



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

**ASIGNACIÓN DINÁMICA DE OPERADORES DE LHD PARA OPERACIÓN A
DISTANCIA EN MINERÍA SUBTERRÁNEA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

FRANCISCO ALFREDO CARRASCO JEREZ

**PROFESOR GUÍA
IVÁN BRAGA CALDERÓN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
LUIS ZAVIEZO SCHUWARTZMAN
OCTAVIO ARANEDA OSÉS
GERMÁN FLORES GONZALEZ**

Este trabajo ha sido apoyado por la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE:** Magister en
Administración de Empresas, versión
Industria Minera
POR: Francisco Alfredo Carrasco Jerez
PROFESOR GUÍA: Iván Braga Calderón

ASIGNACIÓN DINÁMICA DE OPERADORES DE LHD PARA OPERACIÓN A DISTANCIA EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

El desarrollo de los proyectos estructurales subterráneos de Codelco permitirá incorporar una nueva visión del negocio de minería subterránea masiva, basada en las tendencias observadas en cuanto a tecnología, gestión operacional, recurso humano y sustentabilidad. En este contexto es que la tesis propuesta participa, apoyando la implantación de una operación y gestión desde superficie de un proceso productivo importante como el que realiza el equipo LHD Semi Autónomo (LHD SA).

Para ello, se desarrollan en esta tesis los aspectos formales que permitan implementar un sistema de asignación dinámica de tareas telecomandadas asociadas al carguío de puntos de extracción en la operación de minas subterráneas explotadas por hundimiento de bloques. Se estudia en particular la aplicación de este tipo de sistema para mejorar la productividad del sistema de extracción de mineral de las operaciones de la futura Mina Chuquicamata Subterránea (PMChS). Finalmente, se profundiza en algunos aspectos tecnológicos, de gestión, culturales y otros elementos que puedan representar factores de riesgo para la captura total o parcial del valor asociado a la propuesta.

Como conclusión, se obtiene que el proceso conducido por los equipos LHD SA con Operadores en superficie sigue la forma de un proceso de cola y, por lo mismo, es posible aplicar gestión de tiempos de espera (o teoría de colas), de forma similar a como se realiza en otras industrias. En particular, desde el punto de vista teórico, el proceso del LHD SA se podría estudiar en base a un modelo markoviano del tipo M/M/c/FIFO/K. En efecto, la simulación detallada realizada en la Ingeniería Básica del PMChS y los resultados basados en un enfoque analítico son consistentes entre sí, lo que muestra la validez de los resultados obtenidos.

Finalmente, el sistema de asignación dinámica propuesto para el proceso de operación de equipos LHD's SA conlleva oportunidades de eficiencia y productividad que permiten optimizar el sistema por sobre los resultados que puedan lograrse utilizando sistemas de asignación estática.

Los riesgos de una implantación exitosa están asociados principalmente a los aspectos culturales que conlleva su materialización. Además, es también importante el desarrollo de aspectos técnicos dentro de los próximos años, tales como la interoperabilidad de sistemas, la consolidación de una filosofía de operación adecuada y la implementación del centro integrado de operación y gestión del PMChS.

DEDICATORIA.

A Antonia y Lilian...

AGRADECIMIENTOS.

A todos los colegas que aportaron con su opinión y/o trabajo al desarrollo de esta tesis.
En particular, a Sergio Bustamante y Germán Flores quienes me brindaron todo el apoyo y soporte para iniciarla y terminarla.

También quiero ofrecer un agradecimiento especial a Liloca que estuvo conmigo siempre en toda esta aventura.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE ILUSTRACIONES	ix
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. CONTEXTO DE LA INDUSTRIA.....	11
1.2. PROYECTO CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA	13
1.3. DESARROLLO TECNOLÓGICO	16
1.3.1. LHD SEMI AUTÓNOMO (LHD SA).....	17
1.3.2. ESTADO DE MADUREZ TECNOLOGÍA	17
1.4. CENTROS INTEGRADOS DE OPERACIÓN Y GESTIÓN	18
1.5. PLANIFICACIÓN.....	19
1.6. CONTEXTO EN CODELCO.....	20
2. UNA PROPUESTA DE FUTURO PARA LA MINERÍA SUBTERRÁNEA	21
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	21
2.2. OBJETIVOS	23
2.2.1. OBJETIVO GENERAL	23
2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2.3. METODOLOGÍA	23
2.4. ALCANCE	25
3. MARCO CONCEPTUAL	26
3.1. CENTRO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN PMCHS	26
3.2. CONCEPTOS DE GESTIÓN DE TIEMPOS DE ESPERAS.....	27
3.2.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE COLAS	28
3.2.2. NOTACIÓN DE KENDALL	29
4. ASIGNACIÓN DINÁMICA DE OPERADORES APLICADA A PRODUCCIÓN DE MINAS MEDIANTE LHD SA	32
4.1. TEORÍA DE COLAS APLICADA AL CASO LHD SA (CASO GENERAL).....	32
4.1.1. GENERALIDADES.....	32
4.1.2. CASO LHD MANUAL.....	32
4.1.3. CINEMÁTICA DEL EQUIPO LHD	33
4.1.4. PRODUCTIVIDAD DEL EQUIPO LHD.....	35
4.1.5. CASO LHD SA	36
4.1.6. FUENTES DE VARIABILIDAD.....	42
4.2. APLICACIÓN AL CASO PARTICULAR DISEÑO VIGENTE PMCHS	43
4.2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO PMCHS	43
4.2.2. CASO LHD SA PMCHS BAJO SIMULACIÓN.....	43

4.2.3.	CASO LHD SA PMCHS BAJO ESTRUCTURA DE MODELO DE COLAS.....	49
4.3.	AJUSTE DEL MODELO PROPUESTO.....	56
4.4.	EJERCICIOS DE PRODUCTIVIDAD BASADOS EN TEORÍA DE COLAS.....	58
4.4.1.	SUPUESTOS.....	59
4.4.2.	CASOS PROPUESTOS.....	60
4.5.	SENSIBILIDAD A VARIABLES RELEVANTES.....	61
4.5.1.	LÓGICA DE ASIGNACIÓN Y SU EFECTO EN LOS TIEMPOS DE ATENCIÓN.....	61
4.5.2.	VARIACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE OPERADORES DURANTE EL TURNO.....	62
4.5.3.	CAMBIOS AL UNIVERSO DE CLIENTES.....	63
4.5.4.	CASOS PROPUESTOS DE SENSIBILIDAD.....	64
5.	IMPLICANCIAS AL NEGOCIO.....	65
5.1.	PRODUCTIVIDAD.....	65
5.1.1.	RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD.....	66
5.2.	RIESGOS Y OPORTUNIDADES.....	69
5.2.1.	DISEÑO ENCUESTA.....	69
5.2.2.	RESULTADOS.....	73
5.3.	DISCUSIÓN.....	77
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1.	CONCLUSIONES.....	82
6.2.	RECOMENDACIONES.....	86
6.2.1.	SIMULACIONES Y ESTUDIOS DE MODELACIÓN.....	87
6.2.2.	ROADMAP DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	87
6.2.3.	OPCIONES DE FUTURO.....	90
6.4.	REFLEXIÓN FINAL.....	91
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	93
8.	GLOSARIO.....	95
9.	ANEXOS.....	97
9.1.	ESTADO DEL ARTE LHD SA EN PMCHS.....	9-1
9.2.	RESPALDO DECISIÓN APLICACIÓN LHD'S SA EN PMCHS.....	9-4
9.3.	CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN.....	9-8
9.4.	FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN.....	9-12
9.4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	9-12
9.4.2.	ETAPA DE PROPAGACIÓN.....	9-13
9.4.3.	ETAPA DE EXTRACCIÓN.....	9-15
9.4.4.	ASIGNACIÓN.....	9-16
9.4.5.	CONSIDERACIONES OPERACIONALES.....	9-16

9.4.6.	DEFINICIÓN DEL USO DEL TIEMPO	9-20
9.4.7.	ETAPA DE OPERACIÓN DE CIERRE.....	9-23
9.5.	DESCRIPCIÓN MODELO DE SIMULACIÓN.....	9-24
9.5.1.	OPERACIÓN DEL MODELO	9-24
9.5.2.	INPUT RELEVANTES.....	9-25
9.5.3.	VARIABLES RELEVANTES.....	9-25
9.6.	RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS	9-26
9.7.	RESULTADO PRODUCTIVIDAD.....	9-38
9.8.	RESULTADOS ENCUESTA	9-41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Funcionalidades requeridas en LHD SA.....	18
Tabla 2: Esquema conceptual de análisis	44
Tabla 3: Parámetros Operación PMCHS	51
Tabla 4: Resultados Comparación simulación y modelo teórico	57
Tabla 5: Resumen de Casos Sensibilidad 1 de 2.....	60
Tabla 6: Resumen de Casos Sensibilidad 2 de 2.....	64
Tabla 7: Resumen resultados de productividad	67
Tabla 8: Pregunta 1 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	70
Tabla 9: Pregunta 2 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	70
Tabla 10: Pregunta 3 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	70
Tabla 11: Pregunta 4 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	71
Tabla 12: Pregunta 5 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	71
Tabla 13: Pregunta 6 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	71
Tabla 14: Pregunta 7 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	72
Tabla 15: Pregunta 8 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	72
Tabla 16: Pregunta 9 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	73
Tabla 17: Pregunta 10 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	73
Tabla 18: Pregunta 11 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	73
Tabla 19: Pregunta 12 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica.....	73
Tabla 20: Resultados Encuesta.....	74
Tabla 21: Descripción de la oportunidad (1/2).....	9-5
Tabla 22: Descripción de la oportunidad (2/2).....	9-7
Tabla 23: Horas operativas año por equipo principal	9-21
Tabla 24: Cálculo Factor Operacional LHD SA	9-22
Tabla 25: Horas operativas año por equipo de apoyo.....	9-23

Tabla 26: Resultados productividad (1 de 3).....	9-39
Tabla 27: Resultados productividad (2 de 3).....	9-39
Tabla 28: Resultados productividad (3 de 3).....	9-40

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Marco Conceptual.....	12
Ilustración 2: Esquema General Proyecto Chuquicamata Subterránea	15
Ilustración 3: Modelo general de manejo de minerales PMCHS	15
Ilustración 4: Equipo LHD SA y Martillo en Subnivel de Producción	16
Ilustración 5: Hipótesis de trabajo – Sistema de Cola LHD SA + Martillo+Operadores..	24
Ilustración 6: Metodología de trabajo propuesta.....	25
Ilustración 7: Concepto CIOG PMCHS.....	26
Ilustración 8: Esquema conceptual teoría de colas	28
Ilustración 9: Esquema conceptual del ciclo típico de un LHD manual	33
Ilustración 10: Cinemática LHD (Tiempo).....	34
Ilustración 11: Cinemática LHD (Distancia).....	35
Ilustración 12: Productividad LHD v/s Distancia de Transporte.....	36
Ilustración 13: Secuencia de interacción LHD SA y CIOG	37
Ilustración 14: Esquema conceptual del ciclo típico de un LHD SA	38
Ilustración 15: Ejemplo de ciclo sin formación de cola	40
Ilustración 16: Ejemplo de ciclo con formación de cola.....	41
Ilustración 17: Capacidad productiva escenarios simulación IB PMCHS	46
Ilustración 18: Holgura escenarios simulación IB PMCHS	46
Ilustración 19: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 1	46
Ilustración 20: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 2	47
Ilustración 21: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 3	47
Ilustración 22: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 4	47
Ilustración 23: Comparación entre resultados simulación y función exponencial.....	49
Ilustración 24: Ejemplo Cola M/M/C/GD/K (4,02 s / 40 s / variable / GD / 32)	53

Ilustración 25: Productividades operadores de telecomandos consideradas en Ingeniería Básica PMCHS.....	54
Ilustración 26: Tiempo de ciclo LHD SA Caso Simulación y Teoría de Colas	57
Ilustración 27: Productividad LHD SA Caso Simulación y Teoría de Colas	57
Ilustración 28: Esquema general de sistema de colas con operadores individuales	58
Ilustración 29: Esquema general de sistema de colas con operadores agrupados.....	59
Ilustración 30: Distribución de distancias entre punto de vaciado y puntos de extracción	61
Ilustración 31: Diagrama general productividad en minas subterráneas	65
Ilustración 32: Resumen resultados de productividad	67
Ilustración 33: Propuesta de Roadmap para desarrollo Filosofía Operación Basada en Industry 4.0.....	89
Ilustración 34: Vista en Planta Nivel de Producción típico Macro Bloque.....	9-2
Ilustración 35: Futura Infraestructura del CIO&G PMCHS	9-8
Ilustración 36: Arquitectura lógica del CIO&G	9-10
Ilustración 37: Planta CIOG.....	9-11
Ilustración 38: Zonificación Final de Mallas de Extracción Nivel 1841 Ingeniería Básica	9-12
Ilustración 39: MB típico y su infraestructura.....	9-13
Ilustración 40: Avance en la apertura de bateas en los Macro Bloques centrales.....	9-14
Ilustración 41: Sistema con barreras físicas y lógicas que aíslan una semicalle.....	9-18
Ilustración 42: MB tipo con distintas actividades y las barreras que aíslan las semicalles.	9-19
Ilustración 43: Definición uso del tiempo	9-20
Ilustración 44: Resultados sensibilidad a variables relevantes.....	9-38

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO DE LA INDUSTRIA

El desarrollo de los supercaves, o minas subterráneas de gran escala capaces de competir en capacidad productiva y costos con explotaciones a rajo abierto, ha sido la tendencia observada durante los últimos 10 años en los proyectos mineros y se prevé una tendencia creciente en el futuro. Esto, sumado a la aparición de nuevas variables tales como el incremento de las exigencias de las comunidades y del contexto legal, laboral y medioambiental que rodea a la minería, hacen previsible complejidades crecientes para el desarrollo futuro de las explotaciones subterráneas, en la forma que se conocen actualmente (Araneda 2014). Ante este escenario, el desarrollo de una visión de largo plazo para el desarrollo del negocio subterráneo es un desafío fundamental para garantizar la sustentabilidad de esta actividad económica (Flores 2014).

Los supercaves incluyen minas y proyectos tales como Chuquicamata Subterránea (140 ktpd Codelco, Chile), Nuevo Nivel Mina (135 ktpd Codelco, Chile), Grasberg (160 ktpd Freeport, Indonesia), Cadia East (70 ktpd Newcrest, Australia), Resolution (80 ktpd Rio Tinto & BHP, USA), Oyu Tolgoi (95 ktpd Rio Tinto, Mongolia), entre otras, como los grandes ejemplos de esta nueva tendencia mundial. La mayor parte de ellos, sino todos, poseen características particulares de complejidad creciente tales como menores leyes, altas tasas de producción, profundidad de los yacimientos, dureza del mineral, alto contenido de impurezas, altas temperaturas, ruidos, polvos, vibraciones, sismicidad, localización en zonas remotas, disponibilidad de insumos (agua, energía, otros) y otras no técnicas, tales como involucramiento de comunidades, calidad y exigencias del recurso humano, barreras institucionales y legales, entre las más importantes (Pizarro 2015).

Por otro lado, los antecedentes de las tendencias mundiales observadas en procesos industriales, específicamente aquellos aplicables a la extracción masiva de minerales vía subterránea, se pueden resumir en cinco pilares importantes como elementos emergentes de interés a ser considerados:

1. La tendencia de concentrar la gestión del negocio en centros integrados de operación y gestión basado en los avances en telecomunicaciones, sensores y tratamiento masivo de datos (Carrasco 2012) (Fisher 2012);
2. El desarrollo de tecnologías aplicables al proceso de extracción subterránea basadas en conceptos que favorecen la automatización total o parcial (tales como LHD SA, Minería Continua, Pre-Acondicionamiento intensivo, entre otras), incorporando adicionalmente aspectos que provienen del área TICAR: IoT, Big Data, realidad aumentada, por nombrar algunas (Lingman 2013) (Lee 2014) (Fisher 2012);
3. Modelos de gestión operativa, tales como simulación y calibración en base a modelos estadísticos/predictivos, modelos matemáticos aplicados a usos industriales, asignación dinámica, entre otros (Lingman 2013) (Lee 2014);

4. Las nuevas tendencias en materia laboral, que involucran procesos de formación, entrenamiento y capacitación de profesionales, técnicos y obreros, en general, más exigentes en términos de calidad de trabajo, condiciones higiénicas, distancia a centros productivos, beneficios y productividad, entre otros (Pizarro 2015);
5. La nueva realidad política en que se desarrollan los proyectos, dónde conceptos como ética, responsabilidad social, licencia para operar, entre otros, se sumaron a aquellos acuñados en las décadas precedentes, tales como como medio ambiente, comunidades, seguridad y salud ocupacional (Pizarro 2015).

La oportunidad que brinda el desarrollo de los actuales proyectos estructurales de Codelco permitirá apoyar el desarrollo de esta nueva visión del negocio de minería subterránea masiva. En opinión del autor, es un imperativo desarrollarlos en base a nuevos paradigmas que permitan su éxito en las variables en las cuales se desenvolverá el negocio.

En este contexto, es que la tesis se plantea el desafío de transformar la filosofía operacional subterránea desde un conjunto de operaciones unitarias a un proceso controlado, integrado, predecible, trazable, seguro y sustentable. El aporte de la misma permitirá garantizar la operación y gestión desde superficie de un proceso productivo importante como lo es el LHD SA, permitiendo además la implementación de una filosofía operacional de alta adherencia con la estrategia de la empresa. Conceptualmente, este proceso de transformación se muestra en la Ilustración 1.

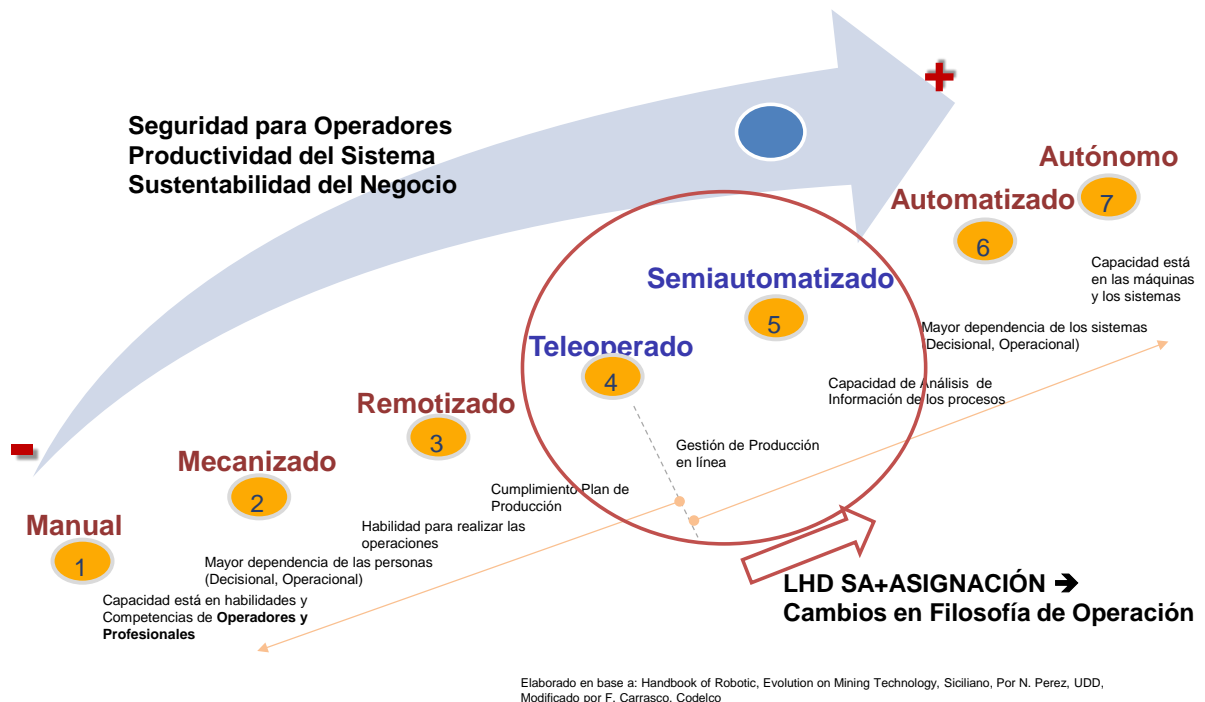


Ilustración 1: Marco Conceptual

El marco conceptual presentado lleva a definiciones del tipo Smart Factory y/o Industry 4.0¹, tendencias mundiales en desarrollo con foco en procesos industriales, cuya denominación corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción utilizando los conceptos de avances en sistemas Ciber-Físicos, Internet de las cosas (IoT) e Internet de los Servicios (IoS) (Hermann 2015). El objetivo que se pretende alcanzar es la puesta en marcha de un gran número de fábricas inteligentes, capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades y a los procesos de producción, así como a una asignación más eficaz de los recursos, abriendo así la vía a una cuarta revolución industrial.

A mayor abundamiento, el diseño de procesos tipo Industry 4.0 contempla al menos los siguientes principios rectores: Interoperabilidad, Virtualización, Descentralización, Capacidad de análisis en tiempo real, Orientación al servicio y Modularidad. Todos estos aspectos mencionados son temas de interés para el desarrollo de la presente tesis por cuanto marcan un marco conceptual de análisis y búsqueda de condiciones mínimas para el desarrollo de la propuesta levantada (Paredes 2015).

1.2. PROYECTO CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA

El PMCHS contempla el emplazamiento de una mina subterránea de cuatro niveles de explotación y la infraestructura correspondiente para recuperar aproximadamente 1.760 millones de toneladas de mineral de cobre y molibdeno, durante un período de operación de al menos 39 años, precedida por una fase de construcción y puesta en marcha cercana a los 8 años (ver Ilustración 2), en reemplazo del actual rajo abierto que gobierna sus operaciones (PMCHS 2013 a).

El inicio de la producción de la mina subterránea se contempla a inicios del año 2019, con un ramp-up productivo de siete años, llegando a una producción diaria de 140.000 toneladas diarias de mineral el año 2025.

La explotación se desarrollará aplicando el método de hundimiento por bloques, en configuración de Macro Bloques (MB). Este método masivo ofrece ventajas en costos y capacidades de producción, con una buena adaptación a las condiciones geotécnicas presentes en el yacimiento, permitiendo adaptarse fácilmente a otras opciones tecnológicas, dada la naturaleza modular de su diseño.

El proceso de manejo de minerales definido por el PMCHS abarca desde las operaciones de extracción en el nivel de producción de la mina realizadas en lo principal por equipos LHD's y martillos semiestacionarios, traspaso de mineral vía piques con parrillas, chancado primario, transporte intermedio por correas, acopio interior en silos reguladores de carga, transporte principal subterráneo y en superficie mediante correas

¹ Definiciones similares pueden ser: Integrated Industry, Smart Manufacturing, Advanced Manufacturing, Industrial Internet, entre otras.

de gran tamaño y potencia, y finalmente la entrega de mineral en el área de chancado primario de la actual planta concentradora de la División Chuquicamata. La Ilustración 3 muestra el modelo general de manejo de minerales del PMCHS.

Los MB's tienen un tamaño promedio en torno a los 36.000 m² de área basal. Se requieren 12 de estas unidades operando simultáneamente para alcanzar la producción deseada.

En resumen, algunos elementos característicos del PMCHS son los siguientes:

- Block caving variante macrobloques con un aporte de mineral en régimen de 140 ktpd al año 2025;
- Manejo de minerales en régimen: 32 LHD SA operativos, 80 Martillos semiestacionarios, 24 Chancadores de mandíbulas, 25 Km de correas, 8 Jumbos cachorreros, entre otros. Un esquema general se presenta en la Ilustración 3;
- Filosofía de operación basada en concepto de Centro Integrado de Operación y Gestión (CIOG)en superficie;
- Sistema de extracción minera (subnivel de producción) basado en sistema batch tipo LHD SA y Martillos semiestacionarios, ambos teleoperados desde superficie;
- Ambiente de operación agresivo (polvo, sílice y temperatura, entre otros). Se esperan condiciones de temperatura en torno a los 20°C, en un entorno de mina seca o de muy baja humedad, lo que favorecería la generación de polvo con un nivel de sílice importante que debe ser mitigado;
- 39 años de vida útil, en un escenario de proyecto que requiere la explotación secuencial de 4 niveles. Un esquema general se muestra en la Ilustración 2.

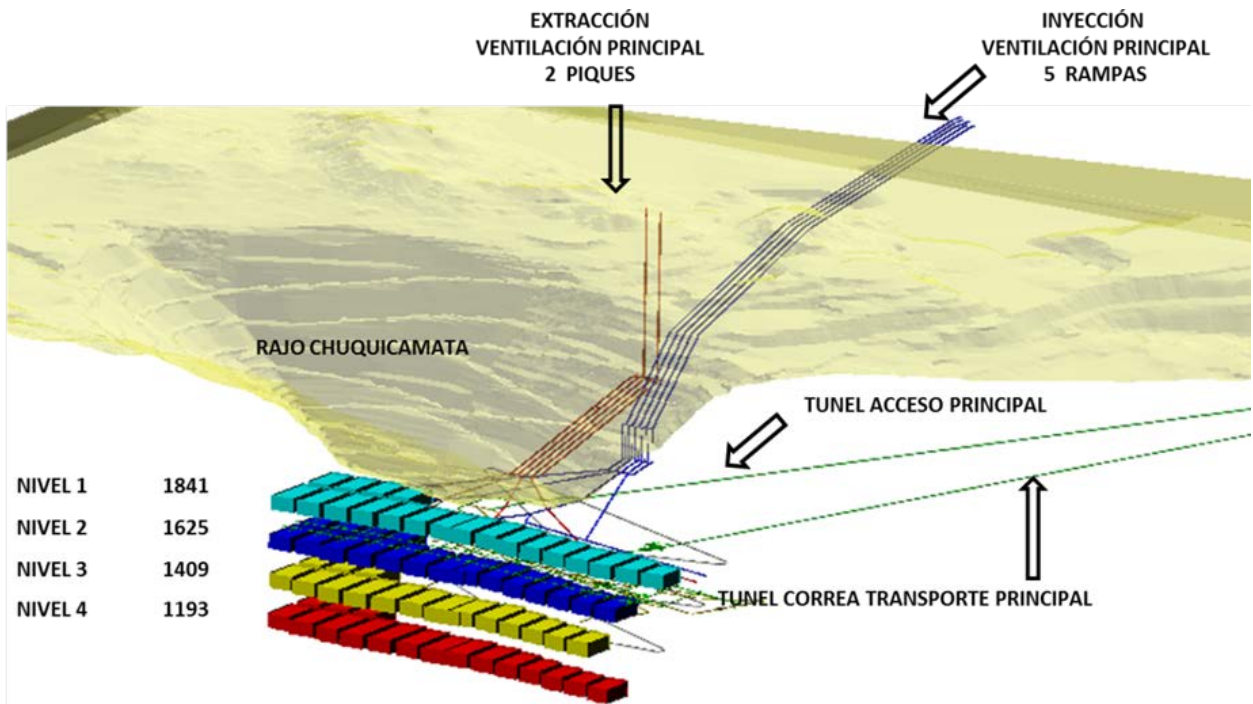


Ilustración 2: Esquema General Proyecto Chuquicamata Subterránea

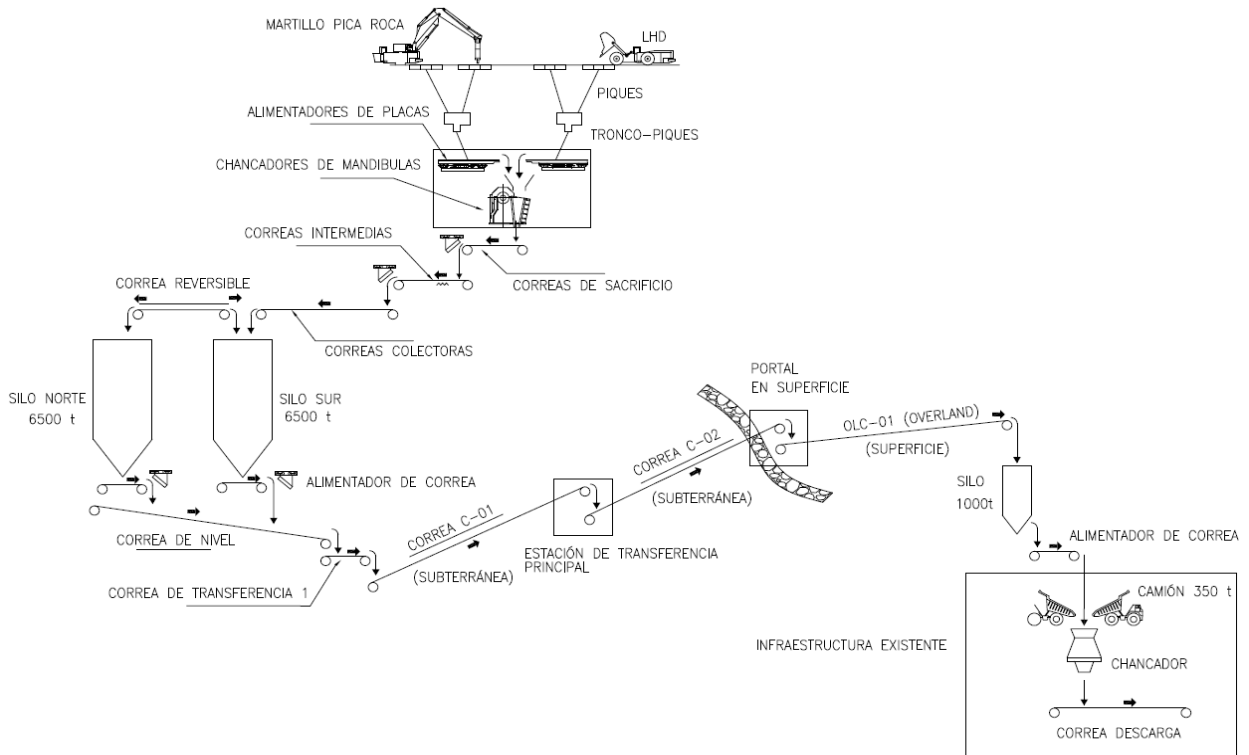


Ilustración 3: Modelo general de manejo de minerales PMCHS

1.3. DESARROLLO TECNOLÓGICO

Para propósitos del presente trabajo, se asume, con respaldo de la evidencia empírica, que el sistema productivo localizado en el nivel de producción de un block caving o panel caving como el foco primario de cualquier iniciativa de desarrollo tecnológico asociado a la visión de minería del futuro discutida en el punto 1.1 de este documento. El proceso aguas abajo, basado en chancadores, alimentadores y correas en serie y en paralelo, es conocido y opera normalmente como un proceso industrial tipo Planta, los cuales con aportes menores pueden ser integrados completamente a sistemas de automatizados operados remotamente.

Se tiene en resumen las siguientes características relacionadas con el proceso minero que se desarrolla en el subnivel de producción (ver Ilustración 4):

- LHD SA: Tecnología emergente, con un sistema autónomo en transporte y descarga, requiere de asistencia humana remota para operación de carga. En el Anexo 1 se presenta mayor información respecto del estado del arte de esta tecnología para el PMCHS (Laarsson 2011) (Fishwick 2014) (Schweikart 2004).
- Martillo picador teleoperado: En el caso de la operación de martillos semiestacionarios, estos son de amplio uso en el entorno Codelco y mundial, por ejemplo, Mina Esmeralda de El teniente de Codelco, basó su diseño original en el uso de este tipo de equipos (Barraza 2000).
- Actividades de servicio de diversa índole, tales como descolgadura de puntos de extracción, reducción de tamaño de bolones o colpas en puntos de extracción y/o vaciado, limpieza de calles de producción, traslado de equipos a talleres de mantenimiento o a surtidoras de combustible, entre otras.
- Todas estas actividades son de tipo batch, desarrolladas y gestionadas por humanos y de bajo nivel/potencial de automatización por el momento. Sin embargo, se ejecutan solo si las primeras dos actividades principales no están siendo realizadas y con una frecuencia menor (PMCHS 2013 a).

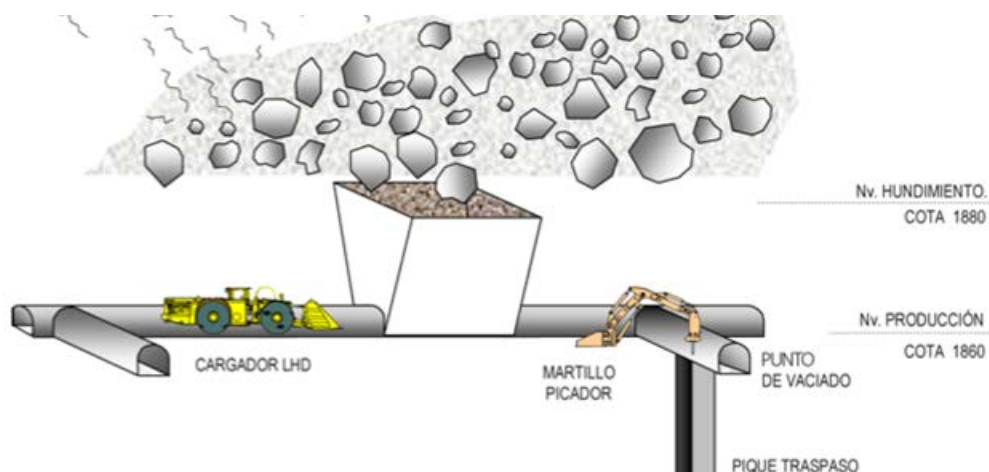


Ilustración 4: Equipo LHD SA y Martillo en Subnivel de Producción

1.3.1. LHD SEMI AUTÓNOMO (LHD SA)

En minería subterránea los equipos LHD's son típicamente usados para transportar roca mineralizada desde los puntos de extracción hasta los puntos de vaciado en los niveles de producción operados por un trabajador a bordo del equipo. Diversas razones han llevado al deseo de automatizar estos equipos, consiguiendo así poder eliminar la presencia de un operador a bordo del vehículo. Para esto se ha introducido una tecnología emergente que permite operar estos equipos de una manera "semi autónoma", es decir, permite el manejo mediante un sistema autónomo las tareas de transporte y descarga, mientras que la operación de carguío en los puntos de extracción se realiza con asistencia humana remota teleoperada; esta modalidad se denomina LHD SA (Fishwick 2014).

El sistema LHD SA ha sido utilizado en diversas operaciones a nivel mundial y específicamente en tres operaciones de la mina El Teniente (Diablo Regimiento, Pipa Norte, y Pilar Norte) de Codelco (Schweikart 2004), con resultados que indican que esta tecnología aún requiere desarrollo para que los sistemas sean más eficientes y puedan coexistir con operaciones auxiliares, aun cuando se ha confirmado ampliamente su factibilidad.

A la fecha, existen 4 marcas a nivel mundial que ofrecen este tipo de sistemas con diferente nivel de desarrollo:

- Sandvik – con su sistema AutoMine (Sandvik 2012).
- Caterpillar – con su sistema MineGem (Fintech 2011).
- Atlas Copco.
- y recientemente GHH con un desarrollo incipiente aun.

Siendo los dos primeros los que poseen a la fecha sistemas en operación más robustos y confiables, en opinión de los especialistas en la materia.

En lo últimos años Codelco decidió probar en la mina subterránea de División Andina la operación LHD SA con las empresas Caterpillar y Altas Copco (2011 y 2012), pruebas que finalizaron durante el año 2012 de forma relativamente exitosa.

1.3.2. ESTADO DE MADUREZ TECNOLOGÍA

Con el objetivo de lograr la automatización de los equipos LHD, Codelco presentó un programa de desarrollo tecnológico compuesto por tres etapas: Alfa, Beta y Gamma, las cuales se irán implementando progresivamente para lograr dentro de los próximos 5 años el desarrollo deseado en términos de madurez tecnológica (Fishwick 2014).

Las tres etapas mencionadas se resumen a continuación:

- Desarrollo Alfa: Primera versión de la tecnología, que solucione problemas actuales.
- Desarrollo Beta: Atacará ciertas falencias tecnológicas y operacionales más complejas detectadas.
- Desarrollo Gamma: Operación full autónoma multimarca.

En la primera etapa, las empresas interesadas presentaron sus propuestas para realizar las Pruebas Alfa en un sector de la mina Esmeralda de División El Teniente de Codelco a partir del año 2016.

Para evaluar las propuestas, Codelco definió sus requerimientos, los cuales consisten en 70 funcionalidades, cada una caracterizada como de carácter crítico, necesario o deseable. Las funcionalidades se dividieron en 6 categorías.

Tabla 1: Funcionalidades requeridas en LHD SA

Categoría	Descripción
1. Reducción y consistencia de tiempos de ciclo	Funcionalidades relacionadas al carguío, transporte y descarga, tales como entrada y salida automática del punto de carguío, asistencia al operador (evitar colisión y/o malas operaciones), toma de control en movimiento, reporte de interferencias en el punto de vaciado e identificación de problemas en la ruta, entre otras.
2. Gestión de información - Reportabilidad	Reportes detallados sobre el desempeño del equipo, monitoreo de signos vitales, registro de situaciones especiales de operación, interfaces usables.
3. Mejorar utilización del sistema	Funcionalidades como limpieza autónoma de calles, operación multiequipo, información sobre el estado de la infraestructura.
4. Aumento de disponibilidad	Calidad, seguridad y redundancia de componentes del sistema. Cumplimiento de disponibilidad de redes de comunicación.
5. Mejoras en el LHD	Sistemas de monitoreo y predicción de fallas, sistemas anticolidión, sistemas contra incendios, interconexión con sistema de mantención.
6. Geometría de Módulos	Creación de calles y accesos en el sistema. Capacidad de operar 2 LHD por calle.

1.4. CENTROS INTEGRADOS DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

El proyecto Chuquicamata Subterráneo considera su operación mediante una plataforma de gestión operacional ubicada en el edificio del Centro Integrado de Operación y Gestión (CIOG), el cual se encuentra emplazado en el Barrio Industrial de superficie. Este centro permitirá, operar, supervisar y gestionar todos los sistemas relacionados con la explotación de la Mina Chuquicamata Subterránea (CHS).

Al interior del CIOG se localizará el centro de operaciones habilitado para la gestión de flotas y la operación de carga asistida de LHD's SA y de picado telecomandado.

El Anexo 3 presenta un mayor detalle referido a la descripción de este sistema.

Otros centros similares se han implementado en operaciones mineras como Rio Tinto (Perth, Australia), Codelco El Teniente (Rancagua, Chile) y Codelco Andina (Los Andes,

Chile), con objetivos diversos y resultados no del todo exitosos, al menos en Chile, en torno al potencial de valor alcanzado. Al respecto, es importante mencionar que en Chile dichos centros se encuentran utilizados muy por debajo de sus capacidades de diseño.

Sistemas similares operan ampliamente en la industria del petróleo y gas, así como en el mundo militar.

1.5. PLANIFICACIÓN

El contexto específico en donde se desarrolla el PMCHS impone desafíos adicionales a los clásicos observados en los métodos de explotación tipo caving. Entre ellos, se han identificado los aportes de dilución provenientes tanto de la falla oeste y el rajo abierto como los principales mecanismos de riesgo asociados al cumplimiento del plan minero, aspectos que serán relevantes por lo menos durante los primeros cinco años de operación.

Como respuesta, la planificación minera requiere definir las diferentes estrategias posibles que permitan, por un lado, dirigir la propagación del caving hacia las zonas recomendadas y por otro, mantener controlada la entrada de dilución durante la vida útil de las áreas productivas.

En este escenario, la complejidad de la disciplina radica en cómo esta mantiene un adecuado control de variables claves del negocio y de la operación, tanto en el largo plazo como en el corto plazo, y de cómo obtener una retroalimentación que permita reformular estrategias y planes de forma oportuna (Raña 2004).

La complejidad es mayor teniendo en cuenta la brecha que frecuentemente existe entre lo que se planifica, lo que se realiza y lo que finalmente se informa. Estos aspectos generan incertidumbre en la gestión del negocio obligándolo a mantenerse en supuestos conservadores y poco flexibles y, que en este caso, podrían cobrar mayor relevancia sabidas las particulares características del proyecto (Carrasco 2012 b).

Lo anterior es una realidad que afecta no solo al PMCHS sino a la mayor parte, si no todas, las operaciones de caving en el mundo. Entre los principales elementos que muestran las brechas del proceso de planificación se pueden mencionar:

- Insuficiente información confiable y oportuna para gestionar el sistema productivo, debido a la naturaleza batch del proceso minero, basado en operaciones unitarias en donde el operador pasa a ser el único que puede informar sobre el origen-destino del mineral extraído, así como otras variables de interés (estado de la infraestructura, visibilidad, puntos de extracción con problemas, etc.).
- Múltiples interfaces con baja trazabilidad respecto a información y decisiones tomadas durante el proceso, que se manifiesta en que frecuentemente muchas decisiones de producción son tomadas con poca o nula información o están basadas en información errónea, incompleta o desactualizada, muchas de ellos

tomadas por agentes que no participan de dicha planificación o que poseen incentivos erróneos respecto de la gestión que participan.

1.6. CONTEXTO EN CODELCO

Codelco vive un proceso de cambio y un impulso estratégico relevante destinado a renovar su capacidad productiva de cara al año 2020, dónde varias minas importantes están desarrollando proyectos de gran magnitud. Este proceso marca un esfuerzo sin precedentes a nivel de desarrollo de proyectos en el mundo.

En lo que respecta al desarrollo de minería subterránea, es opinión del autor que el desarrollo del PMCHS presenta la oportunidad de enfrentar de una forma diferente los aspectos de cultura laboral, tecnología y con paradigmas adaptados para agregar valor al negocio. Esto, lejos de ser una desventaja abre una oportunidad para generar un antes y un después en materia de modelo de negocio para minería subterránea.

En resumen, en opinión del autor se puede decir lo siguiente:

- Ambiente favorable al cambio y a las oportunidades que brindará el desarrollo de los dos proyectos estructurales de Codelco, en particular, el PMCHS, derivado del potencial de sacar de la mina a personal de operaciones que normalmente está en la línea de mayor exposición a ambientes agresivos y poder situarlo en un entorno de calidad de vida sustancialmente de mejor estándar en superficie;
- Interés de Codelco de impulsar operaciones basadas en centros integrados, derivado del valor intrínseco de poder articular de mejor forma tecnología, información (“dato único”) y gestión operativa alineada con el negocio;
- Conciencia Corporativa de que esto requiere cambios al “governance” productivo (filosofía de operación) para materializar lo anterior, en vista de poder capturar el potencial que ofrece el pool de tecnología que se está proponiendo. Dicho de otra forma, no es solo un tema meramente tecnológico, sino el desafío está en cambiar el equilibrio de poderes y su estructura a todo nivel, incluido el management, la organización, los incentivos y el “accountability”;
- Existe relativo consenso en que deberá desarrollarse en paralelo una nueva cultura asociada a la mina subterránea, aspecto que es claro en el caso de Chuquicamata Subterránea, derivada principalmente del cambio del perfil que al menos los futuros operadores de LHD’s SA y Martillos telecomandados deberán tener para poder operar sistemas expertos basados en pantallas, teclados y eventualmente joystick;

Los puntos mencionados serán probablemente las fuentes principales de riesgo que deberán ser gestionadas para materializar un concepto de minería subterránea sustentable y acorde a las nuevas variables que se identifican.

2. UNA PROPUESTA DE FUTURO PARA LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La tesis propuesta busca hacer realidad uno de los elementos que permitirán optimizar el uso de los recursos para la operación de sistemas remotos en salas de operación y gestión localizadas en superficie aplicadas al contexto productivo en minería subterránea por hundimiento de bloques. La misma se enmarca dentro de varios esfuerzos de tipo tecnológicos, concertados o no, que integrados se convertirán en un aporte al proceso de transformación de la filosofía de operación de la minería subterránea masiva.

Los objetivos de este desafío de la transformación de la filosofía de operación de la minería subterránea se pueden resumir en lo siguiente:

- Transformar el quehacer de la cultura productiva actual caracterizada como operación unitaria a un proceso minero integrado, controlado y predecible;
- Buscar tecnología y gestión operacional que permitan mejorar la adherencia de los procesos de planificación-operación. Dicho de otra forma, mejorar el alineamiento de la estrategia del negocio con la estrategia operacional;
- Incorporación de tecnología y/o gestión de operaciones para reducir/controlar la variabilidad del proceso minero;
- Incorporar soluciones que apunten en la dirección de resolver la necesidad de diseños/operaciones seguras, flexibles, sustentables y capaces de alimentar un nuevo paradigma en términos del desarrollo del concepto de Minería Siglo XXI.

En términos simples, el roadmap de la implantación de la nueva filosofía operacional en la cual se apoya el desarrollo de esta tesis requiere de:

- La implementación de un Centro Integrado de Operación y Gestión y sistemas de control producción que comanden los requerimientos de los equipos de producción;
- Incorporación tecnología autónoma o semiautónoma, en particular, del sistema productivo basado en equipos LHD's;
- Operadores ubicados fuera de la mina subterránea que asisten de forma remota en al menos una parte del ciclo de trabajo de los equipos considerados;
- Aplicación de conceptos modernos de gestión de operaciones y logística que hagan factible la operación normal y productiva desde superficie;

En términos resumidos, la aplicación de tecnología semiautónoma de LHD's considerando operación telecomandada desde superficie en el PMCHS planteó la hipótesis de trabajo de que esta actividad podía ser asumida como un caso similar al proceso de operaciones de un *call-center*.

Bajo esta hipótesis, a instancias del PMCHS, se trabajó considerando que la asignación de una máquina telecomandada a un operador se puede realizar a través de dos métodos genéricos: que la máquina sea asignada a un operador específico (asignación estática), o bien, que la máquina se asigne en la medida que se desocupan los operadores (asignación dinámica).

Cabe destacar que la asignación estática ha sido la respuesta natural del medio minero para aprovechar los factores de escala que se abren producto de la tecnología. Esto ha permitido que en casos reales 1 operador pueda operar entre 2 a 4 equipos LHD SA. Estos equipos son asignados de forma estática al operador en cuestión.

Para abordar este tema, se realizó una revisión bibliográfica, y se utilizaron modelos de teoría de colas y de simulación simplificados para evaluar la eficiencia de cada uno de estos métodos. Se encontró que la asignación dinámica es preferible a la estática desde el punto de vista de la eficiencia, y adicionalmente, se afecta menos la productividad del sistema en caso de imprevistos y desperfectos en las máquinas (CEOP 2013).

La respuesta conceptual a tal resultado proviene desde la teoría de colas. Se sabe que la variabilidad degrada explosivamente el funcionamiento de los sistemas (explosión de colas), de modo que cualquier optimización operativa debe contemplar la minimización de la variabilidad en el resultado final, o al menos minimizar el coeficiente de variación. Bajo ciertos supuestos, dicho estudio muestra analíticamente que el método de asignación dinámica de trabajo es teóricamente más productivo.

Las ventajas que muestra la literatura respecto a sistemas que trabajan de forma agrupada (asignación dinámica) establecen el aprovechamiento de factores de escala, la utilización balanceada del sistema y una capacidad de seguridad razonable a niveles que son eficientes. Por el contrario, sus desventajas estarían asociadas a mayor dificultad frente a cambios en la configuración del sistema así como menor capacidad de especialización².

El PMCHS construyó un modelo de simulación detallado durante la ingeniería básica que utiliza como principio la interacción de los equipos LHD's SA y Martillos telecomandados con el CIOG y sus teleoperadores basados en estas premisas, con el que se desarrollaron una serie de ejercicios para definir el número de operadores requeridos para garantizar la producción (PMCHS 2013 b).

Sobre los elementos conceptuales mencionados, la presente tesis persigue la materialización de los beneficios que sistemas de asignación dinámica pueden conllevar en el contexto productivo asociado al PMCHS en particular, y a la minería subterránea en un contexto amplio.

Para ello se profundiza el análisis referente a cómo debiera funcionar en la práctica un sistema como el planteado, buscando elementos técnicos y de gestión que faciliten o dificulten su implantación.

