



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

## **OPERATIVIZACIÓN DEL III PANEL EXTENDIDO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS**

**NATALIA CRISTINA CAMPOS MEZA**

**PROFESOR GUÍA  
HANS GÖPFERT HIELBIG**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
MANUEL REYES JARA  
VALENTÍN MORALES ZÚÑIGA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2016**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE:** Ingeniera Civil de Minas  
**POR:** Natalia Cristina Campos Meza  
**FECHA:** 18/03/2016  
**PROFESOR GUÍA:** Hans Göpfert Hielbig

### **OPERATIVIZACIÓN DEL III PANEL EXTENDIDO**

La División Andina de CODELCO tiene considerado para el año 2019 el inicio de un proyecto llamado III Panel Extendido, el cual actualmente se encuentra en el proceso de Ingeniería de Pre factibilidad / Factibilidad. Este proyecto contempla utilizar el método de explotación *Panel Caving* con hundimiento Convencional y tendrá una vida útil de 12 años, con una producción en régimen de 18 Kt/d. Una de sus características más importante es que el LHD cargará directamente sobre la tolva del camión. En este trabajo de memoria se realiza un análisis de los procesos operativos de carguío y transporte del proyecto, con el objetivo de evitar retrasos en su puesta en marcha.

La metodología comienza con la recolección de la información, lo cual implica entrevistas con operadores y supervisores de la División Andina, registro de datos en terreno, recopilación de informes y asistencia a reuniones sobre el proyecto. Más adelante, se desarrolla un diagnóstico el cual corresponde a una revisión de las fortalezas y debilidades del proceso actual en el III Panel, con tal de utilizarlas como lecciones aprendidas en el proyecto que recién comienza. Con toda la información recopilada se determinan los parámetros operativos del proyecto a partir de los obtenidos en las pruebas de LHD semiautónomos y de los parámetros actuales de operación. Finalmente se realizan recomendaciones a los procesos de carguío y transporte, además de algunas recomendaciones que buscan mejorar el diseño minero.

Los resultados indican que el carguío del camión debe realizarse mediante un remanejo del mineral que el LHD previamente ha acopiado en el frontón, debido a que esta opción es al menos 2 veces más eficiente que las otras existentes. El diseño de los niveles de producción y transporte debe plasmar las necesidades del proyecto, por consiguiente debe realizarse en favor de tiempos de ciclos más eficientes. Para esto en este trabajo se entregan algunas recomendaciones como: agregar curvas de alta velocidad y estocadas de acopio para la limpieza de pistas, incluir mejoras en el diseño de la zona de abastecimiento de petróleo, etc., además de algunas recomendaciones del proceso operativo en sí, como las zonas de confinamiento para los equipos de tecnología autónoma o semiautónoma.

Como conclusión, la granulometría afectará directamente los procesos productivos del III Panel Extendido. Esto, sumado a la alta dependencia entre niveles que poseerá el proyecto, realza la importancia de realizar la coordinación necesaria entre procesos, de manera de evitar retrasos.

# Abstract

CODELCO, Andina Division has planned the start of project, III Panel Expansion, for the year 2019. The project currently is in the pre-feasibility / feasibility engineering stage. The method being considered for the project is Panel Caving with Conventional Caving, it is also planned for a life of 12 years starting in 2019 till 2030 and a production rate of 18 Kt/d. An important feature of the project is the LHD dumping directly to the hopper of the truck. With this, an analysis of the operational processes of loading and transportation within the project is carried out in order to avoid delays in its implementation.

The methodology begins with the collection of information, this involves interviews with operators and supervisors within the Andina Division, recording field data, compiling of reports and attending meetings regarding the project. Afterwards, a diagnosis reviewing the advantages and disadvantages of the current process is used to take lessons learned in the project. With the collected information operating parameters of the project can be determined from those obtained in Andina's LHD semi-autonomous test and current operating data. Finally recommendations for the loading and transport processes are given with additional recommendations aimed at improving the mine design.

The results indicate that the loading of the truck must be performed by re-handling the ore previously stockpiled by a LHD, because this option is twice as efficient as others. The mine design of levels production and transport should meet project requirements, and therefore be made to support more efficient cycle times. For this, some recommendations are made: add high speed corners and collection points of spilled mineral, include design improvements in the area of fuel supply, etc. In addition some recommendations such as operating process and containment areas for autonomous or semi-autonomous technology are made.

To conclude, the ore fragmentation will affect directly to the production processes of III Panel Expansion. Combined with the high dependence between levels that will affect the project, it emphasizes the importance of making the necessary coordination between processes to avoid delays.

*A mi abuelita Lucy,  
por el amor incondicional que me entregó.*

# Agradecimientos

A mis padres, por su apoyo durante cada una de las etapas de mi vida, y por entregarme los valores que me forjaron como persona.

A mi tío Héctor y mi tía Mónica, por acogerme en su casa en San Felipe durante todo el transcurso de mi memoria, por esperarme todos los días con una rica once y una buena conversación.

A toda mi familia, por su cariño y motivación durante toda mi etapa universitaria, en especial durante los momentos difíciles, y aquellos momentos en que estuve lejos de casa.

A la División Andina de CODELCO, por patrocinar este trabajo y darme la oportunidad de pertenecer a su gran familia minera. A don Valentín Morales, por aceptarme como su memorista, aguantar mis millones de preguntas, hacerse el tiempo para enseñarme sobre minería, pero principalmente por acompañarme en este momento tan importante para mí. A don Miguel Cantuliano, por darme un espacio en su oficina, enseñarme sobre el nivel de transporte, y darme la confianza para ayudarlo en algunas tareas. A don Claudio Valenzuela, por recibirme todos los días en su oficina, por preocuparse de mi bienestar, y por la confianza entregada. A Gabriela Bravo, por su ayuda, pero sobre todo por sus consejos. Mis agradecimientos a todos los trabajadores de la Mina Subterránea, a los jefes, supervisores, operadores, memoristas y practicantes. Todos ustedes aportaron de alguna manera a este trabajo.

A mi comisión, al profesor Hans Göpfert por darme consejos y plantear sus inquietudes. A Manuel, por aconsejarme y darme la oportunidad de trabajar con él.

A mis amigas de la U, por los buenos momentos que hemos pasado, y por derribar juntas los estereotipos asociados a estudiar Ingeniería. A mis amigas del colegio María Inmaculada, que siempre han estado a mi lado, en las buenas y en las malas. A mis amigos mineros, por todas esas largas noches de estudio, por los consejos, y por los momentos de felicidad.

A todos los funcionarios de la Universidad, por su amabilidad y preocupación para resolver todos mis problemas, en especial a las secretarías del Departamento de Ingeniería de Minas, a Nicole y por supuesto a mi querida Juanita, que siempre me recibió con una gran sonrisa.

A quienes ya partieron, pero viven cada día en mis pensamientos.

# Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Alcances.....	2
1.4 Metodología .....	3
2. Antecedentes.....	4
2.1 Estado del Arte método de Panel Caving.....	4
2.1.1 Clasificación de los métodos de explotación .....	4
2.1.2 Selección del método de explotación.....	5
2.1.3 Panel Caving .....	6
2.1.4 Tipos de Malla .....	7
2.1.5 Sistema de carguío y transporte .....	11
2.1.6 Otros sistemas de carguío y transporte: Mina Premier .....	12
2.2 Reseña Histórica.....	13
2.3 Descripción de la faena.....	14
2.3.1 III Panel (Panel Caving) .....	14
2.3.2 Cuerpos de Alta Ley (CAL) .....	16
2.3.3 Nuevos proyectos de la división .....	16
2.4 Proyecto III Panel Extendido .....	17
2.4.1 Diseño minero por niveles .....	19
2.5 Parámetros temporales .....	23
2.5.1 Definiciones .....	23
2.5.2 Índices .....	25
2.6 Parámetros operativos prueba LHD semiautónomos, Andina.....	27
3. Análisis de operaciones de carguío y transporte actuales.....	32
3.1 Nivel 16 Producción .....	32
3.1.1 Fortalezas.....	32
3.1.2 Debilidades.....	33
3.2 Nivel 17 Transporte.....	34

3.2.1	Fortalezas .....	34
3.2.2	Debilidades .....	36
3.3	Cuerpos de Alta Ley – CAL .....	37
3.3.1	Fortalezas .....	37
3.3.2	Desventajas .....	38
4.	Identificación de parámetros operativos claves .....	41
4.1	Parámetros operativos Cuerpos de Alta Ley .....	41
4.2	Parámetros operativos III Panel Extendido .....	48
4.2.1	Distancias de ciclos LHD y CAEX.....	48
4.2.2	Tiempos de ciclos LHD y CAEX .....	51
5.	Propuesta de operativización III Panel Extendido.....	57
5.1	Operación LHD en nivel de producción.....	57
5.1.1	Carguío de CAEX con LHD .....	57
5.1.2	Confinamiento Sistema LHD Semiautónomo / Autónomo .....	59
5.1.3	Diseño del nivel de producción .....	61
5.2	Operación CAEX en nivel de transporte.....	67
5.2.1	Confinamiento Sistema CAEX Semiautónomo / Autónomo.....	68
5.2.2	Diseño del nivel de transporte .....	70
6.	Conclusiones .....	75
7.	Recomendaciones .....	76
8.	Glosario .....	78
9.	Bibliografía.....	79
10.	Anexos .....	81
	Anexo A: Plano Nivel de Hundimiento (NH), III Panel.....	81
	Anexo B: Plano Nivel de Producción (Nivel 16), III Panel .....	82
	Anexo C: Plano Subnivel de Ventilacion, III Panel .....	83
	Anexo D: Plano Nivel de reducción (Nivel 16 ½), III Panel .....	84
	Anexo E: Plano Nivel de Transporte (Nivel 17), III Panel.....	85
	Anexo F: Tiempos de maniobra en descarga (Zurita, 2011) .....	86
	Anexo G: Tiempos de ciclo CAEX CAL, desde C01 a PT5.....	87
	Anexo H: Tiempos de ciclo CAEX CAL, desde C01 a Tolva Sur (OP9).....	88

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Clasificación métodos de explotación .....	5
Ilustración 2 Panel Caving con Hundimiento Convencional .....	7
Ilustración 3 Malla Salvador .....	8
Ilustración 4 Malla Salvador corregida .....	8
Ilustración 5 Malla Andina .....	9
Ilustración 6 Malla Herringbone.....	9
Ilustración 7 Malla Herringbone Offset o desfasada.....	10
Ilustración 8 Malla Henderson.....	10
Ilustración 9 Malla Teniente.....	11
Ilustración 10 Esquema sistema de manejo de mineral por niveles .....	11
Ilustración 11 Layout nivel producción Mina Premier .....	12
Ilustración 12 Layout nivel transporte Mina Premier .....	13
Ilustración 13 Ubicación Geográfica División Andina .....	13
Ilustración 14 Isométrica Cuerpos de Alta Ley .....	16
Ilustración 15 Disposición general proyecto III Panel Extendido .....	18
Ilustración 16 Layout nivel de producción .....	20
Ilustración 17 Layout nivel de Transporte.....	22
Ilustración 18 Dibujo esquemático Norma ASARCO.....	24
Ilustración 19 Plano de punto de carguío Cuerpos de Alta Ley .....	42
Ilustración 20 Circuito CAEX de C01 a PT5 para Cuerpos de Alta Ley.....	43
Ilustración 21 Circuito CAEX desde C01 a OP9 para Cuerpos de Alta Ley .....	44
Ilustración 22 Distancias máxima y mínima ciclo LHD, III Panel Extendido .....	49
Ilustración 23 Distancias mínima y máxima ciclo CAEX, III Panel Extendido.....	50
Ilustración 24 Confinamiento sector calles de producción LHD.....	60
Ilustración 25 Intersección CP - Socavón sin curvas de alta velocidad.....	62
Ilustración 26 Maniobras 1 y 2 de LHD en intersección sin curvas de alta velocidad.....	63
Ilustración 27 Maniobras 3 y 4 de LHD en intersección sin curvas de alta velocidad.....	63
Ilustración 28 Maniobra 1 de LHD en intersección con curvas de alta velocidad.....	64
Ilustración 29 Maniobra 2 de LHD en intersección con curvas de alta velocidad.....	65
Ilustración 30 Intersección rampas Conexión Oeste .....	66
Ilustración 31 Intersecciones acceso desde Rampa III Panel Extendido .....	66
Ilustración 32 Intersecciones Conexión Este.....	67
Ilustración 33 Intersecciones Socavón Este.....	67
Ilustración 34 Confinamiento para circuito Norte, nivel de transporte IIIPE.....	69
Ilustración 35 Confinamiento para circuito Sur, nivel de transporte IIIPE .....	70
Ilustración 36 Estocadas de acopio para circuito Norte, nivel de transporte IIIPE.....	71
Ilustración 37 Estocadas de acopio para circuito Sur, nivel de transporte IIIPE .....	72
Ilustración 38 Diseño estación abastecimiento de combustible.....	73
Ilustración 39 Diseño propuesto para estación de abastecimiento de combustible.....	74

## Índice de tablas

Tabla 1 Producción, utilización y rendimiento en Sistema Minegem y Dispatch .....	28
Tabla 2 Tiempos de trabajo martillos picadores OP8-OP9 .....	44
Tabla 3 Distancias de acarreo LHD y transporte CAEX .....	45
Tabla 4 Tiempos de ciclo CAEX en CAL .....	46
Tabla 5 Promedio rendimientos operativos promedio LHD y CAEX por grupo en CAL .	47
Tabla 6 Rendimientos operativos por LHD, CAEX y grupo en CAL .....	47
Tabla 7 Distancias, tiempos y velocidades, CAEX cargado y descargado.....	48
Tabla 8 Distancias de ciclo LHD.....	49
Tabla 9 Distancias de ciclo CAEX .....	51
Tabla 10 Tiempos de ciclo LHD con graulometría fina a media y gruesa .....	52
Tabla 11 Tiempos de ciclo CAEX III Panel Extendido según casos y granulometrías ...	55
Tabla 12 Resultados producción según granulometría y caso .....	56
Tabla 13 Tiempos de ciclo LHD según granulometría, carguío Caso A .....	58
Tabla 14 Tiempos de ciclo LHD según granulometría, carguío Caso C.....	59

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Igualdad tiempo nominal.....	25
Ecuación 2 Igualdad tiempo disponible .....	25
Ecuación 3 Igualdad tiempo operativo .....	25
Ecuación 4 Disponibilidad física .....	25
Ecuación 5 Utilización .....	26
Ecuación 6 Utilización efectiva .....	26
Ecuación 7 Rendimiento efectivo .....	26
Ecuación 8 Tiempos de ciclo CAEX en CAL .....	45
Ecuación 9 Igualdad Tiempo total de ciclo .....	51
Ecuación 10 Igualdad viaje promedio.....	51
Ecuación 11 Tiempo de carga CAEX para caso 1 y granulometrías fina y gruesa .....	53
Ecuación 12 Tiempo de carga CAEX para caso 1 y granulometría gruesa.....	53
Ecuación 13 Tiempo de carga CAEX para caso 2 y granulometría fina y media .....	53
Ecuación 14 Tiempo de carga CAEX para caso 2 y granulometría gruesa.....	53
Ecuación 15 Tiempo de carga CAEX para caso 3 .....	53
Ecuación 16 Tiempo de viaje CAEX cargado.....	54
Ecuación 17 Tiempo de viaje CAEX descargado.....	54
Ecuación 18 Cantidad de ciclos en 7 horas.....	56
Ecuación 19 Tonelaje por turno.....	56
Ecuación 20 Tonelaje diario .....	56
Ecuación 21 Tiempo total de ciclo LHD para caso A.....	58

# Índice de gráficos

Gráfico 1 Horas efectivas de operación por día LHD Semi Autónomos .....	29
Gráfico 2 Número de baldadas por día LHD Semi Autónomos .....	29
Gráfico 3 Rendimientos efectivos LHD Semiautónomos .....	30
Gráfico 4 Distancia Media recorrida LHD Semiautónomos .....	30
Gráfico 5 Tiempos de maniobra en descarga.....	31
Gráfico 6 Distribución de tiempos en ciclo de transporte CAL .....	46

# 1. Introducción

La mina subterránea Río Blanco de la Corporación Nacional del Cobre de Chile, CODELCO - División Andina ha evidenciado varios cambios durante su historia, desde los inicios de su explotación en el año 1970. En estos momentos, el sector operativo es el III Panel, cuya explotación inició en 1995 y se extenderá hasta el 2021.

Para el año 2019 se tiene considerado el inicio de un proyecto llamado III Panel Extendido, el cual actualmente se encuentra en el proceso de Ingeniería de Pre factibilidad / Factibilidad.

Para el proyecto III Panel Extendido se utilizará el método de explotación *Panel Caving* con hundimiento Convencional, el cual abarcará un área total de 165.120 m<sup>2</sup> y cuenta con reservas de mineral de 63 Mt a una ley de cobre total promedio (CuT) de 1,06 %. El proyecto tendrá una vida útil de 12 años, comenzando el año 2019 hasta el 2030 con una producción en régimen de 18 Kt/d. Una de sus características más importantes es que no contará con piques de traspaso que conecten el nivel producción con el de transporte, sino que el LHD cargará directamente sobre la tolva del camión.

Cabe destacar que actualmente CODELCO enfrenta algunos desafíos los cuales se presentan en este proyecto. La profundización de los yacimientos trae consigo un aumento en la competencia de la roca, al pasar de una roca secundaria a una primaria. En términos prácticos, esta roca de alta competencia (roca primaria de Work index 16) requiere del uso de pre acondicionamiento (debilitamiento dinámico con explosivos y fracturamiento hidráulico), mejoras en los diagramas de disparo, mayor capacidad de equipos y de frecuencia de mantenimiento de estos, entre otros. En el proyecto III Panel Extendido la roca primaria representa casi el total de las reservas (92,7 [%] mineral primario, 0,3 [%] mineral secundario y 7 [%] mineral quebrado)

El proyecto de memoria “Operativización del III Panel Extendido” contempla un análisis de los procesos operativos de carguío y transporte para la nueva área a explotar. Para esto primero se debe realizar una revisión de las fortalezas y debilidades del proceso actual en el III Panel, con tal de utilizar estas lecciones aprendidas en el proyecto que recién comienza. Además es necesario determinar los parámetros operativos del proyecto a partir de los obtenidos en las pruebas de LHD semiautónomos y de los parámetros actuales de operación.

## 1.1 Motivación

En el transcurso de la explotación de la mina subterránea de la División Andina, han existido muchos proyectos, desde la producción del I Panel en el año 1970, pasando por el II Panel en 1982, hasta el III Panel cuya producción se inició en 1997 y se extiende hasta el día de hoy. La ausencia de un plan para implementar el sistema operativo de cada uno de estos proyectos ha llevado a la falta de información del personal, lo que ha culminado con la improvisación y retrasos en la operación.

A raíz de lo anterior, resulta trascendental efectuar una revisión de los procesos operativos futuros, utilizando las lecciones aprendidas en los antiguos paneles ya explotados por la División, de esta forma lograr estar más preparados para el ingreso de un nuevo proyecto a la producción de la mina subterránea.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Diseñar un plan para la operativización del nuevo sector productivo III Panel Extendido, de manera de evitar retrasos en la puesta en marcha del proyecto.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las fortalezas y debilidades del sector operativo actual III Panel de tal forma de utilizar estas lecciones aprendidas en el nuevo proyecto.
- Determinar parámetros operativos del proyecto III Panel Extendido a partir de los actuales (III Panel y Cuerpos de Alta Ley).
- Descripción técnica y operacional de los procesos a realizar.
- Determinar puntos críticos dentro del diseño minero y posibles interferencias del proyecto.

## **1.3 Alcances**

- Se utilizarán planos e informes entregados por la empresa JRI, una empresa chilena consultora de ingeniería multidisciplinaria para proyectos mineros, actualmente encargada de la etapa de ingeniería de factibilidad del proyecto III Panel Extendido. Estos están en constante revisión y corrección. Solo se utilizarán los que estén aprobados previamente por CODELCO.
- Los parámetros a utilizar para los equipos semiautónomos fueron establecidos a partir de las pruebas realizadas para tecnología semiautónoma en el III Panel (en equipos LHD) y de los parámetros que se tienen en la operación actual.
- Solo se evaluarán los procesos de carguío y transporte. El estudio no evalúa los procesos previos al mineral en los puntos de extracción y los que ocurren luego de la tolva.
- La operativización se basará en recomendaciones para los procesos de carguío y transporte, así como también al diseño minero del proyecto.

- No se realizará una evaluación económica.

## 1.4 Metodología

Para cumplir los objetivos específicos planteados en esta memoria, se utiliza la siguiente metodología de trabajo:

1. **Recolección de la información:** se debe tomar toda información relevante del sector operativo actual III Panel y Cuerpos de Alta Ley, así como acerca del nuevo proyecto.
2. **Diagnóstico actual:** en esta etapa se encuentra la realización de un análisis de fortalezas y debilidades del III Panel y Cuerpos de Alta Ley. Estas características se proyectarán el III Panel Extendido.
3. **Identificación de los parámetros operativos claves:** se utilizan los registros de la prueba de LHD semiautónomo y los parámetros operativos actuales pertenecientes al III Panel, pero principalmente a los Cuerpos de Alta Ley para la proyección de estos parámetros en el futuro III Panel Extendido.
4. **Operativización:** se analizan los circuitos de producción y transporte, de tal manera de recomendar acciones para cumplir el tonelaje del proyecto. Además se revisa el diseño minero.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Estado del Arte método de Panel Caving

La minería subterránea como tal envuelve tres grandes grupos de procesos que tienen como finalidad el procesamiento del mineral. El primer grupo comprende los procesos de alcanzar la roca mineralizada desde la superficie mediante accesos, túneles y galerías; el segundo corresponde a las acciones propias del método de explotación escogido para extraer el mineral de la zona mineralizada in situ y el tercero cuyo objetivo es transportar el mineral desde la zona de extracción hasta el lugar donde será procesado (Chang, 2009).

La presencia de mineral de tipo primario producto de la profundización de los yacimientos en nuestro país trae consigo nuevos desafíos, tales como:

- Mineral de mayor granulometría,
- Necesidad de equipos de mayor tamaño
- Diseños que permitan mayor producción
- Reducir los costos de producción
- Seguridad en la operación

Por lo anterior es que la selección del método de explotación y su posterior diseño minero se vuelven etapas de gran importancia dentro de un proyecto minero.

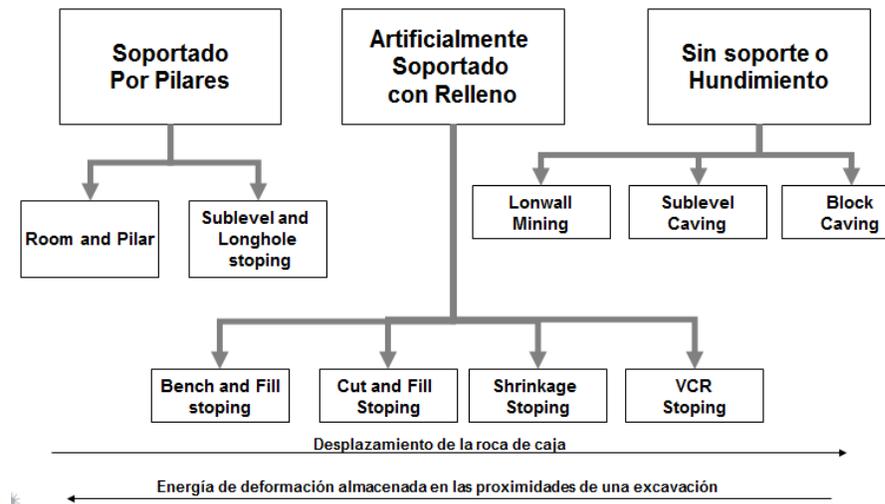
#### 2.1.1 Clasificación de los métodos de explotación

Los métodos de explotación pueden ser clasificados en 3 categorías desde la perspectiva de la geomecánica (Ortiz, 2010):

**Métodos auto-soportados o soportados por pilares:** aquellos que consideran la extracción del mineral dejando la cavidad que éste ocupaba vacía. Para poder lograr esto el caserón debe mantenerse estable en forma natural o requerir escasos elementos de refuerzo. Estos caserones se dejan vacíos una vez que concluye la explotación.

**Métodos artificialmente soportados o con relleno:** requieren elementos de soporte extras para mantenerse estables y/o son rellenos con algún material exógeno.

**Métodos de hundimiento:** en estos métodos las cavidades generadas por el mineral extraído son rellenas con el material superpuesto (mineral, mientras dura la explotación, y estéril, una vez finalizada). El hundimiento y consecuente relleno de las cavidades se produce simultáneamente a la extracción del mineral.



**Ilustración 1 Clasificación métodos de explotación (Ortiz, 2010)**

## 2.1.2 Selección del método de explotación

Normalmente para la selección de un método de explotación primero se deben realizar los siguientes procesos (Peeke, 1943):

- Clasificación del yacimiento
- Clasificación de los métodos mineros
- Selección de un método minero

Uno de los sistemas para asistir la elección del método de explotación es elaborado por Nicholas en 1981. Es un método numérico cuyo objetivo es principalmente indicar aquellos métodos que serán más efectivos que otros, entregándoles puntaje por cada característica evaluada. Las características por las cuales se evalúa cada método son:

- Geometría
- Ancho
- Inclinación
- Distribución de leyes
- Calidad de la roca (caja y mineralizado)
- Espaciamiento de fracturas
- Resistencia al fracturamiento

Nicholas entrega un valor numérico dependiendo de si esta característica aplica o no para el método de explotación. Una vez que se entregaron los puntajes de cada característica, realiza una sumatoria para cada método. De los puntajes totales se obtienen los métodos con puntajes más altos que son los que califican para evaluaciones económicas más precisas (Nicholas, 1981)

### **2.1.3 Panel Caving**

El método de Panel Caving o Hundimiento por Paneles corresponde a un método de explotación por hundimiento gravitacional masivo.

En 1982 en la mina El Teniente de CODELCO se inició la explotación en roca primaria la cual presenta menores leyes, mayor dureza y granulometría comparada con la roca secundaria. (Fuentes, 2013). Por este motivo se comenzó con la mecanización de las operaciones unitarias para lo que se necesitó contar con galerías de mayores dimensiones, aumentar la altura de los bloques y utilizar una mayor malla de extracción. Esta situación llevó a innovar en el método de explotación en ese momento vigente, Block Caving.

En este método se requiere ir desarrollando nuevos puntos de extracción en forma continua mientras se realiza la producción. El frente de hundimiento es dinámico a diferencia del Block Caving en donde es estático. En algunos casos, si el tamaño del depósito es muy grande, es necesario dividirlo en paneles separados. (Diering, 2008) (Vargas, 2014)

Se caracteriza por ser un método de bajo costo y alta productividad, lo que lo hace económicamente atractivo. Además permite un alto grado de mecanización con tecnologías probadas. Mediante tecnología innovadora permite la automatización en equipos LHD, trenes, camiones, correas transportadoras. (Vargas, 2014)

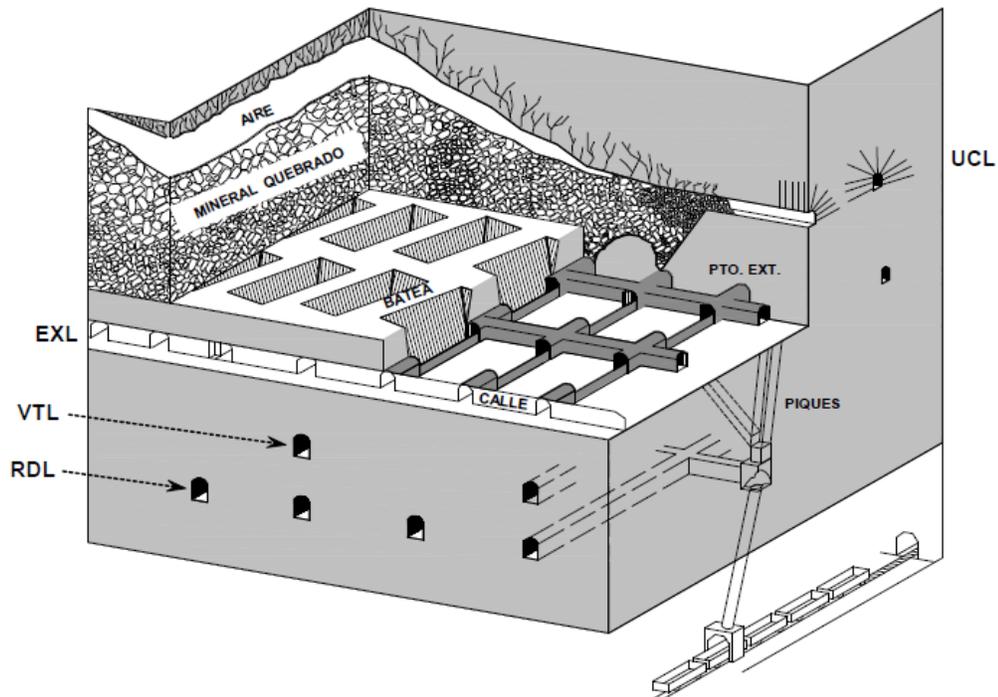


Ilustración 2 Panel Caving con Hundimiento Convencional (Vargas, 2014)

## 2.1.4 Tipos de Malla

A pesar de que el objetivo de este trabajo trata sobre la operativización de un proyecto diseñado con malla Teniente, se deben considerar todos los tipos de mallas existentes. Otros diseños de mallas utilizadas han sido: Salvador, Andina, Herringbone (convencional y ajustado) y Henderson.

