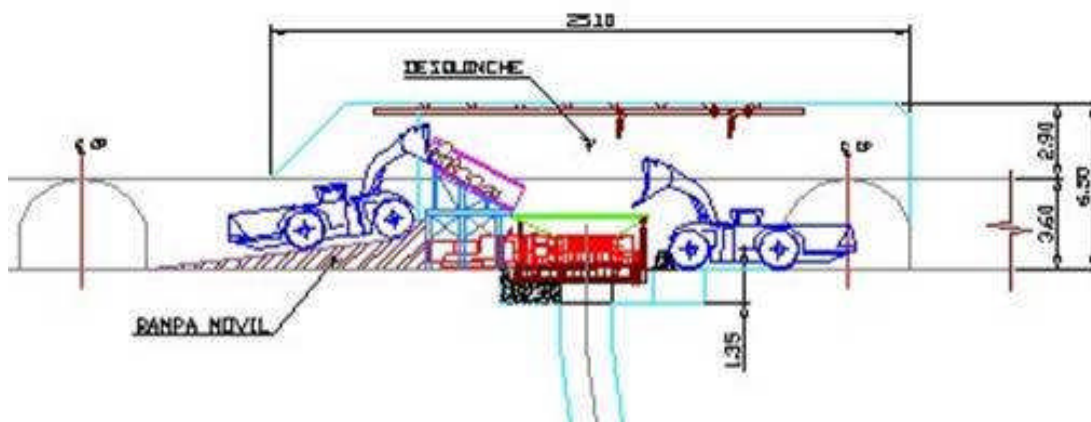


Figura 105, Opción 2.3, Sizer en zanja con estructura fija para descarga

C.3 Alternativa 3 Sizer en Punto de Extracción

Esta Opción ubica el sizer en un punto de extracción, a nivel de piso. Esta ubicación permitiría 3 vías de acceso para descargar al Sizer, como se muestra en la figura siguiente. El diseño en la parte posterior del Sizer de acuerdo a las opciones anteriores. Características:

- Ídem a Opción 1 pero sin desquinche en pilar.
- Para la prueba requiere una conexión menor hasta el pique de traspaso existente.
- Eventualmente podría atender además otra calle vecina, esto incluiría una solución de las variantes anteriores.
- Perdería 1/2 zanja (por evaluar factibilidad de abrir media zanja).

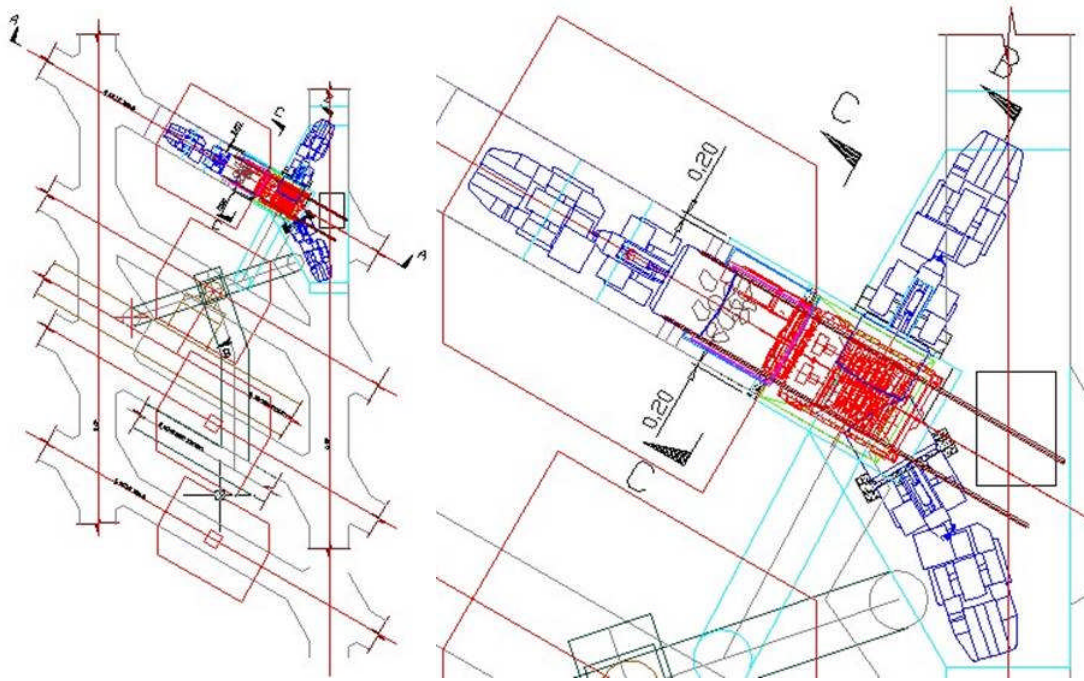


Figura 106, Opción 3, Sizer en punto de extracción

C.4 Alternativa 4 Sizer en Pozo

Esta opción considera la ubicación del Sizer en pozo construido inmediatamente bajo el nivel de producción. El equipo opera dentro del pozo y puede ser retirado para cambiarlo a otro punto de operación en la mina o llevar a taller para reparación o mantenimiento mayor. Esta opción permite instalarlo en cruzado zanja o en medio de la calle de producción. Se consideran además variante según los elementos de accionamiento de la plataforma de izamiento. El concepto se describe en las figuras siguientes.