² Apuntes de Clases MBA Minero

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta que permita implementar y optimizar un sistema de asignación dinámica de tareas telecomandadas (remotas) asociadas al carguío de puntos de extracción para actividades productivas en minería subterránea por hundimiento de bloques.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener una expresión matemática simplificada basada en teoría de colas que permita generar resultados robustos y permita evaluar cambios tecnológicos y/o culturales y su impacto en la productividad del sistema.
2. Generar una matriz de riesgos asociada a la implantación y operación de la propuesta desarrollada en la presente tesis.
3. Realizar una propuesta del perfil técnico/profesional esperado requerido para operar y gestionar sistemas como el desarrollado en la presente tesis.

2.3. METODOLOGÍA

La metodología considera trabajar en base a la hipótesis de que el sistema productivo basado en el conjunto LHD SA con operadores en sala ubicada en superficie puede ser resuelto utilizando modelos de teoría de colas adaptados al problema, con lo cual se pueden optimizar las configuraciones propuestas buscando maximizar la productividad de la operación. Como comentario adicional, en opinión del autor, este concepto puede ser también fácilmente aplicado a la teleoperación de martillos.

Un esquema conceptual de la propuesta se puede ver en la Ilustración 5, dónde se hace notar la importancia del rol del asignador, que monitorea el desarrollo del sistema, tanto a nivel de equipos en terreno como de operadores en CIOG. El asignador es el responsable de realizar la decisión de dónde debe ir el LHD SA y a quién y en qué momento asignar de forma dinámica al operador que realizará tanto el carguío remoto o la reducción de bolones en punto de vaciado según corresponda.

Los aspectos formales serán presentados durante el desarrollo de la tesis, procurando una resolución simplificada que permita mostrar elementos que habiliten ratificar la hipótesis de trabajo.

Un estudio más detallado deberá ser conducido posteriormente si se requiere profundizar en los aspectos matemáticos formales de la teoría y su aplicabilidad.

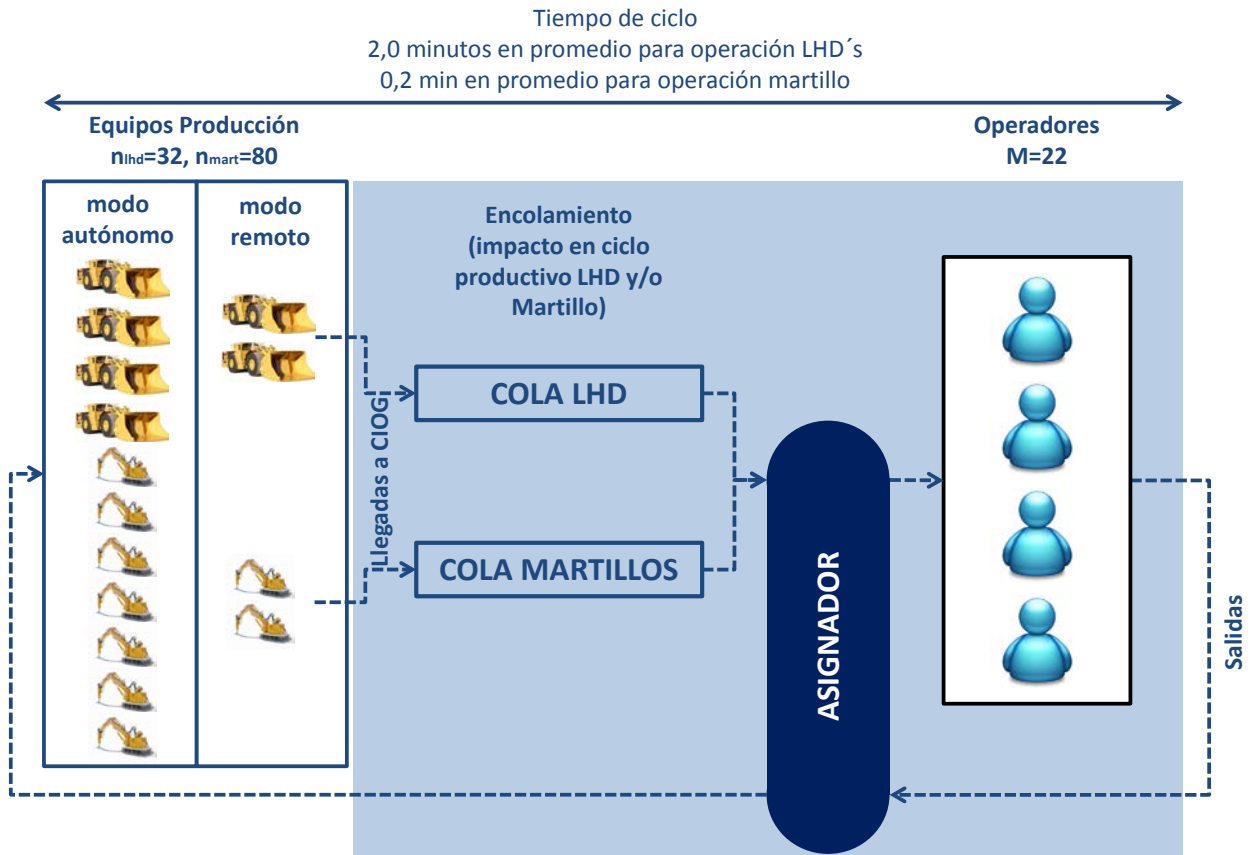


Ilustración 5: Hipótesis de trabajo – Sistema de Cola LHD SA + Martillo+Operadores

Para mostrar lo anterior, se establece el desarrollo de 4 temas relevantes:

1. Profundizar el conocimiento del modelo de simulación existente (modelo detallado de Simulación PMCHS), así como la filosofía de operación implícita, de forma de extraer datos que puedan apoyar el desarrollo del tema.
2. Avanzar en el estudio de casos y de la literatura disponible que caracteriza los elementos principales del problema a resolver, así como sus soluciones, entre ellos: *call centers*, centros integrados de operación de otras industrias, minería y particularmente Codelco, el estado de la técnica asociada a LHD SA y sus tendencias en miras a determinar su potencial de desarrollo tecnológico al año 2019, basados en filosofía de operación vigente.
3. Revisión de aspectos teóricos y prácticos de teoría de colas, buscando una aproximación simplificada del problema.
4. Vincular lo anterior a los aspectos del negocio en términos de productividad y costos, así como los elementos de riesgo preponderantes que puedan limitar o hacer fracasar la propuesta, tales como aquellos aspectos culturales asociados a la operación y la estructura de poder con que se administra el sistema minero.

5. Establecer pautas o recomendaciones que permitan una mejora del modelo de simulación (si es requerido) con tal de reproducir en él los resultados obtenidos del modelo simplificado. La Ilustración 6 muestra el proceso integrado de la metodología propuesta.

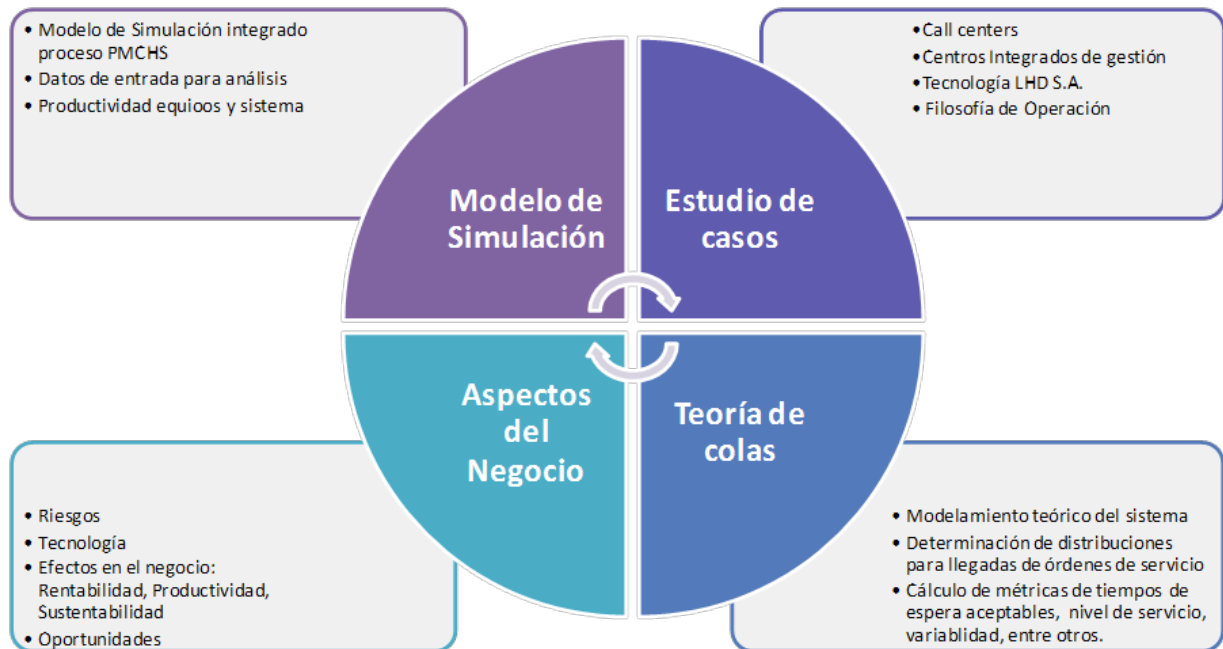


Ilustración 6: Metodología de trabajo propuesta

2.4. ALCANCE

El alcance de esta tesis estará delimitado a lo siguiente:

- Centros de Operación y Gestión para minería subterránea en métodos subterráneos de block caving.
- Estudio de aspectos conceptuales asociados a generar un sistema tipo call-center para asignación dinámica de operadores para un parque de equipos (n° operadores < parque equipos).
- Construcción de modelo teórico simplificado y el cálculo de métricas de tiempos de espera aceptables, nivel de servicio, variabilidad y su relación con la productividad del sistema y rentabilidad del negocio bajo estas condiciones.
- Resolver el caso Chuquicamata Subterránea:
 - Basado en el diseño actual (caso particular)
 - Basado en posibles variaciones al diseño minero/proceso minero (caso general)
- Tesis acotada a sistema LHD SA.
- Exploración de riesgos culturales y tecnológicos que afecten la viabilidad de la propuesta.

3. MARCO CONCEPTUAL

Se presenta a continuación dos elementos de interés los cuales son fundamentales para el desarrollo de la presente tesis:

1. Centros Integrados de Operación y Gestión.
2. Teoría de Colas.

3.1. CENTRO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN PMCHS

La aplicación del Centro Integrado de Operación y Gestión (CIOG) permitirá avanzar en la solución a los desafíos del proyecto como elemento central que habilitará la implantación de la nueva filosofía de operación que gobernará la actividad productiva subterránea.

Los desafíos de los mega proyectos mineros actuales implican operaciones de excelencia en términos seguridad, productividad y costos. En esta línea, el CIOG en superficie representa una solución para alcanzar los compromisos operacionales y financieros del PMCHS, donde la centralización, unicidad e inmediatez de la información permite una gestión dinámica y optimizada de los procesos productivos. La Ilustración 7 presenta gráficamente esta idea.



Ilustración 7: Concepto CIOG PMCHS

El concepto distintivo del CIOG nace con el objetivo de centralizar algunos elementos de la operación de la mina desde un comando en superficie, reduciendo el ingreso a la mina subterránea para los servicios de mantenimiento de equipos e infraestructura y servicios de apoyo (limpieza de calles, suministro, etc.). Lo fundamental de la

conceptualización del PMCHS es transformar un conjunto de operaciones unitarias mineras de forma que la mina se gestione como un proceso, similar a lo que sucede en una Planta. Se tienen además los siguientes elementos complementarios:

- Operaciones Unitarias: continúan tomando decisiones operacionales en terreno con retroalimentación al CIOG.
- Planificación Integrada: Planes ajustados dinámicamente en función de las condiciones, tanto en planificación minera como del mantenimiento y otros elementos de interés.
- Excelencia Operacional: Responsabilidad clara para entrega de mejoras cuantificables y sostenibles.
- Un ambiente físico de trabajo que habilita todo lo anterior.

El Anexo 3 presenta de forma más detallada estos aspectos.

3.2. CONCEPTOS DE GESTIÓN DE TIEMPOS DE ESPERAS

La Teoría de Colas o Líneas de Espera hace uso de modelos matemáticos para encontrar un balance adecuado entre el nivel de servicio ofrecido a los clientes y los costos asociados a su prestación.

El objetivo es reducir el impacto desfavorable de la espera de los clientes o usuarios de un sistema a niveles tolerables, asumiendo que el número de clientes y la variabilidad del sistema supera las capacidades instaladas para su proceso.

Si bien en la industria esta tolerancia se refiere en general a las expectativas de clientes y la tasa de rechazos o abandonos generados por capacidad y/o calidad de servicio (por ejemplo, fila en supermercado o llamadas telefónicas), en el caso estudiado referente a un proceso minero productivo, la tolerancia se relaciona fuertemente por el largo de la cola y, en definitiva, el tiempo de espera promedio que esta cola le genera al ciclo de los equipos involucrados, impactando directamente en la productividad del sistema.

Así el objetivo buscado será minimizar los casos en que la cola se genera y, en caso de generarse, que este tiempo sea el mínimo posible. En contrapartida, se buscará maximizar la utilización del sistema, eso es, considerando la mínima cantidad de operadores para realizar lo anterior.

La teoría de colas, como disciplina matemática, se inició con el trabajo de A. Erlang, quien estudió un modelo de una estación telefónica obteniendo una fórmula para la distribución del número de líneas ocupadas. A partir de este trabajo, la teoría ha sido aplicada en el estudio de un gran número de sistemas de espera como tráfico de aviones, redes eléctricas, sistemas de internet, teoría de inventarios, entre muchos otros. Sin embargo, es importante mencionar que mucha de la teoría de hoy en día fue desarrollada sin aplicación práctica sino únicamente por puro interés matemático.

3.2.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE COLAS

Una descripción general de la estructura de los modelos que representan lo que sucedería en un proceso o línea de espera es el siguiente:

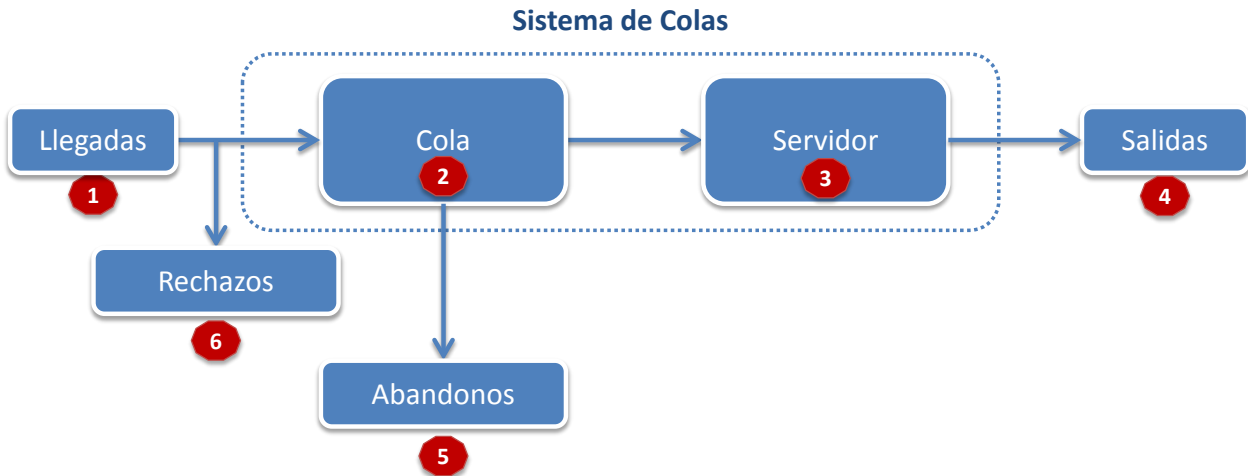


Ilustración 8: Esquema conceptual teoría de colas

Dónde se tiene que:

1. Clientes con una fuente de entrada (población finita o infinita).

Una población finita se refiere a un conjunto limitado de clientes que usarán el servicio y en ocasiones formarán una línea. Por el contrario una población infinita es lo bastante grande en relación con el sistema de servicio.

El parámetro relevante es el tiempo entre llegada de clientes. Por lo general, se supone que el tiempo entre llegada de clientes se distribuye de forma exponencial (si esto es así se le denomina proceso markoviano). No obstante, se puede corroborar lo anterior a través de un ajuste de curva para lo cual se puede utilizar algún software estadístico disponible en el mercado.

Cuando los tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente implica una preponderancia de tiempos entre llegadas menores que el promedio en combinación con algunos tiempos más extensos. Lo anterior tiene relación con la aleatoriedad del proceso de llegada de clientes que permite establecer la Propiedad de Falta de Memoria o Amnesia de la Distribución Exponencial.

2. Clientes entran al sistema y se unen a una cola.

En este caso, se dimensiona el tiempo de espera promedio que los clientes deberán asumir considerando las características del sistema, de los cuales los parámetros más importantes suelen ser la tasa de llegadas y la tasa de atención.

El encolamiento existe en la medida de que los servidores estén 100% ocupados al momento de ratificarse una llegada de una orden de servicio por carguío. Esto ocurre aun cuando la utilización promedio del sistema sea menor al 100%, asociado al efecto que posee la variabilidad del sistema sobre el proceso de asignación dinámica.

En la mayor parte de las aplicaciones, se verifican restricciones del largo de la cola por capacidad tecnológica (ejemplo, llamadas telefónicas). Adicionalmente, también existe la posibilidad que los clientes puedan abandonar el sistema, lo que se asocia a métricas de calidad de servicio (llamada a un banco o fila en supermercado).

3. Cliente es atendido.

Se proporciona el servicio (tiempos de servicio) por un servidor (uno y/o múltiples servidores) a un miembro de la cola, según una disciplina de servicio (disciplina de la cola). La disciplina de la cola más común es FIFO, es decir, se atiende por orden de llegada.

4. El cliente sale del sistema.

Una vez que el cliente es atendido, el sistema libera el servidor que ha estado ocupado, dejándolo nuevamente disponible para la atención de clientes.

5. Abandonos.

Dependiendo del tipo de servicio, clientes podrían salir del sistema durante el proceso de espera. Esto se relaciona con el grado de sensibilidad de los clientes frente al uso del tiempo y la calidad del servicio requerido. Por ejemplo, llamadas telefónicas versus atención de urgencia en un hospital.

6. Rechazos.

De la misma forma, clientes podrían ser rechazados si el sistema no posee la capacidad de aceptar un gran número de procesos en espera o en servicio. Esto es frecuente cuando el diseño del sistema no es capaz de procesar una gran cantidad de atenciones de forma simultánea, por ejemplo, lo que acontece durante procesos del tipo ventas telefónicas durante periodos tipo "Black Friday".

3.2.2. NOTACIÓN DE KENDALL

David Kendall (Kendall 1952) introdujo una notación que permite describir las colas y mostrar las características de las mismas. De forma general, la descripción de una cola se determina de la siguiente manera:

A/B/C/D/E/F

Cada letra representa diferentes criterios que se explican a continuación:

1. A representa el tipo de distribución de probabilidad para el proceso de llegada:
 - a. GI indica que existe una distribución de llegada con tiempo promedio entre ambos, es decir que es general.
 - b. D: se usa para expresar valores determinísticos con tiempo promedio constantes.
 - c. M: indica que existe una distribución de llegada tipo Poisson, que es independiente de la llegada anterior. Con esto se determina una distribución tipo exponencial entre los tiempos entre llegadas.
 - d. EK: para indicar que existe una distribución tipo Erlang, esto representa que los datos se agrupan estrechamente alrededor de la media.
2. B representa el tipo de distribución de probabilidad para el proceso de servicio o atención. Aplica la misma configuración mencionada en el punto A.
3. C representa el número de servidores o canales dentro del sistema.
4. D representa el número máximo de clientes que son permitidos en el sistema de colas, ya sea que estén esperando o que estén adquiriendo el servicio. Si el número de clientes supera este valor, éstos son rechazados del sistema y no entran a la cola. Si la capacidad es infinita esta letra se omite.
5. E indica la capacidad del sistema en general, representa el universo desde dónde provienen los Clientes. Si la capacidad es infinita esta letra se omite.
6. F representa la disciplina de la cola. Si se omite se asume que la disciplina es de tipo FIFO.
 - a. FIFO (first in first out) primero en entrar, primero en salir, según la cual se atiende primero al cliente que antes haya llegado.
 - b. LIFO (last in first out) también conocida como pila que consiste en atender primero al cliente que ha llegado el último.
 - c. RSS (random selection of service) que selecciona los clientes de manera aleatoria, de acuerdo a algún procedimiento de prioridad o a algún otro orden.

- d. Processor Sharing – sirve a los clientes igualmente. La capacidad de la red se comparte entre los clientes y todos experimentan con eficacia el mismo retraso.

Así por ejemplo, la notación para un proceso markoviano, tanto en llegadas como en atención, con capacidad c de proceso se presentará como:

M/M/c

La omisión de los restantes componentes significa que toma los valores por defecto que han sido informados: esto es, capacidad de proceso y sistema infinita y disciplina de cola FIFO.

4. ASIGNACIÓN DINÁMICA DE OPERADORES APLICADA A PRODUCCIÓN DE MINAS MEDIANTE LHD SA

4.1. TEORÍA DE COLAS APLICADA AL CASO LHD SA (CASO GENERAL)

4.1.1. GENERALIDADES

La presente tesis se apoya en la teoría de colas para afirmar que sistemas como el descrito referente al sistema productivo presentado puede resolverse y optimizarse utilizando analíticamente una aproximación matemática que transforma el problema de gestión operativa en un sistema de gestión de tiempos de espera. De esta forma, se mostrará que es posible que a través de esta aproximación puedan estudiarse métricas de desempeño y su respuesta frente a variaciones de las condiciones de diseño, verificando su impacto en cuanto a productividad y el negocio.

La hipótesis fundamental detrás de esta formulación es la defensa de que un sistema de asignación dinámica aplicado al proceso de operación de equipos LHD's SA y Martillos teleoperados conlleva oportunidades de eficiencia y productividad que permiten optimizar el sistema por sobre los resultados que puedan lograrse utilizándose sistemas de asignación estática.

4.1.2. CASO LHD MANUAL

Para plantear el contexto de operación del LHD SA primero se describirá el proceso de operación de un LHD manual (con operador a bordo).

En términos simples, este proceso consta de 6 actividades (ver Ilustración 9):

1. Inicio de la operación desde el entorno del punto de vaciado. Aquí se hace notar que el operador conoce previamente el punto de extracción de destino.
2. El equipo es conducido a través de la calle de producción (viaje de ida) hasta el punto de extracción.
3. En las inmediaciones del punto de extracción, el equipo disminuye la velocidad y enfrenta al punto de extracción.
4. En movimientos sucesivos, se realiza la carga del balde con mineral. En este sentido, es importante destacar que los operadores a bordo utilizan el momentum del equipo para aprovecharlo en el primer ataque del balde al punto de extracción, operación que permite una penetración adecuada al talud de material que en muchos casos permite llenar el balde en el primer intento. Posteriormente, los operadores realizan lo que se denomina en jerga minera "el cuchareo", que implica un movimiento suave del balde que permite acomodar la carga dentro del mismo y completar finalmente la carga. En el caso de que esto no se ratifique y la penetración del balde sea insuficiente, se requerirán maniobras sucesivas de retroceso, aceleración del equipo, penetración en el talud y "cuchareo" del balde de forma de lograr la carga deseada.

5. El equipo es conducido en dirección al punto de vaciado. Considera maniobras de posicionamiento para dejar el equipo recto al eje de la calle de producción.
6. Después de algunas maniobras menores, se realiza la descarga desde el balde al punto de vaciado. Esto incluye maniobras del balde en las cercanías del punto de vaciado, donde se materializa un movimiento ascendente del mismo para luego generar la descarga al pique receptor.

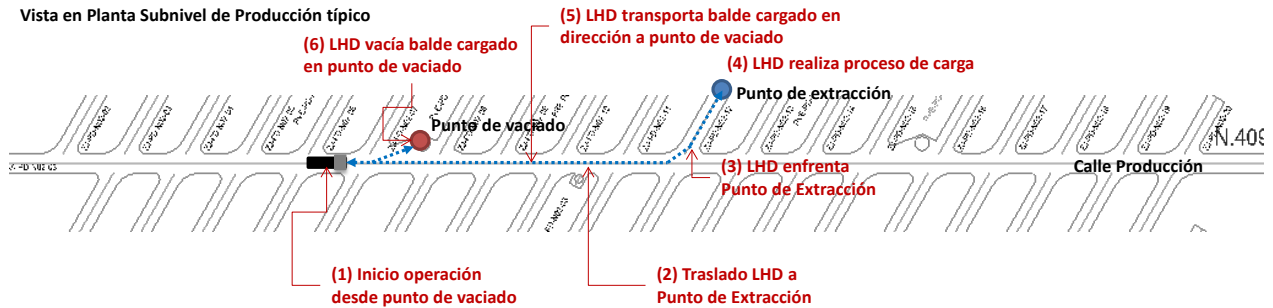


Ilustración 9: Esquema conceptual del ciclo típico de un LHD manual

4.1.3. CINEMÁTICA DEL EQUIPO LHD

La actividad del equipo LHD se puede representar considerando 4 actividades básicas, dos de ellas referentes a traslado del equipo en sí. El tiempo de ciclo del equipo está compuesto de las siguientes actividades:

- Tiempo de viaje de ida (vacío).
- Tiempo de carguío: típicamente demora entre 20 a 50 segundos en el caso PMCHS vigente.
- Tiempo de viaje de vuelta (cargado).
- Tiempo de vaciado: típicamente demora entre 10 a 20 segundos en el caso PMCHS vigente.

Los tiempos de traslado se describen de manera simple y robusta utilizando las ecuaciones de cinemática asociadas al movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. En este movimiento la aceleración es constante, por lo que la velocidad de móvil varía linealmente y la posición cuadráticamente con tiempo. Las ecuaciones que rigen este movimiento son las siguientes:

$$a(t) = a = \text{constante} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$V(t) = V_0 + a * t \quad (\text{Ec. 2})$$

$$X(t) = X_0 + V_0 * t + \frac{1}{2} a * t^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$V_{final}^2 = V_0^2 + 2 * a * (X_{final} - X_0) \quad (Ec. 4)$$

En el caso de la operación de equipos LHD's se tiene lo siguiente:

- Aceleración, se asumirá una aceleración de 0,1 m/s².
- Desaceleración, se asumirá una desaceleración de 0,2 m/s².
- Velocidad máxima, para efectos del análisis, se establecerá en torno a 12 Km/hr, o sea, 3,3 m/s.
- Los tres parámetros presentados están basados en la realidad de las operaciones de Codelco y representan órdenes de magnitud razonables para mostrar los contenidos de la tesis. Variaciones pueden ocurrir, dependiendo de modelos y tamaños de equipos, así como el uso de marchas y otras condiciones de terreno. Sin embargo, los valores presentados son suficientes para describir el movimiento de los equipos LHD SA y sus conclusiones son válidas para efectos de la presente tesis.

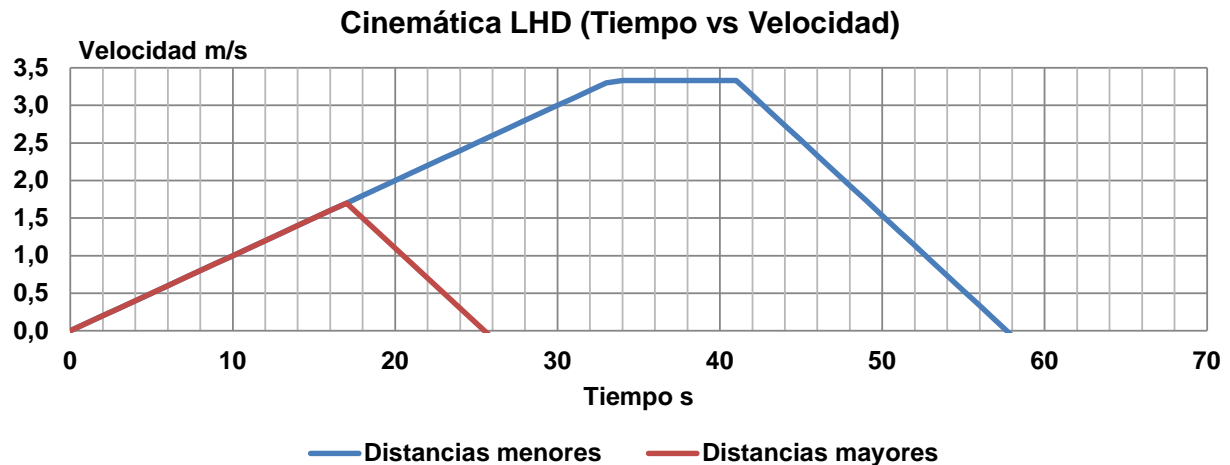


Ilustración 10: Cinemática LHD (Tiempo)

Considerando la información presentada, se tiene lo siguiente (ver Ilustración 10 e Ilustración 11):

- Un LHD requiere aproximadamente 33 segundos para alcanzar la velocidad máxima establecida, partiendo detenido. Para ello, requiere recorrer 56 metros.
- Un LHD requiere 17 segundos para detenerse completamente, considerando que inicia su desaceleración desde la velocidad máxima establecida. Durante este tiempo recorrerá 28 metros aproximadamente.
- Para distancias menores a 56 metros, se tendrá que el equipo no consigue transitar en velocidad a régimen (velocidad máxima de 12 Km/hr en este caso), por lo cual deberá ajustar el proceso de aceleración y desaceleración para llegar a destino.

- En el caso 2 se grafica el caso en que la distancia total a recorrer se sitúa en torno a 23 metros, de los cuales 14,5 metros recorre acelerando por alrededor de 17 segundos, y 8,5 metros desacelerando en aproximadamente 9 segundos. Con todo, en este movimiento, la velocidad media desarrollada en dicho trayecto será de 3,2 Km/hr.
- Lo relevante de esta condición es que en el caso del PMCHS, la distancia media de transporte es del orden de 40 metros, lo que establece el orden de magnitud del ciclo de transporte, que se desarrolla no más allá de 4,2 Km/hr de velocidad promedio en el ciclo de transporte, esto es, 35 segundos de traslado, tanto de ida como de vuelta.

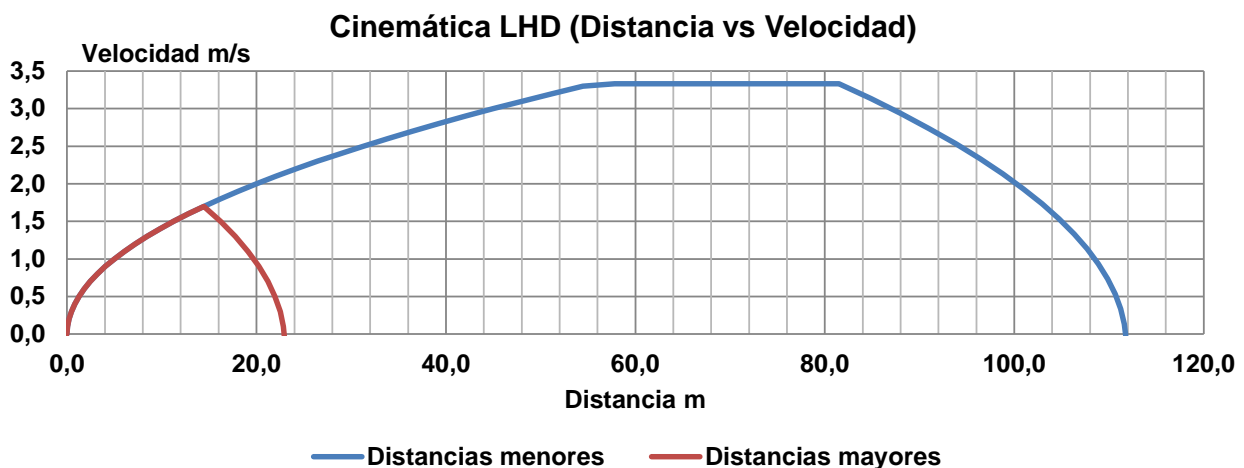


Ilustración 11: Cinemática LHD (Distancia)

4.1.4. PRODUCTIVIDAD DEL EQUIPO LHD

El tiempo de ciclo del equipo se relaciona inversamente con la productividad del sistema. Esta última se mide comúnmente por la productividad horaria en toneladas por hora efectiva (t/hr ef) y se obtiene al dividir el tonelaje del equipo LHD (capacidad de transporte en el balde³) por el tiempo promedio que dicha carga requiere en un ciclo de trabajo, en este caso, el tiempo de ciclo.

La fórmula presentada a continuación es válida en el caso general de la operación manual. Cabe destacar que en este caso la asignación de trabajo se realiza a principio del turno. De la misma forma, no se verifican tiempos de espera para operación.

$$T_{\text{ciclo LHD}} = T_{\text{viaje ida}} + T_{\text{carguío}} + T_{\text{viaje vuelta}} + T_{\text{vaciado}} \quad (\text{Ec. 5})$$

³ La capacidad del balde considera factores tal como factor de llenado, capacidad volumétrica del balde, esponjamiento y humedad del mineral, así como la capacidad de carga de diseño del equipo (*payload*)

Por ejemplo, si se considera una capacidad de 11,1 t/balde de un LHD y un tiempo de ciclo de 2,0 minutos, se tendrá que la productividad del equipo será 333 t/hr efectivas, esto es, el rendimiento del equipo cuando el equipo esté exclusivamente trabajando.

En general, la productividad de un equipo LHD sigue una relación no lineal inversamente proporcional a la distancia, encontrándose que a medida que aumenta distancia de transporte, la productividad decae rápidamente (ver Ilustración 12). Por lo mismo, la industria considera el uso de estos equipos en general para distancias no mayores a 300 a 400 metros.

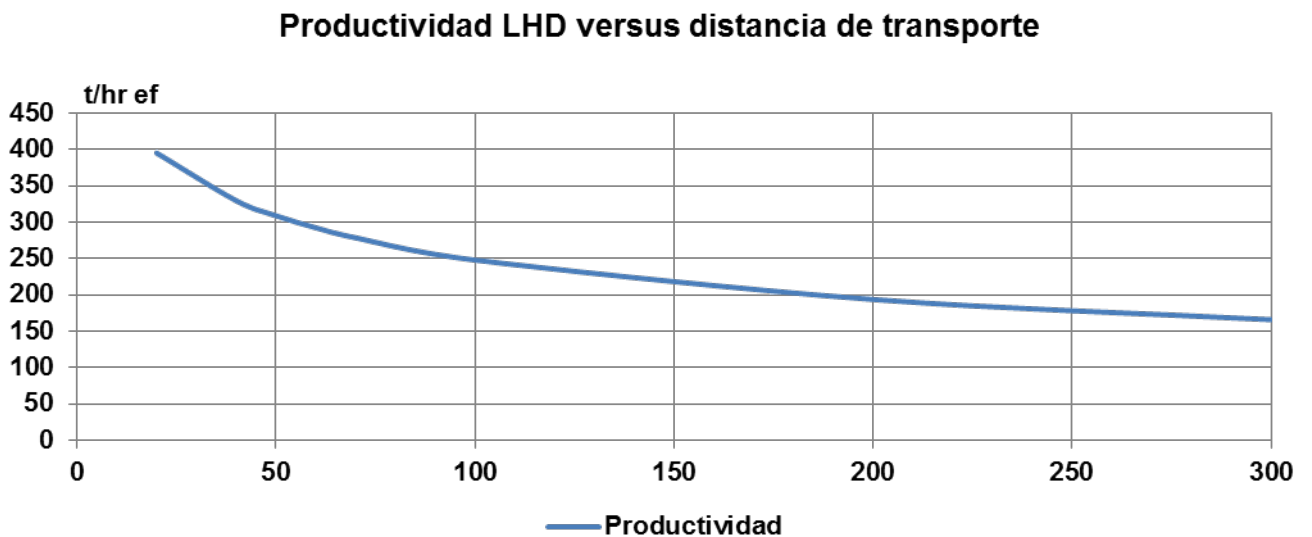


Ilustración 12: Productividad LHD v/s Distancia de Transporte

4.1.5. CASO LHD SA

La diferencia entre la operación manual con la operación semiautónoma se da desde que el equipo LHD SA enfrenta al punto de extracción y éste se encuentra completamente cargado y se ha posicionado nuevamente en el eje de la calle de producción. Durante este tiempo el equipo es comandado desde superficie de forma tele-operada. Todas las otras actividades del ciclo de trabajo son operadas por el sistema de control del LHD de forma autónoma (sin necesidad de operador).

En el caso estudiado en esta tesis, la interacción CIOG-LHD SA generará actividades adicionales al ciclo de trabajo mostrado en la Ecuación 1, las cuales se derivan de la necesidad de operar el sistema desde un centro remoto. La Ilustración 13 muestra el proceso general de decisiones que deben sucederse en el CIOG.

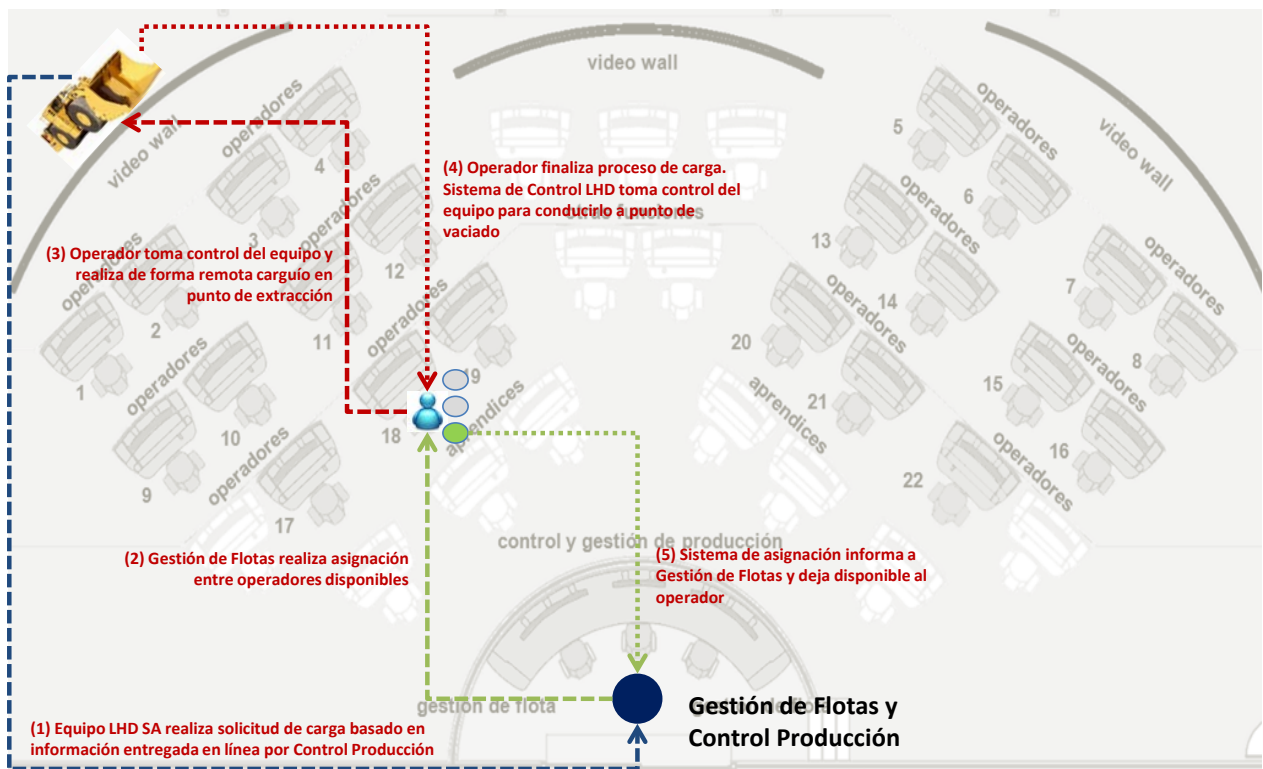


Ilustración 13: Secuencia de interacción LHD SA y CIOG

Esto implica lo siguiente:

1. El proceso se inicia mediante la solicitud de servicio de carga realizada por el equipo LHD SA a CIOG (superpuesta mientras se realiza traslado del equipo LHD SA desde punto de vaciado a punto de extracción asignado).
2. Asignación de operador a LHD SA, la que consiste en verificar el estado de actividad de cada operador en sala CIOG y asignarlo al equipo en cuestión en la medida de que uno o más operadores estén disponibles. Esto se podrá realizar automáticamente por un software de control o podrá ser determinado por un operador en CIOG de Gestión de Flotas que tiene la función de realizar estas asignaciones.
3. La asignación del operador que se realiza previo a la llegada del equipo al punto de extracción definido por la carta de tiraje implica una condición de máxima eficiencia del sistema propuesto. Para que esto se materialice, el operador deberá tomar el control del equipo en el entorno de un punto de extracción.
4. Por lo general, se espera que el equipo LHD está en movimiento al momento de la toma de control por parte del operador, por lo que el

entrenamiento del operador debe generar la habilidad para tomar control del equipo sin detenerlo de forma de maximizar su productividad⁴. Esta condición es deseable por cuanto se minimiza el tiempo de ciclo.

5. En caso de que todos los operadores se encuentren ocupados al momento de realizar la asignación, implicará que el LHD SA deberá detener su operación a la espera que se realice la asignación de operador. Esta detención se deberá realizar por completo en un punto de espera.
6. Se define 10 metros⁵ antes del punto de extracción como el punto dónde el equipo deberá esperar detenido si previamente no se haya generado asignación del operador en CIOG para dar continuidad al proceso.
7. Se define una distancia prudente de 38 metros (28 metros⁶ + 10 metros) aproximadamente del punto de extracción definido por el sistema de control producción, lo que se denominará “punto de asignación”. Esto significa que, para una parte importante de las cargas, el operador deberá tomar el control tan pronto se realice la descarga en el punto de vaciado, ya que la distancia media de esta configuración es de 40 metros.

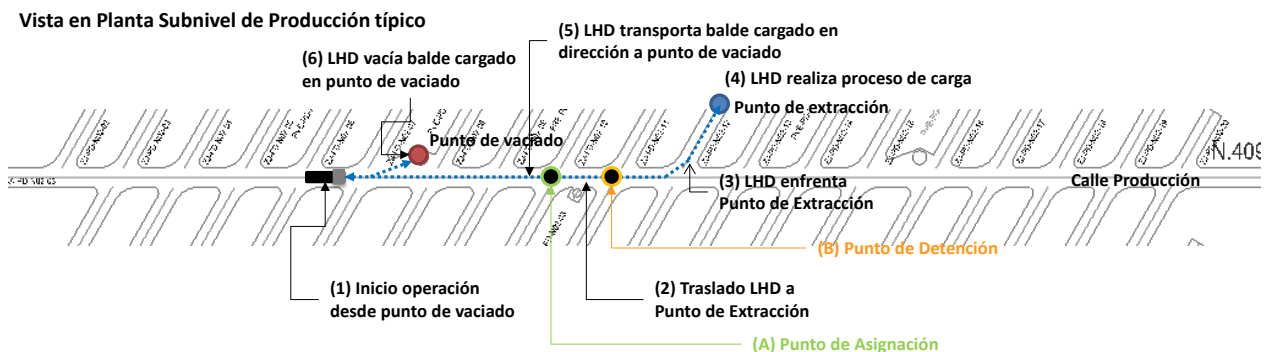


Ilustración 14: Esquema conceptual del ciclo típico de un LHD SA

8. En el caso de que la asignación de operador se realice después del punto de asignación, se tendrá que el equipo ya habrá iniciado automáticamente

⁴ Algunas marcas de equipos LHD SA denominan esta condición como “on-fly”.

⁵ Se considera 10 metros asumiendo que es la distancia suficiente para que un equipo desarrolle una velocidad de 5 km/hr, velocidad considerada en este ejemplo como la necesaria para enfrentar al punto de extracción adecuadamente. Se asume que la aceleración es de 0,1 m/s².

⁶ 28 metros corresponde a la distancia necesaria para frenar completamente si es que el equipo va en velocidad crucero.

su detención completa como medida de seguridad, por lo que la velocidad podría no ser la suficiente para garantizar un carguío eficiente.

9. En el caso del punto 6 presentado anteriormente, se materializará la cola de LHD SA a espera de operador disponible. Como se mencionó, este evento debe ser evitado para no causar impacto en el tiempo de ciclo y en la productividad del equipo LHD SA.
10. En el caso del punto 8 presentado anteriormente, se podría materializar un tiempo adicional que considera el reposicionamiento del equipo LHD SA a una distancia prudente para iniciar una carrera que permita una penetración del balde exitosa, en el caso de que los 10 metros asumidos no sean suficientes para dicha operación.

De esta forma, en términos generales, el tiempo de ciclo contabilizado desde el punto de vista del equipo LHD SA deberá tomar la siguiente forma (ver Ec. 6):

$$T_{ciclo\ LHD} = T_{viaje\ ida} + T_{cola} + T_{maniobras} + T_{carguío} + T_{viaje\ vuelta} + T_{vaciado} \quad (Ec. 6)$$

Si el sistema es eficiente, el tiempo en cola y el tiempo de maniobras deben ser cero, tal como lo muestra gráficamente la Ilustración 15:

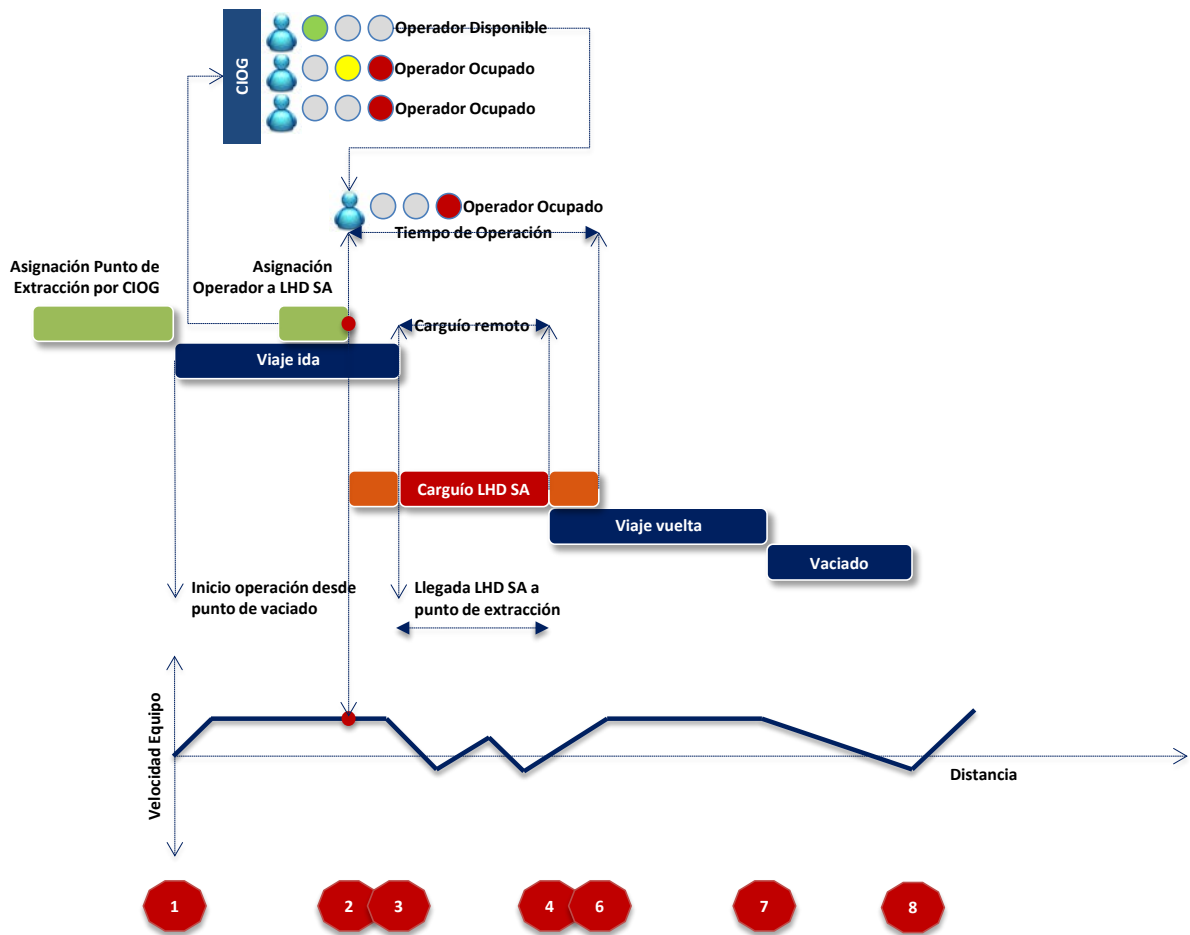


Ilustración 15: Ejemplo de ciclo sin formación de cola

De la Ilustración 15 se puede ver el proceso sin formación de cola, esto es, la asignación ocurre en el punto 2 o antes, a una distancia suficiente⁷ previo a que el equipo enfrente el proceso de carga (punto 3), sin considerar pérdidas relevantes de velocidad. Sin embargo, si la asignación no ocurre en el punto 2, la cola se habrá manifestado, como es el caso mostrado en la Ilustración 16:

⁷ La distancia y el tiempo está determinado según la velocidad de desplazamiento que lleve el LHD SA.