**Salvador:** Desde sus inicios la mina El Salvador adoptó la configuración ampliamente reconocida como “esquina de pescado” para el nivel de producción. Las calles están distanciadas por 24 m y las estocadas de carguío por 12.5 m. Los puntos de extracción se ubicaban en una hilera central. Esto producía un espaciamiento excesivo, y con respecto a la estocada de carguío también entregaba una longitud mayor a la esperada. Es por esto que fue corregida, separando los puntos de extracción en dos hileras, dejando la malla Salvador casi equidistante. (Chacón, 1980)

Figura 2. EL SALVADOR

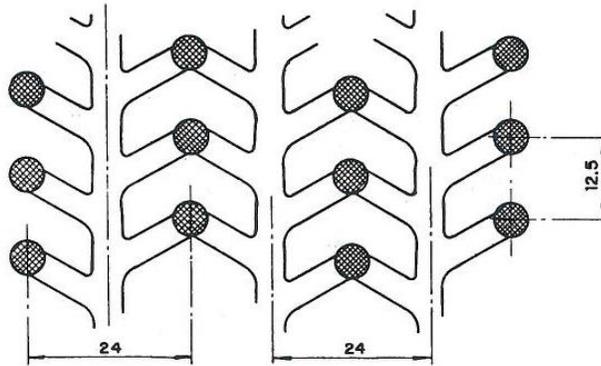


Figura 2a. DISEÑO ORIGINAL

Ilustración 3 Malla Salvador (Chacón, 1980)

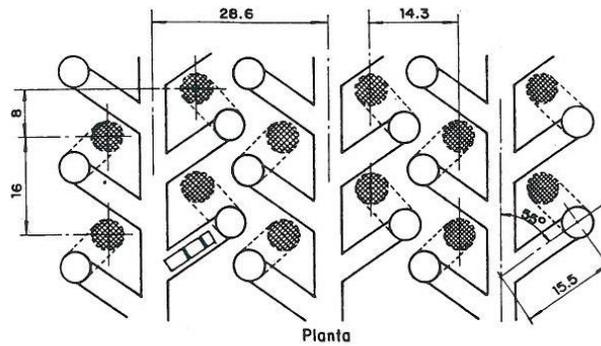


Figura 2 b. DISEÑO ACTUAL

Ilustración 4 Malla Salvador corregida (Chacón, 1980)

**Andina:** Posee una geometría Triangular, no equidistante, con estocadas de carguío con un largo suficiente para la operación normal del equipo LHD. El ángulo entre calle y estocada es de  $40^\circ$ . Esto es realizable debido a las condiciones propias de la mina Río Blanco, no posee sobrecarga de estéril y las presiones son muy bajas por los que la estabilidad para ángulos muy agudos para los pilares se puede controlar. (Chacón, 1980)

Figura 4. ANDINA

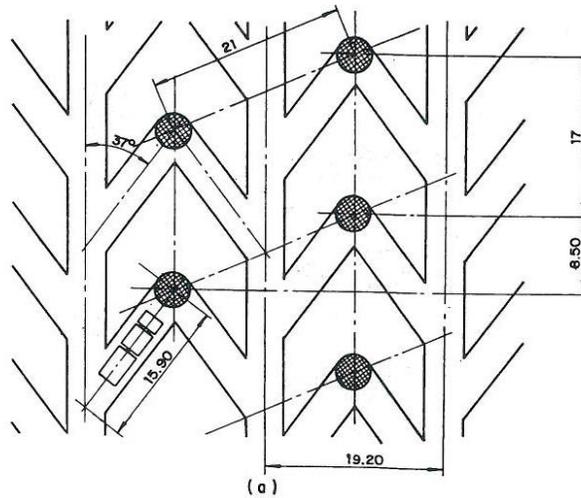


Ilustración 5 Malla Andina (Chacón, 1980)

**Herringbone:** También posee la forma de “espina de pescado” pero con un diseño ligeramente diferente, pasando desde una geometría triangular a una rectangular. Las estocadas de carguío se ubican frente a frente por la misma calle. Los puntos de extracción están ubicados de tal manera que el LHD no tiene que cambiar de dirección (como en malla Teniente) (Chacón, 1980). Esta malla fue modificada, cambiando el orden entre calles de las estocadas de carguío. Ya no se ubicarían frente a frente si no intercaladas. Este malla modificada se le conoce como Herringbone Offset (Laubscher, 2000)

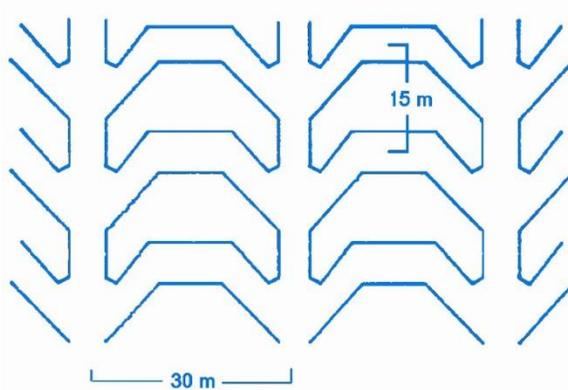


Ilustración 6 Malla Herringbone

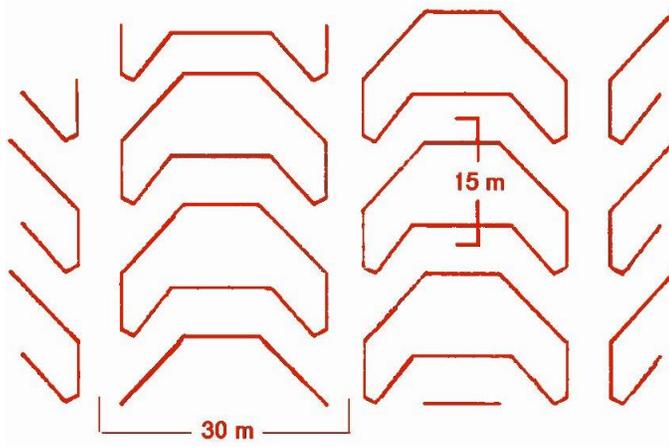


Ilustración 7 Malla Herringbone Offset o desfasada

**Henderson o Z layout:** Variante de la malla Herringbone. Posee la misma geometría en el diseño de las estocadas, sólo cambia el sentido de las estocadas para cada lado de la calle. Los puntos de extracción se oponen, pero el pilar menor está a  $90^\circ$  respecto al mayor. (Rivero, 2008)

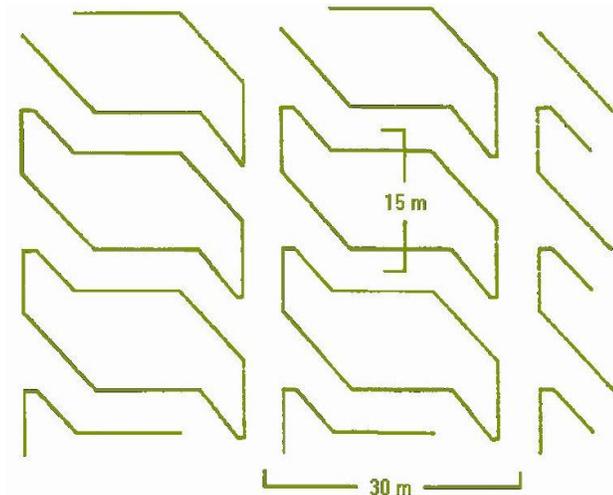


Ilustración 8 Malla Henderson

**Teniente:** Esta malla sitúa las estocadas de carguío frente a frente, alineadas en una misma dirección y con un ángulo de  $60^\circ$  con respecto a las calles. Con esto se logra mitigar el hecho de que el LHD enfrente doblado el punto de extracción, puesto que puede aprovechar la estocada del frente para realizar las maniobras. Otro beneficio de este tipo de malla es su simpleza, lo que favorece su desarrollo y construcción. (Chacón, 1980) Esta malla es la actualmente utilizada en la operación de la mina subterránea de la división Andina.

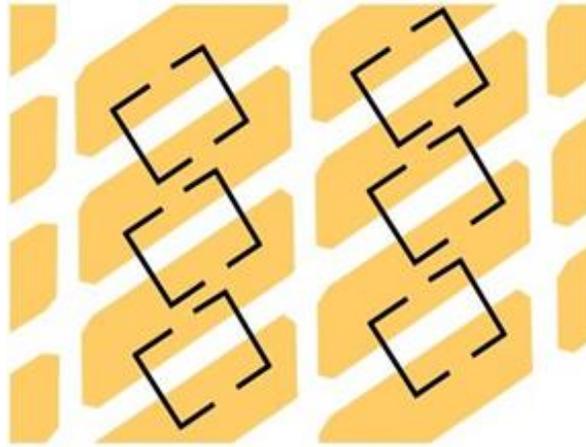


Ilustración 9 Malla Teniente

### 2.1.5 Sistema de carguío y transporte

El método de Panel Caving por lo general presenta un diseño de carguío y transporte por niveles, de esta manera independiza las operaciones de carguío y transporte, además de mantener controles de granulometría entre estos niveles.

La disposición general de estos niveles se puede observar en la siguiente imagen:

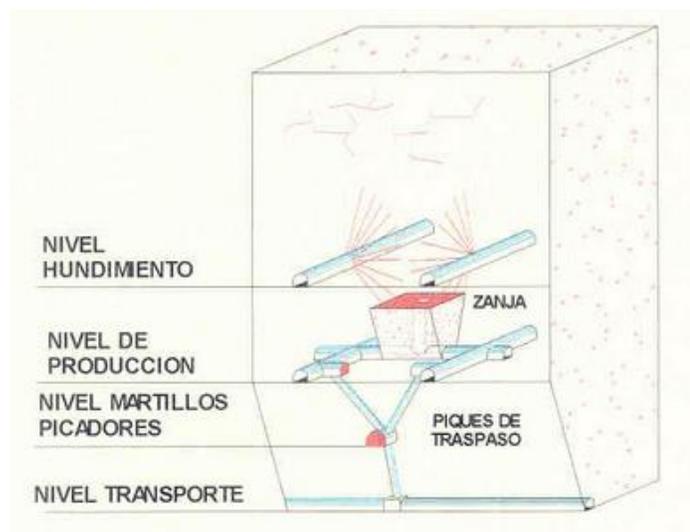


Ilustración 10 Esquema sistema de manejo de mineral por niveles

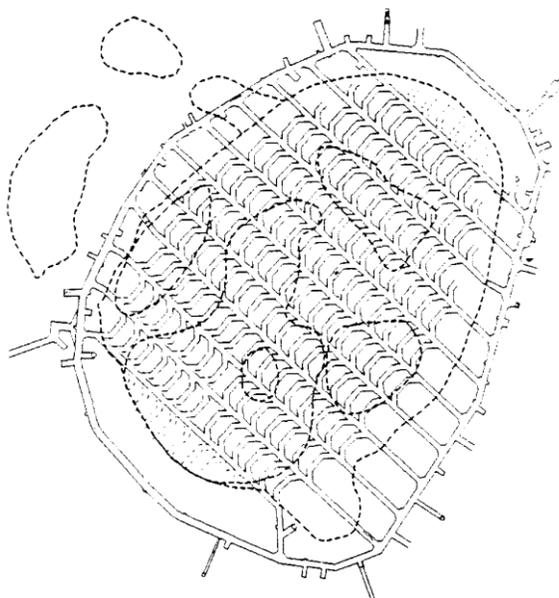
El nivel superior es el nivel de hundimiento, aquí se realizan los procesos de perforación y tronadura para iniciar el hundimiento y la propagación de este. Unos metros más abajo se encuentra el nivel de producción, aquí el mineral es cargado y transportado por equipos LHD desde los puntos de extracción hasta ser descargado en los piques de

traspaso. El siguiente nivel es el de reducción, en este nivel se controla la granulometría a través de equipos martillos picadores que golpean la roca sobre parrillas, una vez que el mineral es reducido de tamaño baja por los piques de traspaso hasta el nivel de transporte. En este nivel el mineral es cargado en camiones, trenes o correas para su posterior procesamiento.

### **2.1.6 Otros sistemas de carguío y transporte: Mina Premier**

El sistema de carguío y transporte por niveles no es utilizado en todas las minas con este método de explotación. Al buscar minas que presentaran características similares al proyecto III Panel Extendido, se encontró la Mina Premier, la cual corresponde a una mina de diamantes, con una fragmentación gruesa ubicada en Cullinan, Sudáfrica, que utiliza el método de explotación Block Caving mecanizado con LHD, desde de 1970. Posee un diseño de tipo Herringbone Offset.

El mineral se carga desde los puntos de extracción mediante los equipos LHD, los que luego lo transportan por la calle para descargarlo sobre la tolva de un camión de bajo perfil en estaciones de carguío. Este último transporta el material hasta un chancador primario. La productividad del equipo LHD, en promedio, está en torno a los 125 tph, con una distancia media de acarreo de 144 m. (Hustrulid, 2001)



**Ilustración 11 Layout nivel producción Mina Premier (Hustrulid, 2001)**

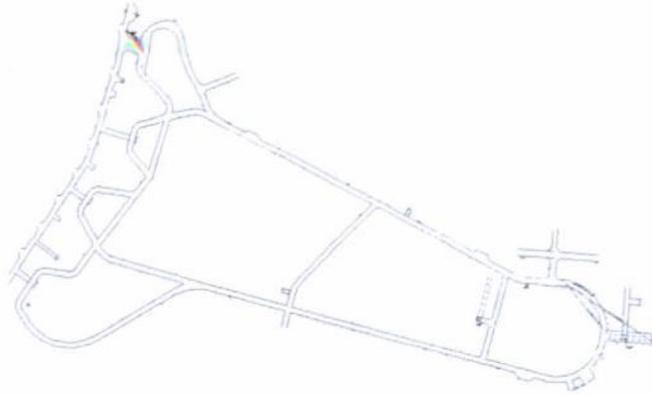


Ilustración 12 Layout nivel transporte Mina Premier (Hustrulid, 2001)

## 2.2 Reseña Histórica

División Andina desarrolla sus actividades productivas en la parte de la alta Cordillera de Los Andes, entre los 3.500 y 4.200 msnm aproximadamente a 40 kilómetros al sur – este de la ciudad de Los Andes y a 50 kilómetros de Santiago, medidos en línea recta desde la ciudad de Los Andes. El acceso de las instalaciones se efectúa en un primer plano de 34 kilómetros por el Camino Internacional que une a Chile con Argentina, luego continua 4 kilómetros del sector Río Blanco hasta la Villa de Saladillo. Subiendo 36 kilómetros al sur, se accede a la mina subterránea de Río Blanco y avanzando otros 2 kilómetros se llega a mina rajo abierto Sur-Sur.



Ilustración 13 Ubicación Geográfica División Andina, Fuente: Codelco

El yacimiento de Río Blanco se conoce desde 1850. A partir de 1880 se empezaron a explotar minas de cobre de alta ley, en la parte oeste del distrito minero actualmente perteneciente a Anglo American Chile, División Los Bronces.

La mina actualmente explotada por División Andina, se conoció originalmente como La Americana y la pertenencia propiamente tal dada desde 1891. Su explotación se limitó a extraer y seleccionar mineral de un bolsón cercano a la superficie.

El proyecto “La Americana” se inició en 1967 y consultó la construcción de Saladillo como campamento para el personal, construcción de una planta de beneficio subterráneo, el túnel de acceso, un pique de servicio e implementación del método de hundimiento por bloques para la explotación del yacimiento.

La iniciación oficial de la obra fue el 12 de enero de 1967; en 1970 finalizaron los trabajos de adecuación del proyecto iniciándose la producción el 24 de octubre de dicho año.

El 16 de julio de 1971 la Compañía Minera Andina S.A. fue nacionalizada (al igual que las cuatro empresas de la gran minería) y se dispuso que ella se organizara como una sociedad colectiva del estado. Sus socios fueron la Corporación Nacional del Cobre y la Empresa Nacional de Minería con un 95% y un 5% de participación cada una, respectivamente. El decreto ley N° 1350, el 28 de febrero de 1976 incorporó a Andina a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, cuyo objetivo fundamental fue continuar con la explotación de yacimientos de Chuquicamata, Salvador, El Teniente y Andina. (Nueva Minería, 2009)

## **2.3 Descripción de la faena**

El yacimiento Río Blanco es explotado a través de un sistema mixto con minería a rajo abierto (Mina Sur - Sur) y minería subterránea (Mina Río Blanco), con una ley aproximada de 0,81% de cobre y 0,03% de molibdeno, produciendo aproximadamente 50,3 Kt de mineral diario pertenecientes a la mina rajo con una ley de 0,65 % de cobre y 38,1 Kt de mineral diario de la mina subterránea con una ley de 0,85% de cobre y 0,045% de molibdeno.

La explotación de la mina subterránea se realiza principalmente por el método de explotación de Panel Caving con hundimiento Convencional, sector que corresponde al III Panel. Además de este método, se encuentran en producción los llamados Cuerpos de Alta Ley (CAL) explotados a través de un método selectivo de Sub Level Stopping.

### **2.3.1 III Panel (Panel Caving)**

El III Panel se encuentra dividido en dos sectores: parrillas y LHD. El primero correspondiente a una zona con roca secundaria mientras que el segundo (LHD) se

encuentra ubicado en su mayoría en roca primaria. El sector parrillas terminó su producción en el año 2008. Actualmente el sector LHD es el único en producción, entregando mineral con una ley de cobre de 0,85% promedio.

En el diseño minero del III Panel se consideraron los siguientes niveles principales:

- **Nivel de hundimiento (NH):** Este nivel se ubica en la cota 3251 msnm. Las galerías de hundimiento tienen una sección de 3.6 x 3.6 [m] y una orientación Noroeste. Estas galerías son paralelas entre sí y están distanciadas cada 26 [m]. Se utiliza socavación baja, con tiros radiales en las paredes de aproximadamente 11 [m], paradas cada 1.8 [m] (burden), un espaciamiento de 2 [m] y el diámetro de perforación es 64 [mm]. El tipo de hundimiento es del tipo Convencional. Se puede revisar el plano de este nivel en el Anexo A.
- **Nivel de producción (Nivel 16):** Se encuentra ubicado en la cota 3236 [msnm] (a 15 m del NH) donde se desarrollan las galerías de producción (GP) cuya sección es de 4 x 3.6 [m], y de la misma forma que las galerías de hundimiento, las GP son paralelas entre sí y están espaciadas cada 26 [m]. Existen también los brazos de producción (BP), los cuales corresponden a las zanjas, bateas o puntos de extracción, los cuales tienen una sección son de 3.6 x 3.6 [m]. En este nivel los equipos de LHD cargan mineral desde los puntos de extracción y lo descargan en los distintos vaciaderos, los cuales están provistos de parrillas 1.18 [m]. Se puede revisar el plano de este nivel en el Anexo B.
- **Subnivel de ventilación:** Se encuentra ubicado a 3222 [msnm], en donde se tienen las galerías de inyección y extracción del aire, a su vez estas galerías se encuentran conectadas a través de piques y chimeneas a los distintos niveles principales. . Se puede revisar el plano de este nivel en el Anexo C.
- **Nivel de reducción (Nivel 16 ½):** se encuentra ubicado en la cota 3210 [msnm], en este nivel se realiza el proceso de reducción del mineral que proviene del nivel de producción mediante cámaras de picados. Estas cámaras poseen martillos estacionarios operados desde la sala COM y desde la sala de telecomando en el mismo nivel y son los encargados de picar el mineral sobre tamaños en las parrillas de reducción. Se puede revisar el plano de este nivel en el Anexo D.
- **Nivel de transporte (Nivel 17):** Nivel ubicado en la cota 3185 [msnm], las dimensiones de las galerías son de 5.5x5 [m], y en ellas los camiones cargan el mineral a través de buzones, los cuales traen el mineral que proveniente del nivel 17. Actualmente existen 12 buzones operativos y se tiene una flota de 11 camiones, de los cuales 7 están operativos para el III Panel y 2 de reserva. Los 2 camiones restantes se utilizan para el transporte de mineral en los Cuerpos de Alta Ley. Los camiones descargan en los distintos piques de traspaso y este mineral es luego transportado hacia las distintas plantas de procesamiento. Se puede revisar el plano de este nivel en el Anexo E.

### 2.3.2 Cuerpos de Alta Ley (CAL)

La explotación de los cuerpos de alta ley se realiza mediante el método selectivo de Sub Level Stopping. Este proyecto se encuentra ubicado al Sur - Este del III Panel, específicamente en el nivel 17 cota 3180 [msnm] (CAL piso) y contempla la explotación de 5 cuerpos: W01, W02, C01, C02 y E01, los cuales se pueden observar en la Ilustración 14:

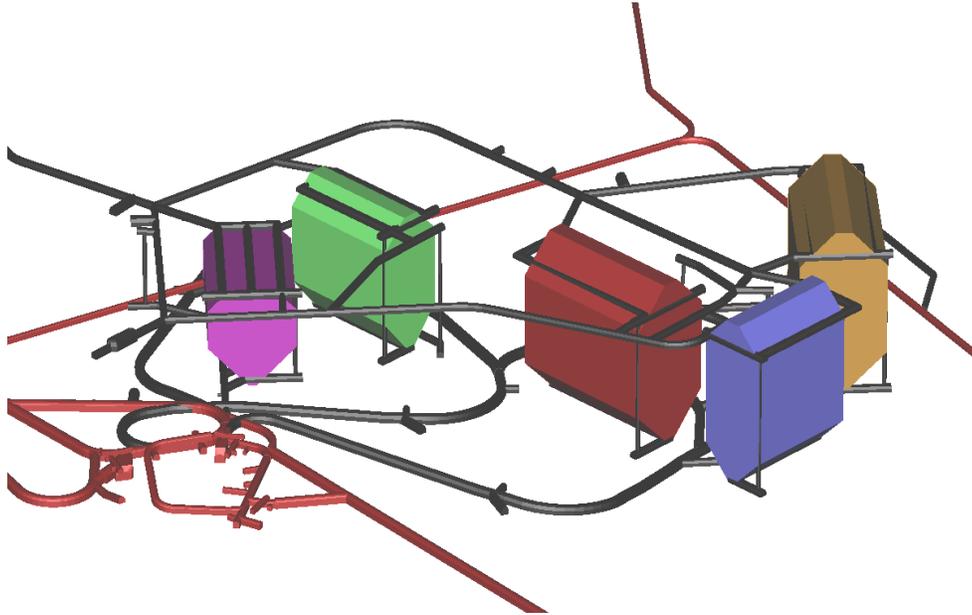


Ilustración 14 Isométrica Cuerpos de Alta Ley (Gerencia Minas, 2011)

El sistema de carguío de mineral del CAL contempla la extracción de mineral desde los brazos de producción (BP) mediante LHD. Estos equipos descargan directamente a camiones (CAEX), para luego realizar la descarga del mineral en los distintos piques de traspaso. La producción diaria es de 3 Kt de mineral de 1,6% de ley de cobre y 0,026% de ley de molibdeno.

### 2.3.3 Nuevos proyectos de la división

La división Andina tiene contemplado extender la vida de la mina subterránea, esto gracias a la adición de nuevos proyectos mineros que se encuentran dentro de la envolvente del III Panel, para así mantener la producción de cobre. Estos nuevos proyectos se pueden dividir en dos grupos: proyectos Noreste, Surweste y Minería Continua, los cuales se encuentran insertos en el III Panel y el proyecto III Panel extendido el cual se encuentra ubicado bajo el actual III Panel.

El proyecto Noreste comprende los desarrollos de las calles de producción 67, 69 y 71, agregando 49 puntos de extracción y 4.474.621 t de reservas a la producción del III Panel. Su incorporación fue planificada para el mes de junio del 2015.

El proyecto Surweste corresponde a un área de 34.320 m<sup>2</sup> agregando 190 puntos de extracción, con una ley de cobre de 0,65% y entregará 37.042 Ktms a la producción del III Panel. Su incorporación fue planificada para el mes de marzo del 2016 y su vida útil es de 6 años. Ambos proyectos son expansiones del III Panel por los que el método de explotación es el mismo.

La Minería Continua es un proyecto piloto desarrollado en conjunto con IM2. Este proyecto trata de un proceso automatizado y operado a distancia, que permite extraer el mineral de forma continua y simultánea desde distintos puntos. Este nuevo proceso de explotación marcará un importante quiebre tecnológico y tiene como objetivos aumentar la productividad en al menos 50%, disminuir sus costos operacionales en 20%, y reducir considerablemente la exposición a riesgos de los trabajadores. Los puntos claves de esta tecnología son: pre-acondicionamiento del macizo rocoso, extracción simultánea desde diferentes puntos de extracción, introducción sistema full automatizable y telecomandado y simplificación del proceso de planificación minera.

## **2.4 Proyecto III Panel Extendido**

Posterior al año 2021, la Mina Subterránea paraliza su producción para retomarla el año 2029 con la Mina Sur Sur Subterráneo. Simultáneamente, durante ese período de tiempo, la Mina a Cielo Abierto inicia un sostenido aumento de producción que la lleva a 224.000 tpd el año 2024, con lo cual se compensa y supera la pérdida de productos comerciales ante la no producción de la Mina Subterránea.

Sin embargo, se observa que entre los años 2018 y 2022 se produce un fuerte descenso en el volumen de cobre fino debido a la menor producción asociada al fin de la vida útil del III Panel de la mina subterránea. Esta tendencia es superada sólo a partir del año 2023 con una mayor producción proveniente de la mina a cielo abierto.

Por lo expuesto, División Andina analizó económicamente la posibilidad de explotar algunos cuerpos mineralizados emplazados bajo el actual III Panel de la mina subterránea, con el objetivo de suplir el déficit de producto final entre los años 2018 y 2022.

A partir de este dimensionamiento se desarrolló y finalizó la ingeniería conceptual del III Panel Extendido. (Méndez et al. (a), 2015)

En este nuevo proyecto se utilizará el método de explotación Panel Caving con hundimiento Convencional, con la aplicación de pre-acondicionamiento mediante Fracturamiento Hidráulico (FH) y Debilitamiento dinámico con Explosivos (DDE). Abarcará un área total de 165.120 m<sup>2</sup> y cuenta con reservas de mineral de 63 Mt a una ley de cobre total promedio (CuT) de 1,06%. El proyecto tendrá una vida útil de 12

años, comenzando el año 2019 hasta el 2030 con una producción en régimen de 18 Kt/d.

Una malla de extracción de mayor espaciamiento (debido a la mayor fragmentación del mineral) es la responsable del diseño del nivel de producción LHD, pensado para equipos de un tamaño mayor en comparación con los actuales.