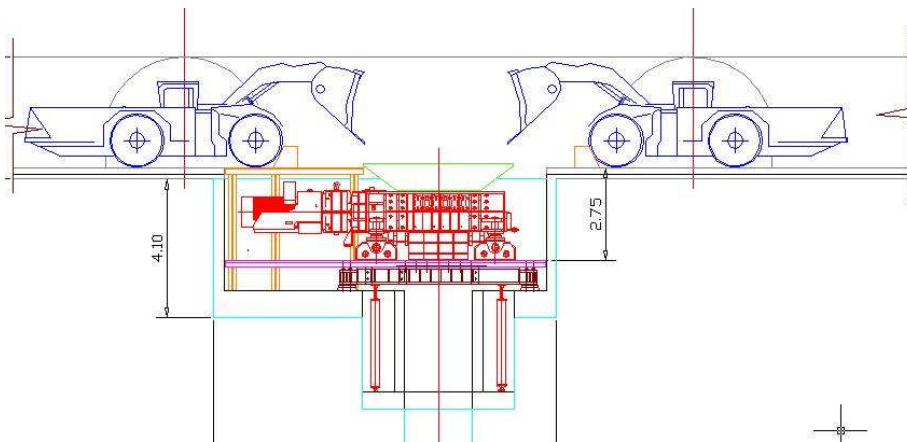


Figura 107, Opción 4, Sizer instalado en un pozo

Características:

- Menor desquinche al techo. Mayor excavación al piso (6.8 m)

Las variantes de esta opción:

C.4.1 Alternativa 4.1 Pozo Sizer en calle de producción

Ubicado en la calle de producción.

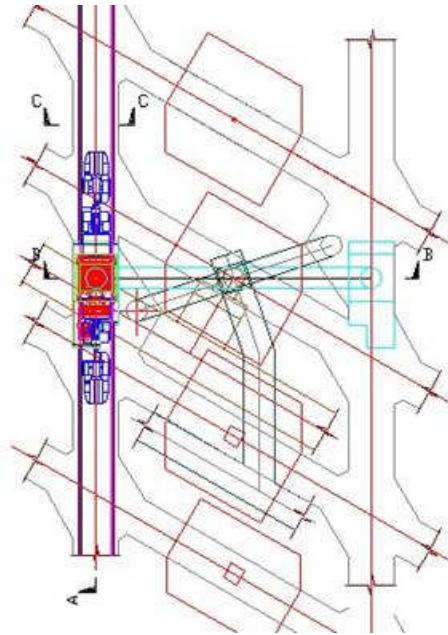


Figura 108, Opción 4.1, Sizer en pozo en una calle de producción

Características:

- Elementos adicionales: 4 cilindros para 20 toneladas mínimas de capacidad y una carrera mínima de 2.75 metros.

C.4.2 Alternativa 4.2 Pozo Sizer en cruzado zanja

Ubicado en la zanja de producción.

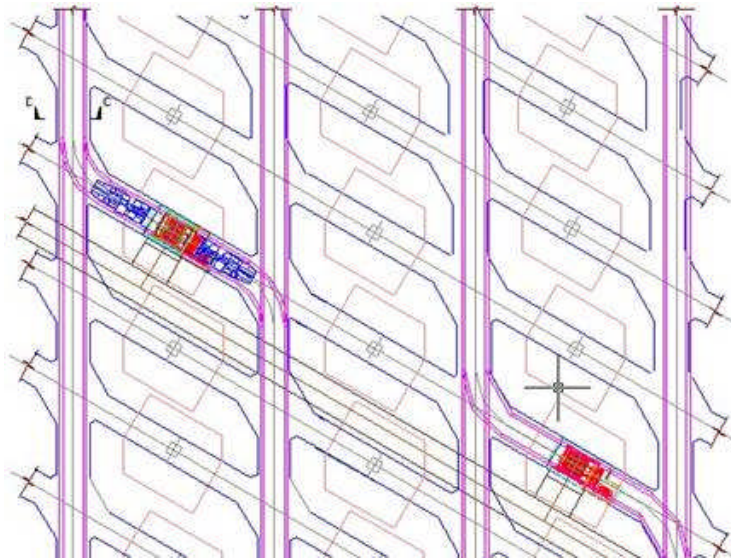


Figura 109, Opción 4.2, Sizer en pozo en una zanja

- Elementos adicionales: 4 cilindros para 20 toneladas mínimas de capacidad y una carrera mínima de 2.75 metros.
- El potencial beneficio es con cota entre niveles mayor a la disponible en el III Panel, del orden de 90 metros, permitiría llegada de dos piques a un buzón disminuyendo la cantidad de buzones cruzados de transporte