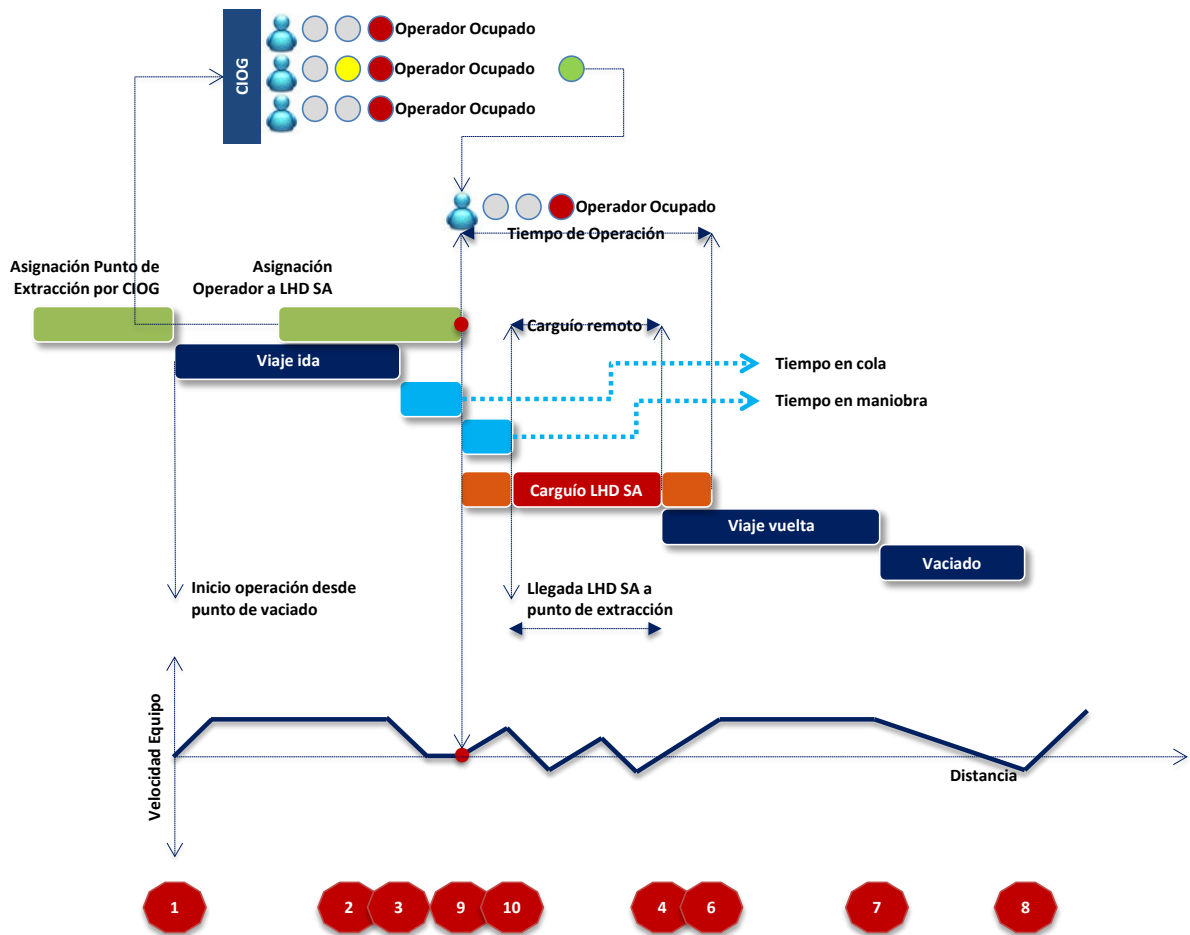


Ilustración 16: Ejemplo de ciclo con formación de cola

De la Ilustración 16 se establece que:

1. El tiempo transcurrido entre el punto 3 y el punto 9 corresponde al tiempo de cola que se genera por no tener disponibilidad de operador en sala CIOG.
2. Adicionalmente, dado que el equipo LHD SA se encuentra detenido (o ha disminuido su velocidad notablemente) se debe considerar que existe un tiempo de maniobras que se requiere para que se logre la velocidad adecuada para enfrentar el punto de extracción. Eso podrá eventualmente generar la necesidad de que el equipo requiera retroceder para alcanzar una distancia adecuada para iniciar carrera. Este tiempo se gráfica entre los puntos 9 y 10.
3. La cinemática del equipo LHD SA y la distancia desde el punto de vaciado, punto de asignación, punto de detención y punto de extracción determinan una restricción a ser considerada pues pueden inducir tiempos de encolamientos. Esta será presentada en una sección más adelante.

4.1.6. FUENTES DE VARIABILIDAD

Se ha discutido que la existencia de encolamiento en sistemas como el estudiado se debe al efecto de la variabilidad del proceso en su interacción con las capacidades instaladas del sistema. Por lo mismo, se sugiere en esta sección elementos que se han detectado en el presente análisis como fuentes de la variabilidad observada al proceso de arribos al CIOG, de cuyo entendimiento se pueden activar mecanismos que permitan gestionarla para evitar sus efectos indeseados en términos de productividad.

Entre estas fuentes de variabilidad, se tienen 3 focos principales:

1. Variabilidad generada por la distancia de transporte

Esta variable es probablemente la principal causa de variabilidad observada por el sistema de cola a estudiar. Determina de forma combinada la “aleatoriedad” de las llegadas al CIOG debido al efecto de la cartilla de tiraje y a la cantidad de puntos que simultáneamente deben extraerse. Todos estos puntos tienen diferentes distancias, y por lo mismo, tiempos de operación variables.

2. Variabilidad introducida por factores atribuibles al mineral:

Los efectos del tipo de material a cargar y sus características generarán mayor facilidad o dificultad para realizar la carga y con ello determinarán en gran medida el tiempo requerido para realizarla. La característica fundamental es la heterogeneidad de formas y tamaños de los fragmentos de roca encontrados en el punto de extracción (granulometría), factor que hace más difícil la carga en la medida que la granulometría aumente.

En menor medida, la humedad podría generar mayor o menor carga efectiva del equipo LHD y en casos extremos, podría dificultar la carga debido a la formación de barro.

Ambos actúan no solo en los tiempos de carga sino también en el tonelaje total de la carga que transportará el equipo LHD.

3. Variabilidad introducida por la productividad del operador

Se ha estudiado de otras industrias la literatura disponible respecto de la evolución de la productividad en el tiempo, encontrándose que existen variaciones significativas durante el día producto de la fatiga y el ciclo circadiano (CEOP 2013).

Durante la IB del PMCHS se presentaron antecedentes que vinculan los descansos como una medida de mitigación de la pérdida de productividad, producto de la fatiga, y se establecen lineamientos para la toma de decisiones relacionadas a la toma de pausas. En el mismo estudio, se encontró que la efectividad de los descansos depende de las actividades que se realicen durante el mismo. Por ejemplo, el consumo de café o la ingesta de alimentos

tienen un efecto importante en la reducción de la fatiga y mantención del desempeño durante la jornada laboral.

El efecto específico observado es que la productividad del operador en CIOG puede no ser constante, por lo que podría ser esperable que se verifiquen variaciones importantes durante el turno. Este efecto puede afectar la disponibilidad efectiva (capacidad instalada) y, por ende, generar encolamientos en el sistema.

4.2. APLICACIÓN AL CASO PARTICULAR DISEÑO VIGENTE PMCHS

4.2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO PMCHS

En el Anexo 4 se presentan aspectos de diseño y la filosofía de operación en el nivel de producción basado en el concepto del uso de LHD's Semiautónomos y Martillos Telecomandados que complementan el trabajo realizado en la presente tesis.

4.2.2. CASO LHD SA PMCHS BAJO SIMULACIÓN

Modelo Conceptual

El modelo de simulación diseñado e implementado para el PMCHS durante la IB consideró la construcción de un modelo detallado en el software Promodel y tuvo como objetivo principal determinar la capacidad productiva del proyecto basado en el diseño y la filosofía de operación que fueron propuestos en dicho proyecto. Este estudio fue realizado por el equipo de investigación operativa de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco, equipo con vasta experiencia en el desarrollo de modelos similares para otras operaciones y proyectos en minería. El Anexo 9.5 contiene un resumen del modelo conceptual de simulación. Asimismo, el detalle del modelo conceptual y los resultados obtenidos se pueden encontrar como parte de la bibliografía de este estudio (Henriquez 2013).

El modelo utilizado está compuesto por cuatro submodelos o quiebres lógicos del proceso productivo que poseen sus propios criterios operacionales. La variabilidad de las actividades que cada uno considera, así como la codependencia entre ellos, define el desempeño del sistema global. Los submodelos considerados corresponden a:

- Mina Subterránea: con la generación de la carta de tiraje a partir del programa de producción de cada macrobloque, el transporte por medio de LHD y la operación de los martillos picadores. Considera además la interacción con otros equipos y actividades propias de la producción subterránea, tal como las colgaduras, aparición de bolones y requerimientos de cachorro, reparaciones, entre otras.
- CIOG: con la gestión del personal para operación del telecomando en términos de su disponibilidad y desempeño a lo largo del turno de operaciones.
- Sistema de Chancado y manejo de materiales: con la operación de chancadores, alimentadores, correas y silos. Se incorpora la capacidad de los equipos y su disponibilidad producto de la incorporación de Funciones que representen los

eventos de falla (en frecuencia y duración) y los respectivos programas de producción.

- Chancado Primario en superficie: corresponde a la representación de las instalaciones existentes actualmente en la División Chuquicamata y que condicionan la continuidad operacional de las instalaciones del nuevo Proyecto.

Si bien el modelo de simulación se encuentra desarrollado en una plataforma experta para simulación multipropósito, la incorporación de los parámetros operacionales, así como los resultados se manejan en planillas de cálculo que puede operar un usuario no experto.

El modelo considera en el caso específico del CIOG, la operación a distancia de LHD's SA y Martillos. Para ello se generaron escenarios de análisis, que permitieron analizar aspectos específicos de interés para el PMCHS:

- Dual o Individual: Asume la opción de que LHD's SA y Martillos telecomandados puedan o no ser asistidos por un mismo grupo de operadores.
- Con o sin segregación: se consideró en la IB que dado que el comportamiento del macizo rocoso en la zona norte y sur del yacimiento es claramente diferenciado, la operación como tal podía asumir beneficios en la productividad del sistema, por lo mismo, dentro de los escenarios considerados se realizaron corridas segregando las actividades para determinar la conveniencia de esta modalidad.

Tabla 2: Esquema conceptual de análisis

	Dual	Individual
	Considera el análisis del proceso LHD SA y Martillo de forma integrada, como si fuera 1 solo proceso.	Considera el análisis del proceso LHD SA y Martillo de forma separada con operadores exclusivos para ambos procesos.
Con Segregación Norte y Sur	2 grupos de operadores diferenciados (Norte y Sur por separado)	4 grupos de operadores diferenciados
Sin Segregación Norte y Sur	1 grupo	2 grupos de operadores diferenciados (LHD y Martillos por separado)

Se analiza entonces en el Telecomando, el número de operadores óptimo para operar los Telecomandos de LHD SA y Martillos picadores semiestacionarios en cuatro escenarios específicos:

1. Escenario dual sin segregación: Considerando operadores “Duales” que operan sobre consolas con duplicidad operativa para Martillos y LHD SA (Semiautónomos) según la demanda de la Mina, independiente del sector del Nivel 1841, Norte o Sur.
2. Escenario dual con segregación: Considerando operadores “Duales” pero segregando la operación según sector Norte o Sur.
3. Escenario individual sin segregación: Considerando operadores específicos en consolas “Individuales” diferenciadas para LHD SA y Martillos semiestacionarios para todo el Nivel 1841 sin Segregación
4. Escenario individual con segregación: Considerando operadores específicos en consolas “Individuales” para LHD SA y Martillos semiestacionarios segregando además la operación en Norte y Sur.

El escenario individual sin segregación (escenario 3) corresponde al caso con el cual esta tesis debe establecer una comparación de resultados.

Resultados

Los resultados obtenidos por el modelo se resumen en la Ilustración 17 a la Ilustración 21. Los principales resultados son los siguientes:

- Según el análisis de productividad y considerando la interacción del CIOG con la Mina, el escenario que otorga una producción óptima día en promedio es el que considera 21 operadores duales sin discriminar por sectores Norte y Sur con una producción promedio día de 146,6 mil toneladas en base húmeda.
- Si esto se lleva a la práctica, existe una lógica productiva que señala que idealmente los operadores estén preparados para operar cualquier equipo independiente del sector de la mina en que se encuentren.
- En cuanto a rendimiento del LHD SA este alcanza las 323 toneladas por hora efectiva con 7,46 horas efectivas de producción por turno. Estas horas consideran no sólo las interferencias operacionales en el subnivel de producción sino que además están afectas a todas las fallas, detenciones y mantenciones del Sistema de Manejo de Minerales aguas abajo.

Capacidad Productiva por Escenario (tpd)

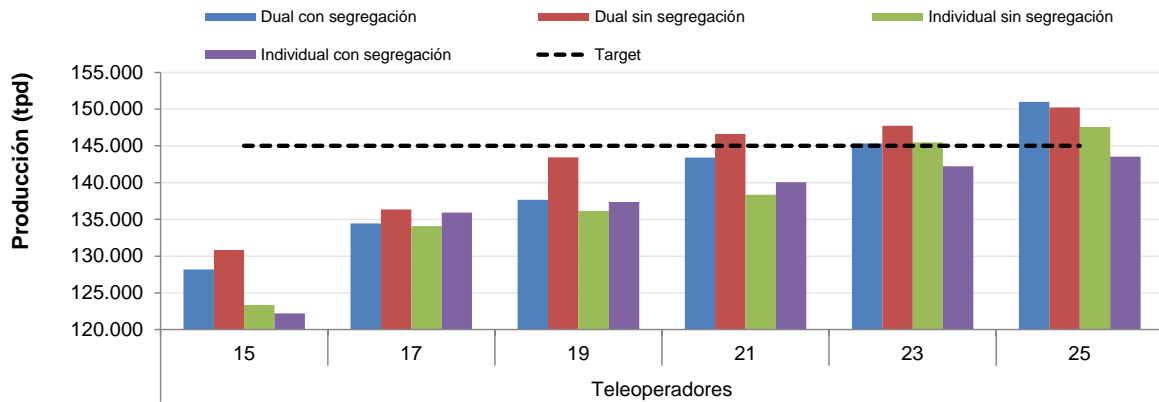


Ilustración 17: Capacidad productiva escenarios simulación IB PMCHS

Holgura/Déficit por Escenario, respecto a target (145 ktpd)

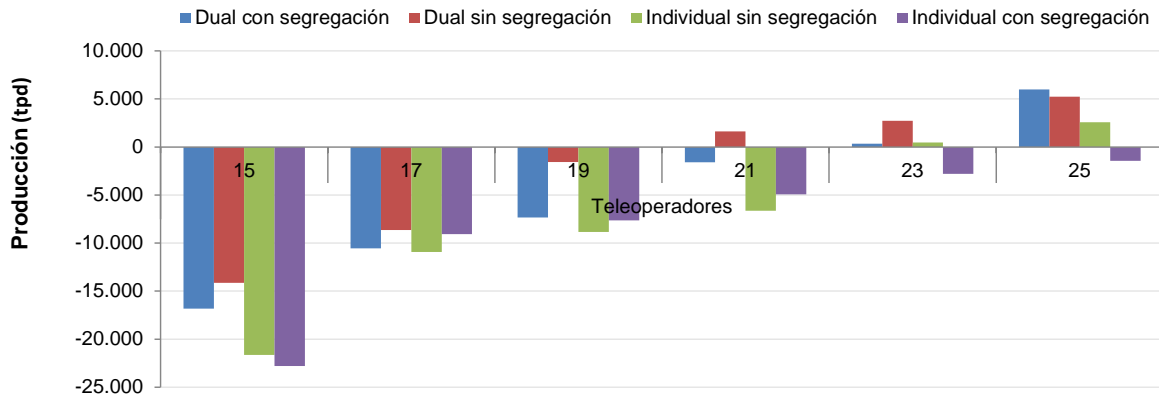


Ilustración 18: Holgura escenarios simulación IB PMCHS

Producción y rendimiento escenario dual sin segregación

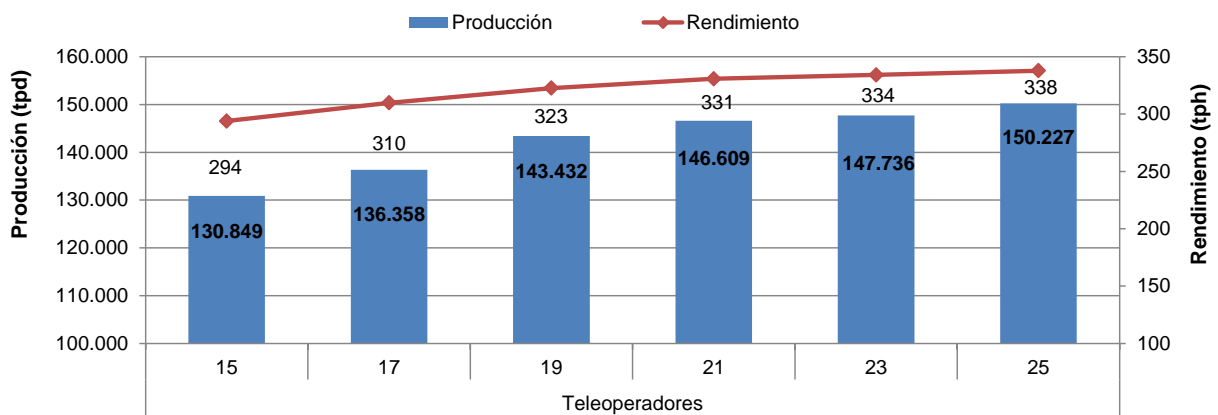


Ilustración 19: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 1

Producción y rendimiento escenario individual sin segregación

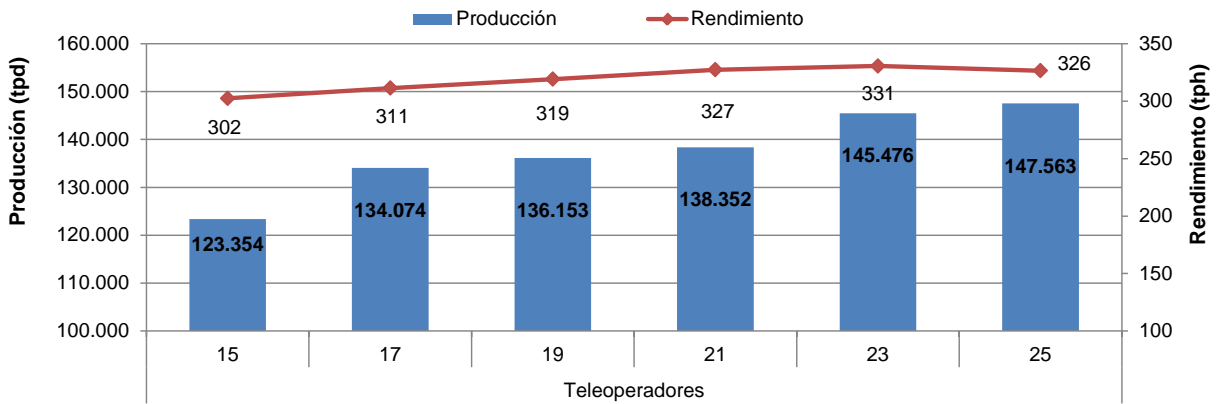


Ilustración 20: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 2

Producción y rendimiento escenario dual con segregación

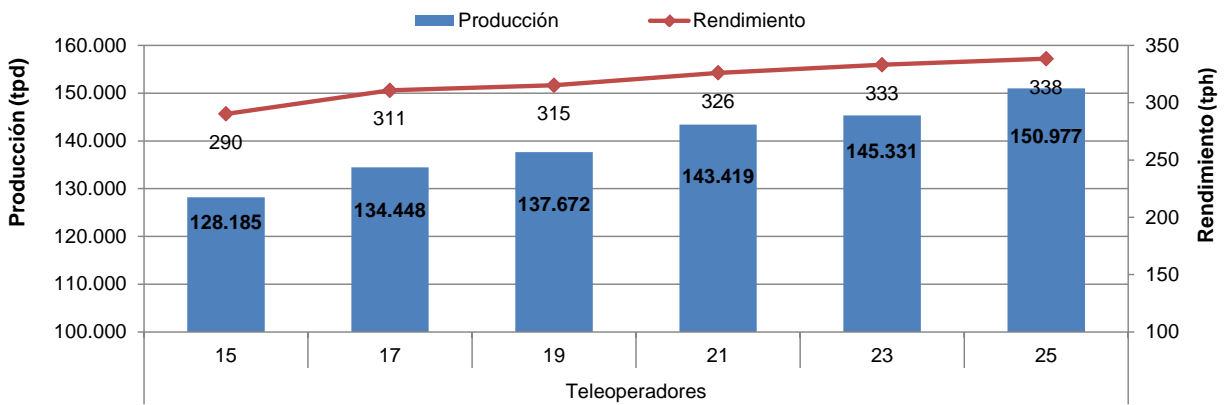


Ilustración 21: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 3

Producción y rendimiento escenario individual con segregación

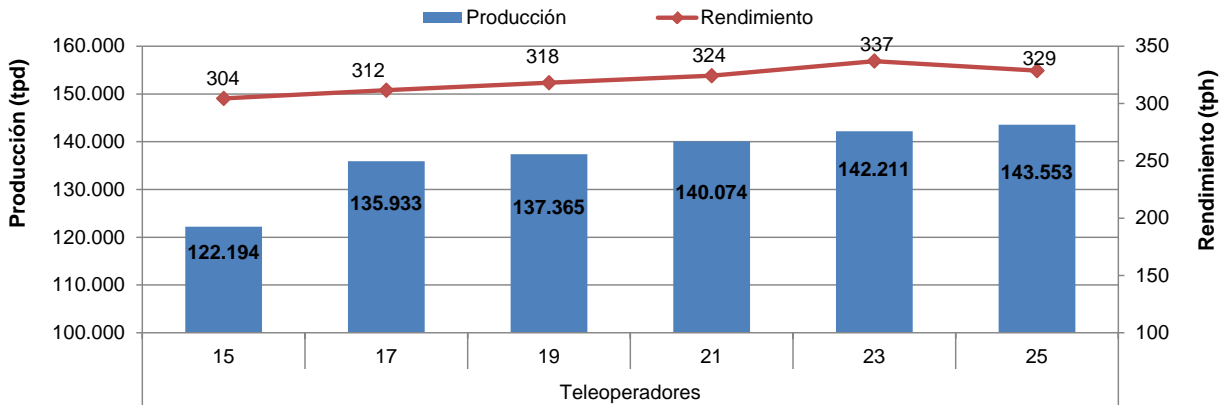


Ilustración 22: Resultados simulación IB PMCHS – Esc 4

En cuanto a los resultados que son de interés de esta tesis, la simulación mostró que si se consideran 23 operadores en total, 14 de los cuales corresponden a operadores exclusivos del sistema LHD SA, se cumple el objetivo de producción definido (145 Ktpd), con tiempos de ciclo en torno a 2,03 minutos y una productividad del equipo de 331 toneladas por hora efectiva.

4.2.3. CASO LHD SA PMCHS BAJO ESTRUCTURA DE MODELO DE COLAS

Una descripción general de la estructura de los modelos que representan lo que sucedería en un proceso o línea de espera aplicado al caso LHD SA es la siguiente:

1. Clientes con una fuente de entrada (población finita o infinita).

En el caso estudiado, el sistema deberá considerarse como una población finita, considerando que en la práctica para el máximo de capacidad productiva se tendrá la operación simultánea de 32 equipos LHD's SA y entre 80 a 90 martillos remotos.

El cliente en el caso estudiado se refiere a los equipos en terreno que solicitan atención con un modelo conceptual similar al presentado en la Ilustración 5.

Del estudio de caso basado en las simulaciones realizadas durante la Ingeniería Básica del PMCHS se desprende que el proceso de llegada de solicitudes se asimila a un patrón del tipo exponencial, siendo necesario realizar un ajuste específico para confirmarlo⁸.

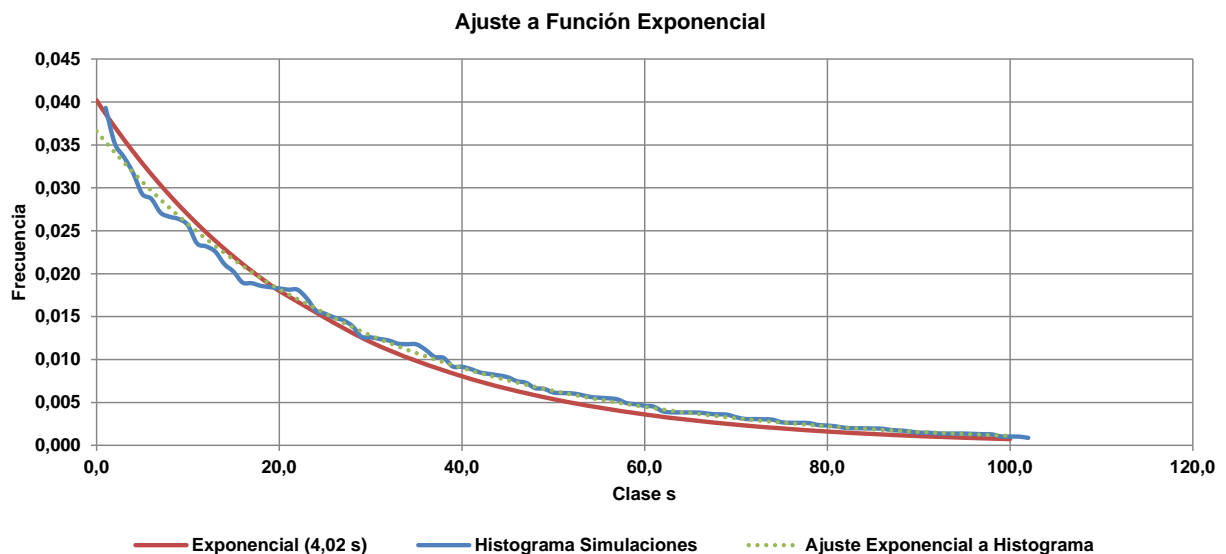


Ilustración 23: Comparación entre resultados simulación y función exponencial⁹

⁸ Es importante resaltar de que no siempre existe una solución analítica y dependerá de las particularidades del sistema a estudiar. Una mejor aproximación en este caso sería la de modelar el sistema con técnicas de simulación.

⁹ Es interesante destacar que el promedio de llegadas del modelo de simulación es de 3,5 segundos.

Una solución diferente sería realizar una simulación focalizada en el sistema de colas que tome en cuenta la estructura lógica propuesta. La presente tesis no profundiza en esta formulación.

De acuerdo a un modelo de colas, en régimen, se espera en promedio una llegada de solicitud de servicio de LHD SA por carguío remoto cada 4,02 segundos. Esto es, se requieren en media 896 cargas por hora operativa.

2. Clientes entran al sistema y se unen a una cola.

En el caso estudiado no se espera que hayan abandonos y el sistema deberá estar preparado para procesar y aceptar la llegada simultánea de todas las combinaciones posibles, por cuanto todo LHD SA o Martillo que llegue a solicitar servicio debe ser procesado por el sistema de asignación dinámica y éste esperará lo suficiente como para ser atendido. Esto plantea la importancia de dimensionar adecuadamente el personal a cargo de las asignaciones y operaciones de forma que las esperas tengan un impacto acotado sobre la productividad del proceso de extracción del sistema LHD-Martillo.

3. Cliente es atendido.

En el caso estudiado, cada servidor representa un operador en el CIOG. Si bien es parte de estudios más detallados, preliminarmente se establece la filosofía de la cola como FIFO.

Algunos comentarios son relevantes de tomar en consideración:

- a) En media, un operador tardará alrededor de 30 segundos¹⁰ en realizar la carga completa, aun cuando esto depende de la granulometría de la roca, las habilidades del operador y las condiciones en las cuales recibe el equipo (en movimiento o detenido).
- b) Se ha mostrado informalmente en pruebas en División Andina de Codelco que esta variabilidad del proceso de carga podría representarse mediante una función de media 30 segundos con un valor mínimo de 20 segundos y un máximo de 40 segundos.
- c) Adicionalmente, una carga se podría representar con una distribución de media 11,1 toneladas húmedas (para un balde de 9 yd³), con un mínimo de 9 toneladas y un máximo de 14 toneladas¹¹. Los factores preponderantes para este comportamiento están relacionados con la granulometría del mineral, las condiciones de visibilidad del operador y su destreza. De esta forma, se hace patente la necesidad de un

¹⁰ Según pruebas en Andina 2012.

¹¹ Se debe respaldar estadísticamente esta afirmación.

adecuado programa de entrenamiento para operadores de telecomando y de iniciativas que permitan reducir el impacto de la granulometría sobre la variabilidad del carguío. Se deben realizar pruebas para demostrar lo anterior.

- d) Si se considera que un operador debe ser asignado al menos 5 segundos antes de iniciar formalmente el proceso de carga (tiempo de maniobras o tiempo requerido para que el operador se habitúe en el contexto de operación) y, además, éste se mantiene en comunicación con el sistema de control del equipo LHD al menos 5 segundos después que ha finalizado su operación de carguío, se tiene que el tiempo total que utiliza el operador estará en torno a los 40 segundos en promedio.
- e) Bajo estas circunstancias, y considerando de que no haya variabilidad en el sistema estudiado, se requerirían 10,0 a 15,0 operadores para satisfacer la demanda por carguío remoto, ratificándose una utilización cercana al 100% de manera constante (96,5% para ser más exactos). El rango asume una disponibilidad de 100% y 70% de los operadores respectivamente. Ver Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros Operación PMCHS

Producción diaria Sistema Producción Macrobloques (1)	147,4	ktpd
Horas operativas por día	19,0	hr/d
Producción horaria	7.758,9	tph
Equipos operativos (LHD SA)	32,0	LHD SA
MB's operando a régimen	6,0	Unid
MB's operando en propagación	6,0	Unid
Área promedio por macrobloque	36.000,0	m2
Velocidad extracción promedio	0,5	ton/m2-d
Producción horaria MB's en régimen	5.684,2	tph régimen
Producción horaria MB's en propagación	2.074,7	tph propagación
Unidades LHD SA en MB's en Régimen	22,5	Unid
Unidades LHD SA en MB's en Propagación	8,2	Unid
Unidades LHD SA en Reserva	1,3	Unid
Capacidad de carga húmeda	11,1	ton/palada
Tiempo promedio de ciclo LHD SA	2,05	min/ciclo
Productividad promedio LHD SA	324,4	ton/hr efectiva
Factor Operacional	78,0%	FO
Horas efectivas por día	14,8	hr/d
Producción horaria	9.947,4	tph efectivos
Productividad promedio LHD SA	253,0	ton/hr operativa
N° cargas LHD SA en punto extracción	896,2	cargas/hr
Tiempo llegada solicitud servicio LHD a CIOG	0,07	minutos entre llegadas
Tiempo llegada solicitud servicio LHD a CIOG	4,02	segundos entre llegadas
Tiempo de atención carga	40,0	segundos
Capacidad efectiva operador	90,0	atenciones/hr

N° Operadores Simultáneos	10,0	Op/hr
N° Operadores Simultáneos (entero)	10,0	Op/hr
Factor Operacional Operador	70,0%	
N° Operadores Simultáneos	14,2	Op/hr
N° Operadores Simultáneos (entero)	15,0	Op/hr
Utilización Operadores	94,8%	

(1) Producción de la mina corresponde a 140 ktpd secas, de los cuales 5 ktpd son provistos por el sistema de preparación mina. Se corrige por humedad y se considera un 5% de sobrecapacidad ($135 \times 1,04 \times 1,05 = 147$).

- f) Un ejercicio teórico que suponga un sistema de colas del tipo M/M/c/GD/K, esto es, llegadas en distribución exponencial, servicio en distribución exponencial con una capacidad de servicio de 10 operadores efectivos, una disciplina de cola de tipo general y una capacidad del sistema de 32, muestra que el tiempo en cola alcanzaría en promedio 39 segundos, con una utilización promedio en torno al 100% (ver Ilustración 24). Es evidente que bajo estas premisas este resultado es inaceptable pues llevaría a un tiempo de ciclo de al menos 2,6 minutos (sin considerar pérdidas por maniobras adicionales), con una productividad promedio del LHD SA de 252 t/hr efectivas. Como resultado, el plan minero no podría cumplirse pues solo sería posible alcanzar un 81% del target requerido (considerando 32 equipos operativos, en 19 hr por día).
- g) Para llevar el tiempo en cola a cero (o cercano a cero¹²), se requerirían teóricamente 15 operadores efectivos, con una utilización promedio en torno a 67%. En este caso, el tiempo promedio en cola alcanzaría a 0,78 segundos, con lo que la productividad promedio queda en 324 t/hr efectiva.

¹² Se considera como parámetro un tiempo promedio de espera inferior a 1 segundo para no afectar el target de productividad del sistema basado en el funcionamiento de una flota operativa de 32 equipos LHD SA.

Tiempo de Espera LHD SA, Caso M/M/c/GD/K

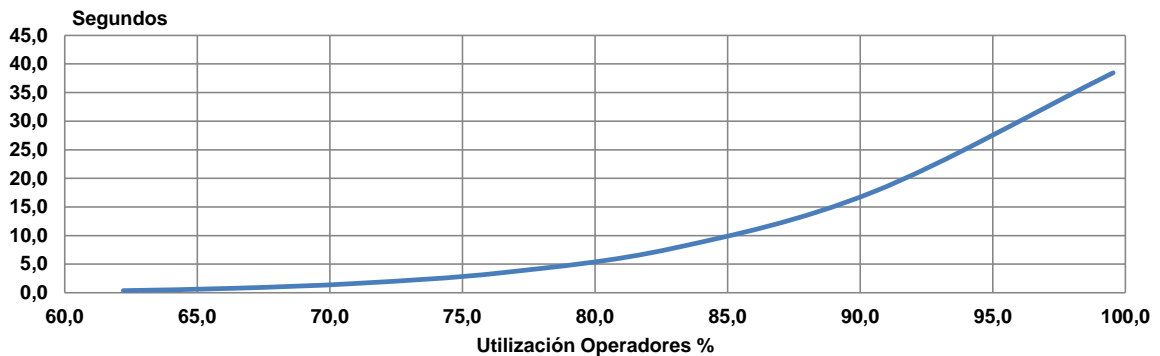


Ilustración 24: Ejemplo Cola M/M/C/GD/K (4,02 s / 40 s / variable / GD / 32)

- h) El tiempo asignado antes del proceso de carga debe ser ajustado apropiadamente debido a su relación con la velocidad del equipo y la distancia al punto de extracción, a saber:
- Considerando una velocidad crucero de 12 km/hr, esto es 3,3 m/s, en 5 segundos el LHD SA ha de recorrer un poco más de 16 m de distancia.
 - Si la velocidad crucero es de 15 km/hr, el LHD SA ha de recorrer alrededor de 21 m de distancia.
 - Esto sugiere que el punto de asignación debe estar al menos 21 metros¹³ previos al punto de extracción asignado (suponiendo que el equipo desarrolla una velocidad media de 15 km/hr), de forma que en 5 segundos de tiempo el operador pueda adecuarse al contexto de carga, calle y equipo, y quede en condición de realizar la primera maniobra de ataque al punto de extracción sin pérdidas de eficiencia que limiten la productividad.
 - Cualquier esfuerzo por aumentar la velocidad crucero de los equipos LHD's SA, tendencia asociada a mejorar la productividad del equipo, derivará en que el punto de asignación irá creciendo en una razón de la velocidad al cuadrado y la desaceleración que tenga el equipo. Este aspecto deberá ser tomado en cuenta para generar la lógica de asignación de los equipos semiautónomos.

¹³ Sin considerar efectos asociados a los comentados en la sección 4.1.5 respecto de la cinemática del equipo LHD en caso de no haber asignación.

- i) Finalmente, la disponibilidad de operadores podría verse afectada por las curvas de productividad en el centro de operaciones, derivado del comportamiento de las personas frente a su ciclo circadiano.
- Este tema fue materia de estudio para la formulación del CIOG y sus efectos en la productividad durante la Ingeniería Básica del PMCHS.
 - El estudio del ciclo circadiano es importante por cuanto comportamientos cíclicos donde todos los operadores disminuyan su productividad de manera simultánea, por ejemplo, al final del turno, generarán eventualmente efectos medibles en el encolamiento de los equipos, pudiendo incluso generar el denominado efecto de “explosión de colas”, debido al desbalance entre llegadas y tiempo de atención que genera aumentos explosivos de los tiempos de espera. La Ilustración 25 muestra las Productividades operadores de telecomandos consideradas en Ingeniería Básica PMCHS.

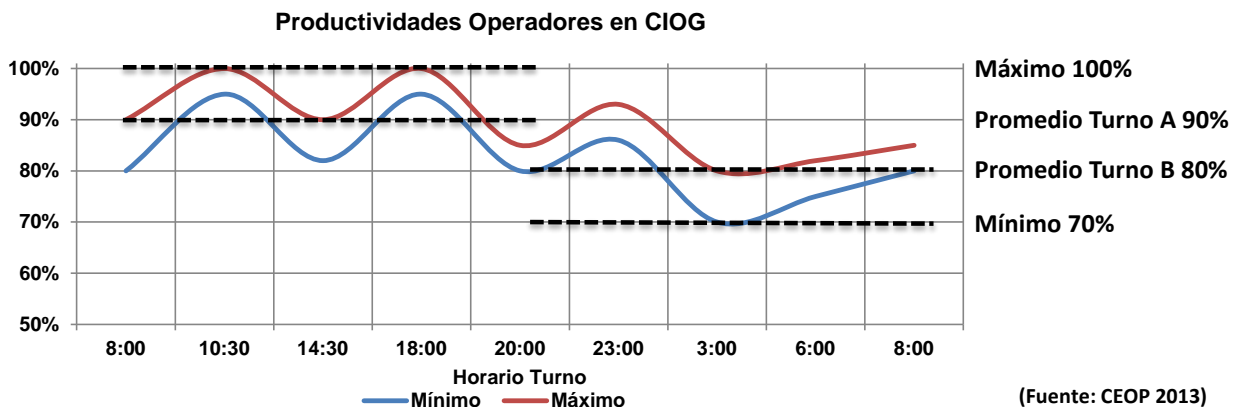


Ilustración 25: Productividades operadores de telecomandos consideradas en Ingeniería Básica PMCHS

- De ahí que es importante considerar en el diseño del sistema de operación operadores adicionales disponibles durante el turno que generen el relevo y/o mantengan la productividad media dentro de ciertos rangos que le dé estabilidad al diseño del sistema de asignación dinámica.
- Un tema interesante a considerar es que en la experiencia de otras industrias que trabajan en sistemas del tipo “call center” este patrón no se observa con la magnitud considerada en la ingeniería del PMCHS. Por lo mismo, se deberá estudiar con mayor profundidad

el real impacto del concepto del ciclo circadiano en la productividad de los operadores.

4. El cliente sale del sistema.

En este caso, se le entrega al sistema de control central el comando del equipo una vez que la operación de carguío se realiza y el equipo LHD SA se ha repositionado al centro de la calle de producción adecuadamente. Se asume que transcurridos unos pocos segundos de que esto último ocurre, el operador queda libre para asistir la carga de otro LHD o Martillo en el sistema.

En base a lo presentado anteriormente, el tiempo que en promedio un operador estará ocupado es el siguiente:

$$T_{operador} = T_{maniobras} + T_{carguío} + T_{salida} \quad (Ec.7)$$

Como ya se estableció anteriormente:

- a) Las maniobras de posicionamiento se minimizan si hay operador disponible al momento de realizar la asignación desde el CIOG. Se asume que este tiempo será aproximadamente el necesario para cubrir la distancia entre el punto de asignación (38 metros antes del punto de extracción escogido) considerando una velocidad decreciente hasta iniciar formalmente el carguío propiamente tal. En este caso no se materializa encolamiento del LHD SA en espera de operador.
- b) Las maniobras de posicionamiento se maximizan en el caso de que no haya operador disponible. En tal caso, el equipo deberá detenerse completamente unos 10 metros antes del punto de extracción, a la espera por operador. Una vez que el operador es asignado, el operador pondrá en movimiento al equipo, y lo conducirá remotamente hasta el punto de extracción para iniciar la operación de carga.
- c) Notar que a pesar de que no haya encolamiento, desde el punto de vista del uso del tiempo del operador, podrá ser necesario un tiempo de adaptación al entorno y equipo a operar, tal como se explicó en el punto 3 de la sección 4.1.5.
- d) De forma similar ocurre en el caso de caracterizar la salida del operador del sistema. En este caso, este tiempo puede ser ocupado para que el operador informe de singularidades encontradas durante el proceso de carguío, por ejemplo, estado del punto de extracción referente a granulometría o dificultad de carga, visibilidad o estado de la pista. Esta información será importante para determinar otras acciones por parte de Gestión de Flotas en el CIOG, por ejemplo, la limpieza de la pista o el envío de personal para confirmación de eventos específicos.

- e) Este tiempo es paralelo al movimiento que lleva el LHD SA en el caso de que no se haya detenido del todo, por cuanto no debe gravar el tiempo de ciclo del equipo aun cuando si debe ser considerado para efectos del tiempo de utilización del operador.
- f) Sin embargo, lo anterior implica que mientras antes se realice la asignación, mayor será el tiempo que un operador requerirá para llevar a cabo la actividad productiva, lo que tendrá a su vez efectos en la utilización promedio de los operadores disponibles.

4.3. AJUSTE DEL MODELO PROPUESTO

Se realiza a continuación una comparación entre el modelo de colas estudiado basado en un sistema del tipo M/M/C/GD/K y los resultados del modelo de simulación realizados por el PMCHS durante la IB. Este último se asume como “la realidad”.

El modelo teórico utiliza los siguientes parámetros:

- Llegadas: markovianas de parámetro variable según se trate.
- Atención: markoviana de parámetro 1,5 atenciones/min, esto es, atención en promedio cada 40 segundos.
- Capacidad: determinada por el número de operadores en CIOG, en este caso se varía desde 10 a 16 operadores.
- Disciplina general de atención.
- Límite del sistema se asume en 32, esto es, el universo de llegadas se asocia a un número finito de LHD SA operando.

Los resultados muestran un ajuste razonable, que se representa en menos del 2% de diferencias en la estimación del tiempo de ciclo y la productividad del equipo LHD SA, tal como se muestra en la Ilustración 26 e Ilustración 27.

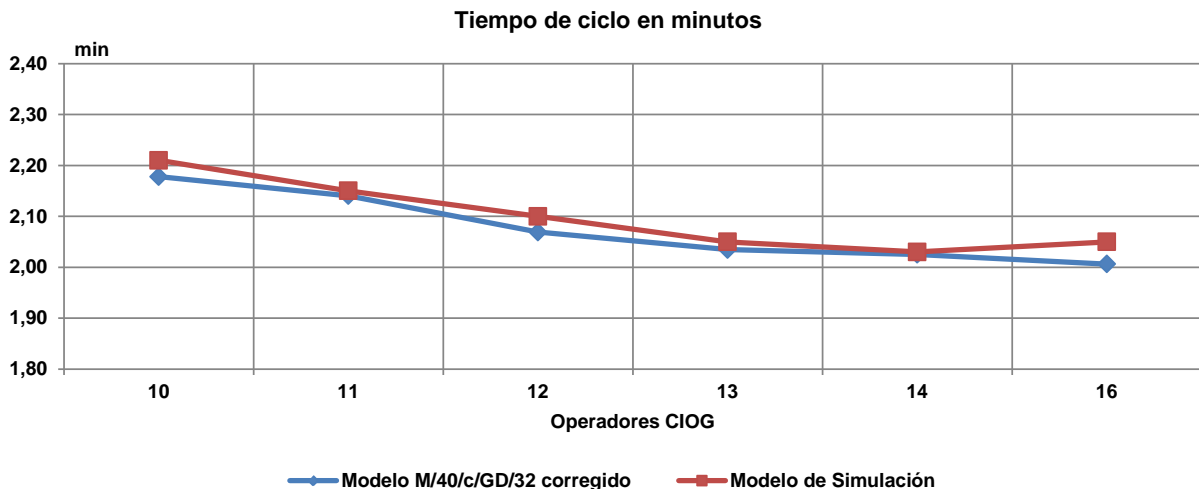


Ilustración 26: Tiempo de ciclo LHD SA Caso Simulación y Teoría de Colas

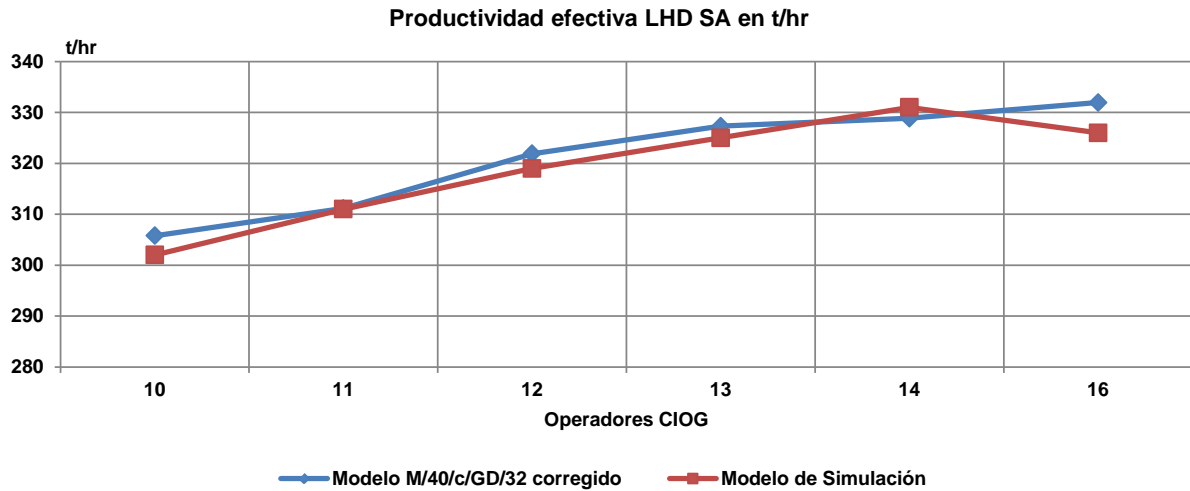


Ilustración 27: Productividad LHD SA Caso Simulación y Teoría de Colas

Cabe destacar que no todos los ejercicios realizados cumplen con el objetivo de producción requerido, por cuanto la productividad del sistema varía a la baja en la medida que aumenta el tiempo de encolamiento. Esto sugiere que es necesario aumentar el parque de equipos para casos bajo el objetivo requerido, lo que llevará como consecuencia a un aumento de operadores en la sala de operaciones. Para ambos casos, modelo teórico y simulación, la meta productiva se cumple sobre 14 operadores en dicha sala.