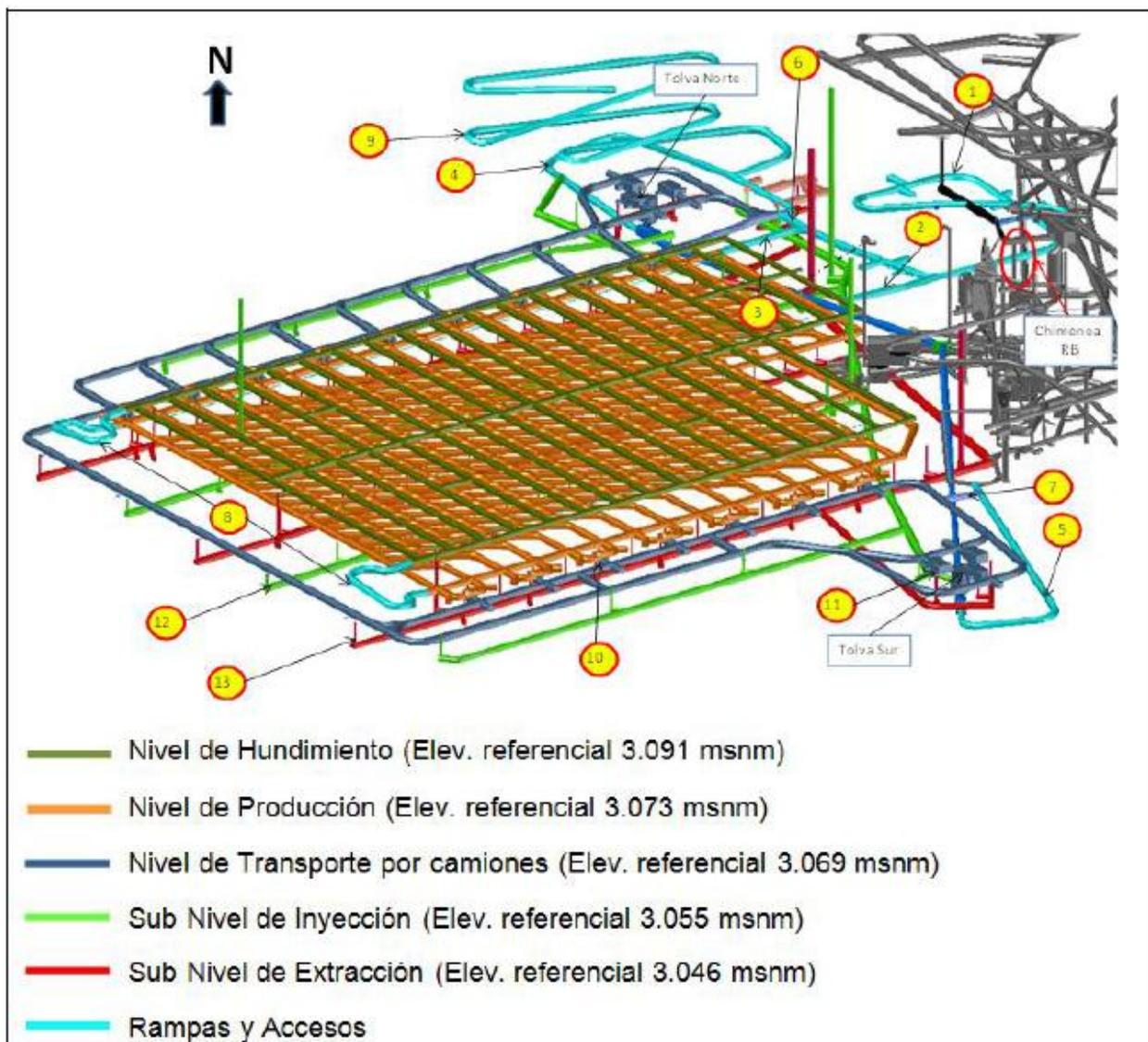


Ilustración 15 Disposición general proyecto III Panel Extendido (Méndez et al. (a), 2015)

Este proyecto posee varios desafíos. En primer lugar, producto de la profundización del yacimiento la roca primaria representa casi el total de las reservas (92,7% mineral primario, 0,3% mineral secundario y 7% mineral quebrado); por lo tanto, la dureza de la roca es mayor y se requieren equipos de mayor capacidad para la producción (LHD de 15,5 t) y para el transporte (CAEX de 60 t). Además de esto, la utilización de métodos

de pre acondicionamiento que aseguren tanto el desarrollo del Caving como la granulometría esperada.

El III Panel Extendido considera, como base de diseño, la utilización máxima de la infraestructura existente, es decir: barrio cívico y talleres de mantención del nivel 17, instalaciones de faenas, estanque para agua industrial, etc.

### **2.4.1 Diseño minero por niveles**

En el diseño minero del III Panel Extendido se consideraron los siguientes niveles principales:

#### **2.4.1.1 Nivel de hundimiento (NH)**

Este nivel se ubica en la cota 3091 [msnm], es decir, 160 metros bajo el actual nivel de hundimiento del sector LHD. Las galerías de hundimiento tiene una sección de 4.2 x 4.2 [m] y una orientación Noroeste. Estas galerías son paralelas entre sí y están distanciadas cada 32 [m]. Se utiliza socavación alta, con tiros radiales en las paredes de aproximadamente 20 [m], paradas cada 2 [m] (burden), un espaciamiento de 2.7 [m] y el diámetro de perforación es 3". El tipo de hundimiento es del tipo Convencional. (Méndez et al. (b), 2015)

#### **2.4.1.2 Nivel de producción (NP)**

Se encuentra ubicado en la cota 3073 msnm (a 18 m del NH) donde se desarrollan 18 calles de producción (CP) cuya sección es de 5.2 x 4.8 m. De la misma forma que las galerías de hundimiento las CP son paralelas entre sí y están espaciadas cada 32 m. Las CP son identificadas con números CP-15 a CP-49; cada CP tiene un largo de 410 m a excepción de las CP 15, 17 y 19, que tienen un largo de 190 m. La malla utilizada es de 16 x 20 m y refleja el uso de equipos más grandes por el cambio a roca primaria. Ver Ilustración 16.

Existen también los brazos de producción (BP), los cuales corresponden a las zanjas, bateas o puntos de extracción, los cuales tienen una sección son de 4.2 x 4.2 m y forman un ángulo de 60° con respecto a las calles.

Cada calle de producción tiene 17 puntos de extracción, exceptuando las calles hacia el Este que son más cortas, las que sólo tienen 7 puntos de extracción.

El nivel posee 3 socavones: Norte, Sur y Este, a una distancia aproximada de 40 [m] del contorno del polígono a explotar, los cuales permiten el libre acceso a las calles de producción. El sector Oeste no tiene contemplado un socavón puesto que por diseño existen dos accesos al nivel de producción desde el nivel de transporte (BP-26 y BP-20).



[m] (sección excavada). Este nivel está posicionado fuera del polígono de explotación. Ver Ilustración 17.

El nivel está compuesto por dos loops de transporte (Norte y Sur) y una galería de conexión hacia el Oeste.

El loop Norte tiene un total de 2.185 m de galerías (loop, socavón, acceso, retorno), cuenta con 3 estocadas de espera camiones, y 9 estaciones de vaciado LHD/Camión, denominadas estaciones N-16 a N-48, las cuales se encuentran conectadas con a los extremos de 2 calles del nivel de producción (extremos Norte). Además el loop conecta con 3 estaciones de descarga, que cuentan cada una con parrillas cuadradas de 20"x20" y un martillo picador, vaciando en una tolva de 7.000 t capacidad viva.

El loop Sur tiene un total de 2.143 m de galerías (loop, socavón, acceso, retorno), cuenta con 3 estocadas de espera camiones, y 7 estaciones de vaciado, denominadas estaciones S-24 a S-48. Análogamente al loop Norte, estas estaciones de vaciado se encuentran conectadas a los extremos Sur de 2 calles de producción. Además el Loop conecta con 3 estaciones de descarga, que cuentan cada una con parrillas cuadradas de 20"x20" y un martillo picador, vaciando en una tolva similar a la anterior.

La galería de conexión tiene un largo de 488 m, cuenta con 2 estocadas de espera camiones y permite el traslado de los camiones entre el loop Norte y loop Sur.

En cada loop se considerará como preferencia de tránsito en los cruces a los camiones cargados. En los casos de cruces de dos camiones vacíos o dos camiones cargados, la preferencia será del camión más próximo al cruce, situación que deberá controlarse con un sistema óptico que deberá definirse en la etapa ingeniería de detalles.

Todas las galerías de los loop de transporte se consideran pavimentadas con espesores de 25 cm. (Mengoya et al., 2015)

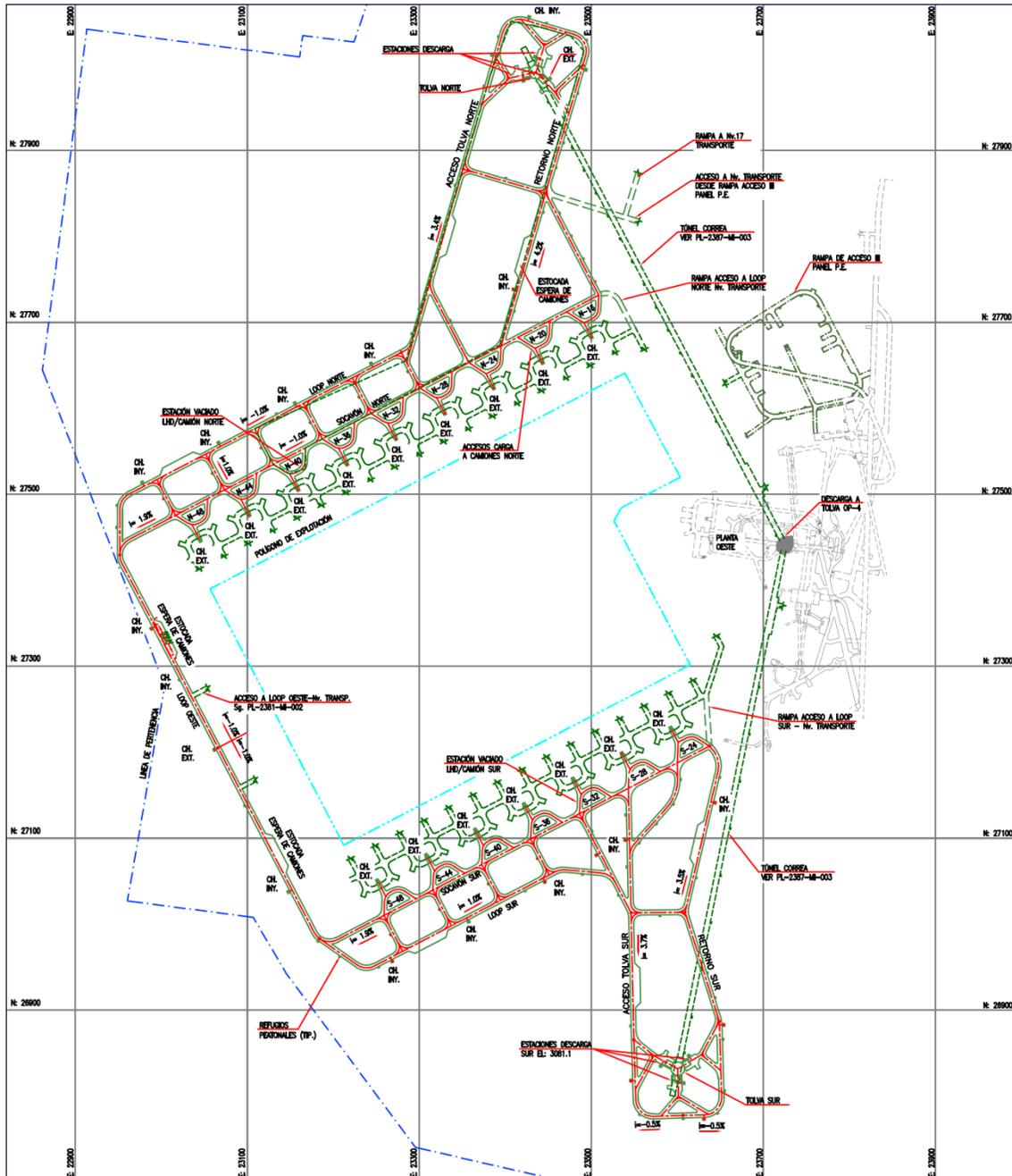


Ilustración 17 Layout nivel de Transporte (Mengoya et al., 2015)

#### 2.4.1.4 Niveles de ventilación

El nivel de extracción se encuentra ubicado en la cota 3046 msnm, mientras que el nivel de inyección está en la cota 3055 msnm. La ventilación principal del sector usará las actuales instalaciones existente en la mina, conectándose a diversas labores de inyección y extracción. El requerimiento máximo de aire para la ventilación es de 1,4 Mcfm. El aire para la etapa de construcción del proyecto se encuentra asegurado, al

incorporar 150.000 cfm entre los años 2016-2017 y 200.000 cfm a partir del año 2018. (Mengoya et al. (b), 2015)

## 2.5 Parámetros temporales

### 2.5.1 Definiciones

De manera general los índices operacionales mineros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos (Le Feaux, 1997):

- **Índices Mecánicos:** entregan información sobre la disponibilidad física de equipos y sus rendimientos o producciones en una unidad de tiempo determinada.
- **Índices de Insumos:** expresan cantidades de elementos consumidos para lograr una unidad de producto comercial o rendimientos del insumo expresado en unidades de producto por unidad de elemento consumido (ejemplo ton-Km/lit combustible).
- **Índices mineros:** muestran las relaciones y/o proporciones que va adquiriendo el mineral y sus leyes al pasar por los distintos procesos mineros (ejemplo razón estéril/mineral).
- **Índices de resultados:** indican logros o metas planificados y reales para el período de tiempo determinado (por ejemplo ton Cu fino/mes).

La optimización de los procesos de carguío y transporte se alcanza al maximizar la disponibilidad operativa y rendimiento al mínimo costo de inversión, operación y mantención.

A continuación se definen los parámetros (según la norma ASARCO) a utilizar en la obtención de los índices, estos parámetros dicen relación con la distribución temporal del equipo en cada tarea en un período dado.

**Tiempo Nominal:** es el tiempo total del periodo que se desea medir. Son las horas correspondientes al tiempo calendario natural como días, meses, años, etc. Se divide en dos categorías:

- Tiempo fuera de servicio.
- Tiempo Disponible.

**Tiempo fuera de servicio:** corresponde al tiempo en que los equipos se encuentran en mantenciones, ya sean programas o por imprevistos originadas por causas naturales u otras ajenas al control de la faena.

**Tiempo Disponible:** son las horas en las cuales el equipo está mecánicamente disponible. Se divide en 2 categorías:

- Tiempo Operativo
- Reserva

**Tiempo de reserva:** son las horas operativas en que el equipo, estando en condiciones de cumplir su función u objetivo de diseño, no lo realiza por motivos como: falta de operador, pique lleno.

**Tiempo Operativo:** son las horas en que el equipo se encuentra entregado a su(s) operador(es), en condiciones electromecánicas de cumplir su objetivo o función de diseño y con una tarea o cometido asignado, pero no necesariamente realizando producción. Este tiempo se divide en:

- Tiempo efectivo
- Demoras

**Tiempo Efectivo:** son las horas en que el equipo está funcionando y realizando producción, es decir, dentro del tiempo de ciclo (para LHD o CAEX: cargando – viajando cargado – descargando – viajando vacío).

**Tiempo de pérdida operacional:** es el tiempo en que el equipo, teniendo las condiciones de realizar producción, estando con operador y con una tarea asignada, no puede realizarla por motivos ajenos a su funcionamiento, como son los traslados, esperas de equipo complementario, etc. Es decir, por razones originadas en la coordinación de las operaciones.

**Demoras:** es el tiempo en que un equipo está fuera de su labor por un período determinado, sin tener problemas electro–mecánicos. Dentro de esta categoría se encuentran las demoras programadas y las no programadas. Las primeras son las que están presentes cada día en la operación tales como cambios de turno, colación, etc. Las demoras no programadas no necesariamente están presentes diariamente como las tronaduras, abastecimiento de combustible, limpieza de pistas, etc

<b>Tiempo nominal</b>			
<b>Tiempo disponible</b>			<b>Fuera de servicio</b>
			Programado   No Programado
<b>Tiempo operativo</b>		<b>Reserva</b>	
<b>Tiempo efectivo</b>	<b>Pérdidas operacionales</b>	<b>Demoras</b>	
		Programadas	No programadas

**Ilustración 18 Dibujo esquemático Norma ASARCO**

## Igualdades:

### Ecuación 1 Igualdad tiempo nominal

$$Tiempo\ nominal = Tiempo\ disponible + Fuera\ de\ servicio$$

### Ecuación 2 Igualdad tiempo disponible

$$Tiempo\ disponible = Tiempo\ operativo + Reserva$$

### Ecuación 3 Igualdad tiempo operativo

$$Tiempo\ operativo = Tiempo\ efectivo + Pérdidas\ operacionales + Demoras$$

Ahora veremos la utilización de estos parámetros temporales en la definición de los índices mecánicos.

## 2.5.2 Índices

### Disponibilidad Física:

Es el cociente entre el total de horas disponibles y el tiempo nominal, expresada en porcentaje, es decir, es el tiempo en el cual el equipo se encuentra en condiciones físicas de realizar producción.

### Ecuación 4 Disponibilidad física

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad Física (DF)} &= \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo nominal}} * 100 [\%] \\ &= \frac{(\text{Tiempo operativo} + \text{Reserva})}{\text{Tiempo nominal}} * 100 [\%] \\ &= \frac{T\ efectivo + pérdidas\ operacionales + demoras + reserva}{\text{Tiempo nominal}} * 100 [\%] \end{aligned}$$

Este indicador depende directamente de la calidad del equipo y de la eficiencia de su mantención. Disminuirá según su antigüedad y las condiciones adversas existentes en su operación.

### Utilización:

Corresponde al porcentaje del tiempo en que el equipo es operado por cada turno, día, mes o año.

#### Ecuación 5 Utilización

$$Utilización = \frac{Tiempo\ efectivo}{Tiempo\ nominal} * 100 [\%]$$

Es directamente proporcional a la demanda de operación del equipo.

#### Utilización efectiva:

Es el porcentaje del tiempo en que el equipo es operado por cada hora en que este está en condiciones de cumplir su objetivo de diseño o físicamente disponible.

#### Ecuación 6 Utilización efectiva

$$Utilización\ efectiva = \frac{Tiempo\ efectivo}{Tiempo\ nominal - Fuera\ de\ servicio} * 100 [\%]$$
$$= \frac{Tiempo\ efectivo}{Tiempo\ disponible} * 100 [\%]$$

Es directamente proporcional a la demanda o necesidad de la operación de utilizar el equipo, e inversamente proporcional a su disponibilidad física y a su rendimiento.

**Rendimiento Efectivo:** corresponde al promedio de unidades de producción realizadas por cada unidad de tiempo efectivo de operación.

#### Ecuación 7 Rendimiento efectivo

$$Rendimiento\ efectivo = \frac{Toneladas}{Tiempo\ efectivo} \left[ \frac{ton}{hr} \right]$$

Este índice debiese ser el mismo valor entregando por el fabricante para el equipo, pero es alterado por las características físicas de donde desarrolla sus funciones, condiciones físicas del equipo y por las técnicas de su operación.

Como conclusión reiterar que cada uno de estos índices por sí solo no representa al proceso completo, es el resultado de estos en conjunto el que se considera una herramienta útil para analizar el proceso en cuestión.

## **2.6 Parámetros operativos prueba LHD semiautónomos, Andina**

En el III Panel se realizaron pruebas para equipos LHD semi autónomos (SA) con sistema Minegem de Caterpillar durante los años 2011 – 2012. El equipo utilizado fue el LHD 743 de propiedad de la división Andina. Las pruebas se realizaron en la calle de producción CP-79, las cuales se dividieron en 3 etapas (Pino et al., 2012):

- Instalación del sistema SA en LHD: noviembre 2010 – enero 2011
- Puesta en marcha: febrero - marzo 2011
- Desarrollo de la prueba: abril 2011 – marzo 2012

La prueba fue realizada en la calle de producción CP-79 de aproximadamente 300 m de longitud, con una orientación norte – sur, que cuenta con 4 piques de traspaso y aproximadamente 40 puntos de extracción. El mineral extraído en el extremo sur fue roca secundaria de granulometría fina y el mineral extraído del extremo norte roca primaria presentándose con una granulometría mayor, existiendo puntos colgados y presencia de bolones que requerían de reducción secundaria.

Durante la prueba se determinó dividir la calle de producción en dos tramos, mediante la instalación de una barrera central, de tal forma de permitir la operación del equipo semi autónomo en el tramo norte, tramo sur o en toda la calle.

Los sistemas semiautónomos requieren de áreas confinadas para la operación; esto se logró mediante barreras de seguridad ubicadas en los extremos de cada tramo, pudiendo el operador del sistema monitorear en cualquier momento su estado de activación. Es importante destacar que al ser vulnerada una barrera de seguridad, inmediatamente se activa el sistema de seguridad y detiene al instante el equipo LHD.

Para la prueba se recolectó la información mediante dos sistemas, Minegem y Dispatch. Ambos sistemas registraron datos de manera independiente y con definiciones y procedimientos diferentes para cada indicador.

Los datos Minegem corresponden a:

- Número de baldadas: valor extraído del reporte por turno confeccionado por el operador del sistema.
- Producción: considera un factor de carga para la capacidad nominal del LHD, es decir, 8 [ton/balde] para aislar efecto de cuadraturas mensuales de producción.
- Horas efectivas: horas en que el sistema autónomo está activado, incluyendo tiempo para limpieza de pistas, movimiento de bolones, retiro de protección de vaciadero.

Los datos Dispatch corresponden a:

- Número de baldadas: reportadas por el operador del sistema.
- Producción: considera un factor de carga ajustado mensual de la flota de LHD de 7 yd3.
- Horas efectivas: datos ingresado por el operador del sistema incluyendo solo el tiempo dedicado a realizar producción.

**Tabla 1 Producción, utilización y rendimiento en Sistema Minegem y Dispatch (Pino, 2012)**

Mes	MINEGEM				DISPATCH				Factor de carga ton/balde
	Producción n° baldes	Producción ton	Horas efectivas	Rendimiento ton/hrs	Producción N° baldes	Producción ton	Horas efectivas	Rendimiento ton/hrs	
Abr-11	2.487	19.896	106	188	2.156	15.089	24	633	7,00
May-11	4.389	35.112	146	240	3.101	21.702	131	165	7,00
Jun-11	2.775	22.200	98	228	1.472	10.262	90	114	6,97
Jul-11	2.359	18.872	104	182	1.036	7.362	93	79	7,11
Ago-11	6.455	51.640	220	235	3.561	25.771	209	123	7,24
Sep-11	8.735	69.880	271	257	8.478	59.238	271	218	6,99
Oct-11	4.457	35.656	157	227	4.502	32.338	160	203	7,33
Nov-11	2.448	19.584	84	233	2.582	18.616	90	206	7,2
Dic-11	3.516	28.128	116	242	2.920	20.926	112	187	7,17
Ene-12	6.276	50.208	198	253	6.132	46.894	174	269	7,17
Feb-12	8.337	66.696	238	280	8.521	61.799	228	271	7,25
Mar-12	9.429	75.432	266	283	9.485	64.873	228	285	6,84
<b>Total</b>	<b>61.568</b>	<b>493.304</b>	<b>2.004</b>	<b>246</b>	<b>53.946</b>	<b>384.870</b>	<b>1.809</b>	<b>213</b>	

Se observó que los datos de Minegem sobreestimaban las horas efectivas al incluir otros procesos que no debiesen ser parte de este parámetro (limpieza de pistas, movimiento de colpas, etc). Además, al calcular los tonelajes constantes (8 [ton/balde]) se produce una sobreestimación de la producción. Sin embargo, al obtener los resultados de rendimientos, son semejantes a los entregados por el sistema Dispatch. El sistema Dispatch tiene como desventaja que al ser datos ingresados por los mismos operadores hay datos con errores o faltantes. Es por esto último que se decidió determinar parámetros operativos con datos del sistema Minegem.

Se tomaron los datos entregados por el sistema Minegem y con estos se tuvieron los índices operacionales diarios de la prueba para LHD semiautónomo en Andina:

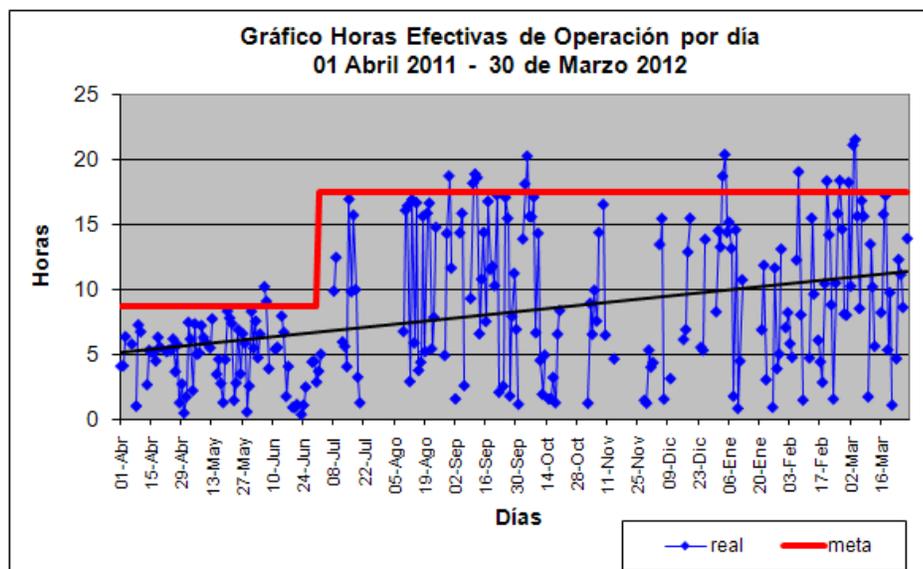


Gráfico 1 Horas efectivas de operación por día LHD Semi Autónomos (Pino et al., 2012)

- Horas efectivas:** a lo largo de toda la prueba hubo una alta variabilidad en las horas efectivas del equipo, donde en los meses de septiembre, febrero y marzo se tuvieron utilidades efectivas sobre las 15 horas efectivas de operación por día. Por ejemplo, analizando el mes de septiembre de 2011, la utilización efectiva media fue de 7,12 horas efectivas por turno, además hubo en ese mes 19 turnos que superaron las 8 horas efectivas de trabajo por turno.

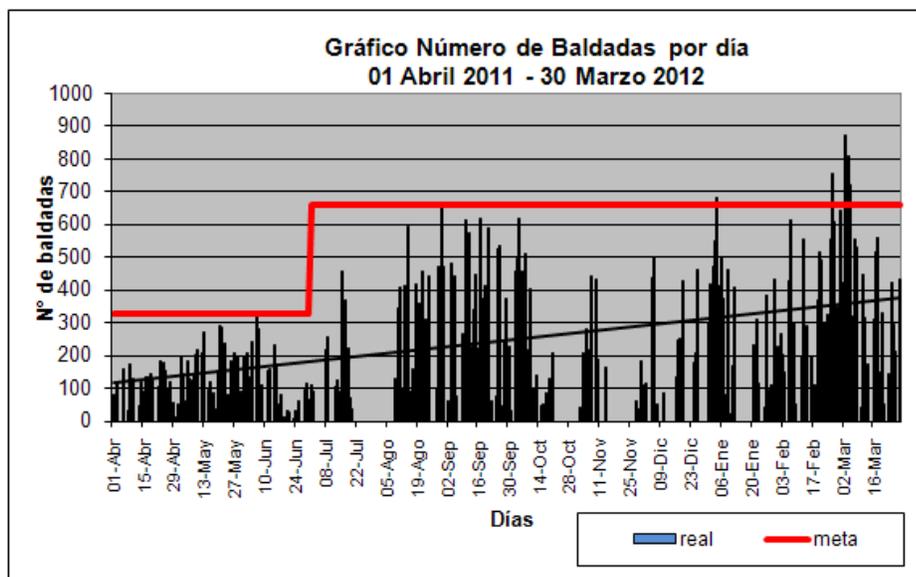


Gráfico 2 Número de baldadas por día LHD Semi Autónomos (Pino et al., 2012)

- Producción:** la meta de producción para la prueba fue de 330 viajes/turno o 660 viajes/día, la cual no fue lograda durante el transcurso de la prueba, exceptuando algunos días del mes de marzo 2012.

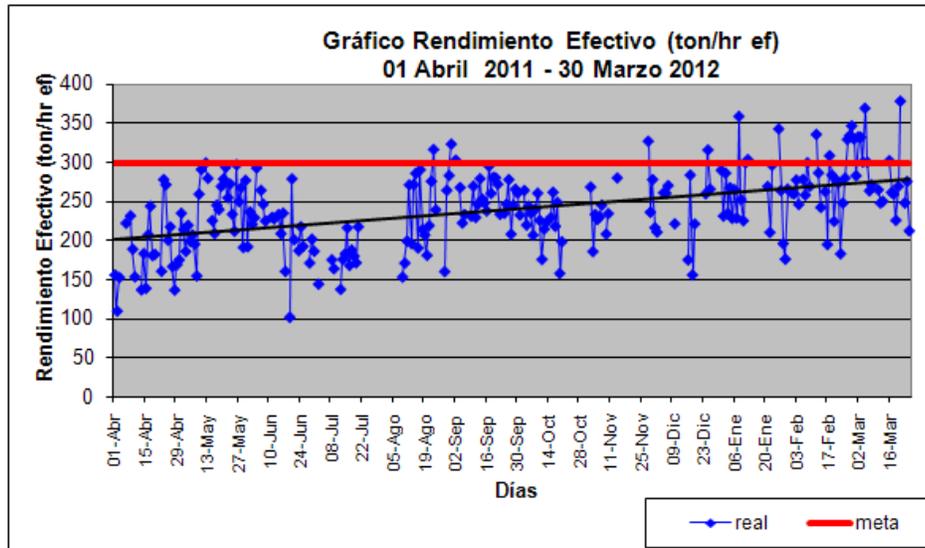


Gráfico 3 Rendimientos efectivos LHD Semiautónomos (Pino et al., 2012)

- Rendimiento efectivo:** este indicador manifiesto una clara tendencia al alza, principalmente producto de las mejoras en las cámaras para la descarga, un mayor aprendizaje de los operadores, mejoras en los puntos de conexión autónomo – telecomandado han permitido ir incrementando este indicador, teniendo turnos que incluso superaron las 300 t/hr efectiva.