También es interesante notar que en la medida de que la productividad decae, producto del aumento de los tiempos en cola, las llegadas se modifican, cambiando el parámetro respectivo.

Tabla 4: Resultados Comparación simulación y modelo teórico

Operadores	Unid	10	11	12	13	14	16
Modelo de Simulación							
Llegadas	seg	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Ciclo LHD SA	min	2,21	2,15	2,10	2,05	2,03	2,05
Productividad	t/hr ef	302	311	319	325	331	326
Producción	ktpd	123	134	136	138	146	148
Modelo M/40/c/GD/32 corregido							
Llegadas	seg	4,81	4,42	4,35	4,29	4,06	4,00
Ciclo LHD SA	min	2,18	2,14	2,07	2,03	2,03	2,01
Productividad	t/hr ef	306	311	322	327	329	332
Producción	ktpd	135	137	142	144	145	146

4.4. EJERCICIOS DE PRODUCTIVIDAD BASADOS EN TEORÍA DE COLAS

El presente apartado se basa en considerar válido el comportamiento de teoría colas para el caso estudiado. Para simplicidad, se asume que el comportamiento de las mismas responde a distribuciones conocidas tipo poisson, como es el caso de las llegadas y las atenciones. Si bien se requiere una comprobación formal al respecto, los antecedentes presentados apoyan que esta hipótesis no está lejana de la realidad.

El propósito de esto es dar respuesta analítica a las preguntas realizadas en la Sección 2.2. Entre ellas, mostrar que un sistema de asignación dinámica basado en teoría de colas permite optimizar el sistema permitiendo minimizar el tiempo de encolamiento con mínimo personal en operaciones.

Para ello se consideran los siguientes escenarios:

1. Incorporar el sistema LHD SA basado en tele-operación en una relación 1 a 1 en término de operador versus equipos. Esto es, asignación estática sobre la base de un ratio operador a equipo de 1 a 1.
2. Optimizar la relación operador/LHD SA para ratios de 2, 3 y 4, sobre la base de asignaciones estáticas definidas antes del inicio de la operación.

Un modelo general de análisis se presenta en la Ilustración 28. Este modelo es basado en el concepto de asignación estática. Como es posible observar, un modelo manual opera sobre la base de 1 LHD por 1 operador, dónde no se materializa encolamiento, sin embargo, la utilización de cada operador es del 100%.

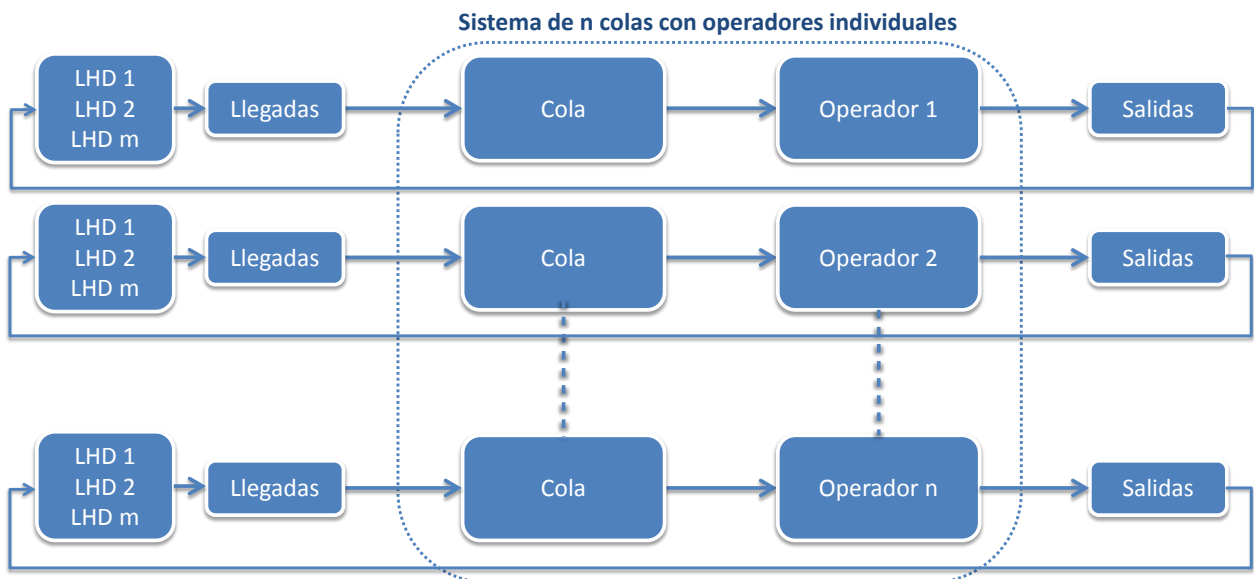


Ilustración 28: Esquema general de sistema de colas con operadores individuales

- Mostrar las ventajas de agrupar operadores (para aumentar la capacidad de cada "servidor"). En el caso extremo, se tendrá 1 cola y 1 servidor con n operadores. Esto es, trabajar bajo el supuesto de asignación dinámica aplicada a diferentes configuraciones de agrupaciones que se explicarán más adelante.

Un modelo general de análisis se presenta en la Ilustración 29 para el caso de sistemas agrupados basados en el concepto de asignación dinámica.

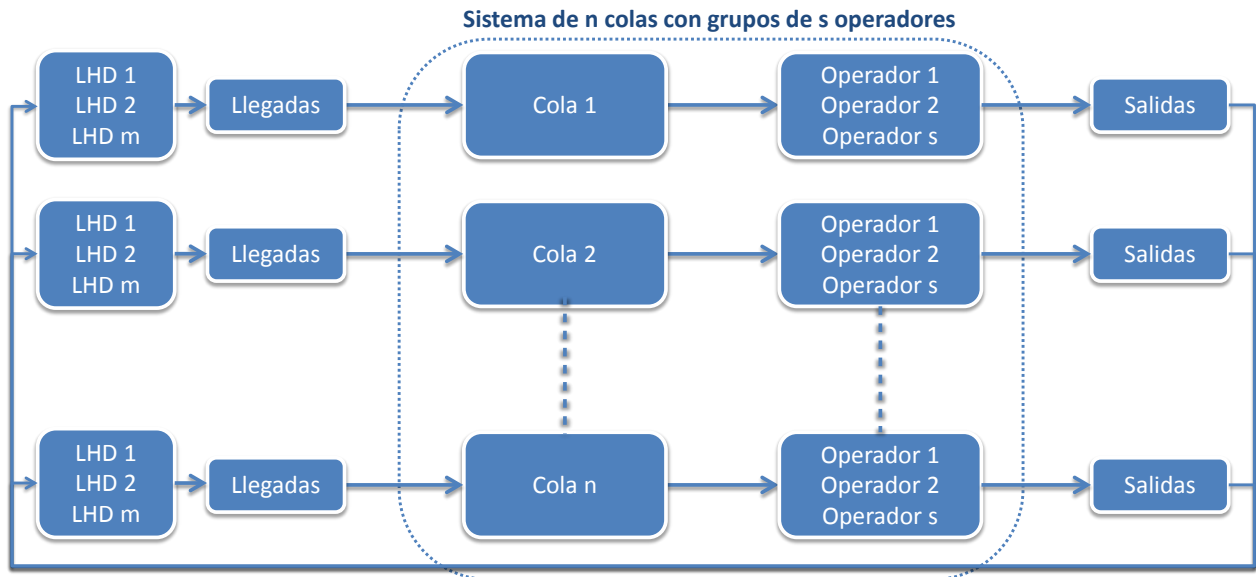


Ilustración 29: Esquema general de sistema de colas con operadores agrupados

4.4.1. SUPUESTOS

Para realizar este ejercicio se utilizarán los siguientes supuestos y simplificaciones:

- El proceso estudiado se puede modelar analíticamente utilizando un modelo $M/M/C/GD/K$.
- Los procesos de llegadas y atención son de tipo markoviano.
- No hay rechazos ni abandonos.
- La disciplina de atención es de tipo general.
- Solo se consideran las llegadas de solicitudes de servicio de carguío para LHD SA, sin considerar la operación y solicitudes de reducción de bolones en punto de vaciado.
- La capacidad de atención es constante y es efectiva, por lo que no se consideran variaciones de las mismas a lo largo del tiempo.
- Para introducir los efectos de la variabilidad de la operación por conceptos de productividad de operadores se establecerán ejercicios adicionales en una sección posterior.

- La suma de LHD's SA debe corresponder a la flota efectiva requerida para cumplir con la producción, verificada la productividad individual y agregada de los equipos.
- Operadores se redondean al entero superior en el caso de resultados con fracciones.

Cabe destacar que el uso de modelos analíticos en este caso no busca precisión en sus resultados, sino más bien mostrar tendencias en términos de validar las mejoras de productividad que puedan encontrarse en caso de materializarse la hipótesis de trabajo de la presente tesis. Como se ha discutido en otras secciones, resultados con mayor precisión se pueden obtener a través de simulaciones que se ajusten al proceso requerido, las cuales se pueden realizar para aquellos casos en los que se quiera profundizar.

4.4.2. CASOS PROPUESTOS

En resumen, los siguientes son los casos propuestos:

Tabla 5: Resumen de Casos Sensibilidad 1 de 2

Casos	Descripción	Criterio	Detalle
Caso Base	Manual	1 a 1	1 operador por equipo operativo
Caso 0	Asignación Estática	1 a 1	1 operador en CIOG se asigna a 1 equipo LHD SA
Caso 1	Asignación Estática	1 a 2	1 operador en CIOG se asigna a 2 equipos LHD SA
Caso 2	Asignación Estática	1 a 3	1 operador en CIOG se asigna a 3 equipos LHD SA
Caso 3	Asignación Estática	1 a 4	1 operador en CIOG se asigna a 4 equipos LHD SA
Caso 4	Asignación Dinámica	40 segundos de atención en la carga en promedio. Relación Operador/Equipo se verifica como resultado, buscando un tiempo de cola inferior a 1 segundo.	

Los resultados se muestran en el capítulo siguiente.

4.5. SENSIBILIDAD A VARIABLES RELEVANTES

4.5.1. LÓGICA DE ASIGNACIÓN Y SU EFECTO EN LOS TIEMPOS DE ATENCIÓN

Como se vio en la sección 4.1.5, para que se realice la asignación de un operador se tienen que cumplir a lo menos dos condiciones:

- Que un LHD SA haya sido asignado con un origen-destino desde Control Producción. Esto es, partiendo desde la proximidad del punto de vaciado, un LHD SA conoce a qué punto de extracción debe movilizarse y posteriormente, sabe a qué punto de vaciado debe movilizar la carga mineral. Esta condición es importante pues el sistema de información debe proporcionar la certeza de que el pique de vaciado, la calle de producción y el punto de extracción están operativos antes de proceder a asignar un LHD SA en la calle de producción.
- Que un operador disponible en la sala de operación ubicada en superficie haya sido asignado por el sistema de gestión de flotas y asignación dinámica. Esto deberá ocurrir en el límite en la vecindad del punto de extracción a ser operado con el fin de minimizar la utilización del conjunto de operadores. Sin embargo, para distancias cortas se tendrá que la asignación de operador a LHD SA se deberá realizar inmediatamente a continuación de la asignación de LHD SA a punto origen-destino conocido.

Como resultado de lo descrito se tiene que:

- Se genera una alta probabilidad de que se materialice en promedio un tiempo de espera por operador para todas aquellas cargas que estén en la vecindad de un punto de vaciado, no así en el caso de puntos más alejados, pues en este caso la lógica de asignación posee un mayor tiempo para realizar la verificación necesaria, mientras el equipo se traslada a destino. Ver Ilustración 30.

Los puntos marcados en color naranja en la Ilustración 30 corresponden a puntos dónde la lógica de asignación podría inducir naturalmente un encolamiento de LHD SA por cuanto su distancia al punto de vaciado es muy corta.

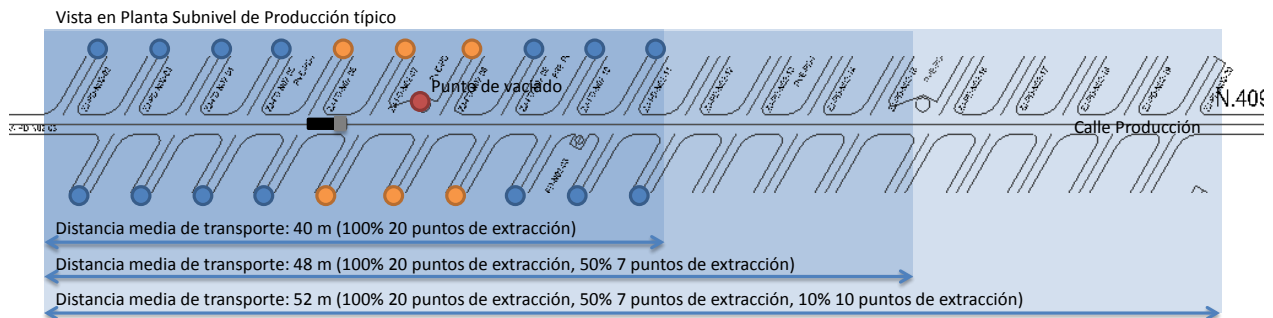


Ilustración 30: Distribución de distancias entre punto de vaciado y puntos de extracción

- Esta condición no se ve reflejada en el modelo matemático analizado, por cuanto el modelo de llegadas markoviano establece la hipótesis de pérdida de memoria

o de independencia entre llegadas y tampoco asume la relación descrita entre el origen del requerimiento (la asignación por control de producción al equipo) y la llegada al CIOG del requerimiento por operador.

- Por otro lado, una lógica de asignación conservadora (esto es, una que asigne tan pronto como exista un operador disponible) podrá generar un mayor tiempo de utilización del operador que queda asignado al equipo pero que no está siendo utilizado en la operación de carga remota. Este efecto podría aumentar la utilización promedio de los operadores, traducándose en la práctica en aumentos de la probabilidad de encolamientos por una menor disponibilidad de operadores. En este caso, para efectos de sensibilidad, se establece como hipótesis que en promedio se requerirían más segundos de anticipación en la asignación de operadores, llevando de los 5 segundos considerados a 15 segundos, es decir, 10 segundos adicionales, lo que lleva la métrica de la operación a 50 segundos en promedio en total¹⁴.
- En la misma línea argumental, una lógica de asignación menos conservadora, por ejemplo, una que busque asignar “just in time” al operador (5 segundos antes de llegar al punto de asignación), podría generar una mayor probabilidad de encolamiento, si es que el dimensionamiento del pool de operadores genera condiciones en la que sistemáticamente se verifique que ante la necesidad de asignación, el pool de operadores se encuentre 100% ocupado, generando encolamiento de la forma descrita en la sección 4.1.5. Esta misma condición generará por otro lado una menor utilización del operador, por lo que el efecto negativo mencionado podría ser compensado. Para efectos de sensibilidad, se asumirá que el criterio de asignación es “just in time” y, por lo mismo, se eliminarán los 5 segundos requeridos para que el operador se habitúe al medio y solo se asignará cuando sea requerido por el sistema en la vecindad del punto de extracción. Con esto, el tiempo promedio de carga de un operador será de 35 segundos.
- Nuevamente, en el caso mencionado, el modelo podría no responder adecuadamente a la cinemática del equipo, puesto que al no verificarse disponibilidad de operador, no solo se encola el equipo LHD SA, sino que también se genera una respuesta que detiene al equipo y obliga a considerar un tiempo de maniobras adicionales no capturadas en el modelo matemático asumido.

4.5.2. VARIACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE OPERADORES DURANTE EL TURNO

Como se dijo anteriormente, el estudio CEOP 2013 estableció que la ergonomía del lugar de operación podrá generar comportamientos que favorezcan o dificulten la productividad de los operadores. Con todo, es esperable una curva de productividades que no es constante. Esta curva se conoce como “la gaviota”, la cual se utiliza en

¹⁴ Notar que el túnel el LHD SA viaja a mayor velocidad bajo navegación autónoma que bajo operación remota desde el CIOG. Este efecto no ha sido incorporado en el análisis.

diferentes industrias para internalizar fenómenos de productividad asociado al ciclo circadiano de las personas.

Durante la ingeniería básica del PMCHS se formuló una curva esperada de productividad que se utilizó en las simulaciones para determinar la capacidad productiva del sistema. La misma se presentó en la Ilustración 25 (página 54).

Por otro lado, en conversaciones con ejecutivos de ATENTO (Atento 2016), éstos aseguraron que no había motivos específicos para asumir oscilaciones tan importantes como las presentadas, principalmente en el comportamiento de operadores en el día y en la noche. Esta opinión está basada en la experiencia de centros de llamados y de atención de diferentes industrias, varias de las cuales son similares en la estructura logística y la filosofía de gestión a la que el PMCHS está impulsando.

Por lo mismo:

- Para efectos de sensibilidad, se asumirá que debido a diferentes motivos la productividad media de los operadores decae un 20% y, en consecuencia, el tiempo de atención total se incrementa desde 40 segundos a 50 segundos.
- De la misma forma, se asumirá que por diferentes razones, el tiempo de operación de carga remota se optimiza de forma que en total se requieren 25 segundos por operadores en promedio.

4.5.3. CAMBIOS AL UNIVERSO DE CLIENTES

Desde la perspectiva del caso estudiado, el universo de clientes es relevante pues cambia la proporción de oferta y demanda por servicios de carga, que a su vez tendrán efectos en la utilización del pool de operadores. Para efectos de los ejercicios de sensibilidad, se supondrá que:

- Se cambia el tamaño del balde del 100% de la flota de forma que una carga efectiva aumenta en un 50% su valor, esto es, pasa de 11,1 t a 16,7 t, lo que es compatible con la utilización de equipos LHD's de mayor tamaño, en particular, de 14 a 15 yd³ existentes en el mercado. Esto implica que se requieren menos cargas efectivas por hora para completar la producción requerida, por lo que la frecuencia de solicitudes de atención en CIOG por operador subirá desde 4,02 segundos entre llegadas (14,9 clientes por minuto) a 6,03 segundos entre llegadas (10 clientes por minuto) en promedio.
- De forma similar, se asume que el desarrollo tecnológico aplicado al método de explotación y/o diseño de equipos LHD SA genera la oportunidad de realizar el carguío de forma autónoma en algún porcentaje de las cargas totales. Esto se genera, ya sea por la aplicación de pre-acondicionamiento intensivo que genera una granulometría más favorable al proceso de carga y/o al diseño de sistemas robóticos capaces de realizar la carga bajo condiciones no ideales como las conocidas hasta ahora. Para efectos de este ejercicio, se considerará que:
 - Un 50% de las cargas requeridas en el punto de extracción se realizan de forma autónoma. El efecto en el número de clientes por minuto que solicitan servicio es el mismo efecto que en el caso 1, eso es, la

frecuencia de solicitudes de atención en CIOG por operador subirá desde 4,02 segundos entre llegadas (14,9 clientes por minuto) a 8,03 segundos entre llegadas (7,5 clientes por minuto) en promedio.

- Un 80% de las cargas requeridas en el punto de extracción se realizan de forma autónoma. En este caso, la frecuencia de solicitudes de atención en CIOG por operador subirá desde 4,02 segundos entre llegadas (14,9 clientes por minuto) a 20 segundos entre llegadas (3 clientes por minuto) en promedio.

4.5.4. CASOS PROPUESTOS DE SENSIBILIDAD

En resumen, los siguientes son los casos propuestos:

Tabla 6: Resumen de Casos Sensibilidad 2 de 2

Casos	Descripción	Criterio	Detalle
Caso 5	Asignación Dinámica	25 segundos	Mejora productividad en 15 segundos carga
Caso 6	Asignación Dinámica	35 segundos	Mejora productividad en 5 segundos carga
Caso 7	Asignación Dinámica	50 segundos	Pérdida productividad operador
Caso 8	Asignación Dinámica	40 segundos Llegadas cada 6,03 s	Aumento en 50% capacidad del balde
Caso 9	Asignación Dinámica	40 segundos Llegadas cada 8,03 s	50% de carga autónoma por LHD SA
Caso 10	Asignación Dinámica	40 segundos Llegadas cada 20,09 s	80% de carga autónoma por LHD SA

Los resultados se muestran en el capítulo siguiente.

5. IMPLICANCIAS AL NEGOCIO

En esta sección se presenta una discusión referente a la productividad que muestran los ejercicios propuestos en el capítulo anterior. De la misma forma, se exploran riesgos y oportunidades asociados a la aplicación de la propuesta.

5.1. PRODUCTIVIDAD

La productividad del sistema de producción depende de diferentes factores.

Un diagrama general que muestra las relaciones entre variables y criterios principales se muestra en la Ilustración 31.

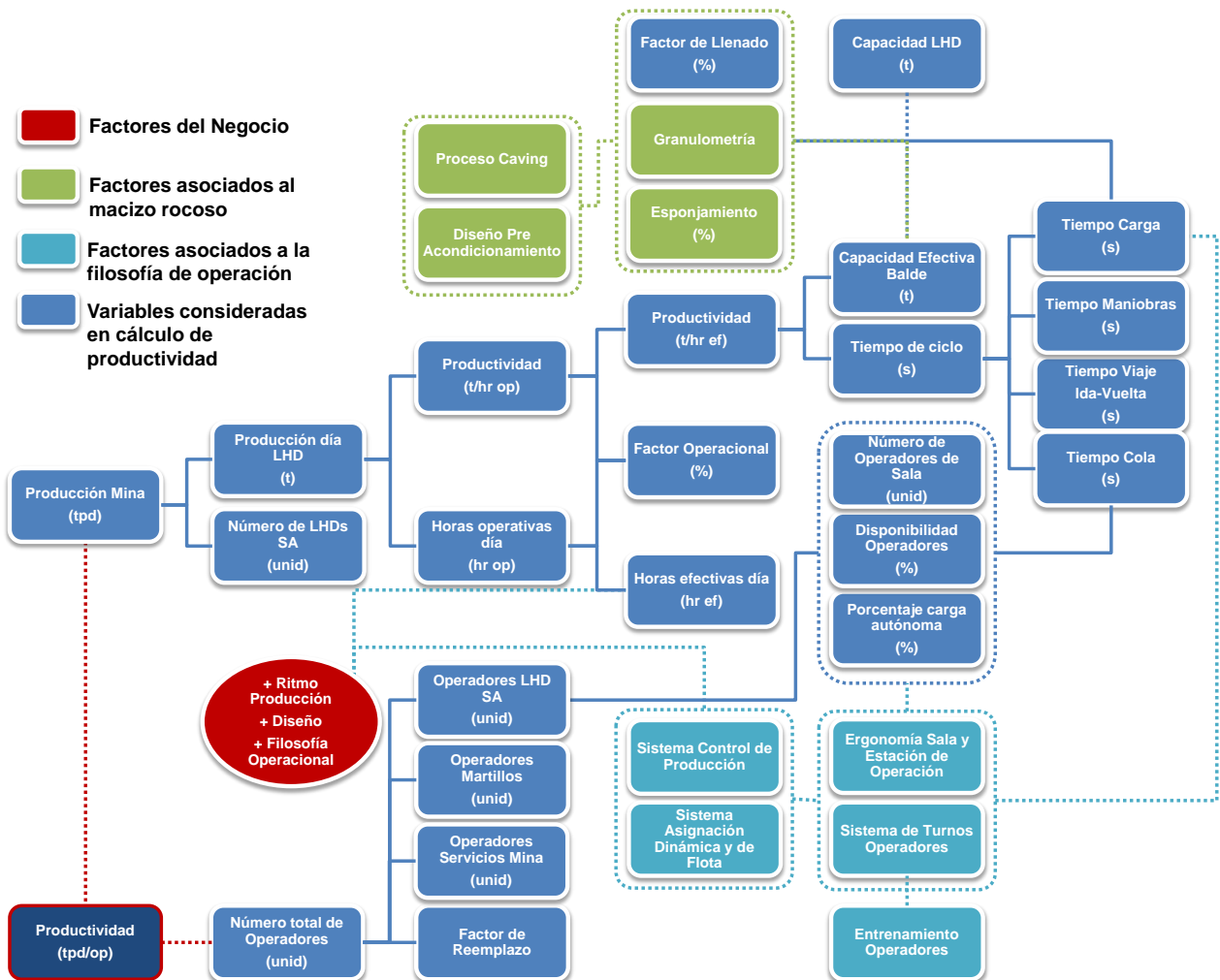


Ilustración 31: Diagrama general productividad en minas subterráneas

La productividad se mide sobre la base de la producción mina en base diaria y el número total de operadores requerido para realizar lo anterior, lo cual arroja un resultado en tpd/H-día en base diaria o su equivalente en Kt-año/H-año en el caso de escalar estos resultados a nivel anual.

En este caso, el modelo de productividad considera aquellas actividades relacionadas directamente con la actividad del LHD SA. Por lo mismo, se considera el aporte que realizan las actividades de martillos de reducción secundaria en punto de vaciado y el apoyo en terreno que requiere la operación LHD SA, tal como aquellas referidas a cambio y limpieza de calle, traslado a taller y suministro de diesel, entre otras actividades que deben, por ahora, ser ejecutadas directamente en terreno debido al estado de la tecnología. También se consideran los operadores en CIOG, tanto de martillos como de LHD SA, así como Control y Gestión de Flotas.

En este sentido, se excluyen los efectos asociados a requerimientos en mantenimiento de dichos equipos, así como todas las otras actividades productivas aguas abajo tal como operación y mantenimiento del sistema de manejo de minerales y otras plataformas de control en el CIOG, entre otras.

Se han mostrado de forma explícita algunos factores que si bien no participan directamente del modelo de productividad, su comportamiento determina directamente la respuesta del modelo a través de criterios y parámetros asociados a factores medibles, tales como la capacidad efectiva del balde del LHD, los tiempos de carga o las horas efectivas por turno. Sin embargo, estos factores representan elementos fundamentales que habilitan el modelo productivo asociado al negocio y al entorno donde él es aplicado. Entre ellos se tiene:

- Factores asociados al Negocio, tales como el Ritmo de Producción, Diseño y la Filosofía de Operación, factores que por su relevancia, son los generatrices de todo el modelo de producción representado.
- Factores asociados al Macizo rocoso y el diseño asociado, entre las que se encuentran la respuesta del macizo al proceso de caving y flujo gravitacional, el diseño del preacondicionamiento y sus efectos sobre la granulometría, entre otros.
- Factores asociados a la Filosofía de Operación y el Modelo de Gestión de Recursos Humanos, que están asociados a las personas y el diseño de las operaciones, productividades y entrenamiento.

Este modelo simplificado de productividad permitirá comparar sobre la base de un indicador de rendimiento agregado los efectos sobre el negocio para identificar la tendencia de las potenciales mejoras que traen consigo las opciones propuestas.

5.1.1. RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos se muestran en la Ilustración 32 y Tabla 7. Los mismos están respaldados en el Anexo 9.7.

Se advierte una mejora progresiva de la productividad del sistema. Esto permite en resumen:

- Un 43% de mejora de productividad por uso de operación remota basado en conceptos de asignación estática, por sobre el caso manual.
- Una mejora de un 85% si se utiliza el concepto de asignación dinámica en vez de asignación estática.
- Un potencial de mejora de un 39% adicional si se incorporan mejoras al proceso que cambien el universo de clientes, tales como aumento del tamaño del LHD o el uso de carguío autónomo.
- Adicionalmente, se advierte que para asignación estática en el PMCHS no es posible utilizar relaciones Equipo/Operador superiores a 2, puesto que se generan tiempos de encolamientos que van en contra de la productividad del sistema, haciéndolo inviable.

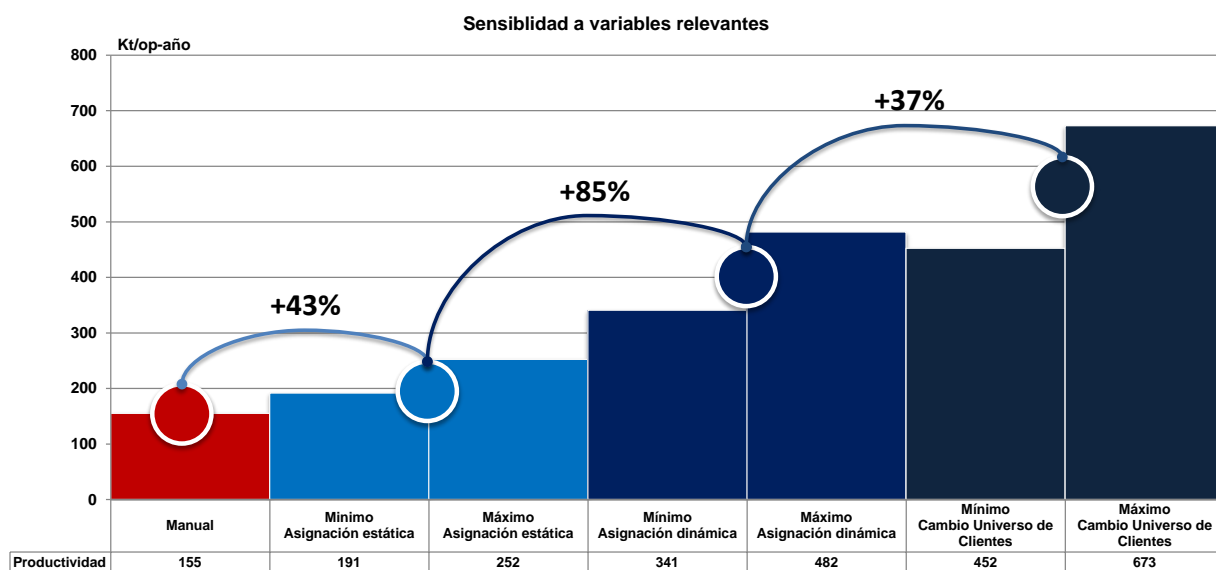


Ilustración 32: Resumen resultados de productividad

Tabla 7: Resumen resultados de productividad

Casos	Descripción	Criterio	Detalle	Productividad Kt/op-año
Caso Base	Manual	1 a 1	1 operador por equipo operativo	155
Caso 0	Asignación Estática	1 a 1	1 operador en CIOG se asigna a 1 equipo LHD SA	191

Caso 1	Asignación Estática	1 a 2	1 operador en CIOG se asigna a 2 equipos LHD SA	252 ¹⁵
Caso 2	Asignación Estática	1 a 3	1 operador en CIOG se asigna a 3 equipos LHD SA	266 ¹⁶
Caso 3	Asignación Estática	1 a 4	1 operador en CIOG se asigna a 4 equipos LHD SA	255 ¹⁷
Caso 4	Asignación Dinámica	40 s atención Llegadas cada 4,02 s	Caso base AD	372
Caso 5	Asignación Dinámica	25 s atención	Mejora productividad en 15 segundos carga	399
Caso 6	Asignación Dinámica	35 s atención	Mejora productividad en 5 segundos carga	482
Caso 7	Asignación Dinámica	50 s atención	Pérdida productividad operador	341
Caso 8	Asignación Dinámica	40 s atención Llegadas cada 6,03 s	Aumento en 50% capacidad del balde	452 ¹⁸
Caso 9	Asignación Dinámica	40 s atención Llegadas cada 8,03 s	50% de carga autónoma por LHD SA	500
Caso 10	Asignación Dinámica	40 s atención Llegadas cada 20,09 s	80% de carga autónoma por LHD SA	673

¹⁵ Se considera un parque de 32 equipos efectivos para mantener el target de producción establecido.

¹⁶ No cumple con target de producción establecido si se mantiene en 32 equipos efectivos el parque disponible. Para cumplir con lo anterior se requieren alrededor de 37 equipos.

¹⁷ No cumple con target de producción establecido si se mantiene en 32 equipos operativos el parque disponible. Para cumplir con lo anterior se requieren alrededor de 45 equipos.

¹⁸ Se dimensiona la flota de LHD de forma que cumpla con la producción, que en este caso alcanza 19 equipos operativos.

5.2. RIESGOS Y OPORTUNIDADES

Para el diseño del análisis de riesgo y oportunidades se consideró la confección y análisis de una encuesta. Esta misma sirve al propósito de mostrar elementos de interés o relevantes para establecer un adecuado roadmap de desarrollo e implantación, así como abrir la discusión en temas que se consideren relevantes. La misma, no pretende ser estadísticamente significativa, por lo que sus conclusiones son válidas en el plano cualitativo y no son estadísticamente concluyentes.

5.2.1. DISEÑO ENCUESTA

El diseño de la encuesta consideró dos entrevistas iniciales que permitieron delinear la forma y fondo de los temas planteados en las mismas.

1. Víctor Schweikart: Director de Investigación y Desarrollo, CSIRO Chile.
2. Jaime Altamirano: Mine Automation, Sandvik Chile.

Posterior a esto, se eligió un target de 10 profesionales, los cuales participaron activamente de una entrevista personalizada de alrededor 1 hr de conversación guiada a los cuales se les solicitó feedback posteriormente para mejorar las preguntas y el enfoque de las mismas.

Los profesionales y ejecutivos seleccionados para las entrevistas presenciales fueron los siguientes:

1. Julio Morales: Gerente Equipos Minería, Innovación y Tecnología, Komatsu.
2. Germán Flores: Gerente Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, Codelco.
3. Nancy Perez: Directora Ejecutiva, Dirección de Desarrollo Tecnológico, Universidad del Desarrollo.
4. Ronald Guzmán: Director Escuela de Minería, Universidad del Desarrollo.
5. Javier Ruiz del Solar: Director AMTC, Universidad de Chile.
6. Rodrigo Andrades: Jefe Operaciones RENO, División El Teniente, Codelco.
7. Ricardo Durán: Director Planificación Estratégica, Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, Codelco.
8. Jorge Sougarret: Gerente Minería Subterránea, División Chuquicamata, Codelco
9. Roberto Medina: Gerente de Recursos Humanos, Vicepresidencia de Proyectos, Codelco.
10. Norma Vargas: Ingeniero Especialista Departamento de Automatización, Gerencia TICA, Codelco.

Adicionalmente, se realizaron visitas a terreno a los siguientes centros, lo cual permitió conocer y discutir aspectos diversos asociados a operaciones en centros remotos de gestión y operación de diferentes industrias:

1. Comando Conjunto Austral, Ejército de Chile, Punta Arenas, Chile.
2. Sala CIO Mina Ministro Hales, Codelco, Calama, Chile.
3. ATENTO, Centro de Contactos, Santiago, Chile.
4. Kairos Mining, Santiago, Chile.

En función de lo anterior se confeccionó un cuestionario de 12 preguntas que fue enviado vía email a 100 destinatarios, todos ellos relacionados con minería subterránea en seis grandes ámbitos: operaciones, proveedores, negocios, RRHH, academia e ingeniería y tecnología aplicada. El cuestionario se muestra a continuación.

Todas las preguntas consideran la opción de hacer comentarios para aclarar respuestas o incorporar opiniones adicionales.

Tabla 8: Pregunta 1 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

1	El desarrollo de LHD's SA ha permitido demostrar que es posible comandarlos desde superficie a través de un operador que actúa en la etapa de carguío del mismo, siendo las otras etapas operadas de forma autónoma por el sistema de control del equipo.
	Respecto a la tecnología LHD SA desarrollada por Codelco Ud. se declara
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Confiado en sus resultados, en los próximos 3 a 5 años se cerrarán las brechas relevantes.
b	Neutral, creo que hace falta más desarrollo, por sobre 5 a 10 años de pruebas a lo menos.
c	Desconfiado de sus resultados, por lo menos los siguientes 15 años tendremos que seguir operando con sistemas manuales.
d	No conoce lo suficiente al respecto

Tabla 9: Pregunta 2 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

2	La asignación de una máquina telecomandada a un operador se puede realizar a través de dos métodos genéricos: que la máquina sea asignada a un operador específico (asignación estática), o bien, que la máquina se asigne en la medida que se desocupan los operadores (asignación dinámica).
	Respecto de la opción de utilizar un sistema de asignación dinámica de operadores Ud se declara
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Escéptico, es más de lo mismo.
b	No me genera particular interés, creo que el foco debiera ser otro.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperarí ver resultados más concretos.
e	Entusiasta, creo que es posible de implementar y generar resultados positivos aunque hay que realizar más ingeniería al respecto.
f	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

Tabla 10: Pregunta 3 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

3	Se ha argumentado que el mismo concepto de asignación dinámica para LHD's SA, de resultar exitoso, puede ser fácilmente integrado con la teleoperación de martillos, generando 1 solo gran grupo de operadores que atiendan ambas tareas con un sistema de asignación dinámica.
	Respecto de la opción de utilizar los mismos operadores para operaciones telecomandadas de carguío y reducción de bolones Ud. se declara
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, las tareas son muy diferentes.
b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar. Considero que el foco debe estar en otros temas.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperarí ver resultados más concretos, tales como pruebas y estudios específicos.

e	Entusiasta, creo que es posible de implementar aunque se requiere mas ingeniería.
f	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

Tabla 11: Pregunta 4 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

4	Al igual que en otras industrias, la teleoperación abre la posibilidad de incorporar personal que proviene de ámbitos técnicos y/o universitarios con formación en simuladores, robótica y conocimiento en softwares, similar a consolas de juegos, con un entrenamiento de menor intensidad en mecánica y operación de equipos en terreno.
	Respecto de la opción de que operadores jóvenes con poca o sin experiencia previa en conducir equipos LHD manuales puedan operar LHD Semi autónomos Ud cree que:
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, se debe tener mucha experiencia previa para manejar los equipos LHD's.
b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de la persona.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas.
e	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad.
f	Esto es una muy buena idea y hay que implementarla para garantizar capturar el valor que posee.

Tabla 12: Pregunta 5 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

5	Es conocido el hecho de que uno de los desafíos de la transición de Rajo a Subterránea generará la necesidad de reubicar a personal con mucha experiencia en minería a Rajo Abierto. Se ha argumentado que es posible reconvertir una porción de estos trabajadores para que continuen aportando a la División pero esta vez trabajando en alguna nueva función en la Mina Subterránea.
	Ud. cree que considerando exitosa esta propuesta, se podría reconvertir a operadores de equipos mineros de Rajo para ser teleoperadores de la mina subterránea?.
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, se debe tener mucha experiencia previa en minería subterránea.
b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de la persona y el foco está más bien en los sindicatos.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas y saber negociar con los sindicatos.
e	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad de mejorar las condiciones de reconversión de la mina a Rajo.
f	Esto es una muy buena idea y hay que explorarla para garantizar capturar el valor que posee.

Tabla 13: Pregunta 6 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

6	El desarrollo de la tecnología LHD telecomandada hace suponer que en un tiempo adecuado será posible considerar el proceso completo como autónomo, sin necesidad de operación remota y, por lo mismo, con nula o casi nula intervención desde un centro de operación.
	Respecto del nivel de madurez de la tecnología Ud. Considera que:
	(marque la alternativa que más sentido le hace)

a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, el problema está asociado a la granulometría del mineral principalmente y estamos hablando de al menos 20 años de desarrollo para mejorar esta variable.
b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de muchos factores y este no es el foco del negocio.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas. Creo que faltan más de 10 años de desarrollo en estos temas para ver resultados razonables.
e	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad que se puede capturar antes de 10 años de desarrollo.
f	Esto es una muy buena idea y es posible que esté desarrollada de aquí a 5 años.

Tabla 14: Pregunta 7 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

7	De materializar un sistema de asignación dinámica una de las ventajas que traería es la posibilidad de que la operación remota se realice desde centros urbanos distribuidos e integrados entre sí (por ejemplo, desde Rancagua, Santiago, Los Andes y Calama) y no necesariamente desde un centro industrial, en este caso, el Centro de Operación a las afueras del Túnel de Acceso del PMCHS.
	Respecto de la opción de utilizar un centro de operaciones telecomandadas distribuido Ud. se declara
	(marque la alternativa que más sentido le hace)
a	Escéptico, es más de lo mismo, no creo que vaya a funcionar. Se requiere que el operador tenga noción de dónde está operando y a que División pertenece.
b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar. Considero que el foco debe estar en otros temas y esto podría generar más problemas que oportunidades, por ejemplo, con sindicatos.
c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
d	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, principalmente en temas de telecomunicaciones, salas de control y sistemas de comando distribuido.
e	Entusiasta, creo que es posible de implementar, las tecnologías de comunicaciones ya funcionan de forma segura para garantizar las operaciones de la forma propuesta, aun cuando hay que continuar desarrollando esta opción para poder materializarla.
f	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

Tabla 15: Pregunta 8 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

8	En qué ámbitos Ud cree que falta mayor desarrollo para una implantación exitosa de la propuesta de LHD's SA con Asignación dinámica de operadores? (marcar 3 opciones)
a	Tecnología de comunicaciones y control
b	Desarrollo exitoso de centros de operación
c	Sistemas expertos para asignación dinámica
d	Diseño de puestos ergonómicos/inmersivos/hápticos de trabajo para operación remota
e	Capacitación y entrenamiento operadores
f	Modelo de negocios con proveedores
g	Tecnología asociada a equipo LHD SA en terreno
h	Posición frente al riesgo de ejecutivos
i	Otra

Tabla 16: Pregunta 9 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

9	En qué ámbito Ud. se considera con mayor conocimiento/experiencia? (marcar 2 opciones a lo sumo)
a	Operaciones de minas
b	Mantenimiento
c	Planificación
d	Tecnología aplicada
e	Gestión y Negocios
f	Recursos Humanos

Tabla 17: Pregunta 10 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

10	Cuantos años de experiencia/conocimiento posee en minería?
a	menos de 5
b	entre 6 y 10
c	entre 10 y 20
d	más de 20

Tabla 18: Pregunta 11 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

11	Ud. considera en materias de tecnología e innovación que una empresa como Codelco debe? (marcar 1 opción)
a	Requiere hacer apuestas para poder materializar quiebres importantes que viabilicen mejoras de productividad y mejoren el negocio en el largo plazo.
b	Existe un equilibrio entre riesgo y beneficio que es necesario tener en cuenta y así avanzar paulatinamente. Codelco debe apoyar fuertemente aquellas iniciativas de mejor relación beneficio/costo.
c	Se requiere aplicar tecnologías probadas en sus operaciones. El desarrollo de innovación y tecnología aplicada emergente debiera ser desarrollada de forma externa, dónde Codelco participe guiando en aquellos desafíos que son los más relevantes.

Tabla 19: Pregunta 12 Encuesta Teleoperación en Base a Asignación Dinámica

12	Cuál es su opinión general de que Codelco enfrente este tipo de iniciativas (Tecnología, LHD SA, Asignación Dinámica)
	Pregunta abierta

5.2.2. RESULTADOS

Los resultados principales de las encuestas llevadas a cabo se muestran en la Tabla 20.

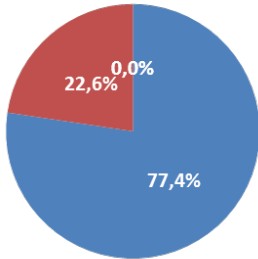
Se recibieron un total de 53 respuestas. Se consideran dentro de esta cuenta las respuestas de las 10 entrevistas presenciales.

En el Anexo 9.8 se presentan las respuestas recibidas, considerando adicionalmente los comentarios de los entrevistados en aquellas materias dónde ellos han presentado

comentarios. Aquellos considerados relevantes, serán discutidos en la siguiente sección de esta tesis.

Tabla 20: Resultados Encuesta

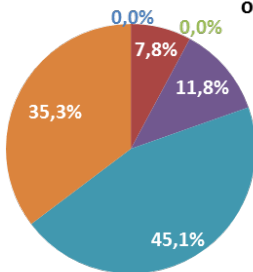
Respecto a la tecnología LHD SA desarrollada por Codelco, usted se declara:



- Confiado en sus resultados.
- Neutral.
- Desconfiado.
- No conoce.

Más de un 77% de las respuestas confía en que las brechas relevantes de la tecnología de LHD SA serán resueltas antes de 5 años, plazo compatible con la entrada de operación del PMCHS.

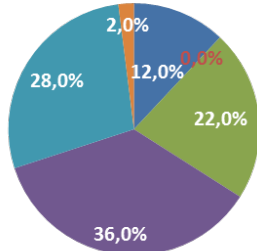
Respecto de la opción de utilizar un sistema de asignación dinámica de operadores, usted se declara:



- Escéptico.
- Sin interés.
- No aporta valor al negocio.
- Neutral.
- Entusiasta.
- Me parece muy buena idea.

Sobre un 80% de los encuestados apoya fuertemente la idea presentada en esta tesis, asociada al uso de asignación dinámica de operadores.

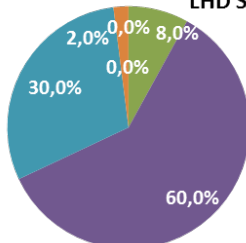
Respecto de la opción de utilizar los mismos operadores para operaciones telecomandadas de carguío y reducción de bolones, usted se declara:



- Escéptico.
- Sin interés.
- No aporta valor al negocio.
- Neutral.
- Entusiasta.
- Me parece muy buena idea.

Un 36% de las respuestas se muestra cauteloso en la idea de integrar operadores para LHD's y Martillos. Para superar esta neutralidad, se requiere un mayor nivel de estudio e ingeniería, así como pruebas que muestren su factibilidad. Un 30% apoya fuertemente esta integración.

Respecto de la opción de que operadores jóvenes con poca o sin experiencia previa en conducir equipos LHD manuales puedan operar LHD Semi autónomos, usted cree que:

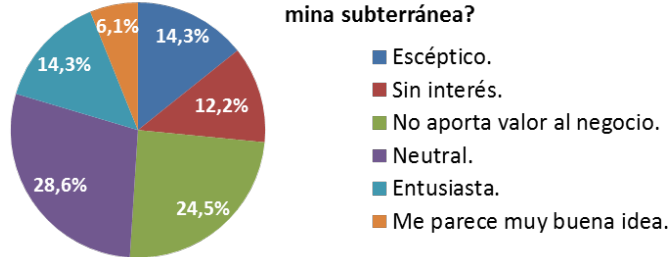


- Escéptico.
- Sin interés.
- No aporta valor al negocio.
- Neutral.
- Entusiasta.
- Me parece muy buena idea.

Una mayoría de los encuestados, 60%, considera que son necesarios mayores pruebas y un diseño robusto de entrenamiento para poder materializar exitosamente esta opción. Los comentarios indican además que la opción de reconvertir a operadores

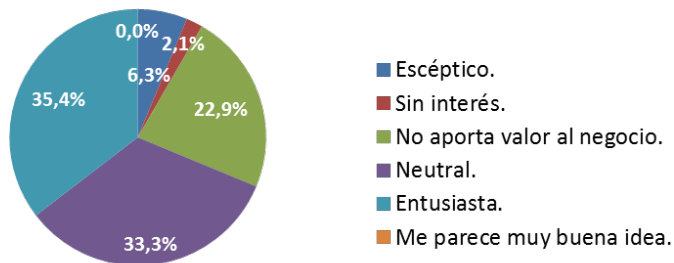
manuales debe realizarse de forma acotada.

Considerando exitosa esta propuesta, ¿Se podría reconvertir a operadores de equipos mineros de Rajo para ser teleoperadores de la mina subterránea?



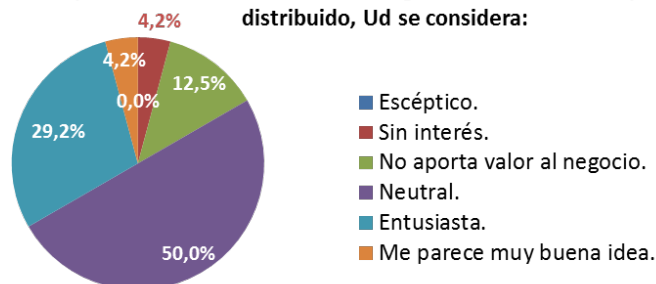
No se observa una tendencia clara respecto de aprovechar como opción de reconversión de trabajadores del rajo. Como dato, sólo un 20% de los encuestados apoya fuertemente esta opción. Al contrario, al menos un 50% se muestra con algún grado de reticencia frente a esta propuesta.

Respecto de la carga autónoma, usted considera que:



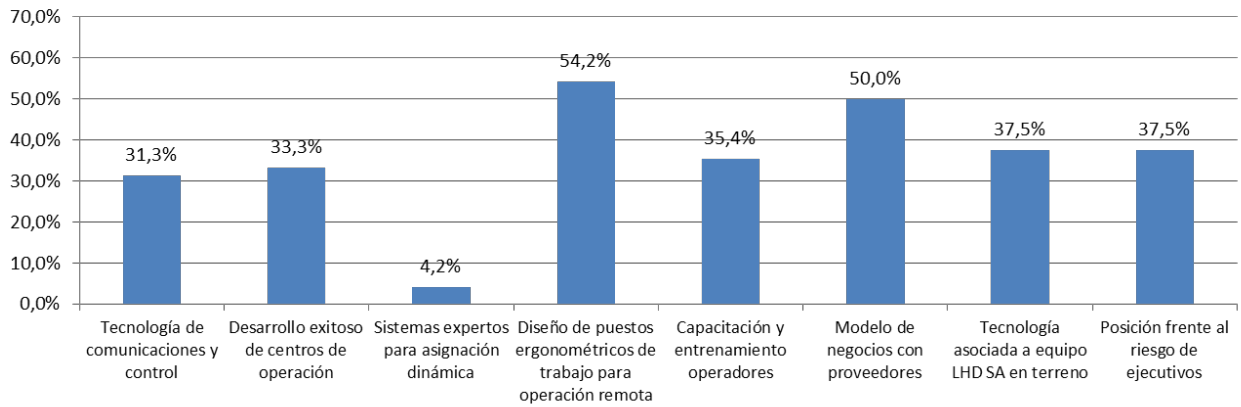
Un 35% de las respuestas se muestra entusiasta ante la opción de desarrollo de carga autónoma, opinando en general que esto será una realidad antes de 10 años. Por otro lado, un 33% considera que se requiere mayor tiempo de desarrollo y pruebas para materializar esta propuesta.

Respecto a utilizar un sistema de asignación dinámica de operadores distribuido, Ud se considera:



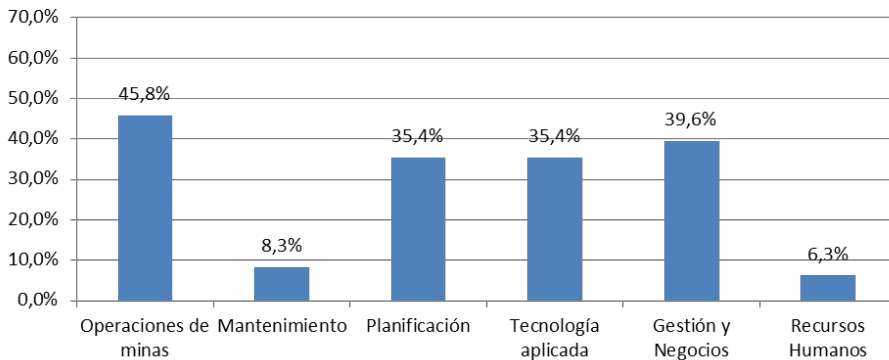
Un 50% de los encuestados se muestra neutral ante esta propuesta. Un 34% en cambio se muestra favorable a este tipo de alternativa.

¿En qué ámbitos usted cree que falta mayor desarrollo para una implementación exitosa de la propuesta de LHD SA con Asignación dinámica de operadores?



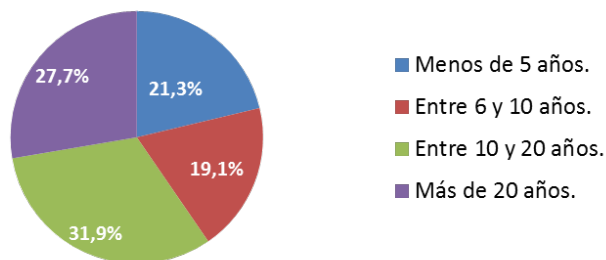
El diseño de puestos ergonómicos de trabajo para operación remota es el tema con mayor cantidad de respuestas afirmativas, del orden del 54%, concepto que considera la interoperabilidad de los sistemas, el diseño inmersivo y háptico, así como el diseño de simuladores para el entrenamiento para operación remota. También es mencionado en un 50% de las observaciones el desarrollo de modelo de negocios con proveedores, debido a la gran dependencia que se tiene actualmente para este tipo de desarrollos.

¿En qué áreas usted se considera con mayor conocimiento o experiencia?

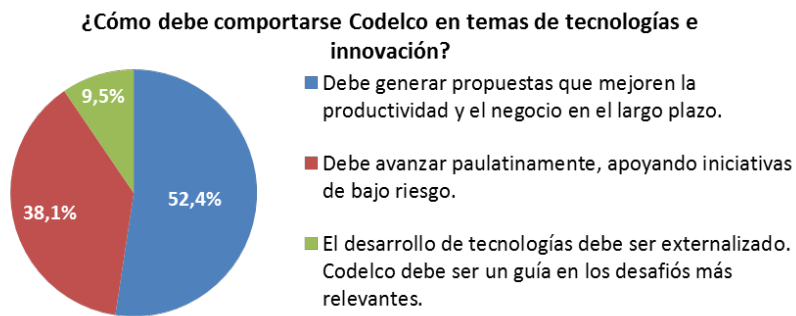


La experiencia y/o conocimiento del grupo de encuestados se focaliza principalmente en operaciones, planificación, tecnología y negocios. Una baja proporción de la muestra posee conocimientos o experiencia en aspectos de mantenimiento y recursos humanos.

¿Cuántos años de experiencia posee en minería?



La muestra se ve equilibrada en cuanto a los años de experiencia en minería y/o temas afines. Lo que sugiere que en términos generales las respuestas no están influenciadas por la opinión de un rango etario específico.



Un 52% de los encuestados considera que Codelco debe hacer apuestas relevantes como parte de su estrategia en materias de tecnología e innovación. Solo menos del 10% de las menciones considera una estrategia más cautelosa en términos de desarrollo tecnológico.

5.3. DISCUSIÓN

Desde el punto de vista del riesgo, se visualizan los siguientes elementos principales a ser resueltos como parte del roadmap que busque una implementación completa de las oportunidades que se han visualizado en la presente tesis. Este listado se basa en las encuestas y conversaciones sostenidas como parte del desarrollo de la presente tesis y se resumen en los siguientes aspectos:

a. Aspectos técnicos:

i. Interoperabilidad:

Se requiere avanzar rápidamente en este concepto que considera la interoperabilidad de los sistemas, el diseño inmersivo y háptico de la estación de operación, así como el diseño de simuladores para el entrenamiento para operación remota basado en los mismos conceptos.

Al respecto, la interoperabilidad de los sistemas, que se refiere en lo principal a la capacidad de que una misma estación de operación pueda operar marcas diferentes de equipos LHD's, requiere una estandarización de protocolos de comunicación/control y establecer un modelo de negocios con proveedores que permita hacer realidad este requerimiento.

ii. Sistema de turnos:

Considerando la naturaleza de la operación en el CIOG, la definición del sistema de turno requiere mayor estudio y pruebas para determinar el sistema de turnos que maximice la productividad y tiempo efectivo de los equipos y minimice problemas de calidad de vida de los operadores. No es evidente que una actividad que requiere aparentemente un nivel de concentración alto se pueda aplicar a turnos de 12 horas de duración, aun cuando existan descansos efectivos con alguna frecuencia. Se recomienda revisar

los casos de la industria de call centers y realizar pruebas con simuladores con grupos de operadores para testear las hipótesis al respecto.

iii. CIOG:

Se debe definir en detalle el fondo y forma de cómo se materializará este centro de operaciones, equilibrando las actividades a realizar en terreno con aquellas que deberán necesariamente ser comandadas desde superficie. Codelco posee diferentes aproximaciones en esta materia, la mayoría de ellas con muy pobres resultados. El CIOG debe entenderse como un elemento central que permite articular una nueva filosofía de operación, lo cual adicionalmente debe considerar una nueva forma de gobernar las operaciones.

iv. Perfil Operadores y Entrenamiento:

El diseño del sistema debe considerar este aspecto de forma de aprovechar las capacidades disponibles en el mercado laboral y desarrollando otras que no existan, buscando un equilibrio entre la experiencia acumulada en las operaciones actuales con el aporte de las nuevas generaciones de operadores. Con todo, la mayor parte de los entrevistados se inclina por la formación de nuevos operadores, con orientación a la tecnología y al uso de sistemas como el propuesto, con un núcleo pequeño de operadores de LHD's manuales de excelencia, que representen un grupo de mentoría para el resto del grupo. Es interesante observar como ejemplo la evolución del entrenamiento de pilotos de guerra y pilotos de drones en el mundo.

Asimismo, la polifuncionalidad es establecida como un aspecto importante a desarrollar en este tipo de sistemas, especialmente si se avanza en la integración del sistema de teleoperación con otras tareas, tales como la de martillos.

b. Modelo de gestión

i. Filosofía Operacional:

Aparentemente no existe en Codelco una visión integral de cómo se debe desarrollar el negocio minero subterráneo y a partir de ahí que elementos técnicos y de gestión se deducen como respuesta a los desafíos presentes y futuros. Codelco debe tener una única visión integrada respecto a cómo quiere operar sus minas en el largo plazo y que dé cuenta de los desafíos que enfrenta la industria, el país y sus yacimientos. Esto impondrá metas de gestión que cada unidad operativa deberá ir cumpliendo con el fin de garantizar la sustentabilidad del negocio.

Por otro lado, hay elementos de detalle de la filosofía operacional que deben quedar bien establecidos. Tal es el caso de las actividades manuales que se van a requerir en terreno como complemento a la operación de los LHD's SA. Esto se trata de compatibilizar las tareas en terreno sin perder continuidad operacional del equipo de producción comandado desde superficie y manteniendo un estándar de seguridad de alto nivel.

También se requiere analizar en detalle aquellas actividades que realizan los operadores manuales para establecer mecanismos que compensen entrega de información o acciones que ellos realizan normalmente pero que, considerando el uso de LHD's SA, se abandona. Una de ellas, por ejemplo, es la información sobre qué puntos están colgados o el estado de las calles.

ii. Modelo Gestión RRHH:

Es importante que el diseño contemple no solo elementos técnicos sino también aspectos relacionados con el modelo de gestión de recursos humanos que se debe considerar, entre los cuales se pueden mencionar los roles, cargos, remuneración y beneficios, sistema de turnos, carrera profesional, entre otros. Esto es importante, en particular con los operadores en CIOG, pues constituyen un nuevo tipo de trabajador que no existe actualmente en el mercado laboral ni en los programas de Universidades y/o Centros de Formación Técnica.

iii. Modelo de Negocios con Proveedores:

Cualquier desarrollo requerirá alianzas con el mercado para darle sustentabilidad a las iniciativas de interés. En particular, esta alianza es importante en la medida de que hay desarrollos que solo son de interés de Codelco y, por lo mismo, el mercado no tiene incentivos para desarrollarlos a su propio costo y riesgo. Dicho de otra forma, hay iniciativas tecnológicas en donde el mercado requiere incentivos para generar soluciones acordes con las expectativas de Codelco.

c. Culturales

i. Sponsor:

Se requiere establecer la existencia de un rol ejecutivo que cautele el desarrollo tecnológico y la implementación exitosa de las iniciativas que Codelco defina como relevantes. Esto es importante por cuanto los tiempos de desarrollo e implementación suelen ser muy largos, en contraste con las políticas y otras acciones llevadas a cabo por el gobierno corporativo, que tiene frecuentemente una visión de corto a mediano plazo.

ii. Aversión al Riesgo:

Codelco es frecuentemente sindicado como una empresa adversa al riesgo, ya sea por las restricciones naturales que le otorga su rol estatal o por la reacción natural de ejecutivos, profesionales y trabajadores frente al cambio, dependiendo de qué tema específico se trate. Una causa raíz podría encontrarse en la cultura país, donde se ha destacado un muy bajo nivel de emprendedores o casi ausente capital de riesgo disponible.

En cualquier caso, las opiniones recabadas indican una crítica profunda a cómo Codelco apuesta por el largo plazo, principalmente cuando se trata de desarrollo tecnológico.

iii. Tecnología no es el problema:

Muchas de las propuestas que buscan mejorar resultados están basadas en conceptos y tecnologías que son probadas en otras industrias o incluso en otras empresas competidoras de Codelco. La dificultad que encuentran en la práctica para su materialización es en la etapa de implementación, por cuanto chocan con las barreras culturales que hacen que pierdan fuerza y, finalmente, confianza en sus resultados. Por lo mismo, la aversión al riesgo choca con la implementación de iniciativas aun cuando estas sean de bajo riesgo o hayan sido probadas con éxito en otras industrias. El rol del sponsor mencionado anteriormente se refiere a gestionar exitosamente esta componente, más allá del problema meramente tecnológico, pues en la mayoría de las aplicaciones, la tecnología no es el problema fundamental a resolver.

iv. Gobernabilidad:

Se refiere a la organización y distribución del poder en la operación, tanto a niveles gerenciales, de supervisión y de trabajadores. Una nueva filosofía de operación basada en el uso de información, internet de las cosas, redes, operación a distancia y convivencia de sistemas autónomos con sistemas manuales requiere de una distribución diferente de la forma de gobernarla. Por lo mismo, los sistemas jerárquicos vigentes deben ser reestudiados, privilegiando sistemas colaborativos y multitarea, orientados a la productividad y eficiencia del sistema más que a la productividad de las operaciones unitarias.

En este caso se trata de cambiar los paradigmas de organización y distribución del poder en las operaciones y en el cuerpo ejecutivo. Si este tema no es asumido, el sistema naturalmente volverá a su estado conocido, basado en lo que actualmente se realiza, que data, con pequeños cambios, de los paradigmas acuñados en los años 80's en la minería subterránea basados en estructuras

jerárquicas piramidales y con fuerte sesgo a estructuraciones de poder de tipo silo.

Existe consenso de que los desafíos culturales son los más relevantes y difíciles de enfrentar. Para ello se requiere de una conciencia corporativa que impulse decididamente las iniciativas que se definan como convenientes desde el punto de vista del negocio y, en particular, aquellas que buscan mejorar resultados por la vía de mejoras radicales de productividad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones relevantes de la presente tesis son las siguientes:

1. El proceso LHD SA y Operador en CIOG sigue la forma de un proceso de cola y, por lo mismo, es posible aplicar gestión de tiempos de espera, de forma similar a como se realiza en otras industrias.
2. La simulación detallada realizada en la Ingeniería Básica del PMCHS y los resultados basados en un enfoque analítico (teoría de colas) son consistentes entre sí, lo que muestra la validez de los resultados obtenidos.
3. Desde el punto de vista teórico, el proceso del LHD SA se puede estudiar en base a un modelo del tipo M/M/c/FIFO/K. Modelos que muestren mayor precisión deberán considerar el uso de simulación para los casos específicos que se quieran detallar.
4. Para asignación estática en el PMCHS no es posible utilizar relaciones Equipo/Operador superiores a 2, puesto que se generan tiempos de encolamientos que van en contra de la productividad del sistema, haciéndolo inviable.
5. El sistema de asignación dinámica aplicado al proceso de operación de equipos LHD's SA conlleva oportunidades de eficiencia y productividad que permiten optimizar el sistema por sobre los resultados que puedan lograrse utilizándose sistemas de asignación estática.
6. Basados en un enfoque teórico, se tienen las siguientes mejoras de productividad si son aplicadas al caso LHD manual:
 - a. Un 43% de mejora de productividad por uso de operación remota basado en conceptos de asignación estática, por sobre el caso manual.
 - b. Una mejora de un 85% si se utiliza el concepto de asignación dinámica en vez de asignación estática.
 - c. Un potencial de mejora de un 39% adicional si se incorporan mejoras al proceso que cambien el universo de clientes, tales como aumento del tamaño del LHD o el uso de carguío autónomo.
 - d. Finalmente, el mejor escenario de productividad estudiado corresponde a aquel en el cual se maximiza la opción de carguío autónomo.
7. El sistema de asignación dinámica también puede ser aplicado al proceso de operación de equipos Martillos teleoperados. Más aun, en la medida de que el diseño lo permita, podría generar un mejor escenario de captura de oportunidades en términos de productividad si se integra con el sistema LHD SA.
8. El análisis cualitativo muestra que:

- a. El 76% de respuestas estiman que las brechas relevantes del LHD SA serán resueltas antes de 5 años, lo que demuestra una alta confianza en la madurez de la tecnología y en el cierre de brechas relevantes para el uso de este tipo de sistemas en la producción de minas subterráneas.
 - b. Sobre el 81% estima que el LHD SA con Asignación Dinámica es una buena iniciativa que hay que desarrollar e implementar, lo que apoya la hipótesis de trabajo de la presente tesis como una propuesta real de mejora de productividad de la actividad minera subterránea.
 - c. Solo un 30% de los encuestados estima que este concepto se puede extender fácilmente a reducción de bolones con martillos. Esto contrasta con los beneficios potenciales observados, por lo cual es importante avanzar en esta materia realizando ingenierías para reducir la brecha de información que hay al respecto.
 - d. Una mayoría de los encuestados, 60%, considera que son necesarios mayores pruebas y un diseño robusto de entrenamiento para poder materializar exitosamente la opción de que los operadores no tengan experiencia previa en LHD's manuales, pues se considera que se debe realizar más pruebas y diseño de un entrenamiento y una selección adecuados. Sin embargo, la mayoría manifiesta que se requieren operadores con nuevas habilidades y en este sentido, la apuesta pasa por formarlos desde jóvenes y no reconvertirlos desde las operaciones actuales.
 - e. Existe una alta tasa de reticencia (50%) a la opción de que trabajadores de la mina a rajo abierto de la División Chuquicamata puedan ser capacitados y reconvertidos para trabajar en sistemas como el propuesto.
 - f. Un 35% de las respuestas se muestra entusiasta ante la opción de desarrollo de carga autónoma para LHD's, opinando en general que esto será una realidad antes de 10 años. Por otro lado, un 33% considera que se requiere mayor tiempo de desarrollo y pruebas para materializar esta propuesta. Es importante destacar este punto, puesto que la mejor opción de mejora de productividades estudiada está asociada a la opción de materializar este desarrollo.
9. Desde el punto de vista del riesgo, se visualizan los siguientes elementos principales a ser resueltos como parte del roadmap que busque una implementación completa de las oportunidades que se han visualizado en la presente tesis. Este listado se basa en las encuestas y conversaciones sostenidas como parte del desarrollo del trabajo y se resumen en los siguientes aspectos:
- a. Aspectos técnicos:
 - i. Interoperabilidad:

Se requiere avanzar en este concepto que considera la interoperabilidad de los sistemas, el diseño inmersivo y háptico de la estación de operación, así como el diseño de simuladores para el entrenamiento para operación remota basado en los mismos conceptos.

ii. Sistema de turnos:

La definición del sistema de turno requiere mayor estudio y pruebas para determinar el sistema de turnos que maximice la productividad y tiempo efectivo de los equipos y minimice problemas de calidad de vida de los operadores.

iii. CIOG:

Se debe definir en detalle el fondo y forma de cómo se materializará este centro de operaciones, equilibrando las actividades a realizar en terreno con aquellas que deberán necesariamente ser comandadas desde superficie.

iv. Perfil Operadores y Entrenamiento:

El diseño del sistema debe considerar este aspecto de forma de aprovechar las capacidades disponibles en el mercado laboral y desarrollando otras que no existan, buscando un equilibrio entre la experiencia acumulada en las operaciones actuales con el aporte de las nuevas generaciones de operadores. Con todo, la mayor parte de los entrevistados se inclina por la formación de nuevos operadores, con orientación a la tecnología y al uso de sistemas como el propuesto, con un núcleo pequeño de operadores de LHD's manuales de excelencia, que representen un grupo de mentoría para el resto del grupo.

b. Modelo de gestión

i. Filosofía Operacional:

Codelco debe tener una única visión integrada respecto a cómo quiere operar sus minas en el largo plazo y que dé cuenta de los desafíos que enfrenta la industria, el país y sus yacimientos. Esto impondrá metas de gestión que cada unidad operativa deberá ir cumpliendo con el fin de garantizar la sustentabilidad del negocio.

ii. Modelo Gestión RRHH:

Es importante que el diseño contemple no solo elementos técnicos sino también aspectos relacionados con el modelo de gestión de recursos humanos que se debe considerar, entre los cuales se pueden mencionar los roles, cargos, remuneración y beneficios, sistema de turnos, carrera profesional, entre otros. Esto es

importante en particular con los operadores en CIOG, pues constituyen un nuevo tipo de trabajador que no existe actualmente en el mercado laboral ni en los programas de Universidades y/o Centros de Formación Técnica.

iii. Modelo de Negocios con Proveedores:

Cualquier desarrollo requerirá alianzas con el mercado para darle sustentabilidad a las iniciativas de interés. En particular, esta alianza es importante en la medida de que hay desarrollos que solo son de interés de Codelco y, por lo mismo, el mercado no tiene incentivos para desarrollarlos a su propio costo y riesgo.

c. Culturales

i. Sponsor:

Se requiere establecer la existencia de un rol ejecutivo que cautele en el largo plazo el desarrollo tecnológico y la implementación exitosa de las iniciativas que Codelco defina como relevantes.

ii. Aversión al Riesgo:

Considerado como un elemento cultural que no solo pertenece a Codelco sino que es un problema país, pero que afecta las definiciones que se realizan tanto a niveles ejecutivos como operacionales.

iii. Tecnología no es el problema:

La aversión al riesgo choca con la implementación de iniciativas aun cuando estas sean de bajo riesgo o hayan sido probadas con éxito en otras industrias. El rol del sponsor mencionado anteriormente se refiere a gestionar exitosamente esta componente, más allá del problema meramente tecnológico, pues en la mayoría de las aplicaciones, la tecnología no es el problema fundamental a resolver.

iv. Gobernabilidad:

Se refiere a la organización y distribución del poder en la operación, tanto a niveles gerenciales, de supervisión y de trabajadores. Una nueva filosofía de operación basada en el uso de información, internet de las cosas, redes, operación a distancia y convivencia de sistemas autónomos con sistemas manuales requiere de una distribución diferente de la forma de gobernarla. Por lo mismo, los sistemas jerárquicos vigentes deben ser reestudiados, privilegiando sistemas colaborativos y multitarea, orientados a la productividad y eficiencia del sistema más que a la productividad de las operaciones unitarias.

10. Existe consenso de que los desafíos culturales son los más relevantes y difíciles de enfrentar.

En el caso de la propuesta levantada en la presente tesis, se advierten los siguientes elementos como relevantes:

- a. Profundizar la propuesta técnica de forma de que esta sea robusta y atractiva, técnicamente factible y económica competitiva, capturando el máximo potencial de los beneficios identificados.
- b. Definir una estrategia de implantación basada en la visión a largo plazo respecto a la minería del futuro y en la modularización de la misma (implantación por etapas según madurez tecnológica).
- c. Generar pruebas en terreno y en simuladores, buscando que los resultados sean categóricos, haciendo participar en estas pruebas a los principales stakeholders de forma que los resultados sean visibles y validados.
- d. Socializar la propuesta con grupos de interés, incorporando sus comentarios y mostrando resultados a firme. Particularmente esto debe ser llevado a cabo con ejecutivos y trabajadores, quienes representan los grupos de mayor aversión al riesgo detectados.
- e. Procurar un Sponsor en el nivel ejecutivo que apoye la materialización de la misma.
- f. Involucrar a las empresas proveedoras de equipos y sistemas en el desarrollo de las opciones.
- g. Impulsar el desarrollo del roadmap asociado a la materialización de la propuesta en el largo plazo.

6.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se abren producto de este estudio se refieren en lo principal a:

- Simulaciones y estudios de modelación basada en investigación de operaciones, particularmente en gestión de tiempos de esperas
- Roadmap de implementación del sistema LHD SA
- Opciones de futuro asociadas al proceso en general

6.2.1. SIMULACIONES Y ESTUDIOS DE MODELACIÓN

Desde la perspectiva de la continuidad de los estudios utilizando modelos teóricos, se recomienda:

- a. Demostrar estadísticamente que los arribos al sistema corresponden a una distribución de poisson.
- b. Estudiar la distribución que mejor aplique al caso del tiempo de atención.
- c. Generar un modelo de simulación mixto: teoría y simulación, de forma de que se puedan incorporar efectos de memoria dentro de los resultados, por ejemplo, que al ocurrir un evento definido (variable aleatoria) se genere un encolamiento y que éste afecte la producción y, por ende, las llegadas.
- d. Profundizar el modelo de simulación de la Ingeniería Básica del PMCHS con algunos conceptos establecidos en la presente tesis:
 - a. Lógica de asignación.
 - b. Interacción con servicios de apoyo: limpieza de calles, carga de combustible, cambio de MB, mantenimiento, entre otras.
 - c. Carguío autónomo.
- e. Integrar martillos picadores al análisis de gestión de operadores en CIOG.
- f. Integrar centros de operación para minería subterránea de Codelco para estudiar el potencial de mejora de productividad.

6.2.2. ROADMAP DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Si bien existe un plan para implementar el sistema LHD SA, se proponen algunos temas relevantes que deberían ser atendidos como parte de un roadmap que garantice la captura de los beneficios de aquí al año 2025, considerando la visión asociada a implementar sistema de asignación dinámica (ver Ilustración 33).

Con todo, la implementación de un sistema de asignación dinámica para LHD SA requiere a lo menos:

- a. Diseñar pruebas para determinar diferencias entre diferentes perfiles de operadores (con o sin experiencia en LHD manuales, provenientes de centros de formación técnica, etc.) y determinar un adecuado plan de entrenamiento y capacitación para cada uno de ellos.
- b. Uso de simuladores para pruebas del sistema y entrenamiento de futuros operadores.

- c. Diseño de estaciones de trabajo, ergonómicas y hapticas, entre otras características.
- d. Estudios asociados a RRHH para definición de sistema de turnos, con foco en productividad y calidad de vida, así como definición de la carrera funcionaria de estos nuevos operadores.
- e. Estudios para determinar viabilidad de operación para distintos tipos de equipos de forma integrada, en este caso, LHD's SA y Martillos teleoperados a lo menos. También pueden incorporarse tareas tales como perforación de jumbos u otras.
- f. Definir una modularización de la estrategia de implementación de la tecnología, de forma que se definan y prioricen en el tiempo.
- g. Avanzar en la definición de CIOG y su arquitectura lógica y decisional, integrando el concepto propuesto asociado a asignación dinámica.

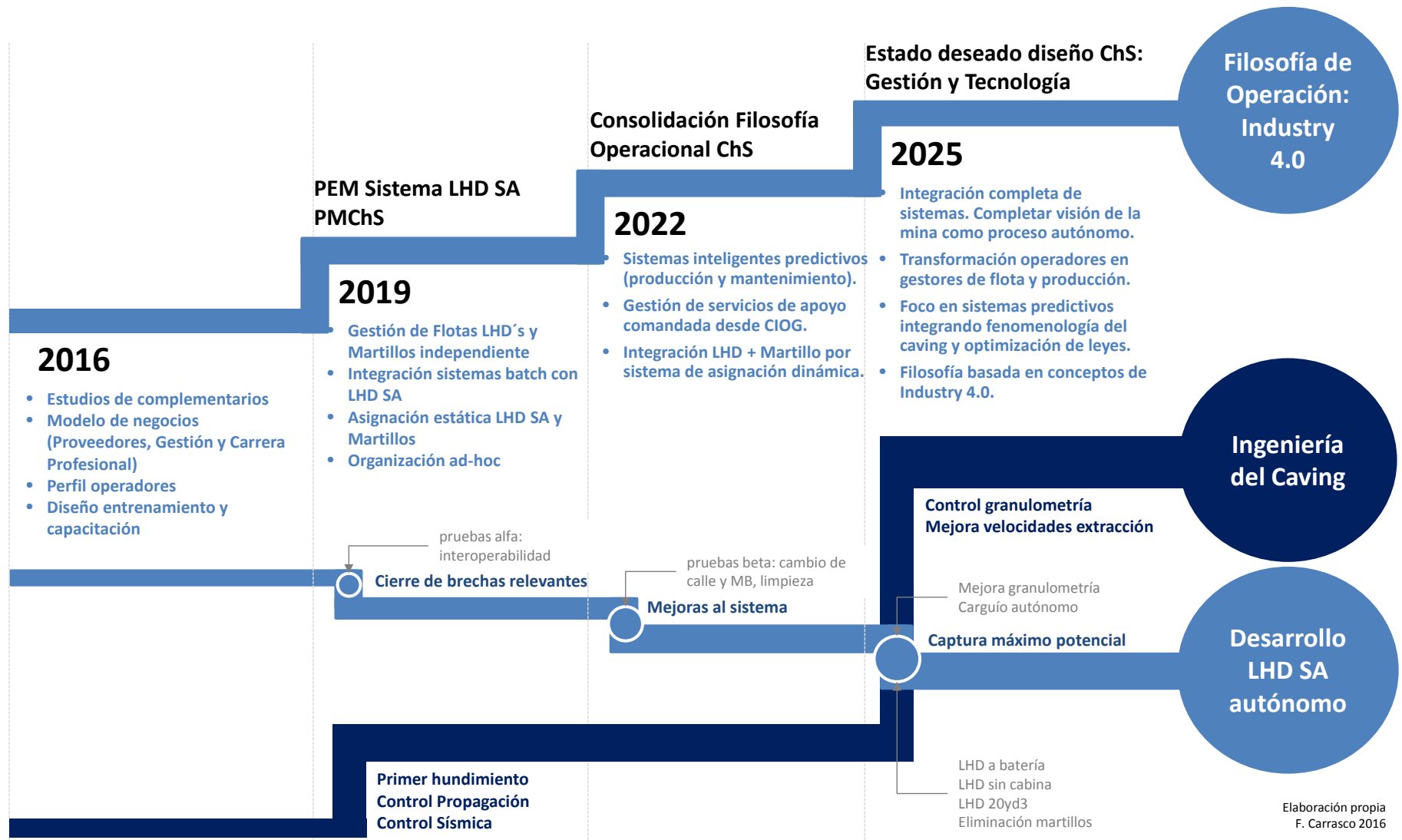


Ilustración 33: Propuesta de Roadmap para desarrollo Filosofía Operación Basada en Industry 4.0

6.2.3. OPCIONES DE FUTURO

Se recomienda el estudio de los siguientes aspectos que permitirán mejorar la captura del valor, entre ellas:

- a. Eliminación de cabina LHD's
- b. Uso de remolcadores de LHD's para transportarlos a grandes distancias, tal como talleres y MB's distantes, prescindiendo de la necesidad de cabinas en el equipo LHD
- c. Martillos telecomandados (móviles) basados en tecnología LHD semiautónoma
- d. Martillos autónomos
- e. Control de la granulometría del mineral (foco en eliminar el sobretamaño) mediante técnicas de pre-acondicionamiento hidráulico o por explosivos (o una combinación de ambos)
- f. Carga autónoma (LHD's Autónomos)
- g. Eliminación martillos y jumbos cachorreros del diseño de proceso minero
- h. Uso de baterías para equipos LHD's (foco en sustituir sistemas basados en diesel)
- i. Sistemas continuos de producción
- j. Centro de Operación y Gestión del PMCHS en Calama
- k. CIOG integrados entre todas las operaciones Codelco

6.4. REFLEXIÓN FINAL

Esta tesis versa sobre aspectos tecnológicos, pero su foco principal no es la tecnología, sino más bien, la forma en que un sistema industrial minero se organiza para generar mejoras en productividad, que se traduce a la larga en mejoras en los resultados del negocio. Por lo mismo, no es de extrañar que los factores culturales sean los que terminan siendo fundamentales para poder materializar las mejoras identificadas.

Sin ir más lejos, la industria del cobre en particular ha sido históricamente mezquina con innovaciones estructurales. De hecho muchas de ellas tuvieron fuente de inspiración en profundas crisis o vienen copiadas desde otras realidades. En una industria que se autodefine como cíclica, por la fluctuación de largo plazo que pareciera marcar el comportamiento del precio del mineral, es anecdótico asumir que ésta es también la forma de cómo la industria incorpora avances estructurales e invierte en innovación. El resultado: la brecha tecnológica y cultural con la sociedad y otras industrias pareciera que se mantiene e incluso aumenta.

Por lo mismo, el empeño fundamental sobre el éxito o fracaso de nuevas iniciativas va de la mano no sólo de la calidad técnica o potencial económico de una idea, sea esta de tipo tecnológica o no, si no también en buena medida de la claridad, profundidad y amplitud del plan de ejecución y gestión del cambio de dicha idea. Sobre todo en etapas de implantación, cuando aparecen actores no familiarizados con ella y que tienen incentivos contrarios a su incorporación. Esto es particularmente cierto cuando las ideas son de mayor calibre, puesto que inducen largos tiempos de desarrollo e implantación. Aquí juega un rol central el papel de los ejecutivos en el éxito o fracaso de las mismas. Apostar a grandes transformaciones es, por cierto, un riesgo que nuestros ejecutivos y otros grupos de interés no están dispuestos a asumir.

Mi opinión es que nuestra industria es demasiado conservadora para los tiempos en que vivimos. Es posible que no hayamos sacado provecho de las lecciones de otros tiempos u otras industrias. Sabemos que hay una necesidad estructural de hacer apuestas, de hacerlo distinto de cómo lo hemos estado haciendo hasta ahora si se tiene el empeño de mantener en posiciones competitivas a una empresa o a un país. Hoy sobre todo es que debemos desafiar la técnica para obtener mejores resultados. Debemos perseguir una visión de negocio de largo plazo e invertir en su consecución en todas las variables que lo hagan factible. No nos alcanza solo con mejoramiento continuo. Principalmente en minería subterránea y particularmente en Codelco, que se enfrenta a condiciones de explotación de mayor dificultad pero también, a condiciones cada vez más exigentes de contexto social y económico, en donde las comunidades tienen mucho que decir sobre la opción de hacer negocios. Con mayor razón, no solo debemos desafiar la técnica, sino también la cultura para ser exitosos.

La aplicación particular de la tesis planteada abre luces sobre una forma distinta de organización de sistemas productivos o filosofía de operación en minería subterránea. En ella, se ha hecho un esfuerzo de sintetizar una propuesta de gestión de servicios, basada en información, equipos con inteligencia local, sistemas informáticos y gestores, que son capaces de tomar decisiones y monitorear el estado productivo. Si bien la tesis lo plantea desde la óptica de un proceso particular del Block Caving (LHD SA y Operadores remotos), ésta es en esencia aplicable a la mayor parte sino todos los

procesos que ocurren en minería subterránea. Además, la propuesta es integrable a nivel Codelco e incluso es factible de operar considerando agentes externos manteniendo lo central del negocio dentro de la empresa.

La propuesta en sí no posee ningún elemento de innovación sustancial. En síntesis, esto no es más que lo que hacen otras industrias con la gestión de sus procesos, desde la industria del petróleo, empresas de logística y distribución de mercancías, hasta servicios de reparación de semáforos, por ejemplo. Lo interesante es que al hacerlo en un proceso minero con el apoyo de tecnología emergente, hay resultados que permiten aventurar que existe un potencial de interés. Y si esto se escala integradamente a muchos o todos los procesos que definen el negocio minero, particularmente el subterráneo, entonces tenemos una propuesta estructural que vale la pena analizar con mayor grado de seriedad. Esta es la apuesta. Es una propuesta a firme de cómo podemos hacer más con menos que puede materializarse en un horizonte razonable, acorde con los desafíos que se visualizan en el largo plazo.

Los riesgos, como se concluye, van de la mano de la cultura. Y esto no es solo un tema de si los trabajadores puedan ser reticentes a este tipo de propuestas. También afecta la particular visión de supervisores e ingenieros, constructores y, finalmente, ejecutivos, los cuales mostramos, en general, diferentes grados de aversión al riesgo y que, en su gran mayoría, hemos sido educados con paradigmas productivos que datan de por lo menos veinte años atrás. Por esta razón, es que afirmo que somos las personas que participamos hoy del negocio el principal obstáculo para la materialización de mejoras estructurales que requiere el negocio minero en el largo plazo.

Por lo mismo, esta tesis concluye sobre la cultura. Si no estamos dispuestos a cambiar nosotros mismos en la organización de nuestros sistemas productivos, en la forma en que gestionamos el recurso humano, en la forma en que gestionamos y gobernamos los procesos en la mina, en las políticas de largo plazo para incorporar tecnología, con todo lo anterior al servicio de una visión sustentable de negocio, nuestros resultados serán más de lo mismo. Mi humilde opinión es que hay caminos valiosos que se abren si abandonamos los paradigmas del pasado y abrazamos otros que son, al menos, más acordes con los tiempos que nos tocó vivir.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. **(Barraza 2000)** Esmeralda Mine Exploitation Project, Massmin 2000, Australia, M Barraza, P Crorkan, 2000.
2. **(Raña 2004)** Controlled draw in block/panel caving, F Raña, M. Vicuña, Massmin 2004, Chile, 2004.
3. **(Schweikart 2004)** Loading automation in panel caving using AutoMine™, MassMin 2004. V. Schweikart, T. Soikkeli, 2004.
4. **(Laarsson 2011)** Unmanned operation of Load-Haul-Dump vehicles in mining environments, Paper, Orebro University, Suecia, 2011.
5. **(Fintech 2011)** Presentación comercial producto Minegem-Caterpillar, 2011.
6. **(Fisher 2012)** Autonomous and Remote Operation Technologies in the Mining Industry, BAE Research Report 12.1, B. Fisher, S. Schnittger, Australia, 2012.
7. **(Sandvik 2012)** Presentación comercial producto Automine Sandvik, 2012.
8. **(Carrasco 2012)** CIO&G y Sistema de Control de Producción, nueva filosofía de operación de la Mina Chuquicamata Subterránea, F. Carrasco, L. Briceño, P. Zapata, E. Rengifo, M. Ferrada, Y. Yávar, 62ava Convención IIMCH, 2012.
9. **(PMCHS 2012)** Filosofía operacional del Centro Integrado de Operación & Gestión, Informe Interno Ingeniería Básica PMCHS, E. Rengifo, G. Hernández, 2012.
10. **(CEOP 2013)** Informe de Ergonomía Operación Telecomandada LHD's y Martillos, Informe CEOP Consulting para Ingeniería Básica PMCHS, A. Aylwin, J. Pannat, G. Konstantinidis, 2013.
11. **(Carrasco 2013 a)** Proyectos Estructurales Codelco: Tecnología e Innovación. Presentación realizada al Consejo Competencias Mineras Fundación Chile (CCM). F. Carrasco, 2013.
12. **(Carrasco 2013 b)** CIOG y Sistema Control Producción Mina PMCHS: Una herramienta de Planificación, Presentación realizada en Taller Interdivisional de Codelco organizado por la Gerencia de Innovación y Tecnología Minera de Codelco, F. Carrasco, L Briceño, Octubre 2013.
13. **(PMCHS 2013 a)** Filosofía operacional integrada PMCHS, Informe Interno Ingeniería Básica PMCHS, F. Carrasco, P. Zapata, R. Le-Feaux, 2013.
14. **(PMCHS 2013 b)** Estudio de la capacidad productiva de PMCHS: Mina – Sistema de manejo de minerales y centro integrado de operación CIOG, Informe Interno Ingeniería Básica PMCHS, F. Henríquez, P. Zapata, F. Maldonado, 2013.
15. **(Lingman 2013)** European Roadmap for Industrial Process Automation, Peter Lingman (editor), ProcessIT Europe, 2013.
http://processit.eu/Content/Files/Roadmap%20for%20IPA_130613.pdf
16. **(Araneda 2014)** Supercaves: Productivity and Management Challenges, Presentación Caving 2014, O. Araneda, 2014.
17. **(Flores 2014)** Future challenges and why mining must change, Paper Caving 2014, G. Flores, 2014.
18. **(Lee 2014)** Mining & Metals + Internet of Things: Industry opportunities and innovation, MARSDD, Joe Lee, Kelley Prowse, 2014.
<http://www.marsdd.com/wp-content/uploads/2014/11/Mining-Metals-and-IoT.pdf>.

19. **(Ruiz del Solar 2014)** Future automated mine operation: Synergistic collaboration between humans and automated systems, Paper Caving 2014, J Ruiz-del-Solar, E Widzyk-Capehart, P Vallejos R Asenjo, Chile, 2014.
20. **(Fishwick 2014)** Semi-autonomous mining model, Paper Caving 2014, M Fishwick, M Telias, Chile, 2014.
21. **(Pizarro 2015)** Momentum para los nuevos proyectos de la minería del cobre, Presentación para MBA Minero, N. Pizarro, 2015.
22. **(Paredes 2015)** Chuquicamata Underground Mine's Operational Philosophy: an innovative proposal based on Industry 4.0 concepts, Draft para Massmin 2016, P. Paredes, F. Carrasco, N. Perez, 2015.
23. **(Hermann 2015)** Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: Literature Review, Working Paper, M. Hermann, T Pentek, B. Otto, Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau, 2015.

8. GLOSARIO

Durante el desarrollo del trabajo se han utilizado las siguientes nomenclaturas y abreviaciones:

PMCHS	Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea
MB	Macro Bloque
IB	Ingeniería Básica o de Factibilidad
CIOG	Centro Integrado de Operación y Gestión
LHD	Load Haul Dump o Equipo de carguío de bajo perfil utilizado ampliamente en minería subterránea de construcción y operación.
LHD SA	LHD semiautónomo, es decir, requiere asistencia de un operador de forma remota en la etapa de carguío.
Minería Continua	Sistema de producción experimental para minería subterránea que está siendo probado en escala industrial en Codelco-Andina. Consiste de dispositivos estacionarios instalados en cada punto de extracción que interactúan con sistemas continuos de chancado y transporte.
Pre-Acondicionamiento (PA)	Proceso artificial que permite la modificación de las características del macizo rocoso mediante el uso de técnicas de hidrofracturamiento y/o tronaduras confinadas. Tiene como objetivo modificar las propiedades de la roca que permitan reducir la concentración de esfuerzos, mejorar las condiciones de propagación del caving y fragmentación del macizo rocoso .
PA Intensivo	Pre-acondicionamiento intensivo del macizo rocoso corresponde al proceso de superponer ambas técnicas de hidrofracturamiento y tronaduras confinadas para asegurar los cambios esperados en el macizo rocoso.
Internet de las Cosas	Es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos, así como máquinas y otros dispositivos

(IoT)		con internet.
Internet de Servicios (IoS)		Es una extensión del concepto aplicado a dispositivos, pero esta vez relacionado con los servicios que ofrecen asociado a la información que proveen considerando toda la cadena de valor referente al proceso que se analice.
Industry 4.0		Industria 4.0 es un término colectivo que agrupa tecnologías y conceptos de organización de cadena del valor. Considera en esencia la interrelación de tres elementos: sistemas Ciber-Físicos, Internet de las Cosas e Internet de los Servicios.

9. ANEXOS

9.1. ESTADO DEL ARTE LHD SA EN PMCHS

Respecto al LHD SA se tiene que:

- a. Ciclos de trabajo en torno a 2 minutos (ida y vuelta);
- b. 40 metros de distancia transporte promedio en el caso PMCHS (punto extracción-punto vaciado);
- c. 30 segundos para carga, 15 segundos para descarga, 75 segundos para transporte y maniobras;
- d. Al respecto, se está conceptualizando el desarrollo de pruebas avanzadas de funcionalidad relativas a garantizar parámetros industriales de operación para esta tecnología. Para ello se ha logrado la aprobación de financiamiento que permitirá integrar y probar un módulo de operación en Mina Esmeralda de El Teniente, Codelco a partir del año 2016. Se entiende que el resultado de dichas pruebas será valioso para determinar el piso tecnológico de productividad y otras variables, así como las restricciones que existirán para el inicio de las operaciones en el PMCHS.
- e. A la fecha se han venido desarrollado diferentes experiencias en las Divisiones Andina y Teniente de Codelco vinculadas a la aplicación de la tecnología. La presente tesis está íntegramente basada en dichos desarrollos y se complementa según lo estipulado en el Programa de Minería Subterránea Semiautónoma liderado por la Gerencia de Tecnología e Innovación de Codelco. Este programa contempla un trabajo inicial con las Divisiones ya mencionadas, en una etapa de Diagnóstico y luego focalizará el desarrollo futuro en base a las necesidades de División Andina, División El Teniente y los Proyectos Estructurales Chuquicamata Subterráneo y Nuevo Nivel Mina.
- f. Los equipos deberán contar con un sistema de guía que les permita ser telecomandados, operación que se realizará desde una sala de control distante desde el exterior de la mina (CLOG), específicamente para la operación de carguío. Las fases de transporte y descarga del mineral, junto con el retorno a una zona de carga, son parte del control en modo autónomo, sin necesidad de intervención del operador. Se debe disponer también de un modo de operación manual con el cual un conductor a bordo del equipo pueda comandar todos sus movimientos en caso de requerirse (movimiento del equipo hacia talleres, suministro diesel, o en caso de falla del sistema de telecomando, etc.) mientras estas acciones no hayan sido desarrolladas desde el punto de vista tecnológico para realizarlas de forma autónoma o remota.

ANEXO 1: ESTADO DEL ARTE LHD SA EN PMCHS

- g. Los equipos LHD SA que se aplican al PMCHS actualmente tienen una capacidad de balde de 9-10 yd³, con distancias de transporte promedio utilizadas según el diseño que se encuentra en torno a los 40 metros.
- h. La operación del equipo LHD SA dentro de los MB será posible en cualquiera de sus cuatro calles de producción, las cuales se subdividen en un total de ocho subcalles, teniendo cada una accesos independientes, y además, contando una zonas dentro de cada MB, de forma que el ingreso de personal a dicho sector sólo provoque la paralización de producción en él, sin afectar la producción en los otros sectores¹⁹. En la Ilustración 34 se puede ver el detalle de las zonas mencionadas.

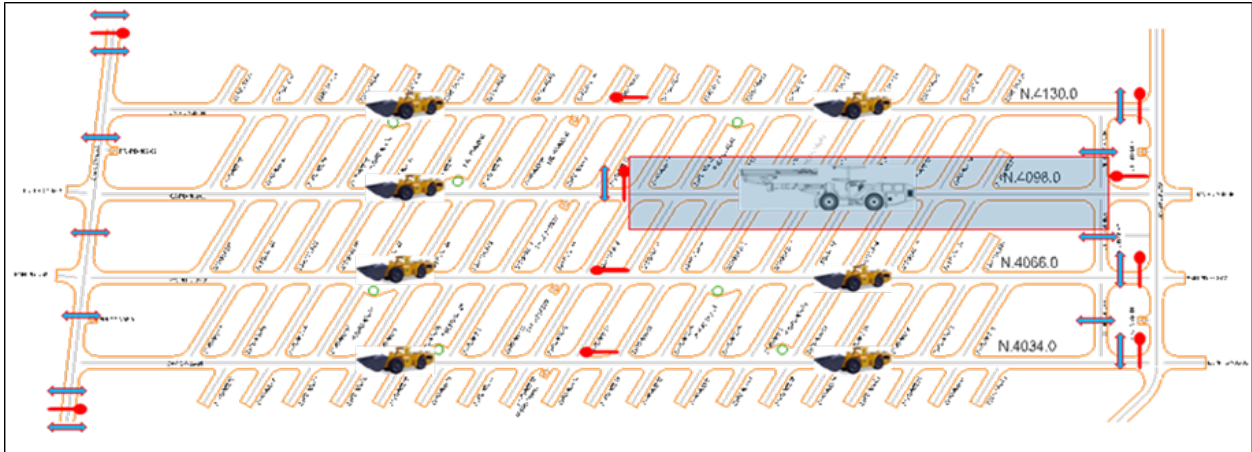


Ilustración 34: Vista en Planta Nivel de Producción típico Macro Bloque

- i. El sistema LHD SA deberá aceptar la operación y control de al menos 2 y como target 3 LHD por operador en la Sala de Control en promedio. Los equipos también considerarán la función de limpieza de calles y traslado autónomo a áreas dentro del MB definidas para mantenimiento, inspección y suministro diesel. La asignación a cada operador será realizada a través del sistema de control de producción que minimizará los tiempos de espera y equilibrará los tiempos de trabajo del personal destinado a estas actividades.
- j. La aplicación de esta tecnología requiere de diseños y estrategias acordes para su funcionamiento óptimo y un cambio cultural de la

¹⁹ Esto, debido a que el estado actual de la tecnología SA implica la existencia de barreras físicas entre módulos en operación SA y manual

ANEXO 1: ESTADO DEL ARTE LHD SA EN PMCHS

organización, siendo la implementación del CIOG un paso relevante para alcanzar los objetivos aquí planteados.