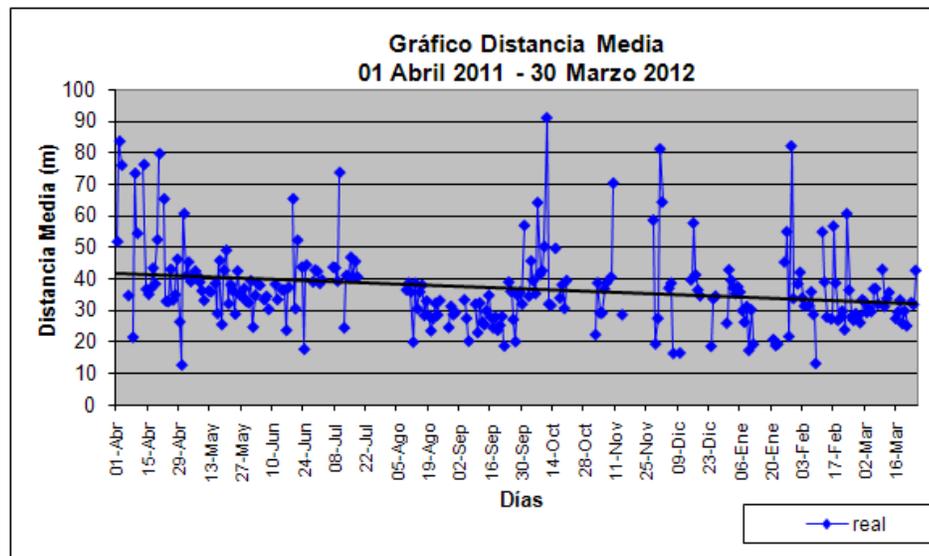


Gráfico 4 Distancia Media recorrida LHD Semiautónomos (Pino et al., 2012)

- Distancia media:** Por diseño la distancia media del ciclo carguío en punto de extracción a descarga en vaciadero es de aproximadamente 30 m, se distingue en los gráficos la tendencia de acercarse a esa cifra.

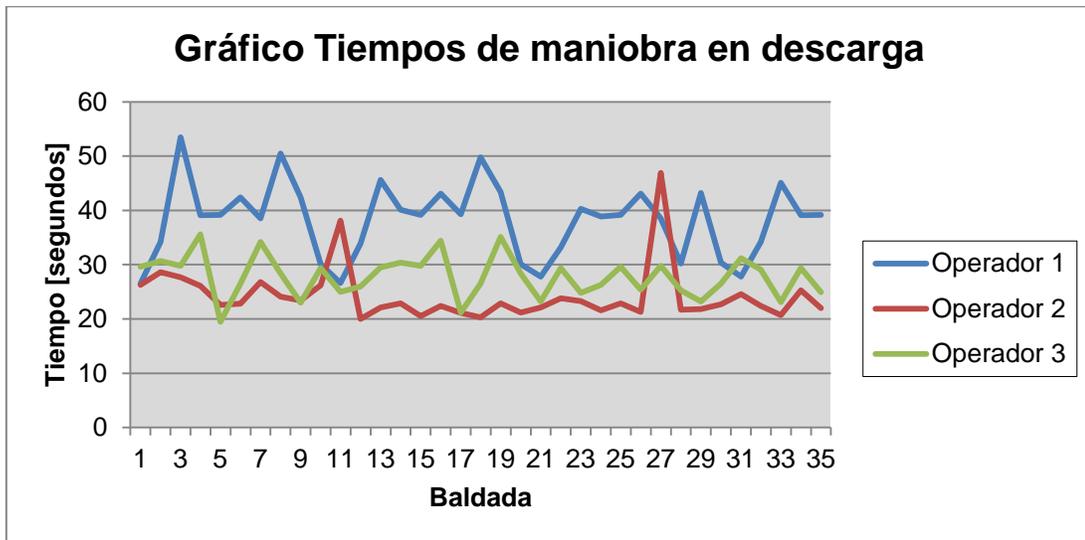


Gráfico 5 Tiempos de maniobra en descarga (Zurita, 2011)

- Tiempos de descarga:** se registraron datos de 3 operadores, en 35 baldadas. El operador 1 tenía una media de 38.2 segundos, el operador 2 de 24.3 segundos y el operador 3 de 27.8 segundos. El rango de tiempo entregado por el fabricante era de 25 a 30 segundos por lo que los operadores 2 y 3 estaban dentro de lo estipulado, mientras que el operador 1 se escapaba con una diferencia bastante amplia. Por lo anterior se utilizó el promedio de los datos que entregaron los dos operadores dentro del rango, es decir, 26 segundos. (Zurita, 2011)

### 3. Análisis de operaciones de carguío y transporte actuales

A continuación se entrega un análisis de las operaciones de carguío (Nivel 16), transporte (Nivel 17) del III Panel y de ambas operaciones en los Cuerpos de Alta Ley. El análisis se basó en detectar las fortalezas de cada operación, así como sus debilidades, de manera de utilizarlas como lecciones aprendidas en el proyecto III Panel Extendido.

#### 3.1 Nivel 16 Producción (Ver Anexo B)

##### 3.1.1 Fortalezas

- **Alternativas de calles de producción:** Actualmente se tienen 12 calles activas (77.000 [m<sup>2</sup>] de calles activas) para realizar producción, partiendo desde la calle 67 a la 89. Las primeras tres calles corresponden al sector Noreste el cual está en fase de inicio de producción. Incluso cuando se deben realizar reparaciones de pistas y se debe dejar algunas calles fuera del plan de producción por unos días, o con las interferencias que pudiesen generar los puntos colgados, se puede realizar la producción necesaria para cumplir con el plan productivo.
- **Alternativas de puntos de extracción:** La carta de tiraje puede ser distribuida dentro de los 384 puntos de extracción actualmente activos (dato del día 25 de agosto de 2015), los que se reparten en las 12 calles activas. Esto asegura la producción aun cuando existen mantenciones de algunas zonas y/o equipos.
- **Alternativas de puntos de vaciado:** Por cada calle de producción existen 2 o 3 puntos de vaciado (dependiendo del largo de la calle); estos se ubican a una distancia de 75 [m] en algunas calles y 110 [m] en otras. Esto mejora los rendimientos de los LHD puesto que disminuye los tiempos de ciclo. Por otro lado, se tienen más opciones para descargar el mineral si es que existen vaciaderos en mantención o llenos.
- **Sistema coordinado de trabajo:** A diferencia de otros niveles, en el nivel 16 los trabajadores no tienen un trabajo fijo. El equipo de trabajo se divide en 2, el primer grupo se destina a operar LHD en las calles que se le asignen. El segundo grupo se enfoca en realizar la reducción secundaria. Ambos grupos pueden trabajar simultáneamente. La tronada de la reducción secundaria se realiza sólo a medio turno, una vez evacuado el lugar (no pueden haber LHD trabajando en las calles colindantes a la calle de reducción secundaria). Luego del horario de colación (medio turno), se alternan los grupos. Los encargados de reducción secundaria se dirigen a operar LHD, y los trabajadores que operaron LHD se dedican a la reducción secundaria. Cada trabajador destina 5 hrs para la operación de LHD y 5 hrs para la reducción secundaria. La ventaja de la polifuncionalidad es que aumenta la eficiencia de cada trabajador, ya que puede

dedicarse a cualquiera de las dos tareas (si una de las dos no se pudiese realizar por algún motivo, tiene la otra opción). Además para el trabajador tiene la ventaja de que debe realizar una tarea menos rutinaria, lo que lo mantiene más atento y por esto menos expuesto a riesgos.

- **Petroleo de LHD:** El abastecimiento de petróleo se realiza directamente en el equipo en terreno. Es eficiente puesto que no se debe trasladar el equipo a otro lugar para realizarse, por lo que beneficia sus horas operativas. Esto ocurre una vez por turno, a la hora de colación (aproximadamente a las 13:30 hrs del día). Los operadores ubican los equipos en las calles, hacia el Norte del nivel, de esta manera el encargado de cargarlos con petróleo recorre las calles abasteciéndolos de combustible.
- **Sistema de ventilación sectorizado:** cada calle tiene sistemas de inyección y extracción asociadas a cada uno de los vaciaderos. Si el operador decide cambiarse de vaciadero, debe avisar a la sala COM la cual activa la ventilación en la nueva zona de trabajo, y la desactiva en la zona en que ya no se está trabajando. De esta forma se ocupa de mejor forma el caudal de aire inyectado a la mina y se disminuye el consumo de energía.
- **El sistema de despacho:** El sistema de control entrega todos los KPI del nivel, tales como rendimientos por hora, primera carga del equipo, demoras, etc. Mantiene toda la información del nivel en línea, por lo que se puede revisar y controlar continuamente la operación.
- **Control de granulometrías:** Para controlar el tamaño de las colpas que se envían por los piques de traspaso, se instalaron parrillas en los vaciaderos. Estas parrillas tienen medidas de 20" x 20" y existen de dos tipos: cuadriculadas y lineales. De esta manera se evita que colpas de gran tamaño lleguen a los procesos siguientes.

### 3.1.2 Debilidades

- **Baja vida útil de pistas:** La vida útil esperada (en tonelaje) de las pistas no se ha logrado asegurar. Las causas posibles son en la forma en que se aplica y control de calidad. La primera es producto de las sobre excavaciones en el momento de los desarrollos de las galerías. Al tener que rellenar con más material, producto de la sobre excavación, este relleno extra no se controla del todo, por lo que muchas veces el problema no es de la pista de hormigón, sino del material que se utilizó para rellenar la galería, el cual presenta deficiencias.
- **Interferencias de reducción secundaria:** Al realizar el proceso de reducción secundaria, es necesario evacuar las calles laterales a la calle en cuestión, además de los niveles superiores e inferiores (nivel de hundimiento y subnivel de ventilación y cámaras de picado). Estos tiempos de espera disminuyen los tiempos operacionales y por ende los rendimientos.

- **Diseño estocada de carguío:** Inicialmente el diseño minero realizado para el III Panel contemplaba LHD de 7 [yd3]. Actualmente se utilizan LHD de 10 [yd3], mucho mayores en tamaño, lo cual trae consigo que el equipo enfrente el punto de extracción articulado y no en forma recta; de esta forma los esfuerzos se concentran en la articulación, disminuyendo la vida útil de los equipos. Por el mismo motivo, se deteriora la infraestructura de las galerías y puntos de extracción, ya que el operador muchas veces golpea la caja con el balde del equipo.
- **Barreras para el descuelgue de puntos:** El proceso de reducción secundaria es de alto riesgo puesto que expone al trabajador a posicionarse en la línea de fuego. Actualmente el LHD acumula mineral de tal forma de armar una barrera (parapeto) con la que el trabajador que va a descolgar el punto pueda estar más protegido en caso de que el punto se descolgara de improviso. Sin embargo, este parapeto no disminuye totalmente el riesgo al que se ve expuesto el trabajador.

## 3.2 Nivel 17 Transporte (Ver Anexo E)

### 3.2.1 Fortalezas

- **Alternativas de rutas dentro del circuito de transporte:** El circuito de transporte inicialmente tenía una ruta definida, con curvas de alta velocidad en sólo un sentido. Se realizaron ajustes (desquiches) en las curvas y en cruces, por lo que se obtuvo un circuito más flexible para realizar reparaciones de pistas en el circuito o por cualquier tipo de imprevisto.
- **Condición de las pistas:** La carpeta de rodado tiene un rol fundamental en la operación de equipos en minería subterránea, disminuye considerablemente el deterioro de los neumáticos, disminuye colisiones de equipos y mejora las condiciones de confort del operador al interior de la cabina. Por lo anterior, se realizan mantenciones (baches) y reparaciones mayores de manera preventiva, las primeras tienen una duración de 1 día (un bache de 2x2 m) y las segundas una duración de mínimo 15 días. Una de las mejoras recientes fue el cambio de materiales utilizados para la construcción de las pistas. Desde el año 2015 la carpeta utiliza sólo hormigón H700. Previo a esta fecha se utilizaba este hormigón (H700) más una capa de Densit T-100 en la superficie, el cual tenía una gran resistencia a la compresión, sin embargo, debido a su alta rigidez se fracturaba. Este cambio implicó una disminución de los costos de mantención de pistas. Otro punto a mencionar es la limpieza de las pistas, acción que se realiza con un equipo LHD y un mini cargador.
- **Alternativas de puntos de carguío:** Existen 12 buzones operativos en donde los camiones pueden cargar mineral; por lo tanto, si es que se necesita hacer mantención de alguno de estos o reparaciones de pistas que comprometan a algunos, no se ve afectada totalmente la producción.

- **Alternativas de puntos de descarga:** Cada tolva tiene dos puntos de vaciado, con sus respectivos martillos picadores. Para la tolva Norte los puntos de vaciados disponibles son el OP4 Y OP4A, mientras que para la tolva Sur los puntos de vaciados son el OP8 Y OP9. Excepcionalmente los CAEX también pueden descargar en el PT4 y PT5. Por todo lo anterior, se tienen 6 puntos de vaciado disponibles.
- **Alternativas de acceso:** Existen 3 accesos al circuito de transporte, el primero y más utilizado es por la galería GT Norte, por la cual ingresan los operadores de CAEX y la mayoría del personal. En este ingreso el señalero tiene total control sobre quién ingresa y quién sale del nivel. Además como es un nivel confinado, no existen interferencias con otros procesos. Los otros ingresos al circuito son el Haulage II (rampa de acceso) y el Sector Corchetes. (Ver Anexo E)
- **Taller mecánico y petrolera en el mismo nivel:** Al mantener estos servicios en el mismo nivel (y en el caso de la petrolera dentro del mismo circuito), se disminuyen los tiempos de traslado, por lo que los rendimientos de los equipos aumentan.
- **Control de derrames:** Existen varios métodos para mantener controlado el derrame de mineral en el circuito de transporte. El **rasador** es un aparato de metal situado en el techo de la galería el cual tiene como objetivo acomodar la carga del camión cuando este deja la zona de carguío (buzón). Además de este aparato, esta zona cuenta con un **deflector** (o centralizador) de saca, el cual consiste en una placa de metal ubicada en el armazón del buzón, frente al buzón mismo, es decir, a uno de los lados del camión. El deflector funciona como una barrera y evita que el mineral proveniente del buzón se derrame en la galería. Además, en conjunto con mantención, se realizó un **nuevo diseño de la tolva** de los camiones, el cual aumenta la altura y el ángulo de las paredes laterales de la tolva a 70° grados (medidos de la horizontal), de tal manera de aumentar la capacidad de mineral transportado y, a su vez, disminuir los derrames. Se espera que los factores de carga de los camiones Caterpillar aumenten de 42 a 47 [ton], mientras que los de los camiones Atlas Copco aumenten de 45 a 52 [ton]. De la misma forma, se modificó el balde del equipo de limpia (LHD) para mejorar la visibilidad del operador, de esta forma se ve mejorada la eficiencia de la limpieza de pistas. El sistema de buzón consta de un **carguío lateral**, es decir, la estructura en forma de caracol gira entorno a un pivote, cargando el mineral de manera perpendicular a la dirección de la galería. Esta forma de carguío cuenta como una lección aprendida puesto que antes se utilizaba un sistema de carguío frontal. Este último sistema de carguío, vertía el mineral en la misma dirección de la galería; produciendo excesivo derrame de mineral. El actual sistema lateral tiene la ventaja de ser independiente a la dirección con la que entra el camión a la galería, en ambos casos la carga se distribuirá de la misma forma.
- **Pausas compensatorias:** En estas pausas los operadores tienen 1 hora de descanso en la cual se mantiene la producción a través de un sistema de relevos. Esto se implementó en el año 2008 debido al cambio de jornada laboral

de 8 a 12 [hr] con el motivo de mejorar la ergonomía y motivación del trabajador y a su vez disminuir su nivel de cansancio entregándole un instante para relajarse.

- **Coordinación entre áreas:** Existen algunos mecanismos de coordinación entre áreas, uno de ellos es la Sala COM (Centro de Operaciones Mina) que se ubica físicamente en Saladillo y está a cargo del sistema de coordinación despacho CAEX – LHD, telecomando de martillos, control de infraestructura y control de aguas y relaves. Otro mecanismo es el CIO (Centro Integrando Operaciones) el cual registra, procesa y entrega información de los procesos en tiempo real, con esto mejora la coordinación de las áreas involucradas.

### 3.2.2 Debilidades

- **Alta dependencia con la planta de procesamiento:** la capacidad de las tolvas Norte y Sur en momentos es una variable crítica para el proceso. Cuando la planta realiza mantenciones de más de un día de duración, las tolvas alcanzan su límite y la operación de transporte debe detenerse puesto que no se tiene donde descargar el mineral.
- **Mantenciones:** Existen problemas para realizar los servicios de la mina. El poco tiempo para poder realizar las mantenciones producto de la alta dependencia de la planta converge en complicaciones con las redes de agua, lo que produce que las pistas disminuyan su vida útil. Por el mismo motivo existen problemas en la fortificación de algunas galerías que han sido deterioradas y en la red eléctrica del nivel.
- **Rutas compartidas:** El circuito Norte es por el cual los camiones descargan en los vaciaderos OP4, OP4A (tolva Norte) y el circuito Sur corresponde a la descarga en los vaciaderos OP8 y OP9 (Tolva Sur). Si bien se tienen muchas alternativas de calles para cada loop, los circuitos se sobreponen la mayoría de las veces, por lo tanto, son dependientes entre sí, lo cual afecta los rendimientos de los equipos y la producción.
- **Antigüedad de las tolvas:** Las tolva Norte y Sur corresponden a proyectos realizados en el comienzo de la vida de la mina, por lo que se encuentran con una sobre excavación muy pronunciada. La tolva Norte estaba diseñada inicialmente para una capacidad de 34.000 [ton], sin embargo actualmente puede almacenar un total de 57.000 [ton], es decir, un 68% mayor que su capacidad inicial diseñada. Esto significa peligros para la operación del Nivel 17, el que se encuentra ubicado sobre esta excavación.
- **Áreas abiertas:** Actualmente el circuito de transporte posee muchas zonas abiertas que ya no son utilizadas, como las galerías GT utilizadas para el antiguo sector Parrillas. Esto es un problema desde el punto de vista de la ventilación, puesto que produce ineficiencias al utilizar aire en zonas que no es requerido. Además, hay zonas que no se encuentran totalmente bloqueadas lo que genera

un problema de seguridad para la operación, como por ejemplo los buzones de carguío del antiguo sector Parrillas, en donde se ha tenido que implementar cierres para insertar estas galerías al circuito de camiones.

- **Ventilación tolvas de vaciado:** Si bien la ventilación dentro del loop de transporte es buena, en los puntos de carguío (buzones) y descarga (OP4, OP4A, OP8 y OP9) se produce mucho polvo en suspensión producto del mismo manejo del mineral. En estas zonas la ventilación se hace deficiente. Esto causa problemas en los sistemas y equipos ubicados en estas zonas, como por ejemplo para el caso de los puntos de descarga, causan daños en los detectores de movimiento que hacen funcionar los aspersores y el sensor láser que detecta el nivel de llenado de las tolvas (profundímetro). Para la zona de carga (buzones), el polvo en suspensión causa problemas con los sensores infrarrojos que conectan la operación del camión con el buzón.
- **Mantenimiento solo en taller:** Para cualquier tipo de mantenimiento, ya sea una falla que requiera una reparación mayor o mantenimientos más pequeñas, los equipos deben ser llevados al taller de mantenimiento ubicado fuera del loop de transporte. Esto genera pérdidas en la eficiencia del transporte puesto que se pierde tiempo en traslado de equipos. Esta situación podría solucionarse con un taller en terreno (o taller satélite) ubicado dentro del mismo loop, de tal manera de realizar reparaciones pequeñas a los equipos tales como engrases, cambios de luz, etc en el mismo loop, disminuyendo los tiempos de traslado.
- **Ausencia de puntos de acopio:** Dentro del circuito de transporte no existen puntos de acopio para la limpieza de pistas. Por esto el operador que maneja el LHD debe acumular el mineral en galerías que no estén siendo utilizadas. Muchas veces esta situación genera problemas, por ejemplo en casos en que existe mineral acopiado en zonas que obstaculizan algún proceso (ventilación, producción, etc).

### 3.3 Cuerpos de Alta Ley – CAL (Ver Anexo E)

#### 3.3.1 Fortalezas

- **Alternativas de rutas dentro del circuito de transporte:** El circuito de transporte posee una variante de ruta, la cual permite su operación aun cuando existan trabajos de reparaciones o mantenimientos de área en general.
- **Alternativas de puntos de descarga:** Idealmente se tienen como puntos de descarga los piques de traspaso PT5 y PT4. En ocasiones en que estos no se encuentran disponibles (detenciones de planta, tolvas llenas, mantenimientos, etc), se pueden utilizar como alternativas los piques de traspaso de la tolva Sur (OP8 y OP9)

- **Alternativas de acceso:** Existen 3 accesos al circuito de transporte, el primero y más utilizado es por el Sector Corchetes, posteriormente Socavón Sur hasta la galería Retorno Don Luis, por la cual ingresan los operadores de CAEX y la mayoría del personal. El otro ingreso es el acceso Don Luis y finalmente la Jaula Don Luis (vía de escape a superficie).
- **Taller mecánico y petrolera en el mismo nivel:** Al mantener estos servicios en el mismo nivel se disminuyen los tiempos de traslado, por lo que los rendimientos de los equipos aumentan. El petróleo se realiza al comienzo o al finalizar el turno dependiendo del nivel de combustible que posean los camiones.
- **Pausas compensatorias:** En estas pausas los operadores tienen 1 hora de descanso en la cual se mantiene la producción a través de un sistema de relevos. Específicamente para el CAL el horario es de 17 a 18 horas en turno día y de 5 a 6 en turno noche. Esto se implementó en el año 2008 debido al cambio de jornada laboral de 8 a 12 horas con el motivo de mejorar la ergonomía y motivación del trabajador y a su vez disminuir su nivel cansancio entregándole un instante para relajarse.
- **Coordinación entre áreas:** Existen algunos mecanismos de coordinación entre áreas, uno de ellos es la Sala COM (Centro de Operaciones Mina) que se ubica físicamente en Saladillo y está a cargo del sistema de coordinación despacho CAEX – LHD, control de infraestructura y control de aguas y relaves.

### 3.3.2 Desventajas

- **Alta dependencia con la planta de procesamiento:** la capacidad de los piques traspaso PT4 y PT5 en momentos es una variable crítica para el proceso. Ocasionalmente pueden descargar en la Tolva Sur (OP8 y OP9), sin embargo, cuando la planta realiza mantenciones de más de un día de duración, las tolvas alcanzan su límite y la operación de transporte debe detenerse puesto que no se tiene donde descargar el mineral.
- **Condición de las pistas:** La cantidad de agua en las pistas es una condición constante en la operación de los Cuerpos de Alta Ley. Para esto se manejan algunos controles como utilización de bombas, parapetos al inicio de las rampas y el monitoreo constante del estado de las bombas y las piscinas decantadoras. Sin embargo, el agua es una condición en constante evolución, la cual requiere monitoreo.
- **Control de derrames:** Existen dos lugares donde es posible que se produzcan derrames de mineral, estos son el punto de carguío y las rampas cuando el camión sube cargado. El método para evitar el derrame es tener definido por procedimiento que el camión debe ser cargado con 4 paladas, 3 en caso de existir bolones de gran tamaño, de manera de evitar que el mineral roce la galería o la infraestructura existente. En caso de que existiese derrame en el

punto de carguío, la pala debe esperar que el camión lo abandone para limpiar el área.

- **Falta de alternativas de puntos de carguío LHD-CAEX:** El proyecto CAL en un inicio proyectaba tener dos cuerpos en producción simultáneamente; sin embargo, la realidad actual es sólo un cuerpo en producción, lo que reduce los puntos de carguío a sólo uno (por diseño cada cuerpo sólo tiene un punto de carguío).
- **Escasos puntos de extracción:** Por diseño cada cuerpo posee 6 brazos de producción, excepto el C02 que sólo posee 5. Además de este bajo número de BP, no están todos en producción simultáneamente, sino que entran en producción según el avance de la explotación del cuerpo.
- **Mantenciones:** Inconvenientes para realizar los servicios de la mina. Hay problemas con las redes de agua, producto de una mala instalación (fuera de norma) lo que incide en que las pistas disminuyan su vida útil.
- **Rutas compartidas:** El loop del cuerpo C01 a PT5 es compartido con los CAEX del III Panel cuando que este último tiene sus tolvas llenas o en mantención. Además, el loop completo del CAL es compartido por los equipos que deben mover marina. Por lo anterior, se afectan los rendimientos de los equipos y la producción.
- **Ventilación puntos de carguío LHD-CAEX:** Si bien la ventilación dentro del loop de transporte es buena, en los puntos de carguío se produce mucho polvo en suspensión producto del mismo manejo del mineral. En estas zonas la ventilación se hace deficiente.
- **Mantención solo en taller:** Para cualquier tipo de mantención, ya sea una falla que requiera una reparación mayor o mantenciones más pequeñas, los equipos deben ser llevados al taller de mantención ubicado fuera del loop de transporte. Esto genera pérdidas en la eficiencia del transporte puesto que se pierde tiempo en traslado de equipos. Esta situación podría solucionarse con un taller en terreno (o taller satélite) ubicado dentro del mismo loop, de tal manera de realizar reparaciones pequeñas a los equipos tales como engrases, cambios de luz, etc en el mismo loop, disminuyendo los tiempos de traslado.
- **El sistema de despacho presenta fallas:** El sistema de control entrega todos los KPI de los equipos del CAL, tales como tonelaje, horas efectivas, primera y última carga del equipo, demoras, etc. Sin embargo el sistema es nuevo y posee fallas de implementación, por lo que no entrega datos confiables.
- **Control de granulometría:** Para controlar el tamaño de las colpas que aparezcan en los brazos de producción, es necesario utilizar un equipo de reducción secundaria por percusión (Martillo móvil) y explosivos en caso de ser necesario. Con tal de evitar reducción secundaria (puesto que hace deficiente el

proceso de manejo de minerales) se planifica un diseño de tronadura que mantenga la granulometría en rangos operativos.

- **Interferencias de reducción secundaria (explosivos):** Al realizar el proceso de reducción secundaria es necesario evacuar todo el cuerpo. Estos tiempos de espera disminuyen los tiempos operacionales y por ende los rendimientos.
- **Barreras para el descuelgue de puntos:** El proceso de reducción secundaria es de alto riesgo puesto que expone al trabajador a posicionarse en la línea de fuego. Actualmente el LHD acumula mineral de tal forma de armar una barrera (parapeto) con la que el trabajador que va a descolgar el punto pueda estar más protegido en caso de que el punto se descolgara de improviso. Sin embargo, este parapeto no disminuye totalmente el riesgo al que se ve expuesto el trabajador.

## **4. Identificación de parámetros operativos claves**

Los parámetros operativos son básicamente valores que permiten controlar los procesos de la operación y reflejar su rendimiento. Lo importante es encontrar parámetros que sean aptos de gestionar en la operación y sobre los cuales se puedan realizar acciones para mejorar el desempeño de cada uno de los procesos operativos. La idea de este capítulo no es determinar todos los parámetros operativos del proceso de producción y transporte, sino que escoger de manera cuidadosa y selectiva los que realmente representan el comportamiento de los procesos y con los cuales sea posible mejorar el desempeño de la producción.