9.2. RESPALDO DECISIÓN APLICACIÓN LHD'S SA EN PMCHS

Para desarrollar esta idea, se describe el proceso argumental que se derivó de la decisión de implementar en dicho proyecto el uso de LHD's SA para la operación de la mina. Esta se puede explicar en los siguientes pasos:

1. El caso base consideraba hasta bien avanzada la ingeniería básica una tecnología convencional de LHD's y Martillos móviles, ambos con operador a bordo en 4 turnos trasladados de trabajo de 8 hr cada uno para garantizar 18hr de operación por día.
2. Existió un impulso estratégico desde Codelco que decidió dar un apoyo decidido para la incorporación de tecnología emergente en los proyectos estructurales. Esto significó la adopción del LHD SA y algunos cambios al diseño necesarios para asegurar su implantación.
3. Como resultado de lo anterior, se estableció que la definición previa de martillos móviles con operadores manuales no era factible²⁰, por cuanto exponía a operadores en el subnivel de producción a condiciones de riesgo. Por lo mismo, el diseño varió a un sistema de LHD SA telecomandado con martillos semiestacionarios con operación remota.
4. La definición de asignar 1 operador localizado en superficie por cada equipo LHD SA en operación se tomó basado en la experiencia de las minas DOZ - Grassberg y las de las pruebas de minas de El Teniente y Andina, donde ha sido probado este tipo de relaciones de operaciones. De la misma forma, se mantuvo la productividad observada en El Teniente para el caso de martillos estacionarios donde 1 operador remoto tiene a su cargo normalmente 2 martillos previamente asignados.
5. Lo anterior generó un resultado directo no aceptable desde la perspectiva del negocio, debido a la necesidad de aumentar notablemente el número total de operadores requeridos, un aumento de equipos fijos y con una caída fuerte en productividad total (ver Tabla 21).
6. Se buscó optimizar lo anterior, tanto a nivel del LHD SA como en el caso del Martillo. Se observó el ciclo normal de operación que oscila en torno a los 2 minutos, la frecuencia de ciclos por hora y la probabilidad de superposición de carga de 2 o más equipos operando simultáneamente. Se determinó, en base a estos resultados, que considerar 1 operador cada 2 LHD's operando era un resultado razonable. Se asume que cada operador es "dueño" de sus LHD's, esto es, que la asignación de equipos

²⁰ Existe la oportunidad de incorporar Martillos móviles telecomandados basado en la misma tecnología propuesta para LHD's SA. Esto solo será posible una vez que esta última sea incorporada con un nivel de confianza adecuado.

ANEXO 2: RESPALDO DECISIÓN APLICACIÓN LHD'S SA EN PMCHS

es fija turno a turno. En el caso de Martillos, se exigió una mayor productividad, basado en el bajo nivel de frecuencia de eventos esperados para la mina subterránea: 1 operador remoto tiene a su cargo hasta 3 martillos previamente asignados.

7. Los KPI's obtenidos fueron satisfactorios en cuanto a costos y riesgos. Constituye, adicionalmente, una posición razonablemente de bajo riesgo en cuanto al mínimo exigible a la tecnología en la forma que se conoce actualmente. Sin embargo, a partir de este resultado se planteó en el equipo del proyecto la necesidad de definir la naturaleza del espacio necesario y de la tecnología y diseño de las consolas de operación para ambos sistemas para definir el diseño del CIOG.

La Tabla 21 describe las opciones estudiadas en la etapa inversional del PMCHS. La Tabla 22 describe a grandes rasgos los beneficios en términos de número de operadores que podría generar la adopción de las propuestas presentadas. Estos resultados deben ser considerados solo como una referencia para graficar los beneficios potenciales de la propuesta, pues no están analizados aun todos los efectos positivos y negativos de su implementación.

Tabla 21: Descripción de la oportunidad (1/2)

		LHD	Martillos
Caso base	Caso Actual Minería Mundial	Operadores manuales en LHD; alta exposición a ambientes agresivos (polvo, ruido, vibraciones, ventilación, etc.)	Operadores manuales en Martillos móviles; alta exposición a ambientes agresivos. Algunas operaciones con martillos fijos.
Caso 1 Primera solución	Adopción LHD S.A. y Martillo Fijo con operadores remotos.	LHD semiautonomo (operador participa en la etapa de carguío, resto del ciclo es autónomo). Tecnología emergente. Asignación de 1 operador por equipo.	Operadores especializados en salas de operación en ambiente subterráneo o remotas. Tecnología conocida. 1 operador para 2-3 equipos.
Caso 2 Segunda solución	Caso 1 + Optimización	Asignación de 1 operador para 2 equipos (cada operador dueño de sus equipos). Operadores de LHD's y Martillos diferenciados.	Idem anterior. Operador dueño de sus equipos
Caso 3 2014 Visión PMCHS	Caso 1 + Call Center	Sistema integrado LHD S.A.+Martillo Pool de operadores polifuncionales Proceso tipo Call Center para asignación de tareas Sistema de control producción asigna origen/destino LHD's	

8. El resultado de diversas discusiones fue en resumen el siguiente:
 - a. Caso 1: Más de lo mismo. No hay un aprovechamiento de la tecnología implementada.

ANEXO 2: RESPALDO DECISIÓN APLICACIÓN LHD'S SA EN PMCHS

- b. Caso 2: Optimizar el caso 1, si bien representa una mejora respecto del caso anterior, el potencial de la tecnología puede ser mejor aprovechado.
9. Para ello se generó una discusión abierta con varios actores relacionados con estos temas. Esta discusión desembocó en varias líneas de trabajo:
- a. Que no hay diferencia relevante para operar un LHD y un Martillo de forma remota en términos de requerimientos de diseño de consolas/joystick, esto es, concepto de las salas de juego (Mortal Kombat v/s Pacman), es decir, se puede diseñar un sistema (software+sillón+comandos) para que un mismo espacio de trabajo pueda servir a ambas operaciones;
 - b. Que no hay diferencia relevante entre operar un LHD y un Martillo de forma remota en términos de dificultad de instrucciones y número de transacciones, esto es, concepto de polifuncionalidad de operadores, esto es, 1 operador puede sin dificultad operar tanto LHD SA como Martillo remoto.
 - c. Que hay oportunidades de optimizar el sistema si no se asigna previamente los equipos y éstos se asignan de forma dinámica de acuerdo a los requerimientos productivos, esto es, concepto de Call Center y la opción de hacer un análisis basado en teoría de colas para resolver el sistema y buscar su optimización.
 - d. Que, considerando puntos a y b, no es condición necesaria saber operar un LHD para operar un LHD SA21. Idem para Martillos. Define perfiles de formación y entrenamiento así como de candidatos para reclutamiento.
 - e. Que, considerando puntos a, b y c, es deseable la polifuncionalidad para mantener niveles de productividad aceptables evitando convertir la operación en un acto rutinario.

Estos 5 puntos, en particular el (c), son los que motivan la realización de esta tesis, buscando dar formalidad conceptual a las condiciones tecnológicas y de gestión operativa que permitan materializar la visión del PMCHS respecto a su propuesta de aporte de valor al proceso productivo.

²¹ Esta conclusión está apoyada por los resultados de pruebas de LHD SA desarrollados por Atlas Copco en División Andina con estudiantes de liceos industriales.

ANEXO 2: RESPALDO DECISIÓN APLICACIÓN LHD'S SA EN PMCHS

Tabla 22: Descripción de la oportunidad (2/2)

	LHD+Martillo N° Flota Operativa Relación Op/Eq	Operadores x Factor reemplazo (c)	Cantidad Total Operadores (estimación)
Caso Base	30+10 ^(a) 1 a 1 lhd / 1 a 1m	40 x 6,6 ^(d)	264
Caso 1:	32+80 ^(b) 1 a 1 lhd / 1 a 2m	72 x 4,5 ^(e)	324
Caso 2:	32+80 1 a 2 lhd / 1 a 3 m	43 x 4,5 ^(e)	194
Caso 3: visión PMCHS	32+80 1 a 4 eq	28 x 4,5 ^(e)	126

(a) LHD y Martillos móviles y de operación manual
 (b) Cambio de configuración implica utilizar martillos estacionarios, además se consideran pérdidas de productividad de LHD que implican aumentar la flota respecto a la flota de LHD manual
 (c) Factor de reemplazo: considera factor turno, ausentismo, capacitación
 (d) 18hrs operativas en base a 4 turnos de 8hr traslapados (restricción de operador manual a bordo de 5hr máximas)
 (e) 19hrs operativas en base a 2 turnos de 12hr

ANEXO 3: CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

9.3. CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

La aplicación del Centro Integrado de Operación & Gestión (CIO&G) permitirá avanzar en la solución a los desafíos del Proyecto CHS como elemento central que habilitará la implantación de la nueva filosofía de operación que gobernará la actividad productiva subterránea de cara al año 2019.

El concepto distintivo del CIO&G nace con el objetivo de centralizar la operación de la mina desde un comando en superficie, reduciendo solo el ingreso a la mina subterránea para los servicios de mantenimiento de equipos e infraestructura y servicios de apoyo (limpieza de calles, suministro, etc.).

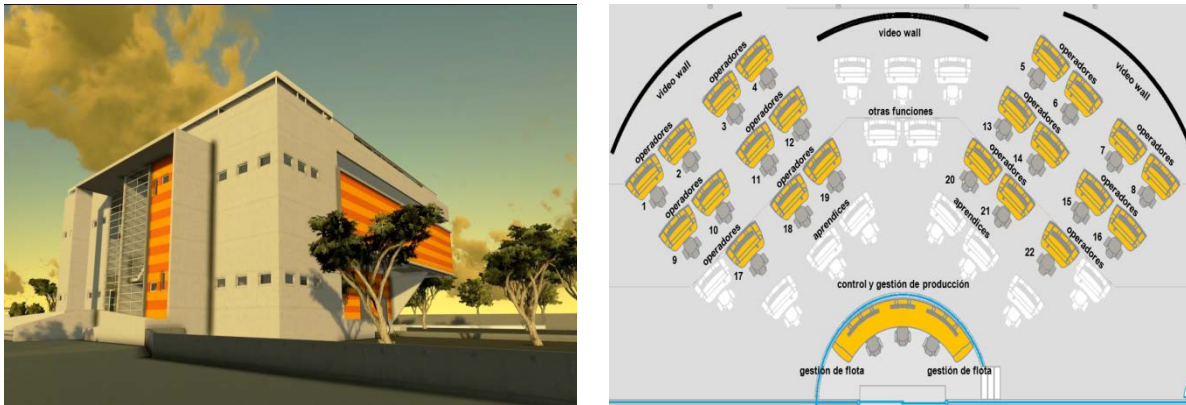


Ilustración 35: Futura Infraestructura del CIO&G PMCHS

Esta nueva filosofía de operación también busca incorporar la aplicación de tecnologías emergentes en las operaciones mineras del proyecto. En esta línea, el uso de equipos LHD Semiautónomos (LHD SA) y Martillos Telecomandados tiene como objetivo permitir realizar el ciclo de producción de manera remota con operadores desde superficie. De esta forma, se permite controlar las variables relevantes de la operación de carguío (posición, control de tiraje, carga, vaciado, etc.). Una ventaja importante de esta nueva aplicación es permitir tener una real asignación de los equipos de carguío según los requerimientos del plan de producción y la integración de información operativa en tiempo real.

El proyecto considera que esta Plataforma de Operación & Gestión ubicada en el edificio del Centro Integrado de Operación y Gestión (CIOG) ubicado en el Barrio Industrial de superficie, permita operar, supervisar y gestionar todos los sistemas relacionados con la explotación de la Mina CHS.

El CIO&G se ubicará en el exterior de la mina con el propósito de mejorar la seguridad y la calidad de vida de los operadores. La implementación del CIOG para operación y gestión centralizada permitirá entre otros:

- Reducir los costos, al eliminar tareas repetitivas.
- Mejorar la seguridad, al reducir el nivel de exposición del personal en tareas riesgosas.

ANEXO 3: CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

- Mejorar la asignación y utilización de recursos asociados a la operación.
- Mejorar las condiciones de trabajo para las personas.
- Monitorear el proceso “global” asociado a la explotación de la Mina CHS.
- Optimizar procesos, al tener información única, en línea y en tiempo real (producción, ubicación equipos, rendimientos, tiraje, monitoreo geomecánico, etc.).
- Detectar desviaciones en forma temprana de procesos y subprocesos que impacten el negocio minero.
- Hacer gestión integrada de los subprocesos del proceso de explotación.
- Proveer la interfaz gráfica dinámica para operadores y encargados de gestión.
- Maximizar la coordinación entre operadores y encargados de gestión de diferentes áreas.
- Disponer de una plataforma que facilite la toma de decisiones a los operadores y encargados de gestión.
- Minimizar las detenciones no programadas del proceso productivo.
- Hacer más racional el uso de los accesos a la Mina.
- Monitorear variables e indicadores de procesos críticos en una banda definida y aplicar el principio de “mejoramiento continuo”.
- Mantener en línea el programa de Mantenimiento vigente de corto plazo, por proceso, subproceso y equipos críticos.

Los principales sistemas a integrar en esta Plataforma de Integración para la Mina CHS son los siguientes:

- Plataforma Integrada de Operación.
- Plataforma de Gestión Operacional y de Mantenimiento.
- Plataforma Integrada de Seguridad y Protección a Personas e Instalaciones.
- Plataforma de Gestión del Negocio.

ANEXO 3: CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

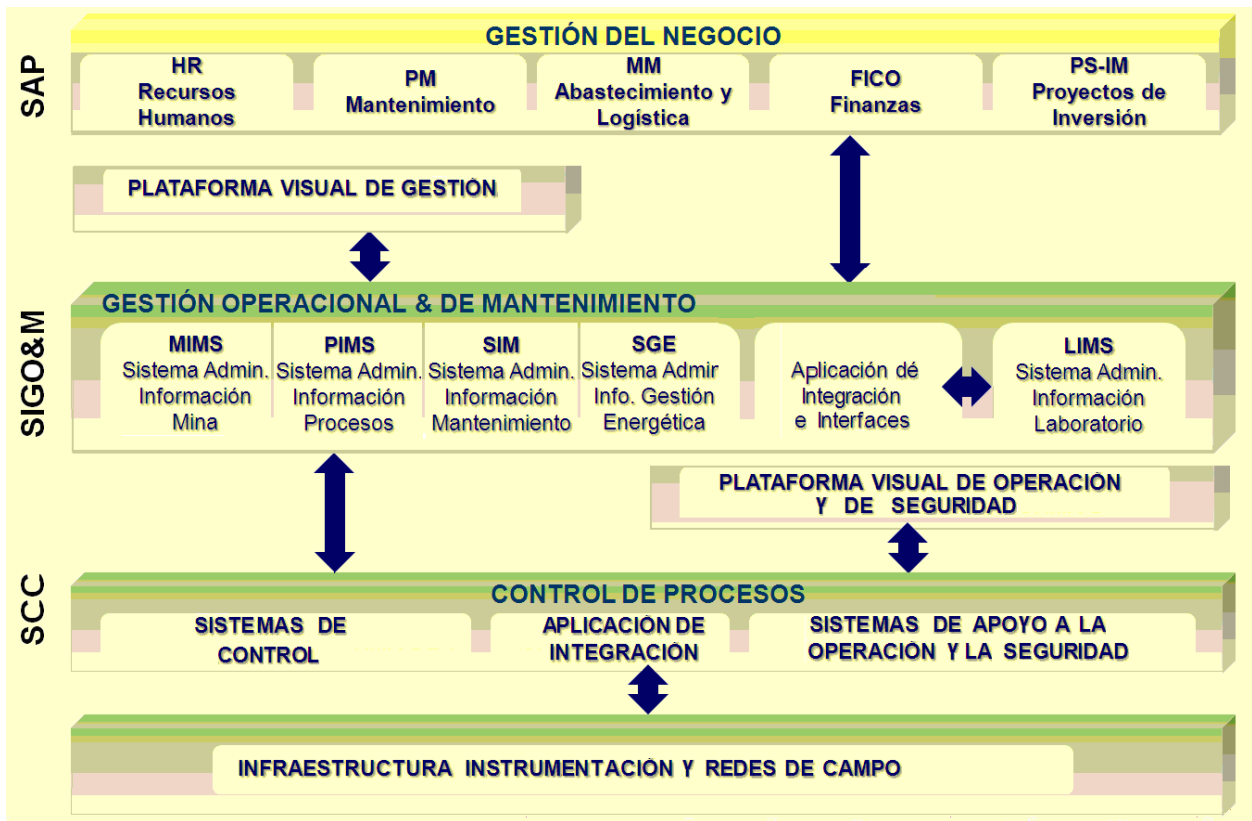


Ilustración 36: Arquitectura lógica del CIO&G

En el CIOG se contemplará la disponibilidad de la información en tiempo real de las variables de proceso y de equipos mayores, información que será utilizada para el desarrollo de la Plataforma de Gestión Operacional y de Mantenimiento. Esta información, en general, permitirá analizar variables críticas del proceso con el objetivo de realizar acciones que permitan llevar un proceso eficiente y con seguridad y que a la vez permitirá detectar desviaciones en forma temprana.

ANEXO 3: CENTRO INTEGRADO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN

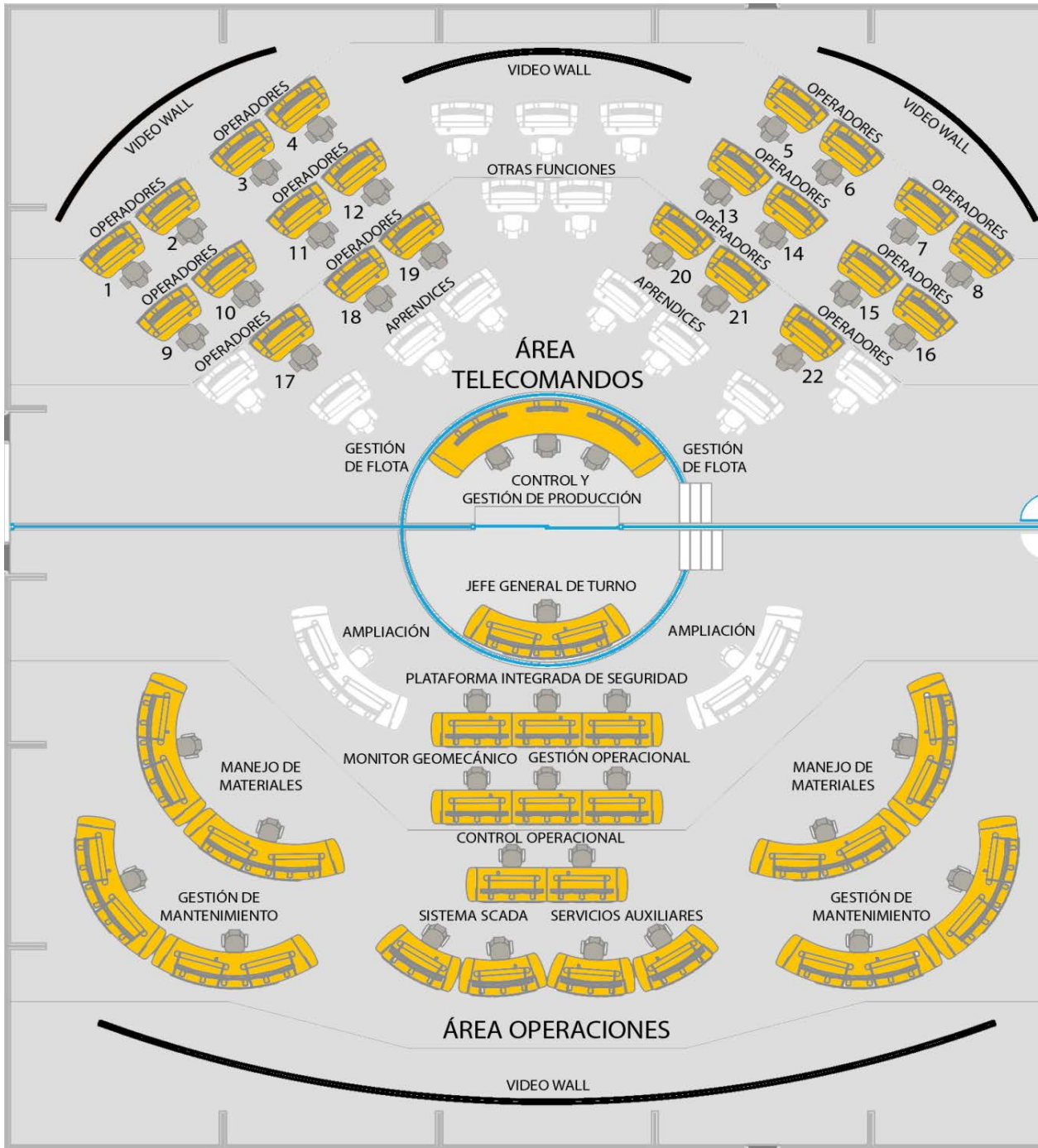


Ilustración 37: Planta CIOG

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

9.4. FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

Para el subnivel de producción se definen las operaciones y actividades asociadas desde la carga en el punto de extracción, hasta la descarga en los puntos de vaciado. La operación durante la vida de los Macro Bloques tiene características distintas según la etapa en la que se encuentre. Dichas etapas son: quiebre, extracción y agotamiento.

9.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La operación en el nivel de producción se realizará por medio de LHD Convencional para retiro de marinas en la preparación y LHD Semiautónomo (LHD SA) para la operación de producción. El Nivel de Producción está construido en base a la malla de extracción tipo Teniente, de 16 x 17 m en el sector Norte y 16 x 15 m en el sector Central y Sur.

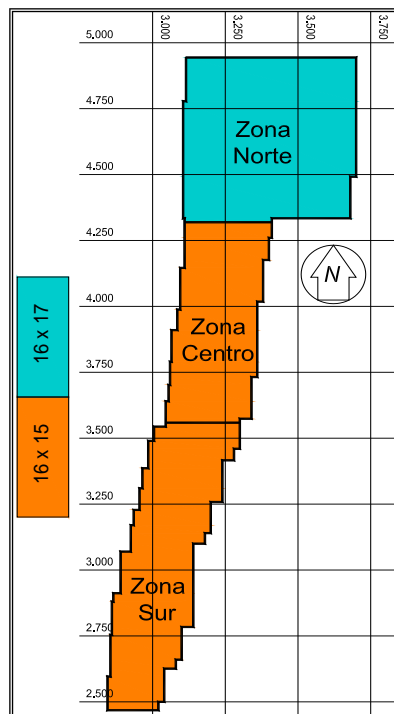


Ilustración 38: Zonificación Final de Mallas de Extracción Nivel 1841 Ingeniería Básica

Cada MB tiene 4 calles de producción, divididas en 2 semicalles, 8 puntos de vaciado, dos por calle (cada uno asociado a 1 semicalle) y cada calle mide en promedio aproximadamente 300 m a 400 m. Posee dos cabeceras Este y Oeste que permiten el desplazamiento de equipos ubicándose en cada una de ellas dos chimeneas de ventilación para inyección, y el punto de extracción del aire viciado se ubica aproximadamente en el centro de cada una de las calles. Cada MB tiene 140 – 150 puntos de extracción aproximadamente. La siguiente Ilustración 39 muestra un MB típico y su infraestructura.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

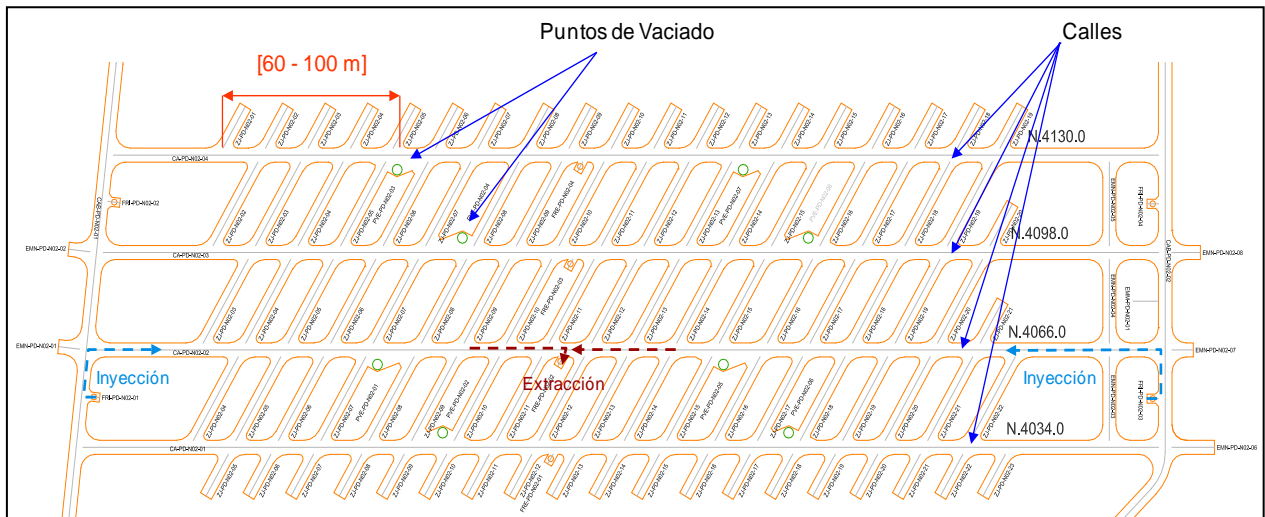


Ilustración 39: MB típico y su infraestructura

9.4.2. ETAPA DE PROPAGACIÓN

Esta etapa representa la propagación del hundimiento en el MB, la que ocurre durante el primer año de operación del Macro Bloque. En esta etapa se realizará la apertura de bateas y aproximadamente un mes después de esto, podrá ingresar un LHD semiautónomo (SA) a operar.

La característica de esta fase, es que en el momento en que se habiliten las semicalles (división lógica de la calle de producción en dos) y pueda entrar un LHD SA (semiautónomo) a operar, otra fracción del MB, se estará preparando el sector y retirando las marinas por medio de un LHD Convencional. La coordinación de estas actividades debe considerar la operación de 1 o 2 LHD SA, en conjunto con 1 LHD convencional en el sector de preparación y un martillo picador semiestacionario por calle. Al final del año 2, se instalarán el segundo martillo por cada calle.

La Ilustración 40 muestra el avance en la apertura de bateas en los Macro Bloques centrales. Los sectores en color verde y rojo indican la ubicación de las bateas Norte y Sur respectivamente. El centro de los MB's (sentido Este-Oeste) está dividido por una línea blanca que separa cada calle en dos semicalles. Esta imagen muestra que en cierto periodo de tiempo, están habilitadas las semicalles 3, 4, 5 y 6, lo que indica que es factible el ingreso de LHD SA a operar en las semicalles del sector Oeste con la holgura suficiente para transitar de una semicalle a otra. Al mes siguiente se habilitarán las dos semicalles contiguas, que según el ritmo de extracción permitirá el ingreso del segundo LHD SA a operar. Al Este de la línea divisoria, el sector está en preparación por lo que la extracción de marinas se efectúa a través de LHD Convencional.

Una vez habilitadas las semicalles, se instalarán martillos semiestacionarios en los puntos de vaciado de manera de reducir el sobretamaño en las parrillas.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

El detalle de la estrategia operacional considerando interferencias, será descrito en la siguiente etapa de extracción del MB. (Orientación de hundimiento distinto para cada MB)

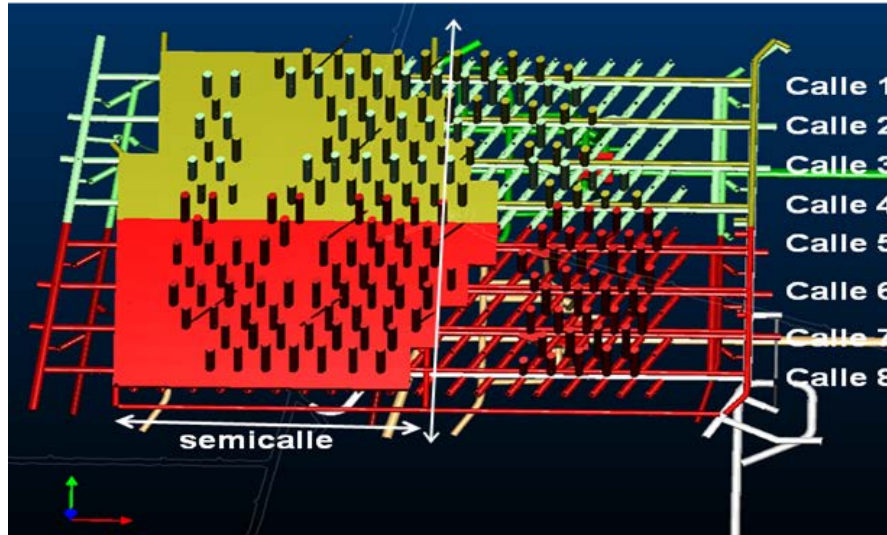


Ilustración 40: Avance en la apertura de bateas en los Macro Bloques centrales

En esta etapa inicial, el MB produce a bajas tasas de extracción que oscilarán entre 1,0 a 2,0 Mt/año, es decir, 4.000 tpd en promedio.

Considerando todo el 1er Nivel (cota 1841), se encontrarán 6 a 7 MB en propagación, se estima requerirá los siguientes recursos:

- 1 a 2 equipos LHD por Macro Bloque para el proceso de carguío-transporte-vaciado.
- Apoyo de 1 Jumbo para reducción secundaria y descolgadura en puntos de extracción.
- 1 martillos semiestacionario (estos martillos serán telecomandados) en cada punto de vaciado para reducción de colpas (en el segundo año, en el primero habrá 1 martillo por calle).

Las actividades relacionadas con reducción secundaria y reducción con martillo son frecuentes en esta etapa. Sin embargo, no generan mayores interferencias debido a la alta disponibilidad de área versus los bajos requerimientos de producción que posee cada Macro Bloque en esta etapa.

Las actividades asociadas a mantención de puntos de extracción son intensivas debido al desgaste generado por la alta frecuencia de colpas que es posible encontrar y adicionalmente a la frecuencia de tronaduras locales en cada uno de los puntos. En cambio, la mantención de puntos de vaciado y carpetas de rodado son poco frecuentes debido al poco uso acumulado que estos elementos poseen.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

9.4.3. ETAPA DE EXTRACCIÓN

En la etapa de extracción, al segundo año de operación de los MB, la apertura de bateas está completa y al segundo mes del segundo año quedan habilitadas las 2 calles centrales, al mes siguiente las dos siguientes y así sucesivamente hasta habilitar el MB completo. Una vez ocurrido esto se espera puedan operar hasta 8 LHD's por MB, es decir, 1 LHD por cada semicalle (sin considerar interferencias operacionales).

En todo el nivel se encontrarán en algún momento 6 a 7 Macro bloques en etapa de régimen, lo que implica altas tasas de extracción que oscilarán entre 6.0 a 8.0 Mt/año, es decir, 19.400 tpd en promedio por macro bloque. En esta etapa, serán requeridos:

- 3 a 6 equipos en promedio LHD SA por macro bloque para el proceso de carguío-transporte-vaciado, con un máximo de 8 equipos por macro bloque;
- Apoyo de 1 a 2 Jumbos para reducción secundaria y descolgadura en puntos de extracción;
- Martillos Semiesticionarios en cada punto de vaciado para reducción de colpas.

En cuanto al proceso de extracción en sí, este está formado por ocho subprocesos principales y actividades de mantención del área productiva. Cuatro de ellos, Carguío – Transporte – Descarga y Clasificación, se realizan de manera cíclica y permanente en condiciones normales y controladas de operación. Cuatro subprocesos, Descolgadura – Reducción Secundaria – Reducción con Martillo y Limpieza de Calle, son necesarios ejecutarlos cuando se presentan desviaciones de los estándares de desempeño respecto al flujo de mineral quebrado o a la granulometría de las colpas o a la calidad de limpieza de las calles de producción, respectivamente.

Adicionalmente, se requiere de actividades de inspección (geomecánica, electromecánica, TICA, control producción, entre otras) así como muestreo, supervisión técnica, suministro diesel y lubricantes, entre las más importantes. Estas actividades se realizan de manera cíclica y permanente durante el día, en condiciones normales y controladas de operación y tienen como condición la interrupción de los ciclos de producción debido a que son realizados por personas y equipos de apoyo que acceder dentro de cada sub-frente productiva. Por la naturaleza de estas actividades, estas solo ocasionan la paralización del semicalle o de la calle respectiva, no generando interferencias en el resto del Macro Bloque.

Finalmente, se contemplan actividades de mantención de las áreas productivas entre las que se incluyen reparación y mantención de carpetas de rodado, reparación de puntos de extracción y vaciado, entre otras. Estas actividades se realizan en un horizonte de frecuencia conocida (en función del tonelaje acumulado) y su duración suele ser de varios días o incluso semanas en algunos casos. Por lo mismo, salvo excepciones, es posible hacer gestión de estas actividades para poder minimizar los tiempos de pérdida y alinearlos con mantención de infraestructura, Chancadores, correas y los otros sistemas de la mina. A continuación se explica la filosofía con la que se espera operar.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

9.4.4. ASIGNACIÓN

La operación de producción en cada Macro Bloque se inicia con un catastro en los puntos de extracción que se encuentren disponibles y operativas para el turno, con el fin de asignar los equipos LHD a aquellas que tengan el menor porcentaje de cumplimiento respecto de su programa de producción.

Cuando una calle sea escogida para operar en un turno en particular y en ella se cuelguen todos los puntos en el turno, o bien, al finalizar el turno se hayan colgado a los menos un 70% de los puntos de extracción, será considerada como calle en estado “no disponible”, ingresando de esta manera a proceso de reducción secundaria. Es importante mencionar, que si en un turno se cuelgan todos los puntos de la calle donde se está operando, el equipo LHD será reasignado a otra calle disponible (bajo criterio de carta de tiraje) para operar hasta que el turno finalice.

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

Ya estando el LHD en la calle seleccionada para el turno, se dirige al punto de extracción que también tenga el menor porcentaje de cumplimiento respecto de su programa de producción.

9.4.5. CONSIDERACIONES OPERACIONALES

El equipo LHD SA se dirige hasta el punto de extracción seleccionado, y estando frente al punto, espera que un operador del centro integrado de operaciones tome el control del equipo para cargar. Una vez cargado el operador libera el equipo de su control por telecomando, dejándolo en modo automático y el LHD es conducido por el sistema al pique respectivo, donde realizará el vaciado del mineral. Los eventos que determinan si un pique está disponible son:

- Que esté operativo (no se encuentre trancado o en mantención).
- Que exista capacidad disponible de descarga (es necesaria una capacidad libre mínima de 11,2 t, en función de la capacidad del LHD).
- Que el martillo no se encuentre haciendo reducción de una colpa en la parrilla de vaciado del pique.
- Específicamente, el evento de pique lleno ocurre cuando se alcanza la capacidad máxima del pique. La capacidad viva de los piques es 1.000 toneladas aproximadamente. Se considera como capacidad máxima del pique el 100% de la capacidad viva del mismo.
- Punto de vaciado no disponible, significa que hay presencia de rocas que están impidiendo el traspaso de mineral hacia la sala de chancado primario. Se estima que las trancas de los piques ocurren con una frecuencia de acuerdo a la fragmentación y reportada en el plan de producción de 150.000 t por pique, cuya solución tendría una duración de 1 hora (proceso de destranque).
- Existe atascamiento de mineral en la parrilla del punto de vaciado, lo cual depende de la curva granulométrica promedio definida para el proyecto, que define la frecuencia de aparición de colpas y el tamaño de las mismas. Las

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

parrillas de vaciado tienen una dimensión de abertura estándar de 0,9 m de ancho por 0,9 m de largo, la diagonal o mayor longitud admisible es de 1,3 m (el volumen de la colpa de mayor tamaño que puede pasar por la parrilla es de 0,77 m³). Posteriormente se describe en detalle las características del este proceso. Se considera un martillo fijo operado remotamente para la reducción en cada parrilla.

El criterio para escoger el pique de vaciado más cercano, con respecto al punto de extracción donde está operando el LHD SA definido de la siguiente manera:

- Si el pique tiene capacidad disponible para descarga, pregunta por el estado del martillo. Si éste no se encuentra haciendo reducción de una colpa, el equipo LHD inmediatamente descarga el mineral en el pique.
- Si el pique tiene capacidad, pero el martillo está picando, el equipo LHD espera que termine el proceso de reducción secundaria y luego vacía en el pique.

Se chequea la disponibilidad del pique antes de que el equipo termine de cargar y se reasigna al pique con mayor disponibilidad.

Se considera una frecuencia de fallas mayores de martillos cada 20 días, con un tiempo fuera de servicio de 2 horas (tiempo requerido para cambiarlo).

La limpieza de las calles en el nivel de producción, será realizada por cada equipo LHD en la calle que se encuentra cargando. Para realizar esta operación, el LHD utilizará el modo "limpieza de calles" en caso de operar bajo modalidad semiautomática, en el cual un operador toma el control del equipo y baja el balde a nivel de la carpeta de rodado de la calle. Con el balde se arrastra el material desde el pique de vaciado hasta el punto de extracción más lejano utilizado durante el turno.

En operación semiautomática, la aislación de personal para reducción secundaria con explosivos se realizará de la forma tradicional cuando hay personas involucradas, y podrán seguir operando LHD de calles contiguas, con la salvedad de no cubrir los puntos de zanjas adyacentes a los comprometidos en la reducción con explosivos.

La Ilustración 41 muestra las barreras físicas y lógicas presentes en el MB de tal manera de aislar las semicalles en caso de reducción secundaria.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

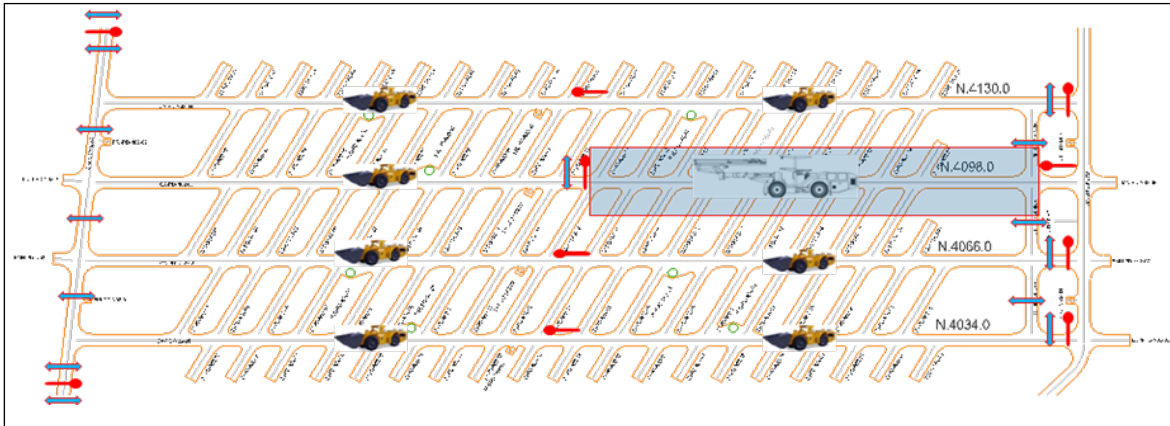


Ilustración 41: Sistema con barreras físicas y lógicas que aíslan una semicalle

Para operar los LHD en modo semiautomático, se dispondrá de un grupo de operadores, compuesto por 1 operador cada 2 equipos LHD, que además, podrán tomar cualquier LHD que lo requiera.

Por restricciones de capacidad se define como velocidad máxima de operación en 12 km/h en modo semiautomático de los equipos LHD, en tanto la aceleración alcanza los 0,2 m/s² y desaceleración de 0,5 m/s². No se considera la velocidad de extracción del mineral, ya que ésta se encuentra implícita en el programa de producción. Los LHD ingresarán al nivel de producción por dos cabeceras de acceso, las cuales no tienen puntos de extracción. Estas cabeceras son consideradas bidireccionales. Podrán operar 2 LHD por calle, uno por cada frente de extracción.

Con respecto a las colpas, se considera que el tamaño máximo de colpa que puede transportar una pala LHD de 9 yd³ es a juicio del operador del equipo. El operador del LHD, es el que toma la decisión desde la Sala de operación a distancia (bajo operación remota) o in situ (bajo operación Convencional) si el tamaño de colpa permite su transporte, en caso contrario se solicitará reducción en piso en el punto de extracción según corresponda.

Es importante indicar que para actividades de reparación mayor, se consideran 2 calles en reparación por año por Macro Bloque, con un periodo de duración de 2 meses cada una (en términos generales para resumir la suma de tiempos de reparaciones menores).

El diseño minero (layout de calles y zanjas) será funcional a la operación de LHD y Martillos fijos, ambos en modalidad semiautónoma. Entre otros aspectos, permitirá aislar determinadas zonas del nivel de producción, de forma que el ingreso de personal a dicho sector sólo provoque la paralización de producción en él, sin afectar la producción en los otros sectores. En el caso del PMCHS esto significa:

Se debe aislar a nivel de calles y semicalles cada macro bloque, a través del uso de barreras físicas y/o lógicas, de forma tal que pueda ser factible operar con 8 LHD's en forma simultánea en cada macro bloque.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

La operación del sistema debe contemplar áreas de trabajo definidas para mantenimiento e inspección en terreno de los equipos, suministro de diesel y paradas del equipo móvil para ingreso de servicios a cada semicalle de producción (muestreo, limpieza de calles, inspección puntos extracción y vaciado, entre otras).

La operación de los martillos semiestacionarios no interferirá el movimiento y operación de los LHD's semiautónomos, en particular, esto significa que dicha operación no generará riesgos de paradas de emergencias que bloqueen el sistema y adicionalmente, se minimizarán los tiempos de interferencias entre ambas operaciones.

Las actividades relacionadas con Reducción secundaria y Reducción con martillo son menos frecuentes en esta etapa debido efectos de conminución que sufre el material en la columna de extracción. Sin embargo, la interrupción del flujo en los puntos de extracción genera bajas en las disponibilidades de área productiva que atenta contra las metas de producción de cada macro bloque. De esta forma, se hace importante mantener un estado actualizado de cada uno de los eventos para una mejor asignación de tareas en los procesos que intervienen.

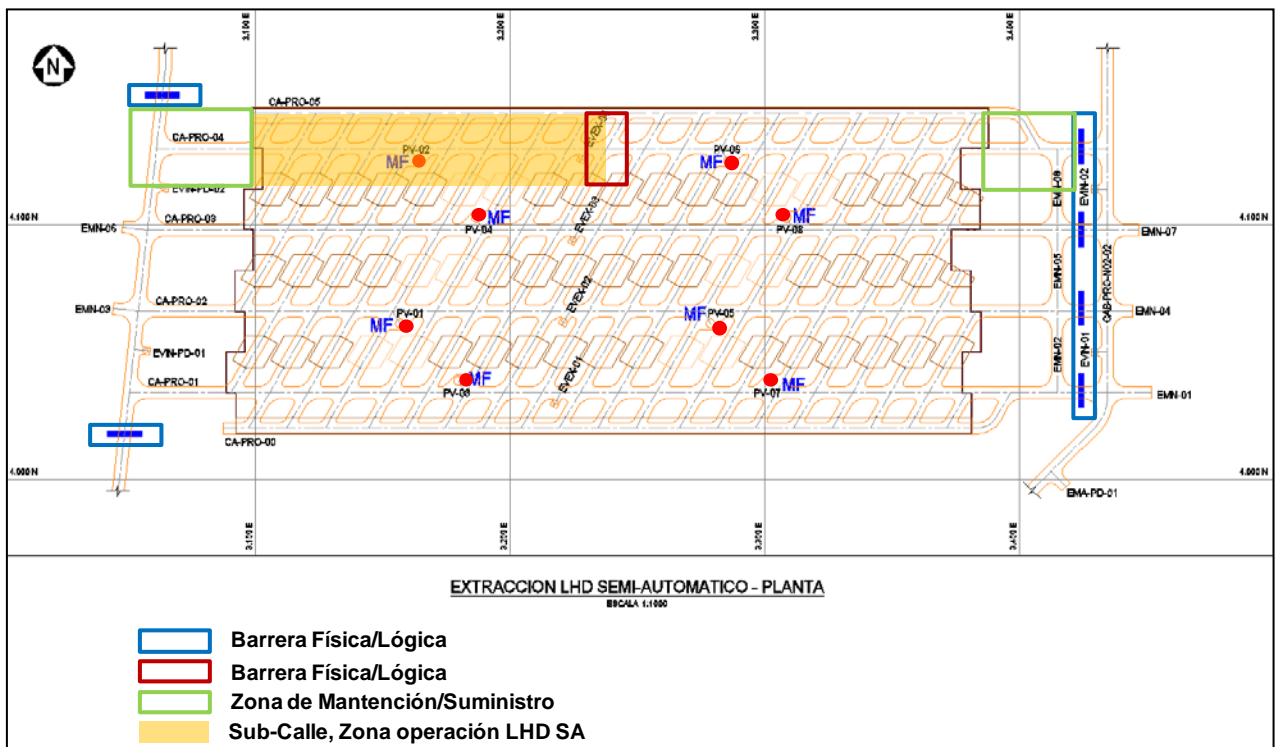


Ilustración 42: MB tipo con distintas actividades y las barreras que aíslan las semicalles.

Tanto las dimensiones de calles y zanjas como el diseño de las curvas en las galerías, serán compatibles con los requerimientos que el Proveedor de la tecnología tenga a este respecto (distancias mínimas entre la pared del túnel y el costado del equipo, radio de curvatura mínimo para curvas de 12 km/h de velocidad, etc.). Otras consideraciones serán las siguientes:

- El sistema LHD Semiautónomo aceptará la operación y control de al menos 3 LHD por operador en Sala de Control.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

- El sistema LHD Semiautónomo considerará la función de operación en modo limpieza de calles y traslado autónomo a áreas definidas para mantenimiento, inspección y suministro de diesel.
- El sistema LHD Semiautónomo considerará la función de operación en modo Convencional para traslados a taller.
- El sistema Martillo Semiestacionario de control Remoto aceptará la operación y control de 5 a 6 martillos por operador en Sala de Control.
- La asignación de cada operador a la operación remota de los equipos LHD y Martillos será en modo dinámico.

En base a las horas indicadas se tiene que; el “inicio del turno” considera la mitad del tiempo del cambio de turno más charlas del inicio de turno (misceláneos-superficie), el “fin de turno” considera la otra mitad correspondiente el ítem cambio de turno, “colación” considera el tiempo antes descrito y “operacionales” considera el tiempo de “varios”, “mantenciones programadas” más los ítems de traslado a taller, traslado a estación diesel, cambios de calle, cambios entre macro bloques, y otras actividades (como limpieza de calles, inspección pique, etc.).

9.4.6. DEFINICIÓN DEL USO DEL TIEMPO

La Figura 8-6 muestra el esquema de definición del uso del tiempo adoptado en el proyecto, el cual es compatible con los estándares ASARCO en esta materia.

Horas totales		
Horas disponibles		Mantenimiento
Horas operativas		Equipo em standby (Reservas+Interferencias)
Horas efectivas	Demoras (Factor Operacional)	

Ilustración 43: Definición uso del tiempo

Considerando lo anterior, se estimaron los tiempos de utilización efectiva anual de los equipos a utilizar (ver Tabla 23 y Tabla 25). Estos valores corresponden al máximo valor posible de las horas operativas anuales considerando disponibilidad mecánica y factores asociados a la operación del turno e interferencias y no considera tiempos de reserva u otros factores asociados a asignación de los equipos por sector.

Adicionalmente, la Tabla 24 presenta el cálculo del Factor Operacional considerado para el caso del LHD SA. Para los otros equipos considerados fue utilizado un valor del 60%.

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

Tabla 23: Horas operativas año por equipo principal

HORAS ANUALES POR EQUIPO		LHD Semi Autonomo	Jumbo Cachorrero	Martillo Semi Estacionario	LHD de Servicios
		Extracción	Red Sec	Traspaso	Extracción
Días calendario	días	360.00	360.00	360.00	360.00
Detenciones programadas (1)	días	12.00	-	12.00	-
Total	días	348.00	360.00	348.00	360.00
Turnos/día		2.00	2.00	2.00	2.00
Horas/turno	hr	12.00	12.00	12.00	12.00
Horas/semana	hr	168.00	168.00	168.00	168.00
Días/semana		7.00	7.00	7.00	7.00
Semanas/año		52.00	52.00	52.00	52.00
Horas totales/año (teóricas)	hr	8,640.00	8,640.00	8,640.00	8,640.00
Horas trabajadas/año	hr	8,352.00	8,640.00	8,352.00	8,640.00
Horas disponibles/año	hr	7,300.80	7,361.28	7,836.48	7,335.36
Paradas por turno					
Colación	hr	1.00	1.00	1.00	1.00
Cambio turno	hr	1.00	1.00	1.00	1.00
Varios (2)	hr	0.50	0.50	0.50	0.50
Miscelaneos	hr	-	-	-	-
Mantenión no programada	hr	-	-	-	-
Reserva (3)	hr	-	-	-	-
Total/turno	hr	2.50	2.50	2.50	2.50
Total/día	hr	5.00	5.00	5.00	5.00
Total/año	hr	1,740	1,740	1,740	1,740
Tiempo disponible de trabajo anual	hr	5,561	5,621	6,096	5,595
Tiempo operativo de trabajo por turno	hr	9.50	9.50	9.50	9.50
Disponibilidad (base 360 días)	%	84.5%	85.2%	90.7%	84.9%
Disponibilidad (base 348 días) (4)	%	87.4%	85.2%	93.8%	84.9%
Utilización de la disponibilidad	%	76.2%	76.4%	77.8%	76.3%
DxU	%	66.6%	65.1%	73.0%	64.8%
DxU (base diaria)	hr	16.0	15.6	17.5	15.5
Factor Operacional	%	79.9%	60.0%	60.0%	60.0%

(1) Referidas a mantenimiento del sistema de manejo de materiales.

(2) Interferencias propias de la operación: muestreo, inspección a puntos de extracción, vaciado y calles de producción, mapeo geomecánico y geológico, tronaduras, charlas seguridad, entre otros.

(3) Reservas son consideradas para el cálculo de requerimientos de flota.

(4) Disponibilidad corregida considerando 348 días (pérdida 1 día por mes considerada por las paradas del sistema de transporte principal, periodo donde se realizan mantenimientos)

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

Tabla 24: Cálculo Factor Operacional LHD SA

Factor operacional LHD	Distancia	Velocidad	Frecuencia	Horas Disponibles	Tiempo pérdida op	Tiempo pérdida op
	Km	Km/hr	dia	hr/día	min/día	% día
Traslados a taller (1)	1.0	4.0	1.0	19.0	30.0	2.8%
Traslados a estación diesel (1)	0.1	4.0	2.0	19.0	6.0	0.6%
Cambio calle	0.1	4.0	8.0	19.0	12.0	1.1%
Espera por reasignación	3seg x ciclo LHD	(4)		19.0	2.6	0.2%
Cambio MB (1)	0.6	4.0	4.0	19.0	36.0	3.3%
Tiempos espera SA	20minxturno	(4)		19.0	40.0	3.7%
Otras actividades (2)	4minxhora op	(4)		19.0	72.0	6.7%
Imprevistos operacionales (3)	5minxturno	(4)		19.0	10.0	0.9%
Varios	10% tiempos	(4)	10%	19.0	20.9	1.9%
				19.0	229.5	20.1%
				FO		79.9%
				hr efectivas/día		15.18
				hr efectivas/turno		7.59

(1) Bajo sistema manual

(2) Limpieza calle, inspección pique, etc.

(3) Punto colgado, pique lleno, etc.

(4) Esperas con motor encendido

ANEXO 4: FILOSOFÍA DE OPERACIÓN SUBNIVEL DE PRODUCCIÓN

Tabla 25: Horas operativas año por equipo de apoyo

HORAS ANUALES POR EQUIPO		Utilitarios apoyo al Mantenimiento y Servicios (4)	Equipos Mantenimiento y Levantamiento Área (5)
		Servicios	Mantenición
Días calendario	días	360.00	360.00
Detenciones programadas (1)	días	-	-
Total	días	360.00	360.00
Turnos/día		2.00	2.00
Horas/turno	hr	12.00	12.00
Horas/semana	hr	168.00	168.00
Días/semana		7.00	7.00
Semanas/año		52.00	52.00
Horas totales/año (teóricas)	hr	8,640.00	8,640.00
Horas trabajadas/año	hr	8,640.00	8,640.00
Horas disponibles/año	hr	6,912.00	6,912.00
Paradas por turno			
Colación	hr	1.00	1.00
Cambio turno	hr	1.00	1.00
Varios (2)	hr	0.50	0.50
Miscelaneos	hr	-	-
Mantenición no programada	hr	-	-
Reserva	hr	-	-
Total/turno	hr	2.50	2.50
Total/día	hr	5.00	5.00
Total/año	hr	1,740.00	1,740.00
Tiempo disponible de trabajo anual	hr	5,172.00	5,172.00
Tiempo operativo de trabajo por turno	hr	9.50	9.50
Disponibilidad (base 360 días)	%	80.0%	80.0%
Utilización de la disponibilidad	%	74.8%	74.8%
DxU	%	59.9%	59.9%
DxU (base diaria)	hr	14.4	14.4
Factor Operacional	%	60.0%	60.0%

(1) Referidas a mantenimiento del sistema de manejo de materiales

(2) Interferencias propias de la operación: muestreo, inspección a puntos de extracción, vaciado y calles de producción, mapeo geomecánico y geológico, tronaduras, charlas seguridad, entre otros.

(3) Reservas son consideradas para el cálculo de requerimientos de flota.

(4) Equipos remolcadores, camiones taller mecánico/eléctrico, camiones bajo perfil, cargadores de pequeño tamaño, camionetas para transporte de explosivos y accesorios, equipos de levante para mantención eléctrica/electrónica, equipos de levante tipo manitou.

(5) Camión 15t, Mixer shotcrete, Robot shotcrete, Plataforma tijera, Jumbo empernador.

9.4.7. ETAPA DE OPERACIÓN DE CIERRE

En la etapa de agotamiento, muchos puntos de extracción han sido agotados o cerrados según la carta de tiraje. La etapa de agotamiento consiste en la extracción de mineral de los últimos puntos de extracción, por lo que en esta etapa la operación decae y la mayoría de la flota es destinada a otros MB en etapa de extracción, reserva o mantenimiento.

9.5. DESCRIPCIÓN MODELO DE SIMULACIÓN

9.5.1. OPERACIÓN DEL MODELO

Ciclo de LHD

En su principio lógico es generada una carga de tiraje que depende del programa de producción, esta carta de tiraje es actualizada turno a turno, garantizado el cumplimiento de la velocidad de extracción. La carta de tiraje y la disponibilidad de los puntos de extracción definen el lugar de partida para el ciclo de los equipos LHD. Una vez posicionado el LHD en el punto de extracción asignado, se genera una orden por el servicio de un operador del telecomando, dependiendo de la disponibilidad de éstos. El equipo quedará en estado de espera o comenzará inmediatamente con las maniobras de carguío.

Una vez terminado el proceso de carguío, se libera al operador remoto y define el destino para la descarga de mineral (en función de la configuración). Al llegar a destino, se evalúa la factibilidad de descargar, dependiendo de la operación del martillo y la capacidad libre en el pique y parrilla; una vez autorizada la descarga, se procede y el LHD queda en estado de espera para su siguiente ciclo dependiente de la carta de tiraje.

Operación Planta de Chancado

La disponibilidad de un equipo de la planta de Chancado queda definida por el programa de mantenencias a utilizar y las fallas que se configuren. Cualquiera de estos eventos genera un cambio en el estado de éste que viabiliza o no el flujo de mineral. Si el estado es disponible y existe mineral que procesar, entonces se genera el flujo de procesamiento dependiente de la capacidad del equipo; caso contrario, si se encuentra en estado indisponible, se detendrá todo el proceso. Si no existiera mineral, pero el equipo está disponible, entonces quedará en estado de reserva.

Manejo de materiales

El criterio de viabilidad para transportar mineral es similar al de la Planta de Chancado, el equipo se encontrará disponible o no. Para tal efecto existe un programa de mantenencias y funciones de falla de cada correa del sistema, siendo el primero coordinado en la estrategia de mantención y el segundo producto de eventos aleatorios (por lo tanto las detenciones no necesariamente serán coordinadas). Un elemento exógeno que podría detener la operación de las correas es la interacción de las instalaciones existentes, si éstas no se encuentran disponibles, se detendrán. La falta de mineral, producto de una detención del nivel de producción (o parte de él), baja el flujo efectivo, sin embargo no detiene el sistema de correas.

CIOG

El Centro Integrado de Operaciones, contiene a todo el personal y estaciones de trabajo para cumplir con las tareas telecomandadas, cada orden que llega a él es para operar el carguío de un LHD u operación de un martillo picador. Las órdenes se configuran en una fila en la medida que llegan (criterio FIFO: primero que entra, primero que sale). La

ANEXO 5: MODELO DE SIMULACIÓN PMCHS IB

orden es liberada sólo cuando un operador se encuentra disponible, caso contrario debe esperar a que este ocurra; durante este periodo el equipo que generó la orden queda en estado “espera por operador”.

La disponibilidad del personal del telecomando queda definida por los sistemas de turnos, la rotación para descansos sucesivos durante éste; mientras que su desempeño depende de su curva circadiana mientras se encuentre en su estación de trabajo.

Chancado Primario en Superficie

La disponibilidad de este sistema de chancado y transporte por correas determina la oportunidad que el Proyecto por medio de su correa principal descargue mineral, por lo tanto puede detener la operación del sistema de manejo de materiales y eventualmente detener todas las operaciones en la Mina si los stock intermedios no son capaces de soportar la continuidad operacional. Además posee una capacidad determinada por el diseño de las correas actualmente en operación y que distribuyen a diferentes plantas de procesamiento.

9.5.2. INPUT RELEVANTES

El modelo diseñado soporta la configuración de diversos escenarios sólo modificando sus parámetros de entrada. Entre los más relevantes, se puede mencionar:

- Tiempos de carguío/descarga,
- Velocidades, aceleraciones para equipos LHD;
- Capacidades y disponibilidad para chancadores, alimentadores y correas;
- Turno de operación, descansos y desempeño para teleoperadores.

9.5.3. VARIABLES RELEVANTES

La evaluación de los escenarios es realizada sobre las variables de salida del modelo, éstas representan y cuantifican los KPI's del sistema, además monitorean desempeños importantes de estudiar. Dependen directamente de los parámetros operacionales definidos y configurados para cada escenario por evaluar o investigar.

Entre las principales variables de salida se tienen:

- Tiempos de ciclo, tiempos de espera,
- Demanda por operadores de telecomando, oferta de teleoperadores,
- Utilización de equipos, productividades de equipos,
- Capacidad productiva de macrobloques, flujo efectivo de mineral en diversos puntos del sistema y capacidad productiva del Proyecto.

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

9.6. RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Modelo genérico utilizado

M/M/c/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	Tasa de llegada	$\mu =$	Tasa de atención
$c =$	Operadores en CIOG		
Sys. Lim., N=	Universo	Source limit, K =	Capacidad del sistema
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	Tasa de arribos efectivos	$\rho/c =$	Utilización capacidad instalada
Ls =	Largo promedio de atención	Lq =	Largo de la cola
Ws =	Tiempo promedio de atención	Wq =	Tiempo promedio en cola
n	Pn	CPn	1-CPn
	Probabilidad de que existan X atenciones simultáneas	Probabilidad de que existan hasta X atenciones simultáneas	Probabilidad de que existan más de X atenciones simultáneas
0			
1			
...			
n			

Parámetro

Tasa de llegada

Operadores

Universo

Tasa de atención

Capacidad del sistema

Tasa de llegada efectivos

Largo promedio de atención

Tiempo promedio de atención

Utilización capacidad instalada

Largo de la cola

Tiempo promedio en cola

Unidad

llegadas/minuto

N° efectivo de operadores en CIOG

Número total de clientes que pueden usar el servicio.

atenciones/minuto

largo máximo de la cola

llegadas/minuto

Número esperado de clientes en el sistema

Tiempo que un cliente está siendo atendido medido en minutos

%

Número esperado de clientes en cola

Tiempo que un cliente esta en cola medido en minutos

Modelo genérico, disponible en internet.

<http://www.gestiondeoperaciones.net/lineas-de-espera/>

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 4

M/Wc/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	14,93	$\mu =$	1,5
$c =$	15		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	14,92953	$\rho/c =$	0,66356
Ls =	10,14675	Lq =	0,19373
Ws =	0,67964	Wq =	0,01298
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0000466507	0,0000466507	0,9999533493
1	0,0004643297	0,0005109803	0,9994890197
2	0,0023108140	0,0028217944	0,9971782056
3	0,0076667674	0,0104885617	0,9895114383
4	0,0190774728	0,0295660346	0,9704339654
5	0,0379768893	0,0675429238	0,9324570762
6	0,0629994396	0,1305423635	0,8694576365
7	0,0895792032	0,2201215667	0,7798784333
8	0,1114514587	0,3315730253	0,6684269747
9	0,1232570576	0,4548300829	0,5451699171
10	0,1226818580	0,5775119409	0,4224880591
11	0,1110084933	0,6885204343	0,3114795657
12	0,0920753781	0,7805958124	0,2194041876
13	0,0704966869	0,8510924993	0,1489075007
14	0,0501197874	0,9012122867	0,0987877133
15	0,0332572634	0,9344695501	0,0655304499
16	0,0220680419	0,9565375919	0,0434624081
17	0,0146433718	0,9711809637	0,0288190363
18	0,0097166907	0,9808976544	0,0191023456
19	0,0064475641	0,9873452185	0,0126547815
20	0,0042783170	0,9916235355	0,0083764645
21	0,0028389010	0,9944624365	0,0055375635
22	0,0018837685	0,9963462050	0,0036537950
23	0,0012499851	0,9975961901	0,0024038099
24	0,0008294345	0,9984256247	0,0015743753
25	0,0005503759	0,9989760005	0,0010239995
26	0,0003652050	0,9993412055	0,0006587945
27	0,0002423338	0,9995835393	0,0004164607
28	0,0001608019	0,9997443413	0,0002556587
29	0,0001067010	0,9998510423	0,0001489577
30	0,0000708021	0,9999218443	0,0000781557
31	0,0000469811	0,9999688254	0,0000311746
32	0,0000311746	1,0000000000	0,0000000000

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 5

M/Wc/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	14,93	$\mu =$	1,72
$c =$	14		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	14,92993	$\rho/c =$	0,62002
Ls =	8,79406	Lq =	0,11387
Ws =	0,58902	Wq =	0,00763
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0001679252	0,0001679252	0,9998320748
1	0,0014576302	0,0016255554	0,9983744446
2	0,0063262844	0,0079518398	0,9920481602
3	0,0183045398	0,0262563796	0,9737436204
4	0,0397219156	0,0659782952	0,9340217048
5	0,0689590931	0,1349373883	0,8650626117
6	0,0997634942	0,2347008825	0,7652991175
7	0,1237100472	0,3584109297	0,6415890703
8	0,1342289974	0,4926399271	0,5073600729
9	0,1294598793	0,6220998064	0,3779001936
10	0,1123741859	0,7344739923	0,2655260077
11	0,0886758243	0,8231498167	0,1768501833
12	0,0641438981	0,8872937148	0,1127062852
13	0,0428295348	0,9301232496	0,0698767504
14	0,0265550230	0,9566782726	0,0433217274
15	0,0164645554	0,9731428280	0,0268571720
16	0,0102082978	0,9833511259	0,0166488741
17	0,0063293142	0,9896804401	0,0103195599
18	0,0039242800	0,9936047201	0,0063952799
19	0,0024331188	0,9960378388	0,0039621612
20	0,0015085741	0,9975464129	0,0024535871
21	0,0009353410	0,9984817539	0,0015182461
22	0,0005799269	0,9990616808	0,0009383192
23	0,0003595643	0,9994212451	0,0005787549
24	0,0002229359	0,9996441810	0,0003558190
25	0,0001382239	0,9997824049	0,0002175951
26	0,0000857011	0,9998681061	0,0001318939
27	0,0000531361	0,9999212422	0,0000787578
28	0,0000329453	0,9999541875	0,0000458125
29	0,0000204266	0,9999746141	0,0000253859
30	0,0000126648	0,9999872790	0,0000127210
31	0,0000078524	0,9999951314	0,0000048686
32	0,0000048686	1,0000000000	0,0000000000

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 6

M/M/c/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	14,93	$\mu =$	2,4
$c =$	10		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	14,92998	$\rho/c =$	0,62208
Ls =	6,42262	Lq =	0,20180
Ws =	0,43018	Wq =	0,01352
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0019375496	0,0019375496	0,9980624504
1	0,0120531730	0,0139907226	0,9860092774
2	0,0374903901	0,0514811127	0,9485188873
3	0,0777404895	0,1292216022	0,8707783978
4	0,1209026572	0,2501242594	0,7498757406
5	0,1504230559	0,4005473153	0,5994526847
6	0,1559594601	0,5565067754	0,4434932246
7	0,1385996869	0,6951064623	0,3048935377
8	0,1077756940	0,8028821563	0,1971178437
9	0,0744949589	0,8773771151	0,1226228849
10	0,0463420723	0,9237191874	0,0762808126
11	0,0288286308	0,9525478183	0,0474521817
12	0,0179338108	0,9704816290	0,0295183710
13	0,0111563248	0,9816379538	0,0183620462
14	0,0069401637	0,9885781175	0,0114218825
15	0,0043173602	0,9928954777	0,0071045223
16	0,0026857578	0,9955812355	0,0044187645
17	0,0016707652	0,9972520007	0,0027479993
18	0,0010393552	0,9982913558	0,0017086442
19	0,0006465655	0,9989379213	0,0010620787
20	0,0004022176	0,9993401390	0,0006598610
21	0,0002502129	0,9995903519	0,0004096481
22	0,0001556533	0,9997460051	0,0002539949
23	0,0000968293	0,9998428344	0,0001571656
24	0,0000602359	0,9999030703	0,0000969297
25	0,0000374717	0,9999405421	0,0000594579
26	0,0000233105	0,9999638526	0,0000361474
27	0,0000145011	0,9999783537	0,0000216463
28	0,0000090209	0,9999873746	0,0000126254
29	0,0000056117	0,9999929864	0,0000070136
30	0,0000034910	0,9999964774	0,0000035226
31	0,0000021717	0,9999986490	0,0000013510
32	0,0000013510	1,0000000000	0,0000000000

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 7

M/Wc/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	14,93	$\mu =$	1,2
$c =$	18		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	14,92738	$\rho/c =$	0,69120
Ls =	12,65646	Lq =	0,21698
Ws =	0,84787	Wq =	0,01454
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0000038727	0,0000038727	0,9999961273
1	0,0000481830	0,0000520557	0,9999479443
2	0,0002997385	0,0003517942	0,9996482058
3	0,0012430821	0,0015948763	0,9984051237
4	0,0038665032	0,0054613794	0,9945386206
5	0,0096211487	0,0150825282	0,9849174718
6	0,0199505209	0,0350330491	0,9649669509
7	0,0354596758	0,0704927249	0,9295072751
8	0,0551471834	0,1256399083	0,8743600917
9	0,0762358748	0,2018757831	0,7981242169
10	0,0948501342	0,2967259173	0,7032740827
11	0,1072812503	0,4040071676	0,5959928324
12	0,1112297963	0,5152369640	0,4847630360
13	0,1064526192	0,6216895831	0,3783104169
14	0,0946034288	0,7162930120	0,2837069880
15	0,0784682885	0,7947613004	0,2052386996
16	0,0610172681	0,8557785685	0,1442214315
17	0,0446562653	0,9004348338	0,0995651662
18	0,0308665760	0,9313014098	0,0686985902
19	0,0213350916	0,9526365014	0,0473634986
20	0,0147468944	0,9673833957	0,0326166043
21	0,0101931080	0,9775765037	0,0224234963
22	0,0070455140	0,9846220177	0,0153779823
23	0,0048698854	0,9894919031	0,0105080969
24	0,0033660828	0,9928579859	0,0071420141
25	0,0023266489	0,9951846348	0,0048153652
26	0,0016081883	0,9967928231	0,0032071769
27	0,0011115857	0,9979044089	0,0020955911
28	0,0007683322	0,9986727411	0,0013272589
29	0,0005310740	0,9992038151	0,0007961849
30	0,0003670803	0,9995708955	0,0004291045
31	0,0002537273	0,9998246228	0,0001753772
32	0,0001753772	1,0000000000	0,0000000000

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 8

M/M/c/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	9,96	$\mu =$	1,5
$c =$	11		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	9,95999	$\rho/c =$	0,60364
Ls =	6,77689	Lq =	0,13689
Ws =	0,68041	Wq =	0,01374
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0012858842	0,0012858842	0,9987141158
1	0,0085382713	0,0098241555	0,9901758445
2	0,0283470607	0,0381712163	0,9618287837
3	0,0627414944	0,1009127107	0,8990872893
4	0,1041508808	0,2050635915	0,7949364085
5	0,1383123697	0,3433759612	0,6566240388
6	0,1530656891	0,4964416502	0,5035583498
7	0,1451937394	0,6416353896	0,3583646104
8	0,1205108037	0,7621461933	0,2378538067
9	0,0889101929	0,8510563862	0,1489436138
10	0,0590363681	0,9100927543	0,0899072457
11	0,0356364986	0,9457292529	0,0542707471
12	0,0215114864	0,9672407393	0,0327592607
13	0,0129851154	0,9802258547	0,0197741453
14	0,0078382879	0,9880641426	0,0119358574
15	0,0047314756	0,9927956182	0,0072043818
16	0,0028560907	0,9956517089	0,0043482911
17	0,0017240402	0,9973757491	0,0026242509
18	0,0010406934	0,9984164425	0,0015835575
19	0,0006282004	0,9990446428	0,0009553572
20	0,0003792046	0,9994238474	0,0005761526
21	0,0002289017	0,9996527491	0,0003472509
22	0,0001381734	0,9997909225	0,0002090775
23	0,0000834065	0,9998743289	0,0001256711
24	0,0000503472	0,9999246761	0,0000753239
25	0,0000303914	0,9999550675	0,0000449325
26	0,0000183453	0,9999734129	0,0000265871
27	0,0000110739	0,9999844868	0,0000155132
28	0,0000066846	0,9999911714	0,0000088286
29	0,0000040351	0,9999952065	0,0000047935
30	0,0000024357	0,9999976422	0,0000023578
31	0,0000014703	0,9999991125	0,0000008875
32	0,0000008875	1,0000000000	0,0000000000

ANEXO 6: RESULTADO MODELAMIENTO MEDIANTE TEORÍA DE COLAS

Caso 9

M/Wc/GD/N/K Queueing Model			
Input Data (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	7,48	$\mu =$	1,5
$c =$	9		
Sys. Lim., N=	32	Source limit, K =	i
Output Results:			
$\lambda_{eff} =$	7,48000	$\rho/c =$	0,55407
Ls =	5,08533	Lq =	0,09867
Ws =	0,67986	Wq =	0,01319
n	Pn	CPn	1-CPn
0	0,0067391999	0,0067391999	0,9932608001
1	0,0336061435	0,0403453434	0,9596546566
2	0,0837913177	0,1241366611	0,8758633389
3	0,1392797903	0,2634164514	0,7365835486
4	0,1736354719	0,4370519233	0,5629480767
5	0,1731724440	0,6102243673	0,3897756327
6	0,1439255424	0,7541499097	0,2458500903
7	0,1025298149	0,8566797246	0,1433202754
8	0,0639102513	0,9205899760	0,0794100240
9	0,0354110133	0,9560009893	0,0439990107
10	0,0196203244	0,9756213137	0,0243786863
11	0,0108711131	0,9864924268	0,0135075732
12	0,0060234019	0,9925158287	0,0074841713
13	0,0033374108	0,9958532395	0,0041467605
14	0,0018491728	0,9977024123	0,0022975877
15	0,0010245787	0,9987269911	0,0012730089
16	0,0005676925	0,9992946836	0,0007053164
17	0,0003145437	0,9996092273	0,0003907727
18	0,0001742805	0,9997835078	0,0002164922
19	0,0000965643	0,9998800721	0,0001199279
20	0,0000535038	0,9999335759	0,0000664241
21	0,0000296451	0,9999632209	0,0000367791
22	0,0000164256	0,9999796465	0,0000203535
23	0,0000091010	0,9999887475	0,0000112525
24	0,0000050426	0,9999937901	0,0000062099
25	0,0000027940	0,9999965841	0,0000034159
26	0,0000015481	0,9999981321	0,0000018679
27	0,0000008577	0,9999989899	0,0000010101
28	0,0000004753	0,9999994651	0,0000005349
29	0,0000002633	0,9999997285	0,0000002715
30	0,0000001459	0,9999998744	0,0000001256
31	0,0000000808	0,9999999552	0,0000000448

ANEXO 7: RESULTADO PRODUCTIVIDAD

9.7. RESULTADO PRODUCTIVIDAD

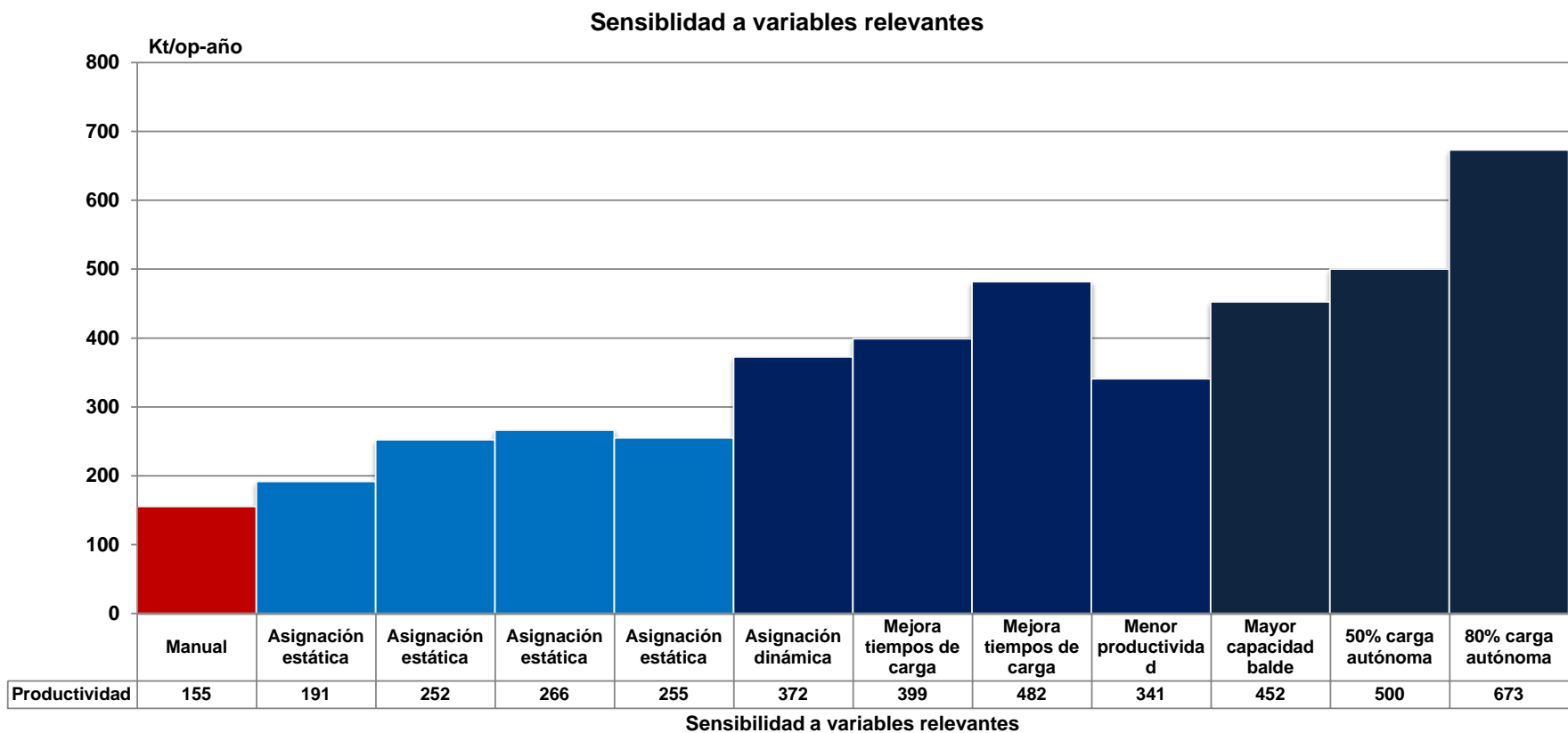


Ilustración 44: Resultados sensibilidad a variables relevantes

ANEXO 7: RESULTADO PRODUCTIVIDAD

Tabla 26: Resultados productividad (1 de 3)

Caso	Nombre	Criterio		Tiempo carga	Tiempo proceso	Tiempo atención	Tasa Atención	Descripción	Tiempo ciclo	Tiempo cola	Tiempo ciclo	Universo LHD		Universo Martillos	
				s	s	s	carga/min		s	s	s	Flota efectiva	Flota operativa	Flota efectiva	Flota operativa
Caso Base	Manual	Manual	1 es a 1	30	0	30	2,00	100% manual	120,0	0,0	120,0	27	30	8	10
Caso 0	Asignación estática	AE	1 es a 1	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	0,0	120,0	29	32	80	96
Caso 1	Asignación estática	AE	1 es a 2	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	16,0	136,0	32	36	80	96
Caso 2	Asignación estática	AE	1 es a 3	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	40,0	160,0	37	41	80	96
Caso 3	Asignación estática	AE	1 es a 4	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	74,1	194,1	45	50	80	96
Caso 4	Asignación dinámica	AD	resultado	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	0,8	120,8	29	32	80	96
Caso 5	Mejora tiempos de carga	AD	resultado	20	5	25	2,40	100% carga SA	120,0	0,5	120,5	29	32	80	96
Caso 6	Mejora tiempos de carga	AD	resultado	30	5	35	1,71	100% carga SA	120,0	0,8	120,8	29	32	80	96
Caso 7	Menor productividad	AD	resultado	40	10	50	1,20	100% carga SA	120,0	0,9	120,9	29	32	80	96
Caso 8	Mayor capacidad balde	AD	resultado	30	10	40	1,50	100% carga SA	120,0	0,9	120,9	19	21	80	96
Caso 9	50% carga autónoma	AD	resultado	30	10	40	1,50	50% carga SA	120,0	0,8	120,8	29	32	80	96
Caso 10	80% carga autónoma	AD	resultado	30	10	40	1,50	20% carga SA	120,0	0,8	120,8	29	32	80	96

Tabla 27: Resultados productividad (2 de 3)

Caso	Nombre	Universo Total		Llegadas	Llegadas	Operadores efectivos	Operadores operativos	Utilización Operadores	Tasa Martillos	Operadores efectivos	Operadores operativos	Factor reemplazo
		Flota efectiva	Flota operativa	cada X seg	X cada min	LHDs	LHDs	%	Op/Equipo	Martillos	Martillos	
Caso Base	Manual	35	40	4,02	14,93	32	38	100%	1	8	10	6,6
Caso 0	Asignación estática	109	128	4,02	14,93	29	35	33%	5	16	19	4,5
Caso 1	Asignación estática	112	132	60,00	1,00	16	19	67%	5	16	19	4,5
Caso 2	Asignación estática	117	137	40,00	1,50	13	16	100%	5	16	19	4,5
Caso 3	Asignación estática	125	146	30,00	2,00	15	18	134%	5	16	19	4,5
Caso 4	Asignación dinámica	109	128	4,02	14,93	16	19	67%	20	4	5	4,5
Caso 5	Mejora tiempos de carga	109	128	4,02	14,93	14	17	63%	20	4	5	4,5
Caso 6	Mejora tiempos de carga	109	128	4,02	14,93	10	12	63%	20	4	5	4,5
Caso 7	Menor productividad	109	128	4,02	14,93	18	22	70%	20	4	5	4,5
Caso 8	Mayor capacidad balde	99	117	6,03	9,95	11	13	61%	20	4	5	4,5
Caso 9	50% carga autónoma	109	128	8,03	7,47	9	11	56%	20	4	5	4,5
Caso 10	80% carga autónoma	109	128	20,09	2,99	4	5	40%	20	4	5	4,5

ANEXO 7: RESULTADO PRODUCTIVIDAD

Tabla 28: Resultados productividad (3 de 3)

Caso	Nombre	Operadores totales	Operadores totales	Operadores totales adic	Operadores totales	Parámetro efectivo LHD/Operadores	Capacidad Balde efectivo	Productividad efectiva LHD	Productividad Sistema LHD+Martillo	Producción máxima
		LHDs	Martillos	Op-año	Totales	1 op es a X equipos	t	tpd	kt/H-año	Mt/año
Caso Base	Manual	251	66	0	317	1 es a 0,2	11,1	5062	155,2	49,2
Caso 0	Asignación estática	158	86	32	276	1 es a 0,9	11,1	5062	191,5	52,8
Caso 1	Asignación estática	86	86	32	204	1 es a 1,6	11,1	4466	252,2	51,4
Caso 2	Asignación estática	72	86	32	190	1 es a 2	11,1	3796	266,1	50,6
Caso 3	Asignación estática	81	86	32	199	1 es a 1,9	11,1	3129	254,7	50,7
Caso 4	Asignación dinámica	86	23	32	141	1 es a 1,5	11,1	5029	372,4	52,5
Caso 5	Mejora tiempos de carga	77	23	32	132	1 es a 1,7	11,1	5042	398,8	52,6
Caso 6	Mejora tiempos de carga	54	23	32	109	1 es a 2,4	11,1	5027	481,5	52,5
Caso 7	Menor productividad	99	23	32	154	1 es a 1,3	11,1	5024	340,6	52,4
Caso 8	Mayor capacidad balde	59	23	32	114	1 es a 2	16,7	7536	452,2	51,5
Caso 9	50% carga autónoma	50	23	32	105	1 es a 2,6	11,1	5028	499,9	52,5
Caso 10	80% carga autónoma	23	23	32	78	1 es a 5,6	11,1	5028	673,0	52,5

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

9.8. RESULTADOS ENCUESTA

Los resultados presentados a continuación corresponden a las encuestas y entrevistas realizadas a 53 personas en total durante el mes de Diciembre 2015 y Enero 2016, de un total de alrededor de 100 encuestas enviadas vía email y entrevistas personalizadas.

Como se ha señalado, esta encuesta no es válida desde el punto estadístico. Sus resultados sirven para buscar la opinión de profesionales que están de alguna forma familiarizados con Codelco y el estado de la técnica y sirven para colocar un punto de partida en términos de análisis de riesgo destinados a cualitativamente entender el fenómeno estudiado y el potencial de su aplicabilidad más allá de temas puramente técnicos.

Resumen Propuesta

En minería subterránea los equipos LHD son típicamente usados para transportar roca mineralizada desde los puntos de extracción hasta los puntos de vaciado en los niveles de producción operados por un trabajador a bordo del equipo. Diversas razones han llevado al deseo de automatizar estos equipos, consiguiendo así poder eliminar la presencia de un operador a bordo del vehículo.

Para esto se ha introducido una tecnología emergente que permite operar los equipos LHD de una manera “semi autónoma”, es decir, permite el manejo mediante un sistema autónomo las tareas de transporte y descarga, mientras que la operación de carguío en los puntos de extracción se realiza con asistencia humana remota teleoperada; esta modalidad se denomina LHD SA.

El sistema LHD SA ha sido utilizado en diversas operaciones a nivel mundial y específicamente en tres operaciones de la mina El Teniente (Diablo Regimiento, Pipa Norte, y Pilar Norte) de Codelco, con resultados relativamente exitosos pero que indican que esta tecnología requiere algún desarrollo para que los sistemas sean más eficientes y puedan coexistir con operaciones auxiliares.

La aplicación de tecnología semiautónoma de LHD´s considerando operación telecomandada desde superficie en el PMCHS planteó la hipótesis de trabajo de que esta actividad podía ser asumida como un caso similar al proceso de operaciones de un call-center. Lo anterior se denomina formalmente como asignación dinámica, esto es, los operadores son asignados de acuerdo a su disponibilidad cuando el equipo LHD lo requiera.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P1		Explicación
		El desarrollo de LHD's SA ha permitido demostrar que es posible comandarlos desde superficie a través de un operador que actúa en la etapa de carguío del mismo, siendo las otras etapas operadas de forma autónoma por el sistema de control del equipo.
		Respecto a la tecnología LHD SA desarrollada por Codelco Ud. se declara
		(marque la alternativa que más sentido le hace)
77,4%	a	Confiado en sus resultados, en los próximos 3 a 5 años se cerrarán las brechas relevantes.
22,6%	b	Neutral, creo que hace falta más desarrollo, por sobre 5 a 10 años de pruebas a lo menos.
0,0%	c	Desconfiado de sus resultados, por lo menos los siguientes 15 años tendremos que seguir operando con sistemas manuales.
0,0%	e	No conoce lo suficiente al respecto.

P1		Comentarios
1		Sí, creo que es una buena idea, que se puede implementar en ese plazo.
2		Confiados , pero con una mejor programación en mantenimiento, manejada por medio de una nube de datos, que permita un mejor control de las variables
3		Creo que en el desarrollo de esta tecnología se han identificado las brechas para alcanzar los KPI de eficiencia y continuidad operacional. Se encuentran los elementos necesarios, siendo indispensable un foco en los actuales operadores y el proceso de reconversión.
4		Brechas asociadas al sistema de navegación, velocidades del equipo e interacción con el sistema a través de interfaz humano-maquina son factibles de acortar un mediano plazo de 3-5 años, de acuerdo a la experiencia adquirida y lo ofertado por actuales proveedores de sistemas SA
5		La tecnología no ha avanzado con la velocidad que se requiere, pero existen iniciativas de la corporación y de las empresas proveedoras de estos equipos y sistemas que buscan llegar a resultados de excelencia, por esta razón se deben enfocar estos esfuerzos en todos los aspectos del diseño: el equipo, el sistema, la infraestructura asociada, el sistema de comunicaciones, la mantención, el servicio, las actividades asociadas (operaciones unitarias repetitivas que interfieren con la operación semiautomática), el diseño minero (otro punto de interferencias) y también la sala de operación remota desde donde se telecomandan y monitorean las operaciones.
6		Se podrá tener buenos resultados si la Corporación hace inversiones para lograrlo y mantiene la fuerza en esta innovación. En caso contrario no habrá solución en el corto plazo porque no es interesante, económicamente, para las empresas proveedoras.
7		No veo una dedicación de alguien en el PMCHS al 100% por lograr este objetivo. Veo que se confía mucho en los PROVEEDORES. También creo que se ha perdido mucho tiempo en la toma de decisiones para toda esta operación telecomandada (Sala COM) y poner en Blanco y Negro la Filosofía de Operación con esta tecnología.
8		La tecnología existe, lo que se requiere es adaptarla a cada faena
9		Creo que uno de los factores claves para el éxito de este sistema, tiene relación con la política de innovación que debe tener la Corporación. El concepto es muy bueno, pero debe ir de la mano con un desarrollo tecnológico del equipo mismo, bajo ciertos aspectos el LHD actual (diseño geométrico) puede ser exitoso para algunas aplicaciones, pero estoy convencido que si somos capaces de diseñar un equipo a nuestra medida (necesidades) tanto el método de explotación como la aplicación de un sistema semiautomático van a obtener resultados notables.
10		Creo que la limitación de sistemas cautivos por marca produce un letargo en el avance dado que se debe combinar la marca del equipo con el desarrollo de un sistema de control y administración del sistema automático

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

11	Está muy avanzada la técnica solo falta depurarla
12	Las brechas se resolverán en la medida que no solo se mejore la tecnología, también se requiere cambiar los procesos (modelo operación, diseños, mantenibilidad, etc.) y la gente (competencias, cultura organizacional y operacional). Es decir es un proceso nuevo, afectándose todos los ámbitos del proceso extractivo.
13	Codelco está desarrollando con las empresas Sandvik y Caterpillar un proyecto de cierre de brechas para llevar la tecnología al nivel que permita ser implementada con seguridad y competitividad respecto de la operación manual.
14	Neutral. Pero no creo existan brechas importantes que impidan la implementación de los LHS s.a.
15	Existe bastante experiencia en estas aplicaciones y se realizaron nuevas pruebas para cerrar brechas durante los años 2016 y 2017 en DET
16	Creo que el trabajo realizado como los proyectos en desarrollo en conjunto de Codelco con proveedores me permite visualizar el cierre en corto plazo de las brechas existentes
17	Se estudiaron las brechas de la tecnología para su implementación masiva en los próximos 3 años, definiendo los requerimientos Funcionalidades ALFA. Se ha trabajado 6 meses con los proveedores más avanzados en una ingeniería para cerrar las brechas (2015) y el 2016-2017 se validaran la tecnología con estos requerimientos en Esmeralda DET
18	Los avances en el Mercado Mundial y particularmente en nuestro producto, nos indica que HOY existe maquinarias del Tipo Autónomo (A) y SA (Semi Autónomo) confiables para su rápida implementación. Abarcando, en nuestro caso, al proceso completo de las Operaciones Unitarias de una Mina.
19	Al PMCHS le falta unos 5 años para poder utilizar esta tecnología, por lo que las pruebas y los ritmos que tienen las pruebas y la implementación de este tipo de proyectos me lleva a pensar que faltan mínimo 5 años para poder ver algún resultado al respecto.
20	Estamos cerca. No hay dudas de las tecnologías. Puede que hayan temas de productividad y mantenimiento pero esto funciona. / Hay otras cosas que tienen que funcionar también. Esta tecnología requiere de soporte y temas que están fuera. Es un tema de diseño, de operaciones de apoyo, como controlar la variabilidad, cómo depender menos de sistemas Batch, como se hace el mantenimiento, de aguas abajo, etc. / Elementos de gestión humanos también son importantes. La organización debe acompañar estos temas.
21	Si bien es factible la teleoperación, aun debemos asegurar la granulometría para dar continuidad a las operaciones.
22	Entre neutral y confiado. Existen brechas en los desarrollos realizados por proveedores y lo que se quiere lograr. Hay muchas rigideces, por ejemplo, la construcción de mapas (único viejito en empresa en Finlandia en subcontrato). Pruebas Atlas no fueron muy buenas, finalmente se aprovecharon muy poco. Fue un buen aprendizaje pero no de funcionalidad. Pruebas en Esmeralda debieran ser concluyentes para determinar que se debe esperar de la tecnología.
23	Estoy confiado en la medida que exista un compromiso real de los ejecutivos y la organización, además de un desarrollo en conjunto con los actores del mercado, los cuales bajo mi experiencia no tienen los incentivos necesarios para llevar este tipo de tecnología a un desarrollo masivo, confiable y de bajo costo.
24	Más optimista. No hay un problema tecnológico. El problema actual es de incentivos y de integración de procesos que se pueden solucionar. KPIs deben representar mejor el negocio. Para efectos de desarrollo se requiere mayor foco en el propósito y en el esfuerzo y necesidad de implementarlo. Los proveedores han hecho buen trabajo. Sensores requieren mayor trabajo para habilitar un mejor control. Por ejemplo, polvo.
25	Mayor problema está asociado a la productividad. LHD manual pareciera tener mayor eficiencia. Una ventaja del LHD SA es que cuida la infraestructura, pues no choca. Las velocidades son más restringidas. La utilización es mejor pero casi que compensa. Los equipos deben durar más.
26	Madurez alta, la tecnología funciona. Sin embargo, hay temas que complementar. Por ejemplo el carguío.
27	Desconfiado, en el uso y compra Codelco es súper conservador. Concepto de tecnología

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	probada. La administración actual no está muy centrada en el desarrollo e implementación de tecnología.
28	Me declaro neutral a esta pregunta no porque desconfíe de la tecnología. / Herramientas hay de sobras y productos teleoperados en el mundo en minería hay hace más de 20 años. En Canadá teleoperan hasta la perforación en minas subterráneas. Mi incredulidad radica en la forma de pensar que tienen los trabajadores de esta compañía. Conocidos son los casos dónde las pruebas de estos equipos son "interrumpidas" por los propios trabajadores. Andina tiene la experiencia de teleoperar LHD con buenos resultados y sin etapas de implementación posterior. / / Es de esperar que Chuqui Subte, la cual comenzará con trabajadores nuevos tenga la oportunidad de implementar esta lógica desde un comienzo. / / /
29	Para reforzar, Sandvik ya tiene implementado el carguío full autónomo, con asistencia esporádica del operador.
30	DET más de 10 años de experiencia.
31	Se está trabajando en un Proyecto Corporativo que define etapas para la automatización de los LHD, lo que ha permitido comprometer a Proveedores en el cierre de brechas actuales.
32	Operadores mineros y desarrolladores de la tecnología deben trabajar juntos para optimizar la operación de esta tecnología.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P2		La asignación de una máquina telecomandada a un operador se puede realizar a través de dos métodos genéricos: que la máquina sea asignada a un operador específico (asignación estática), o bien, que la máquina se asigne en la medida que se desocupan los operadores (asignación dinámica).
		Respecto de la opción de utilizar un sistema de asignación dinámica de operadores Ud. se declara
		(marque la alternativa que más sentido le hace)
0,0%	a	Escéptico, es más de lo mismo.
7,8%	b	No me genera particular interés, creo que el foco debiera ser otro.
0,0%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
11,8%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos.
45,1%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar y generar resultados positivos aunque hay que realizar más ingeniería al respecto.
35,3%	g	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

P2		
		Comentarios
1		Creo necesario estudiar en mayor detalle el efecto sobre la eficiencia del operador al cambiar continuamente de zona operativa, esto por los cambios de característica de mineral que se pudieran generar.
2		Debiera complementarse con simulaciones que recreen condiciones de operación estándar de un LHD en producción: demoras por reducción secundaria, muestreos, piques f/s, fallas en el equipo LHD. Todo esto debe determinar de manera precisa la cantidad de operadores requeridos "al llamado" para tomar los equipos de la flota.
3		Igual que en el punto anterior, es importante trabajar todos los aspectos de mejora en la implementación de esta tecnología, y la asignación dinámica es uno de ellos.
4		Más relevante me parece que debiera asignarse la calle o calles a ciertos operadores. Creo que debiera existir más variabilidad en las geometrías de las labores y puntos de extracción que en los equipos LHD y su sistema de operación.
5		Según pienso, la factibilidad de realizar la asignación dinámica dependerá de las distancias de transporte de los LHD, si la distancia (o tiempo) de traslado es muy breve, el Operador no dispondrá de tiempo para tomar otra máquina. Creo perfectamente, que esta condición es posible simularla en un software de la especialidad (promodel, arena, u otro).
6		Dependiendo de las condiciones de trabajo, recursos y características propias de la conducta de los trabajadores, debiera hacerse un estudio de resultados para ambos casos, e identificar los aspectos que afectan el resultado, hoy con simuladores perfectamente se podrían hacer estos estudios.
7		Hay que optimizar el uso de la mano de obra, una buena idea ya es evitar largos viajes, ahora hay que maximizar el tiempo efectivo en salas de comando y esta es una buena forma.
8		Hay que evaluar en simuladores ya que la productividad de los operadores puede verse resentida por la concentración y alta dedicación que debe emplear por un alto periodo de tiempo (turno). No conozco estudios concluyentes con datos suficientes que midan los efectos en la productividad y salud de las personas.
9		Producto del proyecto de cierre brechas, los dos proveedores ya tienen implementado el carguío autónomo a nivel de piloto, por lo que el desafío es llevar a nivel de tecnología probada para los puntos de carguío que se encuentren en régimen.
10		Creo que es posible, pero para comenzar puede ser estática para ir mejorando progresivamente.
11		Riesgo previsto: el trabajo pudiera volverse en exceso rutinario para los operadores (se vuelve al paradigma de hombre realizando mono-tareas a un nivel deshumanizante) q haga q el nivel de operador dispuesto a realizar la tarea disminuya. Pienso en la película "tiempos modernos" de Chaplin.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