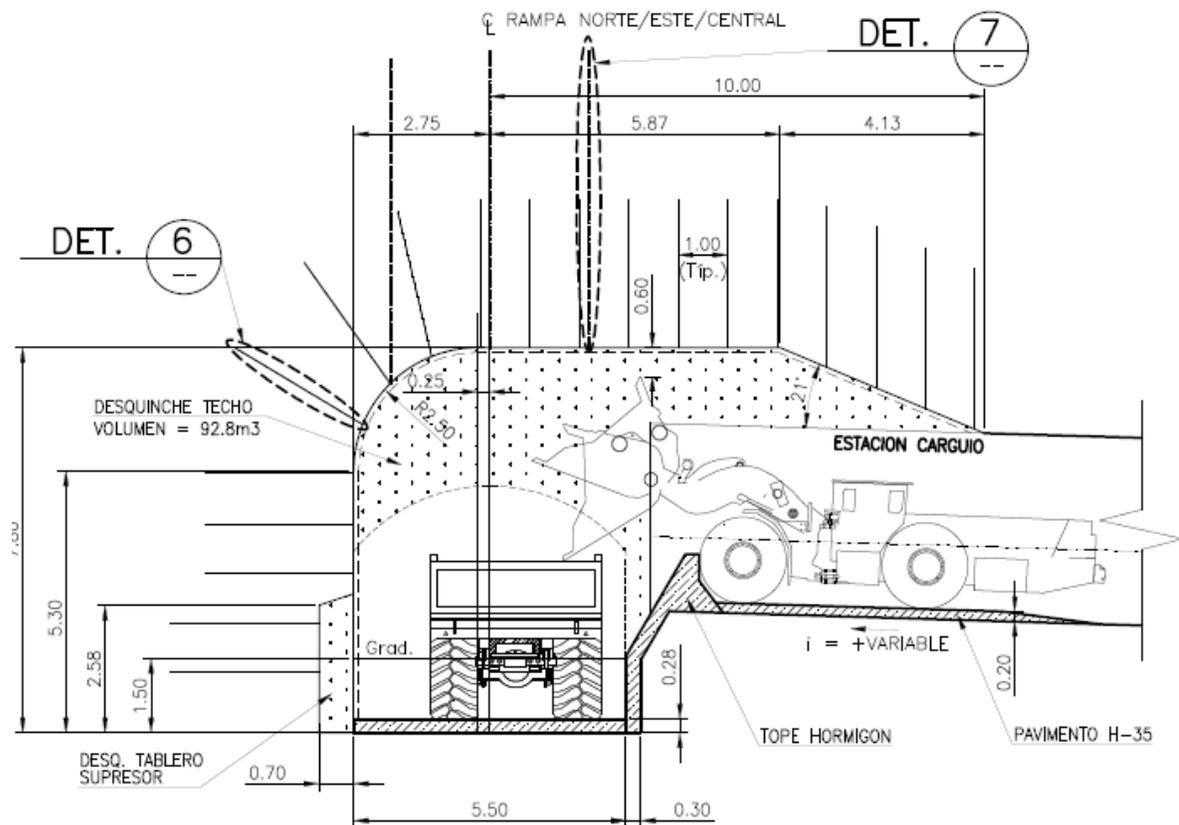
Es de gran importancia para el éxito de cualquier proyecto minero entender cuáles son los parámetros operativos que se determinan como parámetros clave. En el caso del proyecto minero III Panel Extendido, estos parámetros son los que asegurarán que el tonelaje esperado, es decir, las 18.000 t/d, sea alcanzado. Estos parámetros corresponden a tiempos de ciclo, horas efectivas, factores de llenado, velocidades promedio de los equipos, rendimientos y producción diaria.

### **4.1 Parámetros operativos Cuerpos de Alta Ley**

Los Cuerpos de Alta Ley de la mina subterránea de la División Andina poseen un método de explotación de Sub Level Stopping; sin embargo utilizan un sistema de carguío y transporte bastante similar a lo que será el proyecto III Panel Extendido. Por este motivo se analiza en este capítulo.

El proyecto CAL contempla la explotación de 5 cuerpos: W01, W02, C01, C02 y E01, actualmente se encuentra en producción el cuerpo C01 (W01 y W02 finalizaron su ciclo productivo). Los equipos LHD son marca Caterpillar modelo R1700G con una capacidad de balde de 10 yd<sup>3</sup>. Los equipos de transporte de mineral (CAEX) corresponden a camiones marca Atlas Copco modelo Wagner MT6020 con una capacidad de 60 toneladas nominales. Estos equipos son los mismos que se utilizan para la producción del III Panel actualmente en producción.

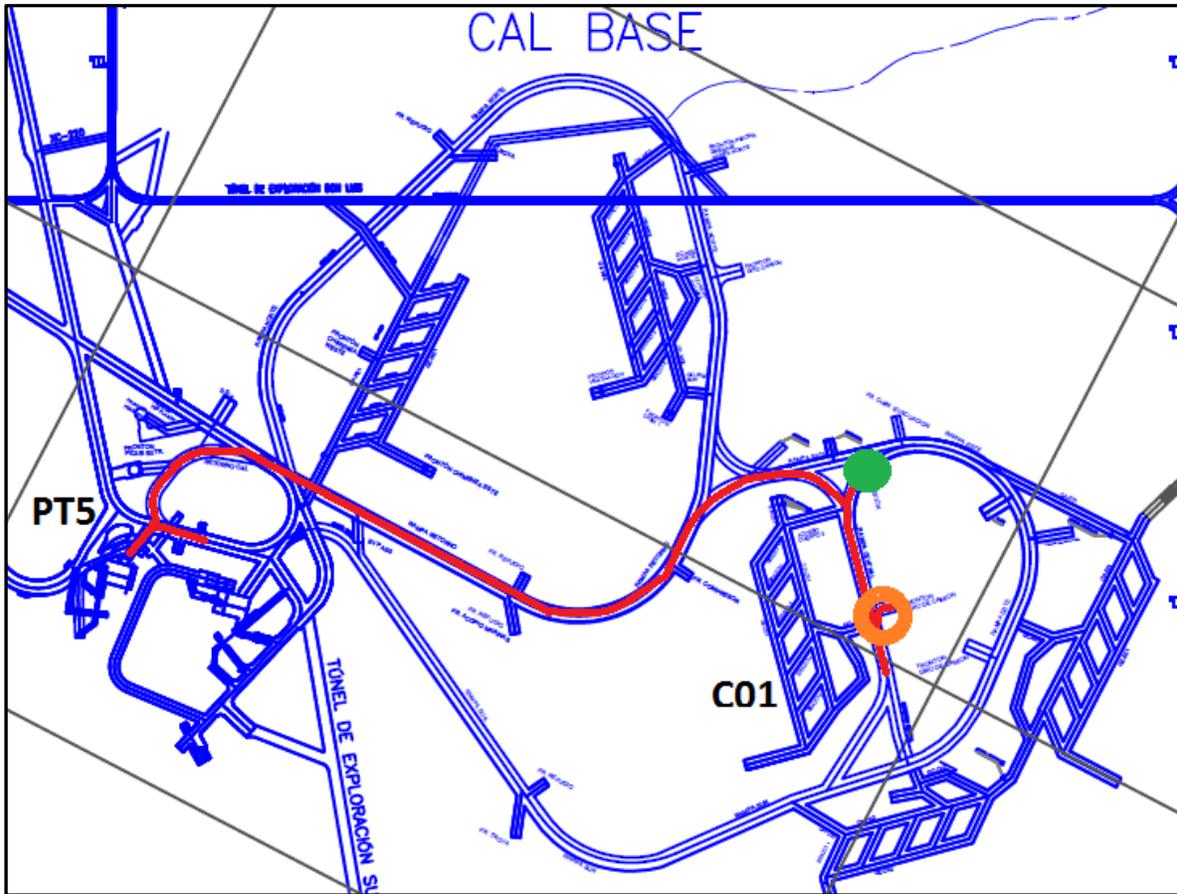
Los LHD toman el mineral desde los diferentes brazos de producción y lo descargan sobre la tolva del CAEX en un lugar denominado punto de carguío LHD-CAEX para luego realizar la descarga del mineral en los distintos piques de traspaso. Existe sólo un punto de carguío para cada cuerpo. En este sector productivo, el nivel de producción LHD se encuentra a tan sólo 2,3 metros del nivel de transporte.



**Ilustración 19 Plano de punto de carguío Cuerpos de Alta Ley (Plano PL-17T-MI-331 R3)**

Para que el LHD pueda descargar el mineral en la tolva del CAEX, es necesario que el camión se encuentre ya posicionado en el punto de carguío. Además el LHD debe completar 4 ciclos de carguío, para llenar la tolva y que el camión pueda emprender su trayecto al pique de traspaso PT5 para realizar la descarga. Es por estos motivos de diseño del proyecto que los tiempos de ciclo son mayores debido a la alta dependencia LHD – CAEX del sistema operativo.

El escenario propuesto en el proyecto inicial para la producción del CAL era realizar producción en 2 cuerpos simultáneamente y, según esto, utilizar 2 equipos LHD y 2 CAEX repartidos respectivamente en cada cuerpo en producción. Sin embargo, actualmente la operación se realiza con sólo un cuerpo en explotación, por lo que la distribución de los equipos cambió a 1 LHD operativo (1 de reserva) que debe cargar 2 equipos CAEX. Este cambio trajo consigo las interferencias propias de que más de un camión se encuentre realizando producción en el mismo circuito, como por ejemplo que el camión deba esperar que el otro salga de la zona del C01 para hacer ingreso al sector y ser cargado. (Ver Ilustración 20)

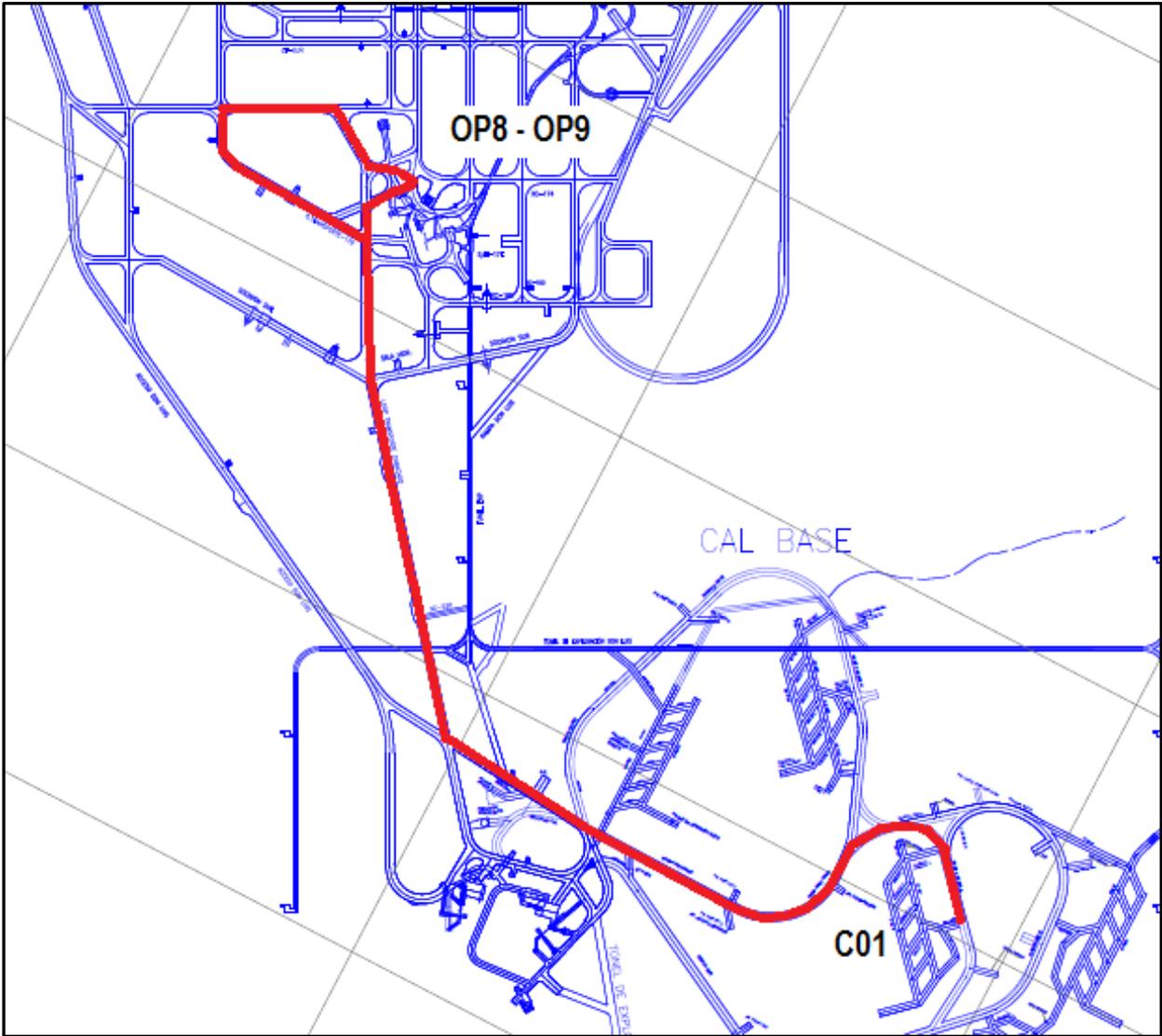


**SIMBOLOGÍA**

- Punto de espera CAEX
- Punto de carguío LHD-CAEX
- Loop transporte C01-PT5

**Ilustración 20** Circuito CAEX de C01 a PT5 para Cuerpos de Alta Ley

Cuando la granulometría de los Cuerpos de Alta ley es deficiente (presencia de bolones con diámetro mayor a 1 metro), es necesario utilizar otro lugar de descarga, debido a que los piques de traspaso PT5 y PT4 no poseen sistemas de control para la granulometría. Es por este motivo que se utiliza la Tolva Sur (OP8, OP9), ya que posee parrillas y martillos para la reducción de tamaño.



**Ilustración 21 Circuito CAEX desde C01 a OP9 para Cuerpos de Alta Ley**

Los tiempos de picado de mineral proveniente de los Cuerpos de Alta Ley varían bastante con respecto a los tiempos de mineral que proviene del III Panel, esto producto de la diferencia en dureza y tamaño del mineral. Mientras que el mineral originado desde el III Panel ya pasó un control granulométrico (reducción secundaria, sizer y martillos en el nivel 16 ½ de traspaso), el mineral proveniente de los Cuerpos de Alta Ley solo tuvo reducción secundaria. De acuerdo a esto, se entregan datos de tiempos de picado por descarga de CAEX para dos tipos de granulometrías, menores y mayores a 1 metro de diámetro:

**Tabla 2 Tiempos de trabajo martillos picadores OP8-OP9**

Martillos fijos reducción en parrillas		
Granulometría media (colpas < 1 m)	5	min/descarga
Granulometría gruesa (colpas > 1 m)	10	min/descarga

Las distancias de acarreo en metros para el circuito que realiza el LHD desde los brazos de producción del cuerpo C01 hasta la estación de carguío son:

**Tabla 3 Distancias de acarreo LHD y transporte CAEX**

LHD		
Cuerpo C01		
Máxima	92	m
Mínima	42	m
Promedio	67	m
CAEX		
Desde C1 a PT5		
Por rampa retorno	504	m
Desde C1 a Tolva Sur		
Por rampa retorno	1122	m

El tiempo de ciclo para el circuito de transporte de los Cuerpos de Alta Ley correspondientes a C01 - PT5 y C01- OP9 (Tolva Sur) se detalla a continuación:

**Tvd:** Tiempo de viaje descargado desde el pique de traspaso (PT5 o Tolva Sur) hasta punto de espera de camión.

**Te1:** Tiempo de espera por camión que debe salir del área de carguío.

**Tm:** Tiempo de maniobras para posicionarse en punto de carguío.

**Tc:** Tiempo que le toma al LHD realizar 4 cargas de mineral sobre la tolva del CAEX.

**Te2:** Tiempo de espera por camión que debe estar posicionado en el punto de espera.

**Tvc:** Tiempo de viaje cargado desde punto de carguío de C01 hasta PT5 o Tolva Sur.

**Td:** Tiempo de descarga.

**Ecuación 8 Tiempos de ciclo CAEX en CAL**

$$T_{ciclo} = Tvd + Te1 + Tm + Tc + Te2 + Tvc + Td$$

El detalle de los tiempos de ciclo para circuito se encuentra en los Anexos G y H.

En promedio los tiempos de ciclo desde el cuerpo C01 hasta el pique PT5/Tolva Sur son:

Tabla 4 Tiempos de ciclo CAEX en CAL

Abreviación	Tiempo/Ciclo	PT5	Tolva Sur	
Tc	Carguío	03:23	05:36	min:seg
Te2	Espera por camion	00:35	01:13	min:seg
Tvc	Viaje de C01 a pique	02:07	03:29	min:seg
Te2	Posicionamiento en pique	00:33	00:19	min:seg
Td	Descarga	00:32	00:36	min:seg
Tvd	Viaje de pique a C01	01:28	03:21	min:seg
Te1	Espera por camión 1	01:32	01:01	min:seg
Tm	Posicionamiento punto carguío	01:08	01:10	min:seg
<b>Tciclo</b>	<b>Total</b>	<b>10:44</b>	<b>15:26</b>	<b>min:seg</b>

Para analizar cuánto representa el proceso de carguío del camión en todo el ciclo de transporte, se entrega el siguiente gráfico normalizado.

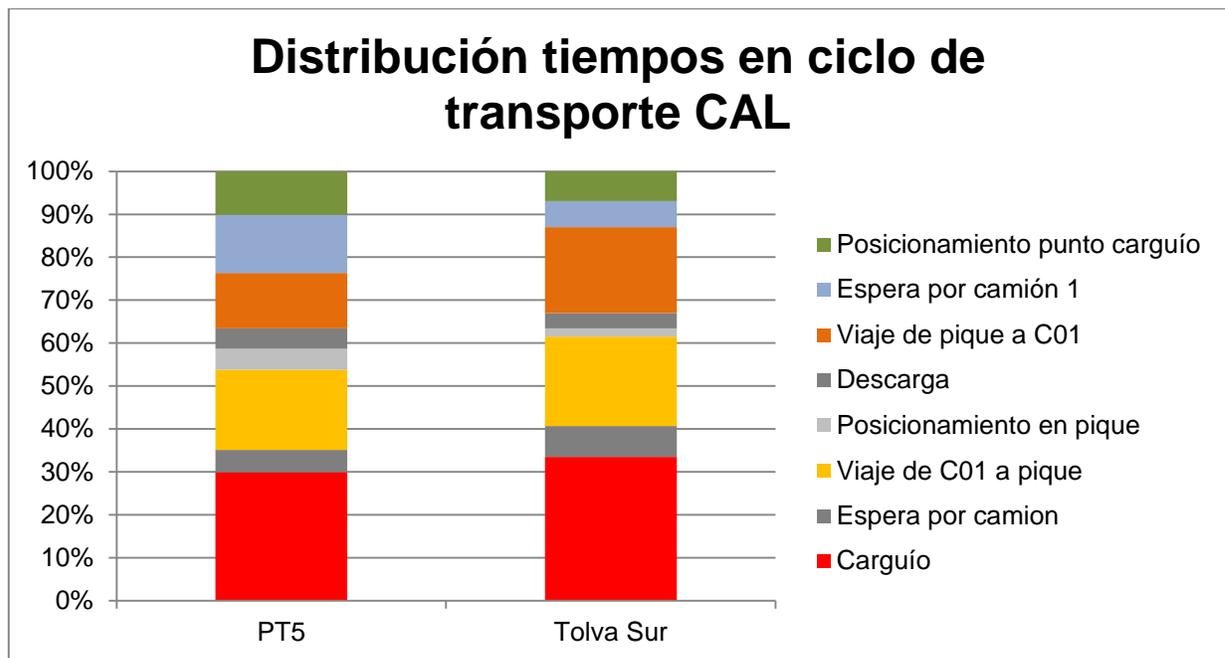


Gráfico 6 Distribución de tiempos en ciclo de transporte CAL

Se puede observar claramente que el proceso de carguío representa al menos el 30% del proceso global del transporte de mineral en este sistema de carguío LHD - camión.

El cambio en la granulometría aumenta considerablemente el tiempo del ciclo del transporte (un aumento del 43% con respecto al tiempo de ciclo al PT5). Por una parte esto se produjo por la mayor distancia entre el cuerpo C01 y la Tolva Sur, en comparación con la distancia al PT5 (600 metros más). Sin embargo, el tiempo más determinante es el carguío del camión que aumentó en un 66% con respecto al tiempo con la granulometría adecuada.

En cuanto a los rendimientos de los equipos, el sistema Dispatch aún no se encuentra configurado para recolectar tiempos de demoras, por lo que se tienen solo los rendimientos operativos. Estos promedios se calcularon utilizando el sistema SIP Reportes desde el 1 de enero hasta el 9 de septiembre del presente año. Solo se utilizaron datos de turnos en que la información estuviese completa y fuese coherente con la operación.

**Tabla 5 Promedio rendimientos operativos promedio LHD y CAEX por grupo en CAL**

Promedio Flota			
Grupo/Turno	LHD	CAEX	
1	281	221	t/h op
2	277	227	t/h op
3	279	276	t/h op
4	293	271	t/h op
A	266	232	t/h op
C	294	230	t/h op
General	280	231	t/h op

En esta tabla se observa el promedio de datos para cada equipo del CAL. Estos datos reflejan los rendimientos operativos correspondientes a la operación normal del CAL (un LHD cargando 2 CAEX), por lo tanto, poseen las interferencias propias del proceso.

**Tabla 6 Rendimientos operativos por LHD, CAEX y grupo en CAL**

Promedio por Equipo				
Grupo/Turno	LHD		CAEX	
		1001	1002	605
1	267	283	213	268
2	277	281	293	264
3	268	286	275	340
4	214	306	354	262
A	259	270	267	292
C	277	300	263	257
General	268	285	265	274

En esta tabla se observa el promedio de datos por equipo. Las diferencias de rendimientos en CAEX con la Tabla 5 se justifican debido a que son tiempos (horas operativas) en donde solo existía 1 CAEX operativo, es decir, no existían demoras por espera de los camiones, lo cual aumenta los rendimientos generales de los camiones en la Tabla 6.

Finalmente, con los tiempos de viaje del camión desde el punto de carguío del C01 al PT5 y las distancias obtenidas desde los planos, se calcularon velocidades promedio del camión subiendo cargado y bajando vacío. Cabe mencionar que las pendientes existentes en los Cuerpos de Alta Ley llegan hasta 11%.

Tabla 7 Distancias, tiempos y velocidades, CAEX cargado y descargado

CAEX CAL		
Distancia C01 -PT5	0.50	km
Tiempo cargado C01- PT5	0.035	hr
Velocidad cargado promedio	14.29	km/hr
Tiempo vacío C01- PT5	0.024	hr
Velocidad vacío promedio	20.62	km/hr

## 4.2 Parámetros operativos III Panel Extendido

El III Panel Extendido es un proyecto de la división que se encuentra en etapa de Ingeniería de Pre factibilidad/ Factibilidad. Por este motivo, en este capítulo se utilizarán parámetros de la operación actual y datos de la prueba de los LHD semi autónomo los cuales fueron definidos en los capítulos anteriores.

### 4.2.1 Distancias de ciclos LHD y CAEX

Se utilizaron los planos que entregó la empresa JRI para tomar las distancias del nivel de producción y transporte. Cabe mencionar que los niveles son divididos para la operación en sector Norte y sector Sur, a pesar de esto ambos son semejantes en distancias. Su principal diferencia es que el lado Norte posee 3 calles más que el lado Sur. Los cálculos realizados a continuación se realizaron para el circuito Norte, sin embargo son análogos para el circuito Sur.

Para el nivel de producción LHD se consideró como distancia mínima desde la estación de vaciado (LHD – CAEX) al primer punto de extracción y como distancia máxima hasta el noveno punto de extracción. Esto se cumple para las todas las calles excepto la CP-15, CP-17 y CP-19, puesto que son las calles de menor longitud (miden 190 metros, por lo que solo tienen 7 puntos de extracción por lado).

En la imagen siguiente se describe el circuito para las distancias para el nivel de producción:



Ilustración 22 Distancias máxima y mínima ciclo LHD, III Panel Extendido (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

Con estas distancias se calculó una distancia promedio por ciclo de LHD. Los resultados de estas se entregan a continuación:

Tabla 8 Distancias de ciclo LHD

Distancias ciclo LHD	
BP de CP 21 a 49 hasta EV	[m]
Máxima	450
Mínima	120
Promedio	285

Para el nivel de transporte se consideró como distancia mínima desde la estación de vaciado 3 (EV N-24) hasta la segunda estación de descarga. Es importante mencionar que las estaciones de vaciado EV N-16 y EV N-20 poseen la misma distancia de ciclo (mayor a la de EV N-24). Para la distancia máxima, se utilizó la estación de vaciado más lejana, es decir, la EV N-48. (Ver Ilustración 23)

En la imagen siguiente se describen los circuitos máximos y mínimos para el nivel de transporte:

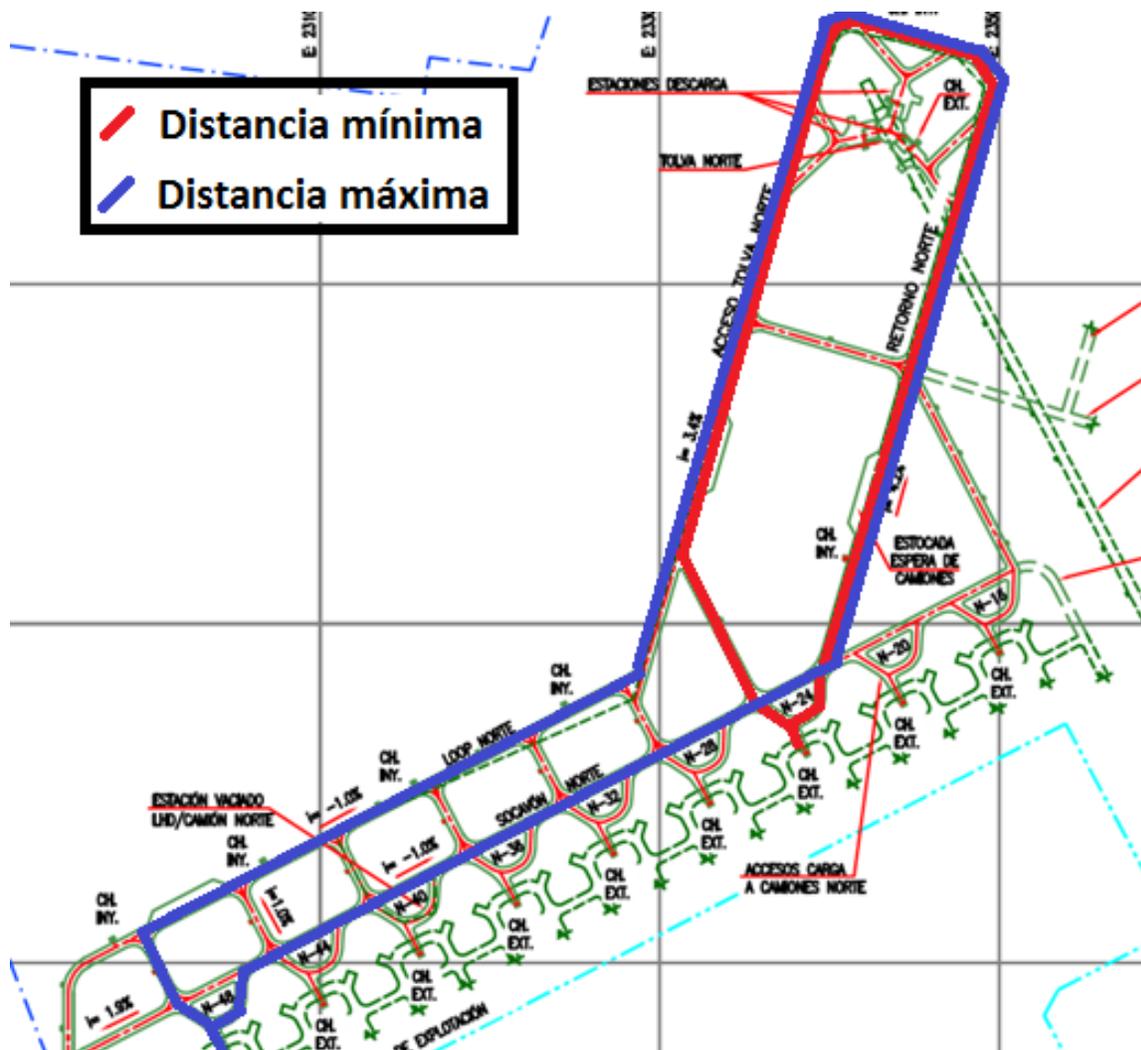


Ilustración 23 Distancias mínima y máxima ciclo CAEX, III Panel Extendido (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

Con estas distancias se calculó una distancia promedio por ciclo de CAEX. Estas distancias se entregan a continuación:

Tabla 9 Distancias de ciclo CAEX

Distancias ciclo CAEX	
EV a Estaciones de descarga	[m]
Máxima	1690
Mínima	950
Promedio	1320

#### 4.2.2 Tiempos de ciclos LHD y CAEX

Una vez que se han obtenido las distancias para los ciclos de LHD y CAEX del III Panel Extendido y se tienen los parámetros de los LHD semi autónomos y de los Cuerpos de Alta Ley, ya es posible realizar un cálculo aproximado de los tiempos de ciclo para ambos equipos.

Primero se calcularon los tiempos de ciclo de LHD. Para esto se utilizaron 2 casos:

1. **Granulometría fina a media:** El diámetro del mineral es menor a 1 metro por lo que el LHD carga el mineral sin mayores problemas desde los puntos de extracción hasta el camión o frontón de acopio. No es necesario mover colpas.
2. **Granulometría gruesa:** El diámetro del mineral está sobre 1 metro por lo que el LHD debe acomodar los bolones, incluso cambiarlos de punto de extracción antes de poder acumular el mineral en el frontón de acopio o cargar el camión.

Dado estos dos casos, para el cálculo la granulometría gruesa, se decidió usar una analogía con los tiempos de los Cuerpos de Alta Ley y aumentar el tiempo de carguío de granulometría fina a media en un 66%. Además, para los tiempos de viaje se utilizó la velocidad media de los equipos LHD utilizados actualmente en la división Andina, 8 km/hr (Castillo, 2014).

Hay que mencionar que el tiempo de viaje promedio considera tanto el viaje de ida como el viaje de regreso, esto debido a que se calculó con la distancia promedio de ciclo del LHD:

Ecuación 9 Igualdad Tiempo total de ciclo

$$\mathbf{T_{tiempo\ total\ ciclo} = T_{carguío} + T_{viaje\ promedio} + T_{descarga} + T_{espera\ ineficiencias}}$$

Ecuación 10 Igualdad viaje promedio

$$\mathbf{T_{tiempo\ viaje\ promedio} = T_{viaje\ cargado} + T_{viaje\ descargado}}$$

A continuación se enseñan las tablas de tiempos de ciclo de LHD según la granulometría del mineral cargado:

Tabla 10 Tiempos de ciclo LHD con granulometría fina a media y gruesa

LHD con granulometría fina a media	
Tiempo carguío	0:00:26
Tiempo viaje promedio	0:02:08
Tiempo descarga	0:00:10
Tiempo total ciclo	0:02:44

LHD con granulometría gruesa	
Tiempo total ciclo	0:04:32

Para la realización de los tiempos de ciclo de los CAEX se utilizaron 3 casos de carguío LHD:

1. **Un LHD carga sin acopiar:** Para este caso se consideró que el camión es cargado por solo uno de los dos lados de la estación de vaciado y por solo un LHD. Además de esto, el LHD carga el camión sin haber acopiado el mineral en el frontón de acopio, es decir, trayéndolo directamente desde el punto de extracción donde cargó. Por lo anterior, el tiempo de carguío corresponde a 2 ciclos y medio de LHD.
2. **Dos LHD cargan sin acopiar:** En este caso se consideró que el camión es cargado por ambos lados de la estación de vaciado (no simultáneamente) y por dos LHD (uno por cada calle asociada a la estación de vaciado). Además, ninguno de los LHD remaneja el mineral desde el acopio, sino que lo trae directamente de los puntos de extracción.
3. **Un LHD carga desde el frontón de acopio:** En este caso se consideró que el camión es cargado por solo un LHD y por un solo lado de la estación de vaciado. El LHD carga el mineral desde el frontón de acopio al camión, mientras tanto el otro LHD acumula mineral en el frontón de acopio de su misma calle.

Los tiempos de carga para cada caso dependiendo de la granulometría del mineral se detallan a continuación:

#### Caso 1: un LHD carga sin acopiar

- Granulometría fina y media

**Ecuación 11 Tiempo de carga CAEX para caso 1 y granulometrías fina y gruesa**

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * T_{\text{total ciclo granulometría fina y media}}_{LHD}$$

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * (2:44) = 8:12 [\text{min: seg}]$$

- Granulometría gruesa

**Ecuación 12 Tiempo de carga CAEX para caso 1 y granulometría gruesa**

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * T_{\text{total ciclo granulometría gruesa}}_{LHD}$$

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * (4:32) = 13:37 [\text{min: seg}]$$

**Caso 2: dos LHD cargan sin acopiar**

- Granulometría fina y media

**Ecuación 13 Tiempo de carga CAEX para caso 2 y granulometría fina y media**

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 2 * T_{\text{total ciclo granulometría fina y media}}_{LHD}$$

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 2 * (2:44) = 5:28 [\text{min: seg}]$$

- Granulometría gruesa

**Ecuación 14 Tiempo de carga CAEX para caso 2 y granulometría gruesa**

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 2 * T_{\text{total ciclo granulometría gruesa}}_{LHD}$$

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 2 * (4:32) = 9:04 [\text{min: seg}]$$

**Caso 3: LHD carga desde el frontón de acopio**

- Granulometría fina, media y gruesa

**Ecuación 15 Tiempo de carga CAEX para caso 3**

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * T_{\text{carga}}_{LHD} + 3 * T_{\text{descarga}}_{LHD} + 6 * T_{\text{viaje}}$$

$$\text{Tiempo de carga}_{CAEX} = 3 * (0:26) + 3 * (0:10) + 6 * (0:06) = 2:26 [\text{min: seg}]$$

Para los tiempos de viaje de CAEX cargado se utilizaron datos de las Tabla 7 y Tabla 9. La ecuación utilizada es:

**Ecuación 16 Tiempo de viaje CAEX cargado**

$$Tiempo\ de\ viaje\ cargado = \frac{\frac{Distancia\ promedio\ ciclo\ CAEX}{2}}{Velocidad\ CAEX\ cargado}$$

$$Tiempo\ de\ viaje\ cargado = \frac{\frac{1,32\ km}{2}}{14,2\ km/hr} = 2:48\ [min:seg]$$

Análogamente, los tiempos de viaje de CAEX descargado son:

**Ecuación 17 Tiempo de viaje CAEX descargado**

$$Tiempo\ de\ viaje\ descargado = \frac{\frac{Distancia\ promedio\ ciclo\ CAEX}{2}}{Velocidad\ CAEX\ descargado}$$

$$Tiempo\ de\ viaje\ descargado = \frac{\frac{1,32\ km}{2}}{20\ km/hr} = 2:01\ [min:seg]$$

Para los tiempos de maniobras y descarga se utilizaron los tiempos de la Tabla 4.

Además, tomando en cuenta el tiempo que se demora el martillo en picar la roca en la Tolva Sur cuando los camiones de los Cuerpos de Alta Ley descargan su mineral ahí, se utilizaron 3 tiempos de espera por martillo: 3, 5 y 7 minutos para cada granulometría respectivamente.

A continuación se entrega una tabla con los tiempos de ciclo para los CAEX según el caso de carguío y la granulometría esperada.

Tabla 11 Tiempos de ciclo CAEX III Panel Extendido según casos y granulometrías

CAEX III Panel Extendido				
Casos	Tiempos de ciclo	Granulometría		
		Fina	Media	Gruesa
Caso 1: un LHD carga sin acopiar	Tiempo carga	08:12	08:12	13:37
	Tiempo viaje cargado	02:48	02:48	02:48
	Tiempo espera martillo	03:00	05:00	07:00
	Tiempo maniobras para descarga	00:33	00:33	00:33
	Tiempo descarga	00:21	00:21	00:21
	Tiempo viaje descargado	02:01	02:01	02:01
	Tiempo maniobras carga	00:19	00:19	00:19
	<b>Tiempo total ciclo</b>	<b>17:14</b>	<b>19:14</b>	<b>26:39</b>
Caso 2: dos LHD cargan sin acopiar	Tiempo carga	05:28	05:28	09:04
	Tiempo viaje cargado	02:48	02:48	02:48
	Tiempo espera martillo	03:00	05:00	07:00
	Tiempo maniobras para descarga	00:33	00:33	00:33
	Tiempo descarga	00:21	00:21	00:21
	Tiempo viaje descargado	02:01	02:01	02:01
	Tiempo maniobras carga	00:19	00:19	00:19
	<b>Tiempo total ciclo</b>	<b>14:30</b>	<b>16:30</b>	<b>22:06</b>
Caso 3: LHD carga desde el frontón de acopio	Tiempo carga	02:26	02:26	02:26
	Tiempo viaje cargado	02:48	02:48	02:48
	Tiempo espera martillo	03:00	05:00	07:00
	Tiempo maniobras para descarga	00:33	00:33	00:33
	Tiempo descarga	00:21	00:21	00:21
	Tiempo viaje descargado	02:01	02:01	02:01
	Tiempo maniobras carga	00:19	00:19	00:19
	<b>Tiempo total ciclo</b>	<b>11:28</b>	<b>13:28</b>	<b>15:28</b>

A priori se puede observar que la mejor opción de carguío es que los LHD carguen el frontón de acopio y luego realicen un remanejo del mineral y carguen el camión, puesto que reduce al menos a la mitad el tiempo de carguío. La granulometría influye fuertemente en los tiempos de ciclo, debido a que rocas de gran tamaño generarán colas en las estaciones de descarga.

Una vez obtenidos los tiempos totales de ciclo, se calcula cuántos de estos puede hacer un camión en 7 horas efectivas. Se utilizó este dato, debido a los resultados de la prueba de LHD semiautónomos. Para sacar el tonelaje por turno y por día, se utilizó un factor de carga de 47 toneladas, además de los 7 camiones operativos que por proyecto están contemplados.

Ecuación 18 Cantidad de ciclos en 7 horas

$$\text{Ciclos en 7 horas} = \frac{7}{\text{Tiempo de ciclo [hr]}}$$

Ecuación 19 Tonelaje por turno

$$\text{Tonelaje por turno} = \text{Camiones operativos} * \text{factor de carga} * \text{Ciclos en 7 hrs}$$

Ecuación 20 Tonelaje diario

$$\text{Tonelaje diario} = 2 * \text{Tonelaje turno}$$

Los resultados del tonelaje esperado por cada caso de carguío y granulometría se entregan en la tabla a continuación:

Tabla 12 Resultados producción según granulometría y caso

KPI CAEX III Panel Extendido	Tiempo de ciclo	Ciclos en 7 hrs	Tonelaje por turno	Tonelaje diario
<b>Granulometría finas</b>				
Caso 1: un LHD carga sin acopiar	0:17:14	24	7.896	15.792
Caso 2: dos LHD cargan sin acopiar	0:14:30	28	9.212	18.424
Caso 3: LHD carga desde el frontón de acopio	0:11:28	36	11.844	23.688
<b>Granulometría medias</b>				
Caso 1: un LHD carga sin acopiar	0:19:14	21	6.909	13.818
Caso 2: dos LHD cargan sin acopiar	0:16:30	25	8.225	16.450
Caso 3: LHD carga desde el frontón de acopio	0:13:28	31	10.199	20.398
<b>Granulometría gruesa</b>				
Caso 1: un LHD carga sin acopiar	0:26:39	15	4.935	9.870
Caso 2: dos LHD cargan sin acopiar	0:22:06	19	6.251	12.502
Caso 3: LHD carga desde el frontón de acopio	0:15:28	27	8.883	17.766

Según los resultados anteriores, si existiese una granulometría gruesa que tuviese a los martillos picadores trabajando arduamente y con esto generando colas de 7 minutos, el tonelaje para el proyecto (18.000 t/d) no se cumple en ninguno de los casos de carguío.

Para el caso en que la granulometría es media, el tonelaje solo se cumple para el carguío con remanejo.

Finalmente para el caso en que la granulometría es fina, el tonelaje se cumple para 2 casos, el LHD realizando el remanejo y realizando el carguío en conjunto con el LHD de la calle colindante (que llega a la misma estación de vaciado).

## 5. Propuesta de operativización III Panel Extendido

### 5.1 Operación LHD en nivel de producción

#### 5.1.1 Carguío de CAEX con LHD

Para el manejo de minerales en el nivel de producción (cota 3073 msnm) se tiene considerada la utilización de LHD de 15.5 ton de capacidad real. Estos LHD tomarán el mineral de los distintos BP, lo trasladarán por las calles de producción (CP) y finalmente lo descargarán en las estaciones de vaciado (EV). Estas estaciones son análogas a las estaciones de carguío LHD-CAEX de los Cuerpos de Alta Ley, sin embargo para ser consecuente con la nomenclatura del proyecto III Panel Extendido se referirá a ellas con el término de estación de vaciado. En estas estaciones tendrán la opción de descargar directamente sobre la tolva del camión y en el caso de que este no estuviese ubicado en el lugar, posicionado o preparado para ser cargado, tendrán como segunda opción poder descargar en los frontones de acopio (FA).

La función para la cual se diseñaron los frontones de acopio es que el LHD realice una operación más eficiente y pierda cierta dependencia con el ciclo de los camiones, ya que no deberá esperar que el camión se encuentre posicionado en la estación de vaciado para descargar el mineral. Estos frontones tendrán una capacidad de 4 baldadas. Una vez que el camión se sitúe en la estación, el LHD podrá realizar un remanejo del mineral, cargando la tolva del camión con mineral acopiado en los frontones.

Ahora bien, en el capítulo 4 se entregaron los KPI que se esperan para este proyecto, con esto se realizan recomendaciones de carguío dependiendo de la disponibilidad de calles y equipos LHD:

- **Caso A: Ambas calles de producción asociadas a la estación de vaciado están disponibles con un LHD cada una:** Por los tiempos de ciclos entregados para los diferentes casos de carguío y granulometría, la manera más eficiente de operación del LHD es cargar el frontón de acopio primero, para luego cargar el camión desde este punto. Mientras un LHD carga el camión, el otro LHD (ubicado en la calle contigua con acceso a la misma estación de vaciado) debe realizar el acopio del mineral extraído desde los puntos de extracción en el frontón de acopio de su misma calle, para posteriormente realizar el remanejo del mineral desde el frontón a la tolva del camión siguiente. Este caso de carguío será el más eficiente **siempre y cuando exista la posibilidad de tener a 2 LHD trabajando** en las calles que llegan a la estación de vaciado.

En la Tabla 13 se utilizarán los tiempos totales de ciclos de LHD (Ver Tabla 10) y los de remanejo de frontón a CAEX (Ver Tabla 11) con los que se obtuvo un tiempo total de ciclo para el caso A.

Ecuación 21 Tiempo total de ciclo LHD para caso A

$$\text{Tiempo total ciclo Caso A} = T \text{ total acopio en frontón} + T \text{ remanejo frontón-CAEX}$$

Tabla 13 Tiempos de ciclo LHD según granulometría, carguío Caso A

LHD III Panel Extendido: Caso A		
Granulometría	Fina	Gruesa
Tiempo total un ciclo	0:02:44	0:04:32
3 ciclos para acopiar en frontón	0:08:12	0:13:37
Tiempo remanejo de frontón a CAEX	0:02:26	0:02:26
<b>Tiempo total ciclo Caso A:</b>	<b>0:10:38</b>	<b>0:16:03</b>

Como se puede observar en la tabla anterior y tomando los valores de la Tabla 11, el ciclo total de LHD para granulometría fina presenta tiempos menores al tiempo de ciclo más bajo de los CAEX (11 minutos y 28 seg), por lo que 2 LHD podrán cargar 2 camiones sin que se forme una cola. Análogamente para el caso de granulometría gruesa el tiempo total de ciclo de LHD es menor al tiempo de ciclo de CAEX (15 minutos y 28 segundos).

- **Caso B: Existe solo una calle disponible (con un LHD) en la estación de vaciado pero varias estaciones se encuentran en producción (sobre 3 EV):** En este caso el sistema de carguío que se recomienda es el mismo, el LHD debe traer el mineral desde los puntos de extracción y descargarlo en el frontón de acopio. Una vez que haya acopiado 4 baldadas en el frontón de acopio (capacidad máxima) deberá dar aviso al Centro de Operaciones Mina (Sala Com) para que despache un camión a esa estación de vaciado. El LHD debe esperar a que el camión se posicione en la estación de vaciado para comenzar con el remanejo del mineral desde el frontón de acopio.

En este caso el tiempo de ciclo es similar al del Caso A, solo se debe agregar un tiempo de espera del camión, que dependerá del tiempo que demore el despacho del camión a la estación de vaciado.

- **Caso C: Existe solo una calle disponible (con un LHD) en la estación de vaciado pero un bajo número de estaciones se encuentran en producción (3 EV o menos):** En este caso es probable que al existir pocas estaciones de vaciado disponibles los camiones formarán colas para cargar mineral, por lo que estarán posicionado en la estación de vaciado antes de que el LHD alcance a acopiar en el frontón. Es por esto que el sistema de carguío que se recomienda es que el LHD debe traer el mineral desde los puntos de extracción y descargarlo directamente en la tolva del camión posicionado, de tal manera de realizar lo más rápido el carguío del camión.

Tabla 14 Tiempos de ciclo LHD según granulometría, carguío Caso C

<b>LHD III Panel Extendido: Caso C</b>		
<b>Granulometría</b>	<b>Fina</b>	<b>Gruesa</b>
<b>Tiempo total un ciclo</b>	<b>0:02:44</b>	<b>0:04:32</b>
<b>3 ciclos para descargar en CAEX</b>	<b>0:08:12</b>	<b>0:13:37</b>
<b>Tiempo total ciclo Caso C:</b>	<b>0:08:12</b>	<b>0:13:37</b>

Como se puede observar en la tabla anterior y tomando los valores de la Tabla 11, el ciclo de los LHD para el caso carguío de granulometría fina presenta tiempos menores al tiempo de ciclo más bajo de los CAEX (17 minutos y 14 segundos), por lo que un LHD podrán cargar 2 camiones sin que se forme una cola. Análogamente para el caso de granulometría gruesa el tiempo total de ciclo de LHD es menor al tiempo de ciclo de CAEX (26 minutos y 39 segundos), por lo que podrá cargar 2 camiones sin que se forme una cola.

### **5.1.2 Confinamiento Sistema LHD Semiautónomo / Autónomo**

Para el funcionamiento seguro de los LHD, ya sea de tecnología autónoma o semiautónoma, es necesario definir un área de confinamiento. El motivo principal es evitar el ingreso de personal o equipo no autorizado a zonas en donde se encuentren en movimiento equipos LHD autónomos o semiautónomos de manera de evitar cualquier tipo de accidente que pudiese involucrar a algún trabajador. Sin embargo, ese no es el único motivo por el cual se confina un área de trabajo, también se realiza para evitar que los equipos al interior de la zona de confinamiento puedan salir de su área y quedar fuera de control.

El sistema actúa como una especie de vigilante, ya que además de restringir el paso sin autorización de manera física, puede detectar cualquier ingreso no autorizado.

En caso de que se produzca alguna violación en las barreras del confinamiento, ya sea un ingreso de equipo o personal sin autorización, o de salida de algún equipo semiautónomo o autónomo, este sistema de control acciona una detención de emergencia con lo que detiene toda la operación dentro del perímetro de confinamiento.

Para el caso del nivel de producción del III Panel Extendido, estas barreras de confinamiento deben evitar el ingreso de personas o equipos no autorizados, pero en la mayoría de los casos cumple la función de controlar el área de trabajo del LHD semiautónomo o autónomo, evitando que este pudiese salir de la zona en la que está designado por planificación.

A continuación se entrega un plano con los lugares en donde debiesen existir estas barreras de confinamiento para la operación de los LHD.



Ilustración 24 Confinamiento sector calles de producción LHD (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

Para la producción en la mitad Norte del nivel de LHD es necesario confinar para cada calle de producción:

- **Socavón Norte:** cierre a ambos lados, cuidando de dejar hacia el lado derecho (Este) la distancia necesaria para que el LHD realice las maniobras de acuatamiento para poder girar en 180°.
- **Mitad de calle:** cierre en la mitad de la calle (entre el noveno y el décimo BP), para evitar llegar a una zona en donde pudiese estar trabajando un LHD dentro del sector Sur.

Análogamente para la producción en la mitad Sur del nivel de LHD es necesario confinar para cada calle de producción:

- **Socavón Sur:** cierre a ambos lados, cuidando de dejar hacia el lado izquierdo (Oeste) la distancia necesaria para que el LHD realice las maniobras de acuatamiento para poder girar en 180°.
- **Mitad de calle:** Cierre en la mitad de la calle (entre el octavo y el noveno BP), para evitar llegar a una zona en donde pudiese estar trabajando un LHD dentro del sector Norte.

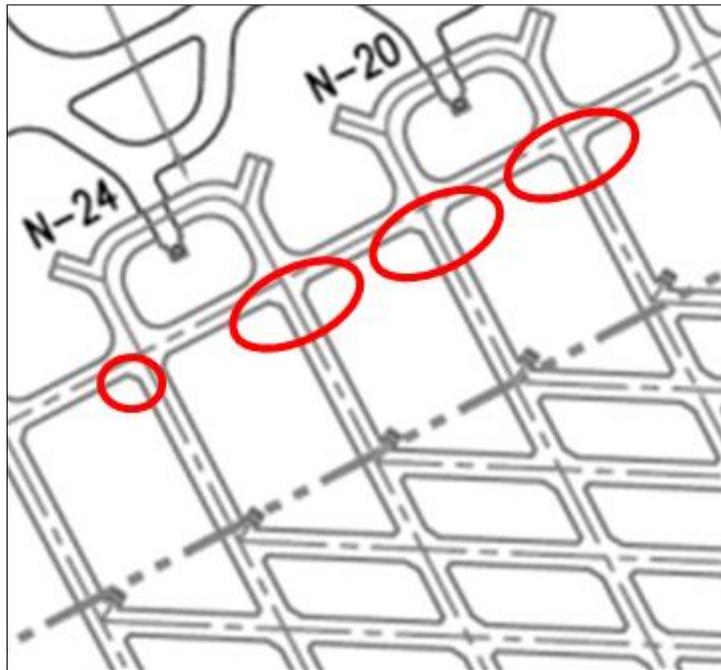
Siempre que el LHD esté trabajando debiese tener activas estas 3 barreras de cierre de calle de producción. En el caso en que se requiera trabajar en ambos sectores (Norte y Sur) simultáneamente, se deberá definir un momento del turno en que sólo un LHD opere en la calle para cargar mineral de los puntos de extracción colindantes a la barrera de confinamiento de mitad de calle.

### **5.1.3 Diseño del nivel de producción**

El diseño del nivel de producción fue realizado por la empresa consultora JRI, la cual entregó los planos a la División Andina. En estos planos se hallaron algunas falencias desde el punto de vista de la operativización del equipo LHD para el nivel de producción.

#### ***5.1.3.1 Curvas de alta velocidad intersección Calles de Producción - Socavón***

Para comenzar, si se observan las calles de producción en intersección con el Socavón Norte o Socavón Sur, por diseño solo trae curvas de alta velocidad para las esquinas Norte o Sur de las intersecciones (las que llevan a las estaciones de vaciado), sin embargo las esquinas restantes no las poseen.



**Ilustración 25 Intersección CP - Socavón sin curvas de alta velocidad (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 205)**

Para el proceso de producción, el LHD (al realizar el carguío en los puntos de extracción del lado Este para el sector Norte y Oeste para el sector Sur) queda invertido en relación al sentido necesario para hacer la descarga del mineral en la estación de vaciado, por esto debe girarse (en 180°) en el cruce de la calle de producción con el socavón.

El giro consta de un aculatamiento por el Socavón correspondiente (dependiendo si trabaja en el sector Norte o Sur) para luego girar hacia la estación de vaciado. Para este proceso, con el actual diseño del nivel de producción (sin curvas de alta velocidad), las maniobras serían las siguientes:

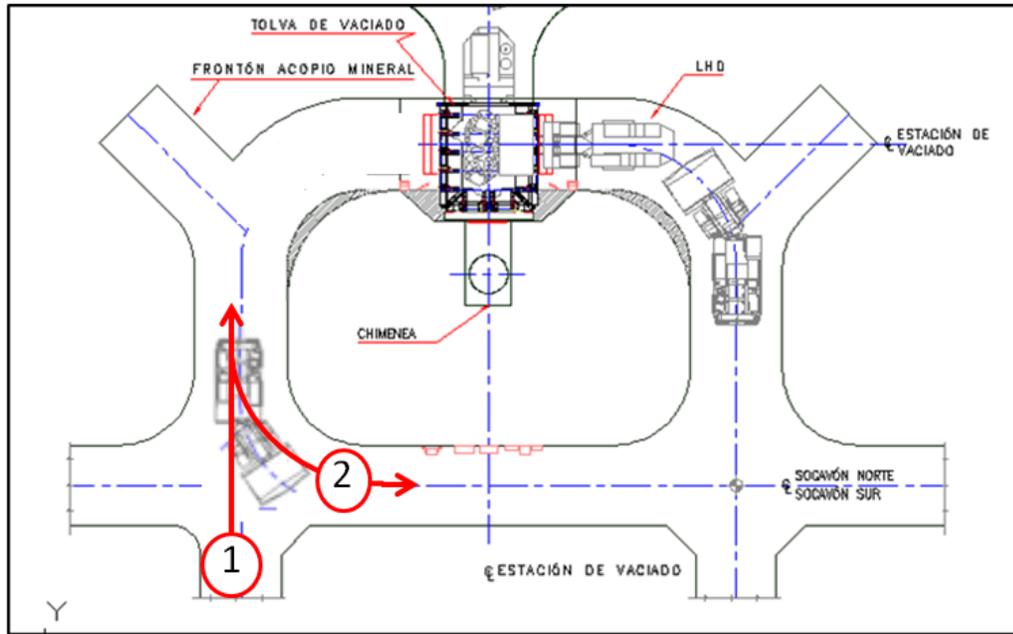


Ilustración 26 Maniobras 1 y 2 de LHD en intersección sin curvas de alta velocidad (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

1. El LHD debe retroceder por la calle, pasando el Socavón correspondiente (en este caso, Socavón Norte).
2. Una vez que el balde está pasado el eje del Socavón, debe avanzar girando hacia el Este, posicionándose en el Socavón.

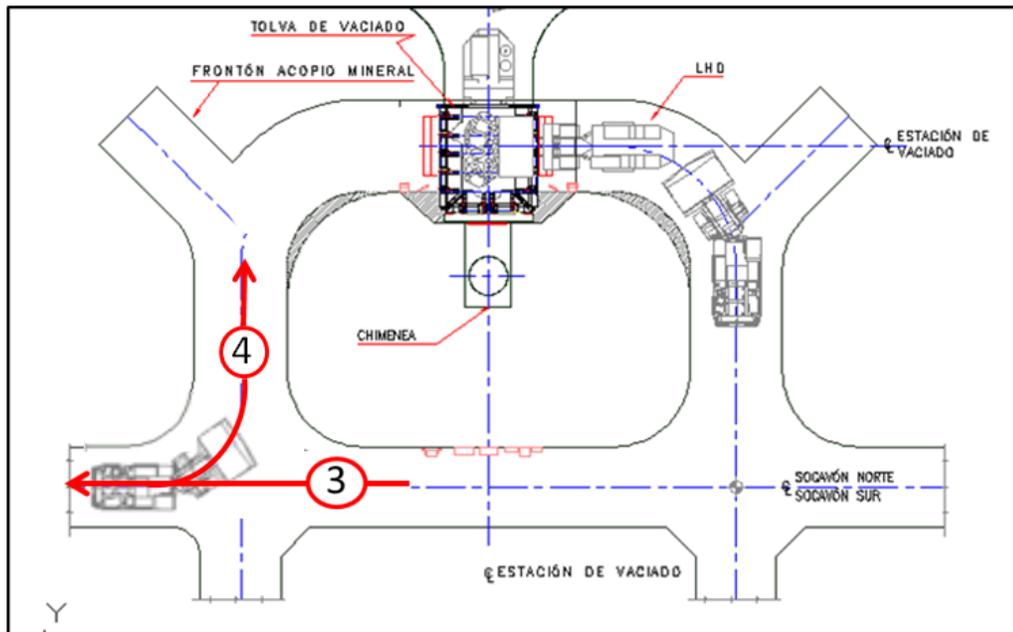
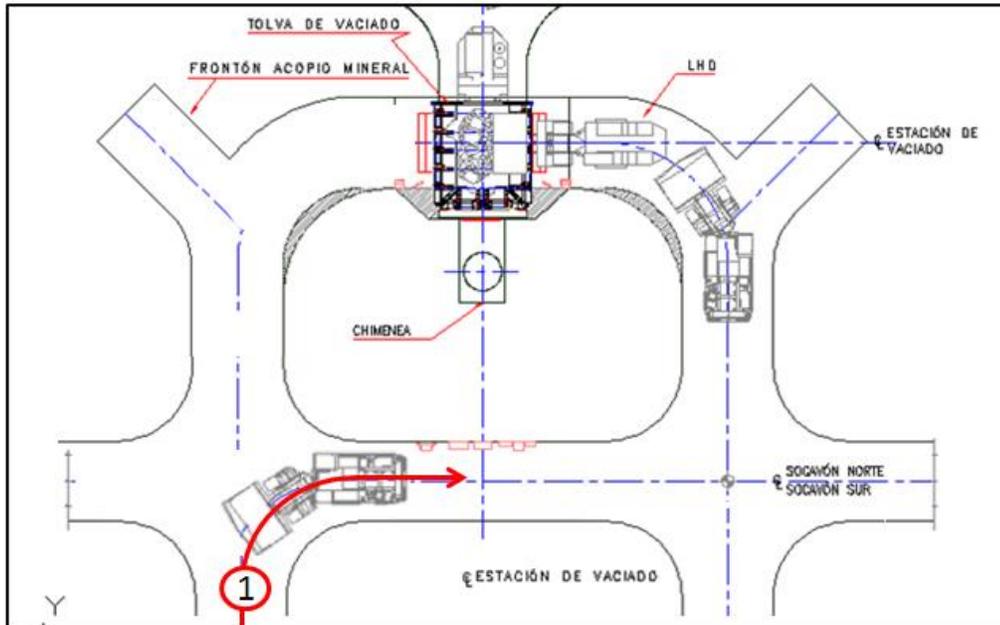


Ilustración 27 Maniobras 3 y 4 de LHD en intersección sin curvas de alta velocidad (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

3. El equipo debe retroceder hasta pasar la línea de la calle de producción en la que cargó el mineral.
4. Finalmente el LHD debe avanzar girando hacia el Norte, ingresando a la estación de vaciado.

Ahora bien, si estos cruces tuvieran curvas de alta velocidad en todas las paredes, las maniobras necesarias serían las siguientes:



**Ilustración 28 Maniobra 1 de LHD en intersección con curvas de alta velocidad (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)**

1. El LHD debe retroceder por la calle de producción girando hacia el Este por el Socavón Norte.

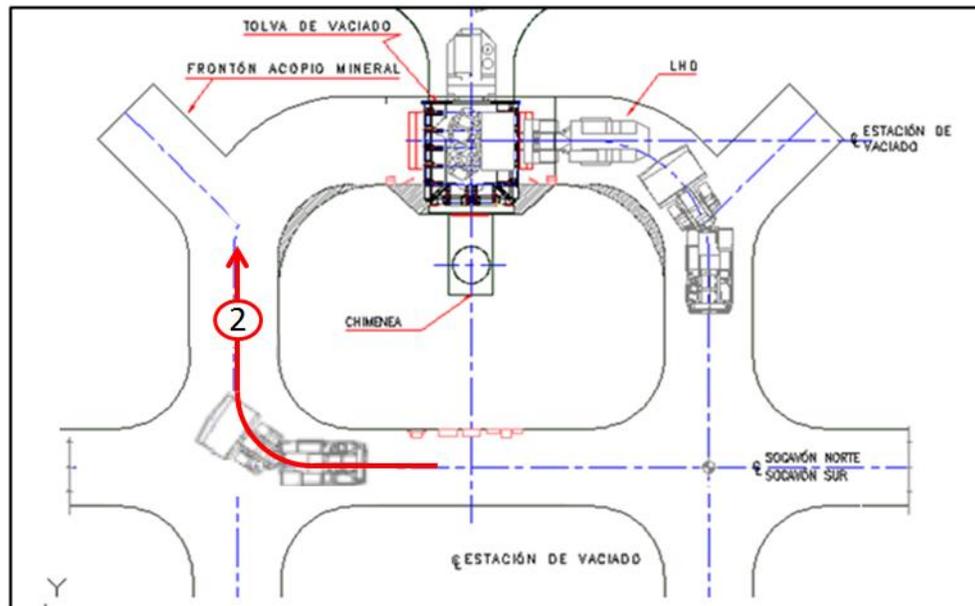


Ilustración 29 Maniobra 2 de LHD en intersección con curvas de alta velocidad (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

2. Una vez que el balde del LHD pasa el eje de la calle de producción donde cargó el mineral debe avanzar girando hacia el Norte, ingresando a la estación de vaciado.

Con lo anterior, es simple observar que al implementar las curvas de alta velocidad en todas las paredes del cruce Calle de producción – Socavón, la cantidad de maniobras que debe realizar el LHD se reduce bastante, disminuyendo los tiempos de ciclo. Además de aumentar los rendimientos, este sistema es consecuente con las barreras para el confinamiento de los equipos autónomos o semiautónomos, debido a que el LHD solo realiza las maniobras hacia uno de los dos lados por el Socavón (en este caso, según el confinamiento debiese aculartarse hacia el Este para el sector Norte).

### 5.1.3.2 Intersecciones conexión Oeste, Este y Socavón Este

El diseño del nivel de producción posee rampas de acceso, ya sea desde la rampa de ingreso al III Panel Extendido o desde el nivel de transporte. Estos accesos deben estar desarrollados no solo para equipos LHD sino que para que cualquier equipo ya sean camionetas, furgones, equipos de apoyo a la producción tales como: martillo móvil, equipo de levante (manipulador telescópico y camión plataforma) y equipo de perforación. Además, para las reparaciones de pista futuras deberán ingresar camiones mixer de bajo perfil.

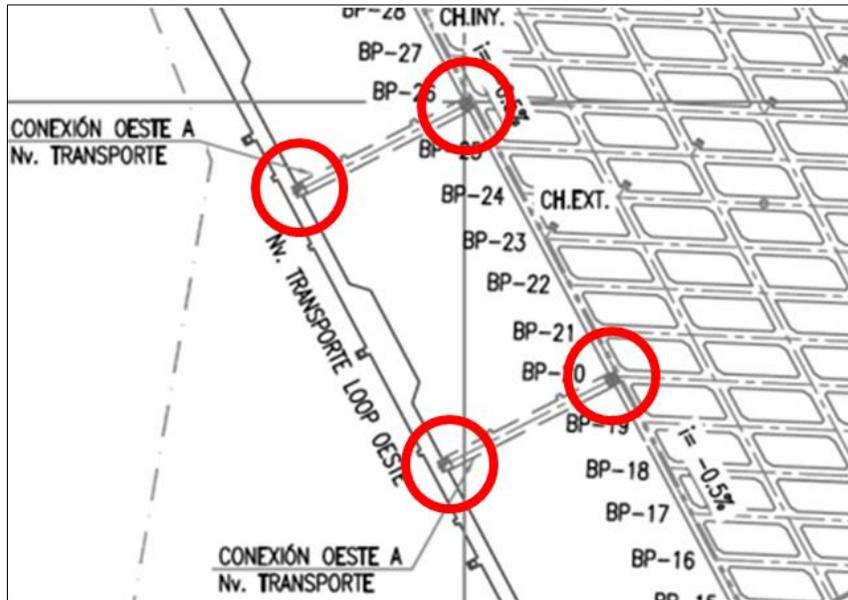


Ilustración 30 Intersección rampas Conexión Oeste (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

Si se observa la imagen (versión ampliada del plano entregado por JRI) se observa que estos accesos (conexión Oeste) no tienen diseñadas intersecciones que permitan el giro de los equipos. De manera análoga se requiere mejorar la curvatura de las intersecciones para la rampa de acceso, la conexión y Socavón Oeste.

A continuación se entregan los planos con los sectores comprometidos:

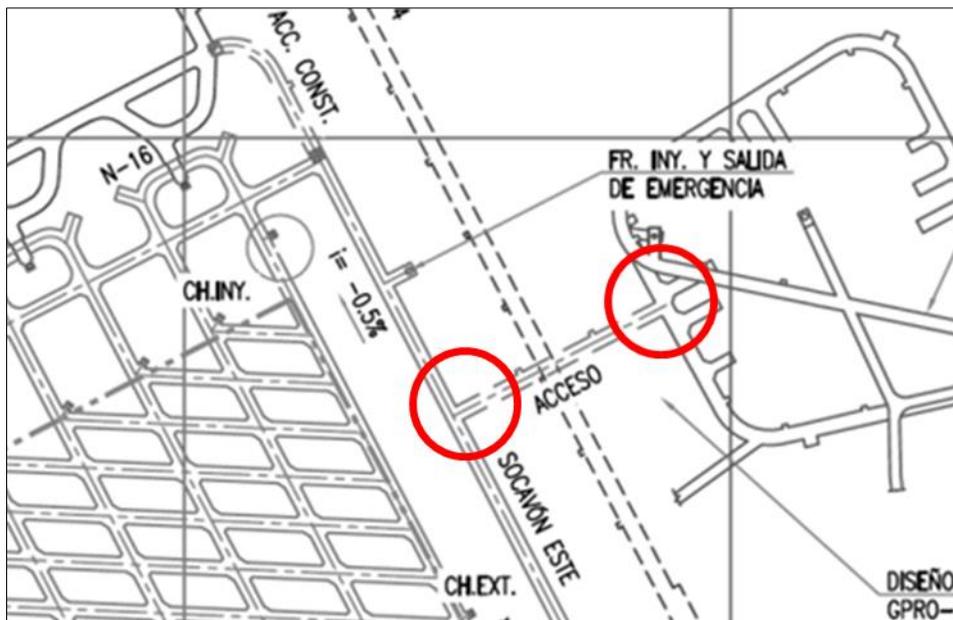


Ilustración 31 Intersecciones acceso desde Rampa III Panel Extendido (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

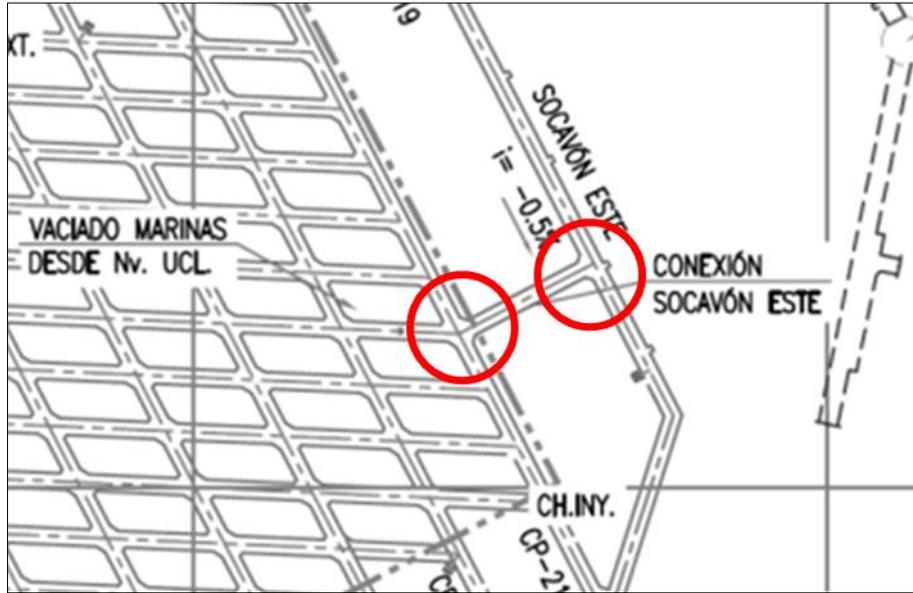


Ilustración 32 Intersecciones Conexión Este (Edición de imagen presentada en el Mengoya et al., 2015)

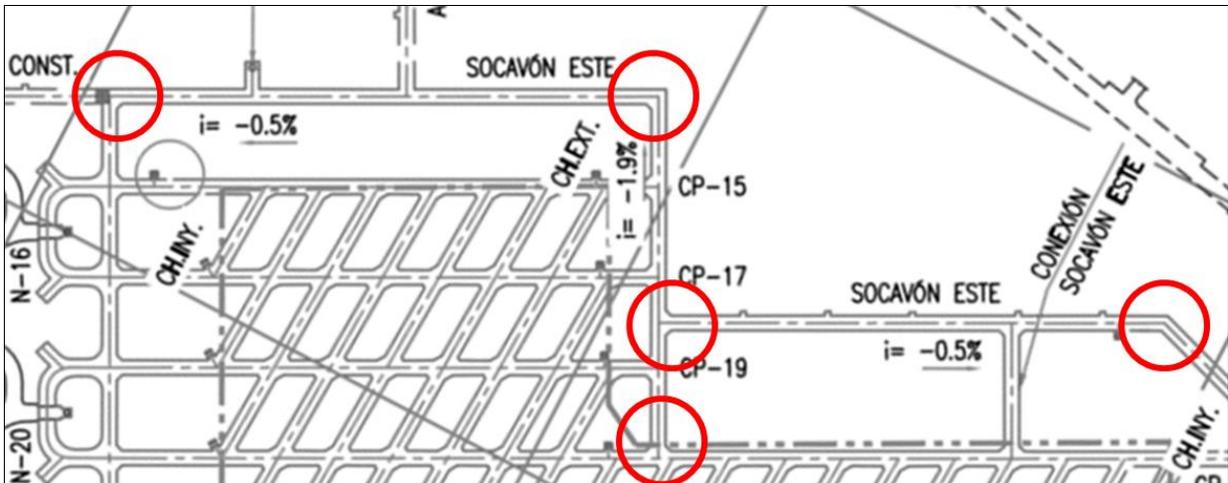


Ilustración 33 Intersecciones Socavón Este (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

## 5.2 Operación CAEX en nivel de transporte

Para el transporte de minerales en el nivel de transporte (cota 3070.1 msnm) se tiene considerado el carguío del CAEX en las diferentes estaciones de vaciado (9 estaciones para el circuito Norte y 7 para el circuito Sur). En este lugar el LHD deberá cargarlo con 3 baldadas. Una vez que el CAEX esté cargado, este deberá transportar el mineral

hasta la tolva (del circuito Norte o Sur, respectivamente, dependiendo de en cuál estación de vaciado fue cargado). En este lugar tendrá la opción de descargar en cualquiera de las 3 estaciones de descarga dependiendo de su disponibilidad, la cual puede verse afectada por: martillo picador trabajando, camión descargando y mantención programada.

### **5.2.1 Confinamiento Sistema CAEX Semiautónomo / Autónomo**

Para el funcionamiento seguro de los CAEX (autónomos o semiautónomos), al igual que para los equipos LHD, es necesario definir un área de confinamiento. En caso de que se produzca alguna violación de estas barreras este sistema de control (al igual que en el caso LHD) acciona una detención de emergencia con lo que detiene toda la operación dentro del perímetro de confinamiento.

Para el caso del nivel de transporte del III Panel Extendido, el objetivo principal de estas barreras de confinamiento es evitar el ingreso de cualquier persona o equipos no autorizados.

A continuación se entrega un plano con los lugares en donde debiesen existir estas barreras de confinamiento para la operación de los CAEX.

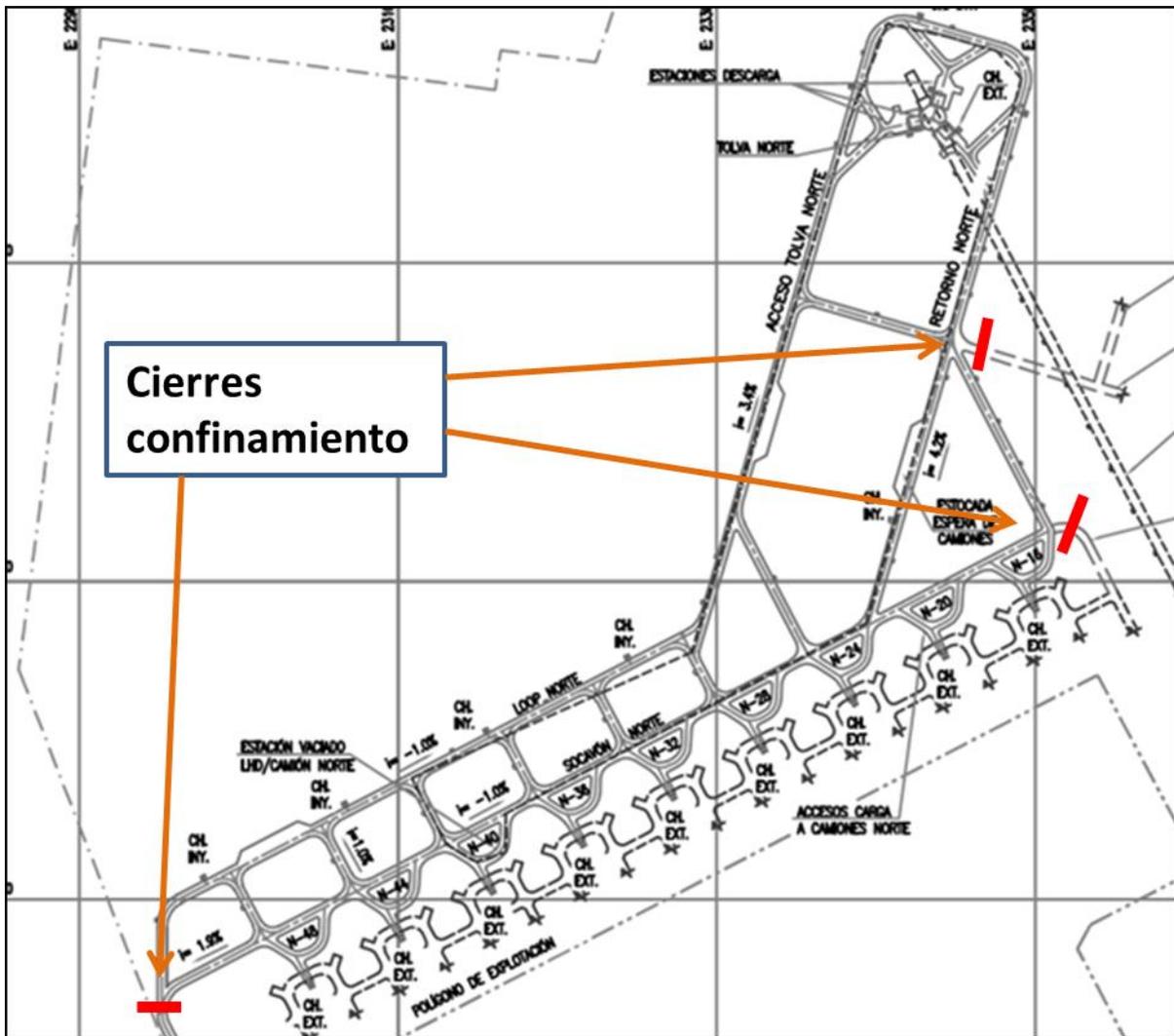


Ilustración 34 Confinamiento para circuito Norte, nivel de transporte IIIPE (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015))

Para la producción en el circuito Norte del nivel de transporte es necesario confinar sus 3 accesos.

- Socavón Oeste
- Rampa acceso por Rampa III Panel Extendido
- Rampa acceso por nivel de producción

Análogamente para el transporte en el circuito Sur del nivel es necesario confinar sus 2 accesos:

- Socavón Oeste
- Rampa acceso desde nivel de producción.

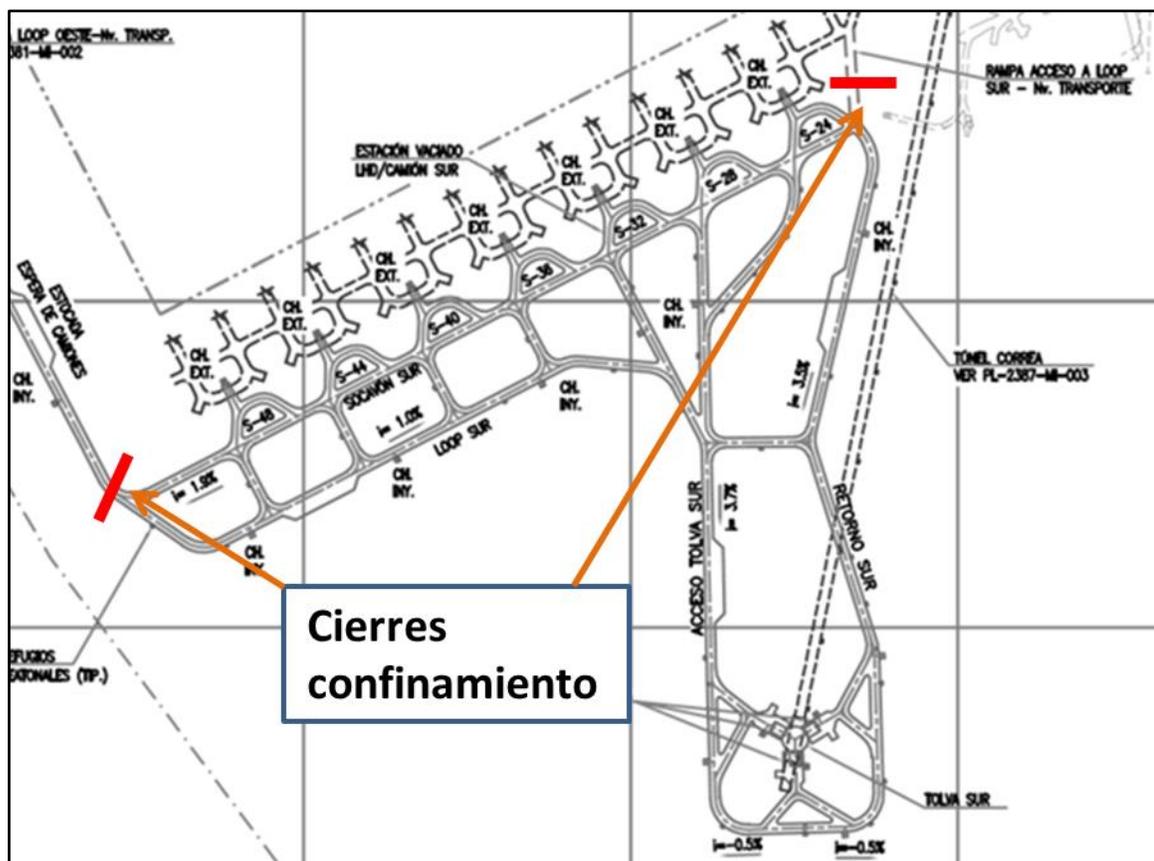


Ilustración 35 Confinamiento para circuito Sur, nivel de transporte IIIPE (Edición de imagen presentada en el Mengoya et al., 2015)

Siempre que el CAEX esté trabajando debiese tener activas sus 3 (2 para el circuito Sur) barreras de cierre de circuito de transporte.

## 5.2.2 Diseño del nivel de transporte

El diseño del nivel de transporte fue realizado por la empresa consultora JRI, la cual entregó los planos a la División Andina. En estos planos se hallaron algunas falencias desde el punto de vista del análisis de operación de transporte revisado en el capítulo 3 de este trabajo, como lo son los puntos de acopio de mineral para la limpieza de las pistas, el abastecimiento de combustible, etc.

### 5.2.2.1 Puntos de acopio para limpieza de pistas

Dentro del diseño de los circuitos de transporte, no se desarrollaron lugares específicos para acopiar el mineral que se derrama desde la tolva de los camiones. Esto básicamente es el resultado de camiones con sobrecarga de mineral y carga mal estibada. A pesar de que esta situación debiese verse aminorada para este proyecto (LHD debiese cargar con sólo 3 baldadas el camión), de todas maneras se debiese tener considerados puntos de acopio, de forma de evitar el acopio de mineral derramado en lugares que no son aptos para esto y que muchas veces obstruyen el paso y dificultan el trabajo en el mismo nivel.

Los puntos de acopio se distribuyeron en 3 sectores: Circuito Norte, Sur y Socavón Oeste. A continuación se detallará la ubicación y el motivo de esta para cada uno de los 3 sectores:

- **Circuito Norte:** Para este circuito se consideró ubicar una estocada de acopio por cada 3 estaciones de vaciado LHD – CAEX. Es por esto que se consideraron 3 estocadas de acopio (son 9 estaciones de vaciado). Además se incluyó una estocada en el trayecto del Acceso Tolva Norte, debido a que (en escenarios normales) el camión debiese subir cargado por este acceso. Para facilitar sus desarrollos estas estocadas se ubicaron en intersecciones, cumpliendo también con el objetivo de facilitar el acceso a estas.

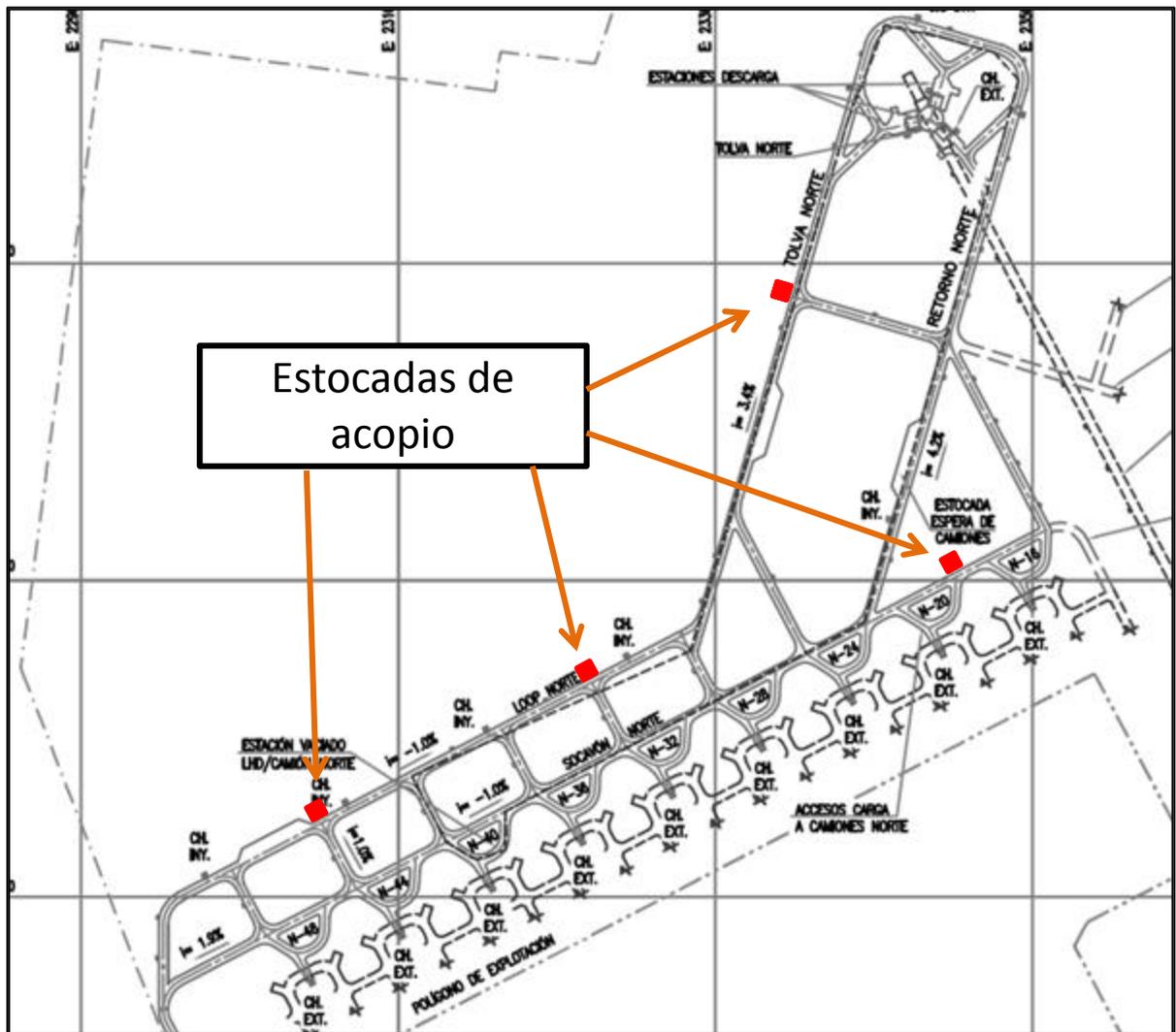


Ilustración 36 Estocadas de acopio para circuito Norte, nivel de transporte IIIPE (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

- **Circuito Sur:** Este circuito es bastante diferente en diseño al circuito Norte. Ambos diseños varían principalmente en la geometría de sus galerías y en la

cantidad de estaciones de vaciado (el circuito Sur solo tiene 7 estaciones). Por lo anterior se ubicaron 2 estocadas de acopio para las 7 estaciones de vaciado y una estocada en el trayecto Acceso Tolva Sur. Esta última estocada se posicionó ahí debido a que, al igual que el circuito Norte, los camiones debiesen subir cargados utilizando este trayecto.

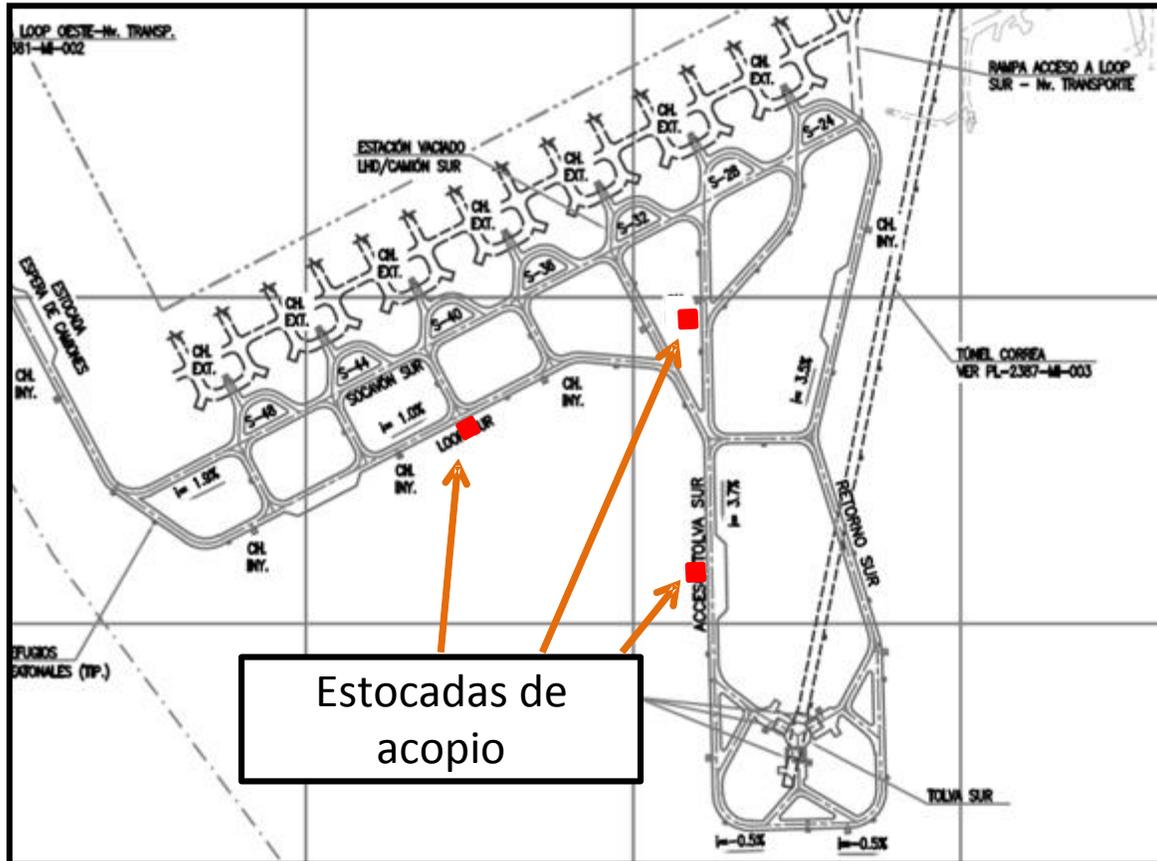


Ilustración 37 Estocadas de acopio para circuito Sur, nivel de transporte IIPE (Edición de imagen presentada en Mengoya et al., 2015)

### 5.2.2.2 Diseño estación de abastecimiento de combustible

Para el carguío de combustible, el proyecto contempla la utilización de camiones abastecedores o aljibe, los cuales entrarán por la rampa de acceso al taller hasta estación de abastecimiento de combustible. El diseño de la estación entregado por la consultora JRI corresponde a un desquinche de la rampa Retorno Norte en el circuito Norte del nivel de transporte, el cual se puede observar en la Ilustración 38 Diseño estación abastecimiento de combustible (Extracto Plano AD14M02-PL-2389-MI-016-0).

El problema de este diseño es que no es consecuente con el confinamiento de equipos semiautónomos/ autónomos, el cual implica que el área en operación se encuentre aislada de personas y equipos no autorizados, utilizando barreras físicas. Este diseño implicaría exponer a personal al área de operación de equipos semiautónomos/ autónomos o bien, detener la operación completa de transporte cada vez que un equipo requiera cargar combustible, lo cual no hace eficiente al proceso de transporte.

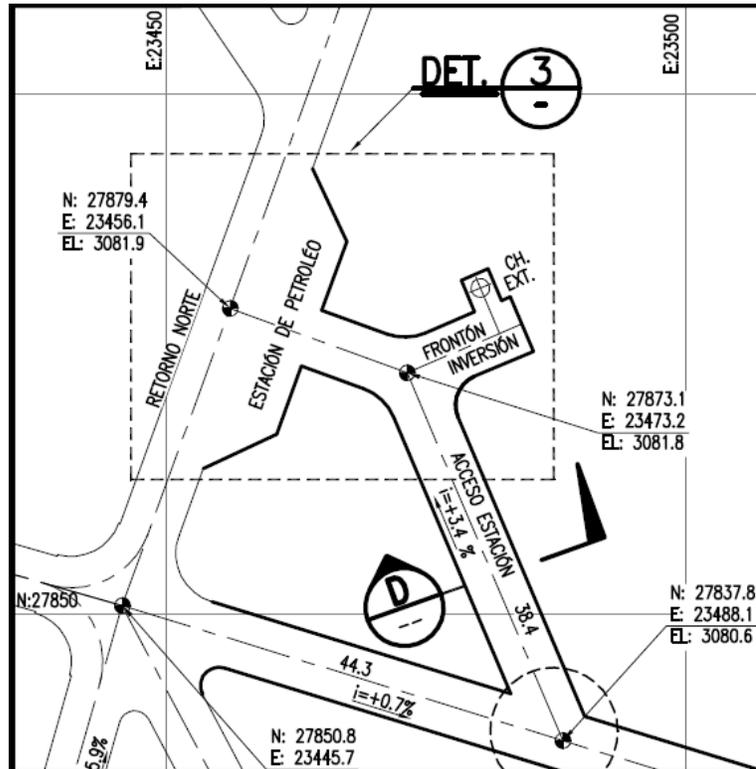


Ilustración 38 Diseño estación abastecimiento de combustible (Extracto Plano AD14M02-PL-2389-MI-016-0)

Por todo lo descrito anteriormente, se recomienda utilizar un diseño de estación de abastecimiento inspirado en la actual estación petrolera del Nivel 17, el cual implica una galería conectada al circuito de transporte pero fuera del mismo.

El proceso de abastecimiento de combustible involucraría al CAEX ingresando a la estación de manera semiautónoma o autónoma, una vez adentro se activan las barreras de confinamiento ubicadas en la entrada y salida de la estación para luego desactivar el equipo. En este momento se abrirá la barrera ubicada en el acceso a la estación desde la rampa de acceso al taller e ingresará el personal en conjunto con el camión abastecedor para proceder a cargar con combustible el CAEX. Una vez que se termine este proceso, el personal y equipo de servicios deben abandonar la estación, luego la barrera de acceso a la estación desde la rampa de acceso al taller deberá activarse. El equipo vuelve a ser activado en modo semiautónomo/ autónomo y se abren las barreras de ingreso y salida al circuito de transporte, de esta manera regresa a la operación.



## 6. Conclusiones

En el sistema de carguío LHD – CAEX, según los supuestos utilizados, el modo más eficiente de cargar el CAEX es que el LHD primero realice el acopio del mineral en el frontón (especialmente diseñado para este fin) y luego efectúe un remanejo del mineral desde este punto para depositarlo posteriormente en la tolva del CAEX. Cada CAEX debe ser cargado por un LHD, alternándose con el LHD de la calle de producción adyacente con el cual comparte la estación de vaciado. Mientras un LHD carga el CAEX el otro debe realizar el acopio en el frontón. Este sistema de carguío es el más eficiente pues es al menos 2 veces más rápido que los otros existentes, sin embargo su utilización dependerá de la cantidad de estaciones de vaciado disponibles para su operación.

El diseño de los niveles de producción y transporte debe plasmar las necesidades del proyecto, por consiguiente debe realizarse en favor de tiempos de ciclos más eficientes. Curvas de alta velocidad en ambos sentidos para las intersecciones implican alternativas de ciclos, además de un menor tiempo de maniobras para los equipos. De la misma manera, en pro de disminuir tiempos de demoras se deben tener en cuenta lugares de acopio para la limpieza de pistas, así evitar la utilización de otros lugares dentro del circuito que no son aptos para este fin.

La granulometría obtenida en los puntos de extracción afectará directamente, tanto los procesos de carguío, como los de transporte de mineral. Al tener granulometría gruesa, los equipos LHD deberán realizar maniobras para el movimiento de colpas desde los puntos de extracción hasta algún punto específicamente designado para el acopio de bolones, de tal manera de no detener la extracción de mineral en el nivel de producción. Estos bolones serán reducidos posteriormente utilizando explosivos (reducción secundaria) o martillos picadores móviles. Por todo esto es que cobra una gran importancia la perfecta ejecución del pre-acondicionamiento del macizo rocoso.

Este proyecto presentará una gran dependencia entre los niveles de producción y transporte, por lo que de existir algún inconveniente en cualquiera de los niveles anteriormente mencionados, el proceso en el otro se verá afectado directamente. Por esto es de gran importancia realizar una mantención adecuada (y programada) de los sistemas de ambos niveles, ya sean equipos o infraestructura.

El nivel de coordinación entre ambos procesos (producción y transporte) será mucho mayor al que se realiza actualmente en la operación del III Panel. La utilización de mecanismos de coordinación entre áreas como la Sala COM (Centro de Operaciones Mina) a cargo del sistema de coordinación despacho CAEX – LHD, tendrá un rol fundamental en el desarrollo de la operación. El CIO (Centro Integrando Operaciones) deberá formar parte de este proyecto registrando los KPI, de esta manera podrá focalizar las gestiones necesarias.

## 7. Recomendaciones

Este trabajo fue realizado con el objetivo de recolectar las lecciones aprendidas en la actual operación del III Panel, de manera de imitar los puntos buenos y evitar aquellos que significaron errores. Es por esto que se plantean las siguientes recomendaciones al diseño minero de los niveles:

1. Evaluar la posibilidad de agregar una estación de descarga de mineral, de tal manera de evitar colas en el ciclo de transporte, ya sea debido a tiempos de picado de martillos o por la realización de mantenciones y así cumplir con la producción programada.
2. Diseñar estocadas para el acopio de mineral derramado en algunos sectores del circuito de transporte, evitando las ineficiencias que se producen al acopiar en galerías del mismo nivel.
3. Agregar al diseño las curvas de alta velocidad en las intersecciones de los socavones Norte y Sur con las calles de producción para así realizar de manera más eficiente las maniobras de giro del LHD, además de cumplir con las necesidades de confinamiento del sistema semiautónomo/ autónomo.
4. El diseño del lugar destinado al proceso de cargar combustible debe ser un lugar confinado debido a que el sistema semiautónomo/ autónomo no permite el ingreso de personas o equipos no autorizados al área en producción. La estación debe estar conectada con el circuito pero ser externa a este, de esta forma, los equipos pueden cargar petróleo fuera del circuito, sin detener la operación.
5. El diseño estructural de las carpetas de rodado debiese utilizar hormigón H700 sin la capa superficial de Densit T-100, tal como se utiliza en la actualidad en el III Panel.

Además de las recomendaciones para el diseño minero, se agregan algunas recomendaciones al proceso de operación:

1. Utilización de explosivos alternativos (deflagrantes) para la reducción secundaria con tal de disminuir pérdidas por detención y evacuación de las calles colindantes.
2. Habilitación de un sistema de despacho, con esto tener un sistema en línea que entregue todos los KPI del nivel, tales como rendimientos por hora, primera carga del equipo, demoras, etc. de tal manera de estar constantemente controlando la operación y evaluando factores a gestionar.
3. Determinar por procedimiento que el LHD debe cargar con solo 3 paladas el camión, de tal manera de controlar la carga en la tolva y evitar derrames en el circuito.

4. En el caso de que se apruebe el prototipo robótico para el descuelgue de puntos, evaluar la posibilidad de utilizarlo en el proyecto, debido a que este equipo se alinea con la filosofía de quitar al operador de la línea de fuego y el polvo en suspensión.

## 8. Glosario

- Kt/d: Kilo toneladas por día.
- Mt: Mega toneladas.
- Tph: toneladas por hora.
- Ktms: Kilo toneladas de mineral seco.
- Msnm: Metros sobre el nivel del mar.
- Mcfm: Mega pies cúbicos por minuto.
- Cfm: Pies cúbicos por minuto.
- T/h op: Toneladas por hora operativa.

## 9. Bibliografía

1. Castillo H, 2014. Informe técnico. Michelin. Codelco Chile – División Andina.
2. Chacón J, 1980. Block Caving y LHD, Reflexiones sobre mallas de extracción, pp. 415-428.
3. Chang, Kim. 2009. Diseño y evaluación técnico económica de un nuevo sistema de carguío y transporte para la minería de hundimiento. Departamento de minas, Universidad de Chile.
4. Diering Tony, 2008. Block cave scheduling with a piece of paper. 5th International Conference and Exhibition on Mass Mining, Luleå Sweden.
5. Fuentes Luis, 2013. Post – evaluación técnica y económica del método de explotación Front Caving en El Teniente. Departamento de minas, Universidad de Chile.
6. Gerencia Minas, 2011. Presentación Cuerpos de Alta Ley. Codelco Chile - División Andina
7. Hustrulid William, 2001. Panel Caving Underground Mining Methods SME.
8. Laubscher, D. 2000. A practical manual on block Caving. International Caving Study.
9. Le Feaux R. 1997. Manejo de minerales en explotaciones subterráneas, René Le Faeux, (pp 50-54). Departamento de Minas, Universidad de Chile.
10. Méndez D, Fenner L, Bravo C. 2015. (a) Informe Final Ingeniería Conceptual, Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Superintendencia de Innovación, División Andina, CODELCO
11. Méndez D, Fenner L, Bravo C. 2015. (b) Diagrama de perforación socavación área inicial. Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Superintendencia de Innovación, División Andina, CODELCO
12. Mengoya M, Méndez D, Fenner L, Bravo C. 2015. Diseño proceso de operación para extracción y transporte en el manejo de materiales, III Panel Extendido (P213-EST-2000-MI-002). Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Superintendencia de Innovación, División Andina, CODELCO
13. Nicholas D E, 1981. Method Selection – A numerical Approach in design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines.
14. Nueva Minería. Santiago, Chile. (6). 2009

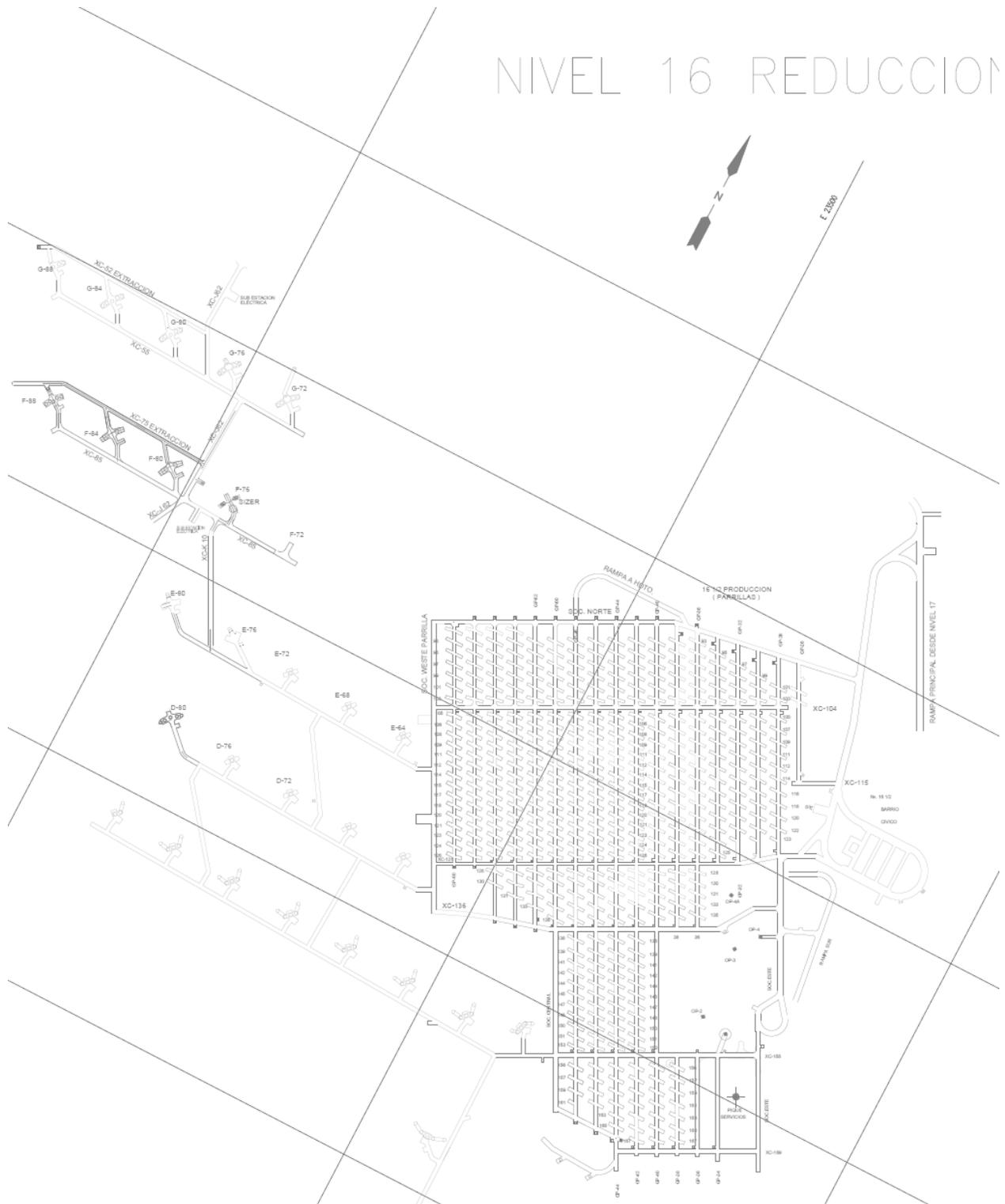
15. Ortiz Julian, 2008. Apunte de Explotación de Minas - MI75E. Departamento de minas, Universidad de Chile.
16. Ortiz Julian, 2010. Cátedra Minería – Introducción a los métodos de explotación. Departamento de minas, Universidad de Chile.
17. Peeke, 1943 Discussion of the paper Selection of a Mining system by R K Warner, AIME Trans Met Min Nonmet Min.
18. Pino N, Prado M. 2012. Informe técnico Prueba de LHD semi autónomo en mina subterránea de División Andina, Gerencia Minas, División Andina, Codelco.
19. Rivero Víctor, 2008. Cátedra de Diseño de minas subterránea -MI58B. Diseño de método de explotación Block/Panel Caving. Departamento de minas. Universidad de Chile.
20. Vargas Marcelo, 2014. Cátedra Diseño Minero – MI6072. Elementos claves del diseño subterráneo. Departamento de minas, Universidad de Chile.
21. Zurita F. 2011. Extracción con LHD semiautónomo en División Andina, Departamento Ingeniería en Minas. Universidad de Santiago.



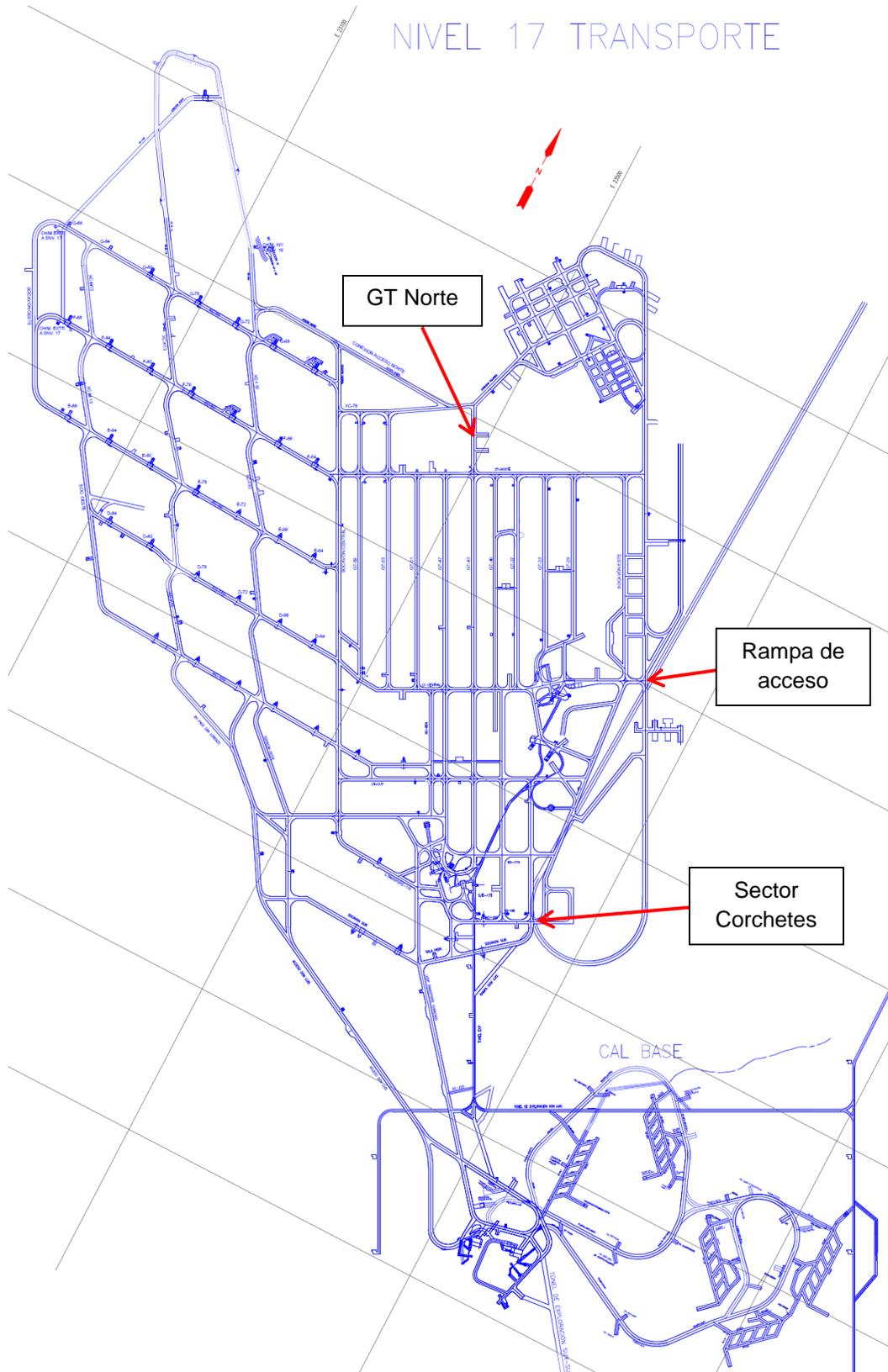




# Anexo D: Plano Nivel de reducción (Nivel 16 ½), III Panel



# Anexo E: Plano Nivel de Transporte (Nivel 17), III Panel



## Anexo F: Tiempos de maniobra en descarga (Zurita, 2011)

Intento	Tiempo [min]		
	Operador 1	Operador 2	Operador 3
1	26.5	26.3	29.6
2	34.2	28.6	30.7
3	53.5	27.7	29.8
4	39.1	26.1	35.6
5	39.2	22.6	19.5
6	42.4	22.8	26.5
7	38.5	26.8	34.2
8	50.5	24.1	28.4
9	42.4	23.4	23
10	30.1	26.2	29.4
11	26.6	38.1	25
12	33.9	20	26
13	45.6	22.1	29.5
14	40.1	22.9	30.4
15	39.2	20.5	29.8
16	43.1	22.4	34.4
17	39.3	21.1	21.2
18	49.8	20.3	26.5
19	43.4	22.9	35.1
20	30.1	21.2	28.4
21	27.8	22.1	23.2
22	33.2	23.8	29.4
23	40.3	23.3	24.8
24	38.9	21.6	26.3
25	39.2	22.9	29.6
26	43.1	21.3	25.4
27	38.5	46.9	29.8
28	30.2	21.7	25.3
29	43.2	21.8	23.2
30	30.4	22.7	26.5
31	27.8	24.6	31.2
32	34.2	22.4	29.1
33	45.1	20.7	23.1
34	39.1	25.3	29.4
35	39.2	22	24.9
Prom	38.2	24.3	27.8

## Anexo G: Tiempos de ciclo CAEX CAL, desde C01 a PT5

Tiempo/Ciclo	Viaje de PT5 a C01	Espera por camión 1	Posicionamiento pto carga	Carga	Espera por camion	Viaje de C01 a PT5	Posicionamiento PT5	Descarga	Total
1	01:41	08:12	01:33	07:25	00:47	02:25	00:00	00:30	22:33
2	01:34	00:42	01:22	03:50	01:18	00:00	00:00	00:33	09:19
3	01:40	01:17	01:25	03:27	00:00	03:21	00:00	00:36	11:46
4	01:24	00:13	01:14	04:04	00:00	02:34	00:00	00:55	10:24
5	02:28	00:00	01:20	04:36	00:26	02:51	00:00	00:31	12:12
6	02:00	03:38	01:21	03:14	00:28	03:54	00:00	00:34	15:09
7	01:49	01:50	01:27	03:21	00:00	02:47	00:00	00:36	11:50
8	01:41	00:00	01:43	03:15	02:49	02:13	00:00	00:42	12:23
9	02:40	01:10	01:35	03:11	00:00	02:28	00:00	00:38	11:42
10	01:57	02:58	01:51	04:07	00:00	02:39	00:00	00:35	14:07
11	01:14	01:27	01:00	02:30	00:00	01:59	00:34	00:26	09:10
12	01:05	00:43	00:35	03:39	00:00	01:20	00:23	00:30	08:15
13	00:56	00:34	00:32	02:30	00:00	01:37	00:22	00:29	07:00
14	00:58	03:00	00:48	02:51	00:00	01:40	00:29	00:26	10:12
15	01:20	00:56	01:00	02:30	00:00	01:32	00:26	00:30	08:14
16	00:57	00:40	00:40	02:07	00:00	01:35	01:25	00:28	07:52
17	01:10	00:55	00:50	03:30	00:00	01:40	00:30	00:29	09:04
18	01:07	01:03	00:53	02:30	00:00	01:18	00:26	00:29	07:46
19	01:16	01:15	00:50	02:17	00:00	01:37	00:21	00:30	08:06
20	01:10	01:35	00:58	02:38	00:00	01:36	00:32	00:28	08:57
22	01:14	01:39	01:10	03:36	00:00	01:54	00:40	00:28	10:41
23	01:10	00:54	00:55	03:34	00:00	03:54	00:30	00:28	11:25
24	01:05	00:32	01:11	03:08	00:00	01:44	00:33	00:22	08:35
Promedio	01:28	01:32	01:08	03:23	00:35	02:07	00:33	00:32	10:44

\*Los valores en la tabla que no fueron medidos se entregaron como ceros.

## Anexo H: Tiempos de ciclo CAEX CAL, desde C01 a Tolva Sur (OP9)

Tiempo/Ciclo	Viaje de Tolva Sur a C01	Espera por camión 1	Posicionamiento pto carguío	Carguío	Espera por camion	Viaje de C01 a Tolva Sur	Posicionamiento Tolva Sur	Descarga	Total
1	04:15	00:00	01:24	04:49	00:00	03:41	00:26	00:00	14:35
2	05:38	00:42	01:18	05:14	02:03	03:27	00:31	00:41	19:34
3	03:47	00:00	01:21	05:21	00:00	03:42	00:00	00:51	15:02
4	03:23	00:00	01:21	06:05	00:00	03:27	00:10	00:41	15:07
5	04:00	00:11	01:22	05:54	00:43	03:13	00:00	00:48	16:11
6	03:56	00:00	01:28	03:45	01:46	03:38	00:00	00:43	15:16
7	03:56	00:55	01:33	04:52	00:19	04:06	00:00	01:03	16:44
8	04:28	00:18	01:30	04:55	00:00	04:45	00:00	00:39	16:35
9	03:05	01:00	01:18	04:30	00:00	04:54	00:00	00:30	15:17
10	02:37	01:07	00:32	03:56	00:00	03:07	00:32	00:30	12:21
11	02:20	00:55	01:10	06:06	00:00	03:23	00:35	00:30	14:59
12	02:39	02:16	00:50	05:42	00:00	02:56	00:12	00:22	14:57
13	02:14	00:23	01:00	06:30	00:00	03:06	00:15	00:27	13:55
14	02:30	00:30	01:04	06:34	00:00	02:20	00:13	00:28	13:39
15	02:32	01:00	00:46	07:00	00:00	03:17	00:10	00:32	15:17
16	03:09	01:24	01:00	07:30	00:00	03:10	00:13	00:21	16:47
17	02:28	02:28	00:50	06:35	00:00	03:02	00:16	00:34	16:13
Promedio	03:21	01:01	01:10	05:36	01:13	03:29	00:19	00:36	15:26

\*Los valores en la tabla que no fueron medidos se entregaron como ceros.