12	La asignación dinámica depende de las distancias de ciclo del LHD y de los tiempos disponibles del Operador, esta condición perfectamente puede ser simulada en software específico (promodel, arena).
13	Esta funcionalidad es factible de obtener por los proveedores. Se debe demostrar con evidencia operacional su real viabilidad y aporte de valor. Uno de los aspectos a considerar es la especificidad del operador en el reconocimiento del control de condiciones de entorno a extraer.
14	Creo que su foco debe ser aquello, como medida base.
15	Se debe revisar como el operador puede visualizar rápidamente cualquier condición de seguridad especial del sector, del terreno, donde está el LHD que le toca operar para poner en riesgo la operación.
16	En lo personal creo que todas estas iniciativas nos llevan a operar minimizando la exposición de las personas a ambientes agresivos y sacándolas de la exposición directa de peligros, con esta asignación dinámica deberían además bajar los costos de operación lo que permitiría aumentar la ganancia y vida del negocio.
17	Está en la línea pero el tema es un poco más amplio. / Esto no es estratégico pero si tiene valor. Contribuye a lo que se está buscando como CHS: una cultura diferente, una minería del futuro, cambiar los paradigmas.
18	Mejora continua, disruptiva, ingeniería industrial
19	Una muy buena idea, tiene desafíos pero hay que arriesgarse.
20	Solo queda la duda en términos de productividad del operador, cuanto tiempo es capaz de estar sometido a ese nivel de actividad y que cantidad de LHD y Martillos debe operar por hora.
21	Están todos los elementos (equipo y procesos) para poder implementarlo y mostrar que hay beneficios. Al menos académicamente esto tiene sentido y tiene valor.
22	Hay que hacer ingeniería respecto a condiciones de borde dónde el contexto pueda ser relevante. En algunas situaciones podría no ser aplicable. Concepto 80/20.
23	La tecnología está probada. No debería haber problemas en implementar. El único desafío es la implementación a la producción.
24	El modelo de gestión y pacto estratégico (RRHH), está sobre la idea de que los viejos tienen características distintas. Hay harto espacio para crear esquemas de trabajo de este tipo. / Hay cambios en los modelos de trabajo: part-time, flexibles, multitareas, contratos de distinto tipo, nuevas generaciones no buscan estabilidad. Este tipo de propuestas apunta en una dirección adecuada. / Estos modelos tienen que ir acompañados de mejoras en productividad. / Importante considerar el modelo de gestión.
25	Por supuesto que debe ser dinámica. En un mundo globalizado dinámico ¿nuestras decisiones deben ser estáticas? Imposible, Fuera de norma y obsoleto. Si un operador queda libre debe manejar más de un equipo. Este método optimiza el uso y da continuidad al proceso.
26	Creo que para un operador experimentado no sería complicado el operar distintos LHD en un turno. Con este esquema se logra optimizar la utilización de los LHD y de los operadores.
27	Ambas modalidades son factibles. Creo que esto depende de cada caso y de cómo se sientan más cómodos los "operadores remotos". Creo que no hay una respuesta única.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P3		Se ha argumentado que el mismo concepto de asignación dinámica para LHD's SA, de resultar exitoso, puede ser integrado con la teleoperación de martillos, generando 1 solo gran grupo de operadores que atiendan ambas tareas con un sistema de asignación dinámica.
		Respecto de la opción de utilizar los mismos operadores para operaciones telecomandadas de carguío y reducción de bolones Ud. se declara (marque la alternativa que más sentido le hace)
12,0%	a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, las tareas son muy diferentes.
0,0%	b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar. Considero que el foco debe estar en otros temas.
22,0%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
36,0%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, tales como pruebas y estudios específicos.
28,0%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar aunque se requiere más ingeniería.
2,0%	g	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

P3		
		Comentarios
1		Sí, estoy convencido que la polifuncionalidad es relevante para lograr procesos más esbeltos, con menos perdidas a los procesos.
2		Sistemas con mayor capacidad de generar data para mejorar el control
3		Además del mismo comentario ante la pregunta anterior, esta medida resulta muy positiva porque mejor la utilización de los operadores, sin perder oportunidad de descarga en los LHD al encontrarse con un martillo detenido y parrilla bloqueada. Un operador "multifunción" permitiría atender todas las tareas desde una misma cola de solicitudes. Sin embargo es importante clarificar las características de éste tipo de operador.
4		Interesante desde el punto de vista de poseer operadores multitask con flexibilidad de realizar tareas de extracción y reducción con martillo. Ej: cuando un LHD emparrilla los 2 piques de una misma calle el sistema debiese asignar inmediatamente uno de esos martillos al mismo operador del LHD que quedó en "demora martillo" para que pueda volver a operación de manera rápida
5		El beneficio de compartir operadores para dos o más actividades telecomandadas debe ser demostrado empíricamente porque al parecer esto podría generar más interferencias en la asignación de operadores y creo que dependerá de otros factores como la distancia de los puntos de extracción a los de vaciado, la malla de extracción y la fragmentación del mineral (que gatilla la utilización del martillo), así como también la frecuencia de otras operaciones unitarias que puedan interferir con la operación semiautomática. De todas maneras es una opción que debe ser estudiada.
6		Creo que la teleoperación de martillos podría ser una plataforma de prueba más estable para el concepto de asignación dinámica.
7		Esto ya se hace. No veo inconveniente. Va a depender mucho de la granulometría, si está saliendo muy fino un solo operador bastara para operar ambos equipos. Si viene boloneado seguramente habrá que asignar dos operadores.
8		Nuestra experiencia nos indica que operadores de martillos han podido operar sistemas de LHD SA. Insisto que pueden ser simuladas las actividades para detectar los tiempos disponibles de los Operadores.
9		Tal vez una mezcla de estas actividades, o programarlas para que se distribuyan, creo que hay que hacer una simulación, ya que es probable que una persona reaccione distinto que otra al cambiar de una operación a otra. En ese sentido sería bueno contar con estudios sobre el desempeño de cada trabajador, en especial si de eso depende su evaluación.
10		Si creo que se puede hacer asignar dinámica operadores de martillos. Por separado de los operadores LHD-SA
11		Creo que falta desarrollo en los martillos , este proceso debe llegar a ser 100% automático, hay que proponérselo y desarrollarlo

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

12	En una primera fase, que puede durar tiempo, recomendaría que el operador sólo se dedique a los LHD, con ello se aíslan variables de desempeño de una u otra tecnología.
13	Este también es un requerimiento que se desarrollará más adelante por los proveedores.
14	Creo que es mejor que sean asignaciones independientes, es decir, un grupo de operadores para LHD y otro para martillos, porque se requiere concentración en cada uno por ser operaciones muy diferentes, además de requerir coordinación con otros sistemas.
15	Realizar dos tareas distintas pudiera convertirse en una tarea menos rutinaria e introduce un sano nivel de quiebre de rutina para contrarrestar riesgo previamente descrito.
16	No tengo ninguna duda que un buen operador de martillo pueda operar un LHD SA. Se debe revisar la disponibilidad del operador de martillo para tomar otra aplicación, pues si se requiere mucho picado no dispondrá del tiempo para comandar un LHD (estimación de la fragmentación)
17	Considero necesario realizar levantamientos operacionales y de seguridad para sustentación de la alternativa
18	Es una combinación de tareas muy diferentes. No se ha demostrado en la práctica su viabilidad operacional. Esto requiere una prueba piloto para analizar su consistencia y viabilidad. Esto más allá de los aspectos tecnológicos.
19	Creemos que el concepto de asignación dinámica, no solamente podría aplicarse a Operación de Carguío y Reducción de Bolones. Más bien, pudiese incluir otras Tareas a definir en función del Método Constructivo de la Operación.
20	Esto potencia el concepto al reducir la cantidad de personal, aumentando la productividad, en general los martillos tienen una baja utilización y el polifuncionalismo es un aporte al absentismo laboral.
21	La razón de ser neutral, es que depende mucho de las condiciones de operación, ya sea, distancias de acarreo, cantidad de martillos a operar, granulometría promedio, etc., temas que definen que tan eficiente resultaría la operación de ambos sistemas por un operador.
22	Hay que buscar que los cargos sean más genéricos y menos específicos. Esto es posible, es una extensión natural. / Este concepto es extensible a otras operaciones unitarias.
23	Esto ya se aplica en División el Tte.
24	Todos tienen opinión pero hay pocos datos de estos temas. Hay que afinar el tema de cuanta carga se le puede dar a un operador. Hay que conciliar turnos, productividad, en tiempos apropiados para tener conclusiones, etc. / Desde el punto de vista técnico no debiera haber ningún problema pero hay que desarrollarla.
25	Desde el punto de vista conceptual es bueno integrar el proceso PE y OP. Un tema relevante es resolver el problema de cachorreo para mejorar el proceso de forma de maximizar el rendimiento del conjunto.
26	Martillos es aún más fácil. La interoperabilidad es fundamental. No hay dificultades de teleoperar ambas. Ser multidisciplinarios es una condición relevante.
27	La tecnología está desarrollada.
28	En la Sala COM de Andina, los operadores de martillos son quienes ayudan a coordinar el vaciado a niveles inferiores para reducción y posterior transporte. Operadores con mayor número de capacidades puede realizar ambos trabajos.
29	Habría que simular y validar la eficiencia de que un operador manipule diferentes tipos de equipos.
30	El tema de la automatización en minera subterránea no se basa en mi opinión con la asignación dinámica, por supuesto la multifuncionalidad es importante para la eficiencia del proceso más las limitantes están dadas por la convivencia entre operaciones (preparación, reducción secundaria, limpieza, mantención) con equipos semiautónomos. Cumplimiento de los ECF (estándares de control de fatalidad) en lo que se refiere a segregación...esto necesita filosofía operacional adhoc.
31	Para lograr alta eficiencia (y productividad) de los sistemas LHDs SA se requiere operadores con experiencia y habilidad.
32	Se debe empujar a los proveedores para que desarrollen esta alternativa.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P4		Al igual que en otras industrias, la teleoperación abre la posibilidad de incorporar personal que proviene de ámbitos técnicos y/o universitarios con formación en simuladores, robótica y conocimiento en softwares, con un entrenamiento de menor intensidad en mecánica y operación de equipos en terreno.
		Respecto de la opción de que operadores jóvenes con poca o sin experiencia previa en conducir equipos LHD manuales puedan operar LHD Semi autónomos Ud. cree que:
		(marque la alternativa que más sentido le hace)
0,0%	a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, se debe tener mucha experiencia previa para manejar los equipos LHDs.
0,0%	b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de la persona.
8,0%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
60,0%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas.
30,0%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad. Se debe generar un plan de acción que incluya algunas pruebas y el diseño integral de la propuesta de entrenamiento y capacitación.
2,0%	g	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

P4		
		Comentarios
1		Si, se pueden preparar, es vital que se respeten los plazos y la cantidad de horas de cada proceso de entrenamiento y capacitación.
2		Estoy convencido que la nueva generación de operadores debe formarse desde 0.
3		Interesante, pues se elimina el sesgo de las sensaciones que esperaría tener un operador de equipo en terreno. La adaptación y alcance de ritmos productivos régimen pudiese ser mucho más rápida en operadores sin experiencia. El tema de la capacitación debiese ir orientado a temas electromecánicos básicos y conceptos generales de tiraje en block caving.
4		Creo que es una muy buena idea y puede ser implementada fácilmente en un corto tiempo en la corporación, no solo con equipos LHD semiautomáticos, sino que también en otras operaciones. Cada vez los equipos incorporan más tecnología y esto hace que el potencial de personal con otras características de capacitación sea una oportunidad, por ejemplo Jumbos y Martillos ocupan también mayor tecnología. Creo también que otra buena opción sería incorporar otro tipo de Mantenedores, con conocimientos mas "tecnológicos" que mecánicos, generalmente el mantenedor se le llama en la jerga minera "mecánico" pero el perfil de las mantenciones hoy en día pareciera ser enfocado en "electromecánicos", y esto también crea un perfil y una oportunidad también en este caso.
5		El incorporar personal con mayor preparación debería abrir las posibilidades de mejora de los sistemas de teleoperación y eventualmente del diseño de los equipos de carguío.
6		En DAND se realizaron 2 pruebas con equipos LHD SA, la primera con Operadores de la Mina en condición de enfermos profesionales con prohibición de ingresar a la mina y un segundo grupo de jóvenes entre 18 y 21 (hombres y mujeres) con habilidades motrices y sin conocimiento en minería, y de ambos grupos obtuvimos excelentes, buenos, regulares y malos Operadores, es decir, depende principalmente del interés y las capacidades individuales.
7		Sin duda que la juventud de ahora está mucho más familiarizada con las actividades "virtuales", lo relevante en este caso es que estas habilidades vayan de la mano con las responsabilidades que una operación minera conlleva.
8		La operación teleoperación es una operación muy distinta de la operación a bordo. Creo que es preferible y más fácil, entrenar a una persona hasta que aprenda y se haga experto en una de ellas, sin conocer la otra. Seguramente los trucos y vicios de una, no aplican en la otra.
9		Es necesario desarrollar software que opere el LHD , pero que a su vez lo proteja de un

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	operador inexperto, si se logra esto cualquiera podrá operar incluso con cero experiencia como operador
10	Con el tiempo, una vez ya masificado la operación a distancia, la experiencia de operar en la cabina del equipo se perderá, por tanto será una realidad el usar personal sin conocimiento en la operación del equipo. Esto ya ha pasado en otras tecnologías, se pierde el hacer manual. Tal vez al inicio hay que mezclar.
11	En la prueba realizada en División Andina, con la empresa Atlas Copco, se utilizaron operadores y operadoras técnicos sin conocimiento previo de LHD, con habilidades para manejo de joystick, y multitarea en el caso de mujeres previamente con buenos resultados.
12	EN DAND realizamos 2 pruebas con LHD SA, una cuyos operadores eran enfermos profesionales provenientes de la MS con prohibición de ingresar a la mina y una segunda prueba con jóvenes con edades entre 18 y 21 años (hombres y mujeres) sin experiencia en minería y con habilidades motrices. De ambos grupos obtuvimos "algunos" muy buenos operadores, por lo que concluyo que existen otros factores además de la edad, como son la motivación personal y actitud del operador
13	Entrenamiento.
14	Se tiene la evidencia de la prueba piloto de LHD SA Atlas Copco en DAND (2012) que es factible esta alternativa. Requiere un plan de entrenamiento, inducción, acompañamiento en el desempeño y una buena selección de los operadores.
15	Tenemos experiencia en Operadores Sin Experiencia, manipulando Equipos LHD Telecomandados.
16	Las personas jóvenes están más habituadas a manejar los sistemas computacionales, pero también la selección tiene que filtrar el personal de manera que tengan el perfil indicado, muchas veces se pide más de lo que se necesita y las personas en el corto plazo tratan de emigrar a otro trabajo.
17	Se requieren mentores con mucha experiencia en subterránea. Se puede generar un equipo mixto, pero el grueso debe ser joven. Esto se ha demostrado que funciona.
18	La práctica de operar LHD's es relevante pero no es crítica. Pruebas de Andina mostraron que es posible. Sin embargo, Taludes verticales. Servirá una interfaz con ruido y sonido?. / Se requiere de algo mixto, digamos unos 6 meses con LHD Manual, in situ.
19	Esto depende mucho de las interfaces que uno tenga. La capacitación debe jugar un rol relevante. Esto debe repetirse con el tiempo. Con las interfaces primitivas entrenar a alguien es muy demoroso. Por ejemplo, desarrollar una tercera dimensión (esto es fácil). Se debe explorar interfaces inmersivas y hápticas. Haciendo esto, se mejora el entrenamiento y se hace más fácil ==> es más barato. / Mejores interfaces es un must: mejor visualización (3D, realidad aumentada), estudiar háptica.
20	Hay riesgos si se materializa esta idea. Pero estos riesgos se pueden gestionar. Flotas mixtas puede ser una buena idea, viejos que hagan mentoría. Entrenamiento debe tener horas de operación reales.
21	En Teniente el mejor operador es el mejor operador telecomandado. La experiencia en terreno es relevante, no necesariamente conduciendo, pero el contexto es importante. Hay restricciones que deben ser estudiadas.
22	Las competencias que se requieren son nuevas. Esto tiene que ver con capacidad de abstracción. El equipo se maneja solo. La gente joven va a tener mejor capacidad de adaptación. El funcionamiento de la mina se aprende con entrenamiento. La cultura de los operadores de LHD puede funcionar en contra.
23	Se requiere experiencia. Errores en el uso de tecnología son caros. Se requiere mayor calificación, pues abre otras variables. Se requiere un nivel al menos técnico. Queremos gente que tengan potencial. / Para esto es importante entender que no podemos considerar que el viejo va a estar la vida entera en esto. Esto es algo que hay que considerar en el modelo de gestión. /
24	Debemos entender que la minería no está por sobre las otras industrias. Para ser minero no hay que ser más inteligente que el resto. Manejar un equipo en cualquier lugar requiere competencias a desarrollar. Toda competencia puede ser desarrollada por personal idóneo. No veo ninguna traba a esta situación. Un joven debe llegar a su puesto de trabajo, aprender, trabajar y producir....
25	Se debe complementar si o si con experiencia en terreno y en forma regular, para no

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	perder la sensibilidad de la operación en terreno,
26	Viví esta experiencia en Freeport, Grassberg (Tec Services Manager), entrenábamos operadores graduados y logramos sacar el 50% de la producción bajo semiautonomía
27	Es fundamental un entrenamiento previo, realizado con tiempo, y realizando alguna pasantía en faenas similares (ejemplo División El Teniente)

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P5		Es conocido el hecho de que uno de los desafíos de la transición de Rajo a Subterránea generará la necesidad de reubicar a personal con mucha experiencia en minería a Rajo Abierto. Se ha argumentado que es posible reconvertir una porción de estos trabajadores para que continúen aportando a la División pero esta vez trabajando en alguna nueva función en la Mina Subterránea.
		Ud. cree que considerando exitosa esta propuesta, se podría reconvertir a operadores de equipos mineros de Rajo para ser teleoperadores de la mina subterránea?
		(marque la alternativa que más sentido le hace)
14,3%	a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, se debe tener mucha experiencia previa en minería subterránea.
12,2%	b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de la persona y el foco está más bien en los sindicatos.
24,5%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
28,6%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas y saber negociar con los sindicatos.
14,3%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad de mejorar las condiciones de reconversión de la mina a Rajo. Hay que establecer un plan y negociarlo con quien corresponda.
6,1%	g	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

P5		
		Comentarios
1		Escéptico, pero no pasa por experiencia en minería subterránea, sino por el tipo de perfil que hoy tiene el operador de equipos rajo para convertirlo en teleoperador de minería subterránea.
2		Si bien se puede realizar, creo que no aporta al negocio, en ese caso contribuye más al negocio, incorporar personas con experiencia en minería subterránea (conocen el entorno de trabajo) a que puedan tener la oportunidad de teleoperar equipos.
3		No creo que la conversión sea conveniente. La naturaleza de este "nuevo" operador debe ser distinta, pesar de otra forma, en otra dimensión, donde su estructura mental debe ser distinta. Es más, tampoco creo que sea lo mejor convertir a actuales operadores de equipos LHD.
4		La filosofía y estrategias operacionales serán muy distintas a las de una operación de rajo. Este cambio supondrá un enorme esfuerzo en el cambio y transformación de los operadores. De cualquier forma, debiese considerarse retener aquellos elementos que reúnan las condiciones y aptitudes técnicas y psicolaborales idóneas para la nueva mina
5		Las costumbres de la operación del rajo son poco saludables para las necesidades del proyecto subterráneo.
6		No me parece
7		Ver respuesta anterior.
8		Una de las trabas para todo cambio en la gente es precisamente la Adversión al cambio, creo que un programa de reconversión debe partir por preguntarle a la gente si quiere participar de dicha conversión, quienes así lo deseen "bienvenidos" los demás creo más factible que sigan otro camino, en especial considerando que debemos rodearnos de gente comprometida con el progreso de la operación.
9		La operación necesita buenos operadores. Sean estos nuevos, reconvertidos o trasladados. Debería haber un examen de competencia y el que lo pasa queda, y el que no, no. Lo que hay que negociar con el sindicato es qué hacer con los que no pasan o con los que pasan pero no quedan vacantes.
10		i es estrictamente necesario reubicarlos , mejor hacerlo en otros rajos de la Corporación en el mismo distrito Norte u otro. Hay que empezar por no contratar a nadie mas para el rajo.
11		depende de cada necesidad requerida y competencia y perfiles existentes en el personal actual del rajo, cuando se trata de personas no es todo blanco o negro. Algunos servirán,

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	otros no. Habrá que hacer una buena selección y conocer lo que se necesita
12	Los que estén interesados deben aprobar el Perfil de las nuevas funciones en minería subterránea.
13	Ver respuesta anterior, creo firmemente que es posible capacitar a un operador en los sistemas SA, teniendo este la actitud, motivación y habilidades necesarias
14	Se ha demostrado que operadores de LHD SA no necesariamente sean operadores de LHD manual previamente. Sin embargo, el perfil debe ser muy seleccionado.
15	Existen en el Mercado, Mecanismo y Herramientas que facilitarían dicha conversión. Pero creemos que esto debe ser con tiempo!!!
16	En general lo que se ve de los operadores de Chuquicamata que no tienen una polifuncionalidad, en estos tiempos se necesita personal con la mente abierta con las ganas de superar los obstáculos y no generarlos.
17	La disposición del personal a ser trasladado a operación subterránea es muy importante, ya que esto marca una diferencia significativa al momento de ser capacitados en los nuevos procesos.
18	Hay un tema de paradigma de operación y tecnología.
19	Es un tema complejo. Son muchos años operando un sistema manual. Es preferible disponer de personal renovado.
20	Está asociado a las interfaces. Desarrollarlas no es algo del otro mundo. No debiera haber grandes incidencias al costo. Se está en desarrollo el modelo de interoperabilidad.
21	El promedio de edad y el perfil de los operadores jugaría muy en contra. La cultura de rajo sería muy difícil de superar. Es mejor traer gente con cultura subterránea. Mina nueva, Gente nueva. Apostar por gente joven. CHS es una apuesta muy importante como para ponerla en riesgo con este tipo de iniciativas.
22	Es posible. La cultura es muy difícil. No hay a priori restricciones en las personas para poder realizar esto. Se trata de capacitación y motivación adecuadas.
23	Es una opción. Pero hay que cautelar que sea el grupo más joven como target de lo anterior. / Hay que cautelar los problemas con los sindicatos. Esto es una condición en cualquier alternativa que se tome.
24	La cultura dice mucho. Se corre el riesgo de poner en riesgo a CHS. / En lo técnico si es una posibilidad. Hay marcos de acuerdo en curso. Vamos a tener que usarlos.
25	Darí la oportunidad de probarse al personal disponible.
26	Previo a esto , deben ser revisadas las nuevas condiciones laborales, transparentando el nuevo modelo
27	Sólo a los menores de 40 años.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P6		El desarrollo de la tecnología LHD telecomandada hace suponer que en un tiempo adecuado será posible considerar el proceso completo como autónomo, sin necesidad de operación remota y, por lo mismo, con nula o casi nula intervención desde un centro de operación.
		Respecto del nivel de madurez de la tecnología Ud. Considera que:
		(marque la alternativa que más sentido le hace)
6,3%	a	Escéptico, no creo que vaya a funcionar, el problema está asociado a la granulometría del mineral principalmente y estamos hablando de al menos 20 años de desarrollo para mejorar esta variable.
2,1%	b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar, depende de muchos factores y este no es el foco del negocio.
22,9%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
33,3%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, se deben realizar pruebas específicas. Creo que faltan más de 10 años de desarrollo en estos temas para ver resultados razonables.
35,4%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar y puede ser una buena oportunidad que se puede capturar antes de 10 años de desarrollo.
0,0%	g	Esto es una muy buena idea y es posible que esté desarrollada de aquí a 5 años.

	Comentarios
1	Creo que es importante realizar una prueba industrial completa y bien hecha, dirigida por Codelco, pero ojala en otro país, para estar lejos de los sindicatos, que creo que para éste tipo de iniciativas son las principales barreras a la tecnología e innovación.
2	se debería considerar un lineamiento estratégico que obligue a incorporar en la organización de forma transversal el tipo de tecnologías necesarias , ya que la madure por parte de estas existe y está probada con éxito en muchas otras industrias
3	Pero depende de la fuerza con que se lleve adelante el proyecto, adicionalmente de dos ejes fundamentals, el desarrollo y testeo e implementación de las tecnologías, y la correcta reconversión de los recursos humanos,
4	Hay decisiones que aún puede tomar el operador remoto relacionado básicamente con la visualización del estado del punto de extracción. Las tecnologías para realizar esta actividad de manera automática aún poseen bajo desarrollo a escala industrial.
5	Si bien la tecnología permitiría una operación autónoma deben asegurarse rendimientos y tiempos efectivos de operación. Esto último afecta directamente la granulometría del mineral, pero LHD autónomo podría probarse de manera experimental en sectores donde se asegure una alta disponibilidad de área productiva.
6	Lamentablemente este paso me parece demasiado lejano en la actualidad, creo que además de la granulometría hay que resolver otros problemas para que el proceso sea completamente automático (variabilidad en las galerías, petróleo del equipo en terreno, llevar los equipos a mantención, etc.).
7	Esto es lo que realmente hay que buscar, disminuir lo más posible la intervención humana. Esto no se logra pensando en las tecnologías actuales con algunas mejoras, como es el LHS Semi Autónomo, sino con cambios en los fundamentos del manejo de materiales. En esto Codelco tiene mucha experiencia, más de 10 años probando la minería continua, con muchas enseñanzas, logros y también muchas cosas que mejorar. Pero creo que finalmente ese es el verdadero quiebre que se debe hacer / Antes de los años 70 el flujo gravitacional no mecanizado era la forma de realizar el manejo de materiales, luego se realiza un gran salto al incorporar el LHD. Desde ese momento, prácticamente 40 años, no ha habido un nuevo salto trascendental que cambie las cosas. El LHD SA es solo más de lo mismo.
8	En tal sentido mi percepción es que los esfuerzos de autonomización deben ir asociados a un cambio en los diseño y en los equipos.
9	Se debe trabajar en el desarrollo de la tecnología. Creo que es factible generar una fragmentación algo más regular.
10	El principal obstáculo para esto es lo que mencionaba al principio, debemos diseñar un

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	sistema propio, equipos propios para que funcionen dentro de las expectativas que nosotros tenemos, si se quiere se puede, el otro obstáculo es el diseño mismo de la mina, y eso depende de nosotros, si nos convencemos de eso estamos a un paso de que se logre la automatización total.
11	Antes de automatizar todo el proceso actual, de extracción con LHD, se tendrá procesos mineros alternativos sin LHD. Por ejemplo: Minería Continua.
12	Creo que estamos a punto, hay que intensificar y perfeccionar el uso del pre acondicionamiento y la reducción de colpas de manera automática
13	Para que ello ocurra hay que mejorar no solo la tecnología sino que también la granulometría, el carguío autónomo ya es posible en la medida que la granulometría es homogénea y baja. Mejorar la preacondicionamiento será una exigencia para que sea realidad luego.
14	Ya existe la tiene Sandvik y Caterpillar a escala piloto hay que consolidarla , se espera en dos o tres años.
15	Es cosa de tiempo solamente.
16	Creo necesario trabajar en este aspecto y con la tecnología existente no dudo en que se podría identificar alguna solución, ayudado con técnicas de pre acondicionamiento que permitan tener un mineral más regular (tamaño)
17	Se tienen avances de las empresas Sandvik y Caterpillar en esta materia que mostrarían que es viable una implementación "hibrida" que considere el carguío autónomo por demanda de acuerdo a las condiciones del punto de extracción
18	Lo ideal es que esta operación sea sistemática y autónoma, pero como sabemos tenemos otras operaciones que impiden que sea full autónoma como la descolgadura de zanjas, reducción de bolones, que son temas que se deben atacar en conjunto con el desarrollo de esta tecnología.
19	No obstante a la operación totalmente autónoma, siempre se va requerir de un despachador que esté en permanente atención de lo que se va desarrollando cada turno, y claro, con puntuales intervenciones.
20	Hay que desarrollar temas de variabilidad y gestión para aprovechar esta condición. El diseño debe ser integrado para aprovecharlo.
21	Es un tema complejo. Son muchos años operando un sistema manual. Es preferible disponer de personal renovado.
22	Aun debemos asegurar la granulometría y aumentar el conocimiento del comportamiento del macizo rocoso.
23	AMTC tiene un proyecto de carguío autónomo. Se está trabajando en granulometría variable. El 2017 debería haber carguío autónomo. / Atlas Copco está en la misma línea. / No obstante, se estima que entre un 60% a 80% de las cargas.
24	PA va a funcionar en un plazo adecuado. Ambas tecnologías van a converger en un tiempo. Se requieren avances concretos. Se requiere el paso intermedio con LHD SA antes de pasar a LHD A. 20 años para operar de esta forma.
25	Otras experiencias ya están probando. En temas de gestión falta desarrollo. Granulometría es la clave.
26	Ya hay pruebas en este sentido. En 5 años debería estar desarrollado. Los problemas de granulometría van a mejorar la continuidad operacional pero no debería ser una restricción para el desarrollo de la tecnología. El PA ya está funcionando para poder mejorar granulometría.
27	Para mí la tecnología autónoma es lo que sigue a la operación telecomandada como un proceso cronológico, pero no como una consecuencia de esta 100%. Para la autonomía se requiere un ambiente que hasta el día de hoy no lo hemos desarrollado. Teleoperar es sacar a alguien de un equipo, ponerlo en otro lugar y "hacer lo mismo". Autonomía requiere de modelos, un ambiente "vectorizado" donde todo lo que rodea a un equipo se convierte en números. Donde el equipo en sí mismo calcula su entorno y se calcula a sí mismo. / Eso hoy no lo tenemos. La creación de big datas que sustenten numéricamente (con millones de datos que describan patrones de comportamiento) es completamente amateur. Somos una empresa wordclass, pero hasta el día de hoy tenemos sombras tecnológicas. Muchos de nuestros equipos ni siquiera emiten datos. Y muchos de los que emiten datos.... los emiten mal.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

28	Sandvik ya tiene full autónomo.
29	Hay que mejorar la fragmentación insitu.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P7		De materializar un sistema de asignación dinámica una de las ventajas que traería es la posibilidad de que la operación remota se realice desde centros urbanos distribuidos e integrados entre sí (por ejemplo, desde Rancagua, Santiago, Los Andes y Calama) y no necesariamente desde un centro industrial, en este caso, el Centro de Operación a las afueras del Túnel de Acceso del PMCHS.
		Respecto de la opción de utilizar un call center de operadores distribuido Ud. se declara (respecto de la mejora a la calidad de vida de operadores) (marque la alternativa que más sentido le hace)
0,0%	a	Escéptico, es más de lo mismo, no creo que vaya a funcionar. Se requiere que el operador tenga noción de dónde está operando y a que División pertenece.
4,2%	b	No me genera particular interés, podría resultar como podría no resultar. Considero que el foco debe estar en otros temas y esto podría generar más problemas que oportunidades, por ejemplo, con sindicatos.
12,5%	c	No me parece que aporte valor a la operación ni al negocio.
50,0%	e	Neutral, esperaría ver resultados más concretos, principalmente en temas de telecomunicaciones, salas de control y sistemas de comando distribuido.
29,2%	f	Entusiasta, creo que es posible de implementar, las tecnologías de comunicaciones ya funcionan de forma segura para garantizar las operaciones de la forma propuesta, aun cuando hay que continuar desarrollando esta opción para poder materializarla.
4,2%	g	Esto es una muy buena idea y hay que desarrollarla e implementarla a la brevedad para garantizar capturar el valor que posee.

	Comentarios
1	Asegurando un buen sistema de comunicaciones, con el personal capacitado y entrenado, y con un sistema de protocolos de operación, comunicación y control adecuado, debería funcionar de forma excelente.
2	Calidad de vida mejorada sin duda, que lleva a mayor eficiencia. El tiempo necesario para introducir esta condición creo que se encuentra condicionada al cambio generacional de los tomadores de decisiones.
3	En la actualidad, en otras industrias, esto se realiza sin problemas. No veo problemática más que una resistencia al cambio y una inflexibilidad de la industria ante este tema.
4	Sería muy bueno que así fuera, hoy en día se puede contar con sistemas redundantes que permitan evitar que las comunicaciones entre un punto de comando y el de operación no se corten, garantizando esto no habría problemas de que el personal opere desde donde mejor pueda hacerlo.
5	Me gusta la idea de tener varios "call centers" en centros urbanos donde se consiga personal con preparación y gustos sofisticados.
6	Insisto que no solo es un tema tecnológico, hay un gran tema cultural que cambiar, partiendo desde los más altos ejecutivos, se pierden los poderes y las culturas locales. En otras industrias se logra.
7	Solo hay que asegurar la confiabilidad de redes, en Andina se opera desde los Andes, en la prueba con Atlas Copco. Utilizando una red anillo OTN.
8	Creo que es posible de implementar pero pienso que es mejor que los operadores estén cerca de la mina (pero en el exterior), porque en ciertas situaciones de emergencia se puede necesitar coordinaciones directas y no a distancia.
9	Las pruebas realizadas con LHD SA se realizaron desde centros de operaciones ubicados en Saladillo y Los Andes a 30 y 50 km de la mina. La distancia no es problema.
10	El Operador de sala de control debe tener una sintonía con la operación diaria y sus condiciones. Esto me hace pensar que esta idea traería inconvenientes que no se han estudiado, pero en entrevistas se han identificado.
11	Se han operado los equipos desde Japón, la tecnología está, lo que no debe faltar es la visión de negocio y el compromiso de la gente, tema que radica en el liderazgo de las personas a cargo y no en la ubicación de la sala. Lo que si no se debe perder de vista es como algunas malas prácticas afectan a otras operaciones unitarias
12	Desde el punto de vista de tecnología se puede. Hay otros ejemplos probados (NASA,

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	Plantas, etc.) / El tema es como regulamos protocolos, roles, responsabilidades, etc. / Esto permite considerar el problema de cuánto cuesta llevarse la gente a terreno y dejar en terreno solo a la gente imprescindible. / El tema es también la gestión de las personas, las relaciones, la pertenencia a la organización, el arraigo, etc. / Vamos a avanzar en esta dirección pero esto requiere al menos 10 años de desarrollo.
13	LTE, FO, Terminales fotónicos ==> infraestructura de telecom OK / Kairos: reciben y procesan, optimización de disponibilidad desde Santiago /
14	Es una buena idea en el mediano a largo plazo. En el corto plazo hay que resolver otros temas. Uno de ellos es la forma y fondo de cómo se deben desarrollar los CIOG. La integración debería venir después. Las Divisiones son muy celosas y va a ser una muy dura tarea tratar de realizarlo.
15	Esto permite maximizar el negocio corporativo. Es una muy buena idea pues integra el negocio con la estrategia operacional. Falta una estrategia de negocios corporativa para enfocar las soluciones en esta dirección (sistemas integrados que apunten en la misma dirección). / Desde un punto de vista operaciones esto es factible.
16	Es posible. Pero se pierde la sinergia, el sentido del equipo. Hay información del operador que es relevante y que cuando está en equipo se puede usar en favor del sistema.
17	La tecnología existe para que eso ocurra. Se mejora la calidad de vida tener a la gente cerca de sus casas. / Hay menos traslados, no hay que tener campamento, alimentación, etc. Deberían materializarse ahorros por conceptos de logística, habitacional, salud, escuelas, etc. / La sinergia se puede trabajar de otras formas, que mantengan el sentido de pertenencia y el arraigo al turno, al equipo, a la División.
18	Hay escepticismo respecto de las verdaderas capacidades de comunicación. No es tan bueno como se dice. / Aquí se requiere más pruebas. De que se puede se puede.
19	Ni siquiera debe estar en los pueblos que mencionas. El centro debería estar en el costanera center.
20	Los sindicatos y convenios colectivos de los trabajadores son por División. Es ésta una barrera importante a considerar.
21	El desafío según mi punto de vista no es tecnología, los esfuerzos deben concentrarse en el recurso humano.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P8		En qué ámbitos Ud. cree que falta mayor desarrollo para una implantación exitosa de la propuesta de LHD's SA con Asignación Dinámica de operadores? (marcar 3 opciones)
31,3%	a	Tecnología de comunicaciones y control
33,3%	b	Desarrollo exitoso de centros de operación
4,2%	c	Sistemas expertos para asignación dinámica
54,2%	d	Diseño de puestos ergonómicos de trabajo para operación remota
35,4%	e	Capacitación y entrenamiento operadores
50,0%	f	Modelo de negocios con proveedores
37,5%	g	Tecnología asociada a equipo LHD SA en terreno
37,5%	h	Posición frente al riesgo de ejecutivos
0,0%	i	No sabe

	Comentarios
1	En alguna medida, todos los temas podrían calificar. Sin embargo ya existe desarrollo al respecto. El aspecto que considero clave es la preparación de un nuevo tipo de operador para una nueva dinámica de operaciones. No sólo es dinámica la asignación, sino también las condiciones a las que enfrentará el operador minuto a minuto.
2	Insisto debemos hacer un equipo que cumpla con nuestras necesidades, lo demás está hecho.
3	El problema asociado a la implementación del sistema LHD S.A está relacionado fundamentalmente con las condiciones de terreno, tipo de carpeta, luminosidad, ancho de los túneles, etc.
4	Hay que desarrollar todo el tema de RRLL este es un nuevo trabajo NO ES EL OPERADOR DE A BORDO con todas sus exigencias , esto incluso se podría hacer desde la casa hacia eso debemos mirar y dar pasos hacia ese futuro
5	Tecnología abierta multimarca.
6	La tecnología está y el problema es más bien de conducta de las personas para adaptarse a los cambios tecnológicos.
7	Esto debe considerar un plan de prueba piloto para demostrar su viabilidad y análisis de su estrategia de implementación.
8	lo principal es asegurar una comunicación robusta, la mayoría de las detenciones de producción en el día de hoy estan asociadas a problemas de comunicación o levantamiento de barreras que detienen el equipo.
9	Se marcaron estas tres opciones, ya que se acercan más, pero lo más relevante es desarrollar y probar la aplicación de asignación dinámica, y capacitar para ello.
10	Se requiere cambiar el concepto de gestión de operaciones, filosofía de operaciones, etc. / Hay un tema de jerarquías, de trabajo en redes, de modelo cultural donde nos falta desarrollo.
11	La tecnología está. Esto es un tema de riesgo. Quien es el responsable?. Hay un tema cultura que resolver.
12	El perfeccionamiento de los sistemas SA, ha tenido un desarrollo demasiado lento en los últimos 13 años
13	Es importante un sponsor para poder darle pbb de éxito. Hay que asumir riesgos y aceptar el fracaso si se dan. / Hay un tema cultural importante. / Como integramos otras componentes del negocio (planificación, mantenimiento, etc.) para aprovechar la capacidad instalada de asignación dinámica.
14	La tecnología está madura. El problema es la implementación. Las personas tienen que usar la tecnología en forma correcta para lograr resultados. / Falta de sponsors para garantizar alcanzar los resultados y que alineen los resultados. GG es muy importante. / Hay que apostar la tecnología desde cero. CHS tiene una oportunidad relevante. / El diseño integral es relevante.
15	Se requiere un cambio cultural, debe haber un impulso estratégico de avanzar decididamente en una dirección. / Alguien tiene que hacerse responsable y liderar los

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	cambios. Hay una cultura de más de lo mismo y no hay visión de largo plazo.
16	Hay temas de cómo se manejan con las excepciones, singularidades. Cuál es el nivel de apoyo en terreno. Como se resuelven temas en terreno que garanticen la continuidad operacional. Igual se requiere apoyo en terreno y que esté bien diseñado.
17	El riesgo está en las personas que impiden hacer esto.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P9		En qué ámbito Ud. se considera con mayor conocimiento/experiencia? (marcar 2 opciones a lo sumo)
45,8%	a	Operaciones de minas
8,3%	b	Mantenimiento
35,4%	c	Planificación
35,4%	d	Tecnología aplicada
39,6%	e	Gestión y Negocios
6,3%	f	Recursos Humanos

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

10		Cuantos años de experiencia/conocimiento posee en minería?
21,3%	a	Menos de 5 años.
19,1%	b	Entre 6 y 10 años.
31,9%	c	Entre 10 y 20 años.
27,7%	d	Más de 20 años.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P11		Ud. considera en materias de tecnología e innovación que una empresa como Codelco debe? (marcar 1 opción)
52,4%	a	Requiere hacer apuestas para poder materializar quiebres importantes que viabilicen mejoras de productividad y mejoren el negocio en el largo plazo.
38,1%	b	Existe un equilibrio entre riesgo y beneficio que es necesario tener en cuenta y así avanzar paulatinamente. Codelco debe apoyar fuertemente aquellas iniciativas de mejor relación beneficio/costo.
9,5%	c	Se requiere aplicar tecnologías probadas en sus operaciones. El desarrollo de innovación y tecnología aplicada emergente debiera ser desarrollada de forma externa, dónde Codelco participe guiando en aquellos desafíos que son los más relevantes.

	Comentarios
1	Hay que ser valiente e innovador para hacer cambios, pero bien pensado y con riesgo controlado. Pero los avances deben llevarse a cabo.
2	Debemos ser líderes en desarrollo tecnológico, creo que somos los que más sabemos al respecto, los fabricantes saben hacer equipos, pero la definición de los equipos y sistemas que necesitamos la debemos hacer nosotros, liderar y hacernos dueños de ello
3	Alternativa 2: Toda iniciativa se puede dividir en etapas de mínimo riesgo y máximo beneficio/costo, pero el alto impacto sólo se obtiene con quiebres importantes. Haciendo lo mismo es difícil obtener resultados notoriamente distintos. / Alternativa 3: Por este camino Codelco morirá antes de encontrar a quién copiar.
4	la tecnología avanza muy rápido y la aplicación en los procesos mineros es clave para la competitividad, seguridad, costo y se requiere invertir para capturar los retornos
5	La cultura Codelco core actual ha desarrollado demasiada inercia en su quehacer, y lo high tech resulta al final ser manejado como elemento freak a realizar "para la foto". Creo mejor que se trabaje en crear mecanismos de co-creación con terceros más soñadores y menos atraído por la gestión del tech por cumplir y satisfacer autoridades. Hay talento joven local y bastaría con canalizarla hacia logros de impacto minero.
6	Pienso que Codelco debe liderar el desarrollo y la implementación de tecnologías en los procesos. La experiencia indica que la tecnología existe pero las dificultades se encuentran en su implementación.
7	La innovación y tecnología debe aportar a la productividad y costos del negocio en el mediano y largo plazo. También en el corto plazo, en este caso con un enfoque de optimizar lo que se tiene.
8	Codelco como todas las empresas del rubro deben apuntar a aumentar la productividad y a disminuir la exposición de los trabajadores a los peligros inherentes de la explotación de una mina. Y la inclusión de tecnología apunta en esa dirección, la que tiene que ir de la mano con una disminución en los costos operacionales.
9	En todo caso, se debe crear un modelo de negocio que permita el avance de la tecnología.
10	No calza ninguna de las 3 opciones. Hay que invertir en aplicación tecnológica. Tenemos que ser buenos implementadores, ya sea de tecnología u otros ámbitos. / El foco no está en el desarrollo. El mercado va a ir más rápido que nosotros para temas de innovación y tecnología.
11	Hay que ser responsables con el rol de empresa estatal. / Apostar a avances paulatinos. Hay que mostrar caminos modulares.
12	Muchas veces una apuesta. Cuando se hizo TCIP fue tirarse a la piscina.
13	La opción 1 es algo que es deseable. Sin embargo, Codelco no es una empresa que se arriesgue. La opción 2 es la opción natural considerando la aversión al riesgo de Codelco. / Se debe hacer una apuesta importante, la productividad baja, los costos suben, etc. Cualquier cambio mejorará la respuesta en el negocio. / Codelco se maneja en entornos de corto plazo, Directorio, Ejecutivos y otros. Esto implica asegurar el presente pero sin pensar en el futuro. La buena gestión se entiende como más de lo mismo. No hay grupos que cautelen la mirada del largo plazo del negocio. / Hay que cambiar la mirada del sistema. Eso nos va a llevar a mirar que es lo que hay que cambiar para sobrevivir o ser exitosos.

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

14	Hay que avanzar con cuidado. Codelco debe liderar. / No estamos en una condición tan crítica como para arriesgarnos. Hay espacio para hacer las cosas más paulatinas.
----	---

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

P12	Cuál es su opinión general de que Codelco enfrente este tipo de iniciativas (Tecnología, LHD SA, Asignación Dinámica)
------------	--

	Comentarios
1	Debe tomar la determinación de trabajar como organización con fuerza en el objetivo propuesto, independiente de los vaivenes de mercado y las personas a cargo, ya que de lo contrario el resultado no es óptimo y los trabajos individuales se pierden en el camino
2	En el escenario económico actual, creo que Codelco debe impulsar con fuerza estas iniciativas, son tan importantes como reducir los costos, ya que permiten sustentar el futuro de nuestra minería.
3	Mi opinión es que Codelco, es una empresa lenta, que posee los recursos , que tiene los profesionales , pero que no avanza ,no mejora y no se adapta rápidamente a los cambios del mercado y que en algunos años más esta lentitud , podría terminar por dejarla fuera de la competencia.-
4	Excelente, deben hacerlo, deben involucrar a todos los colaboradores y empresas especializadas.
5	Es el camino correcto para sostener el beneficio del negocio (sin esto, la oportunidad que un proyecto sea viable económicamente será baja o nula)
6	Entusiasta respecto al enorme potencial de oportunidades que se presentan gracias a la puesta en marcha de PMCHS y PNNM. Pudiesen ser el puntal de una transformación profunda a la estructura organizacional actual de la Corporación, rumbo a ser una empresa más eficiente.
7	Creo que Codelco está siguiendo un buen camino en LHD SA por las pruebas que se realizaron en División Andina y las que se están preparando en División El Teniente, ambas trabajadas directamente con empresas proveedoras. Creo que en asignación dinámica Codelco no ha tenido avances importantes que si se han visto en otras industrias (aeroespacial y militar por ejemplo).
8	Codelco requiere liderar el desarrollo, las empresas proveedoras no harán desarrollo por si solas.
9	Con demasiada precaución, normalmente las tecnologías en Codelco se prueban indefinidamente y solo se consideran tecnologías probadas, y por lo tanto posibles de utilizar industrialmente, cuando otra empresa de la industria ha incorporado dicha tecnología
10	Son pasos que Codelco debe ir dando, con el objeto de avanzar en las mejoras de productividad y protección de los trabajadores que las operaciones mineras requieren para proyectarse en el largo plazo.
11	Creo que Codelco debe adoptar más riesgos en la prueba de nuevas tecnologías, y no esperar que estén validadas en el extranjero. Para sus proyectos nuevos, debe asumir riesgos en nuevas metodologías y procedimientos, y sacar los paradigmas existentes en faenas operando actualmente, de forma muchas veces ineficiente.
12	Es un deber.
13	Ojala lo haga. Muchas iniciativas de este tipo suelen quedar en el camino. / Pero si no lo hace Codelco... ¿Se hará? ¿Quién lo hará?.
14	Esta tecnología aporta con mejoras en productividad y mayor seguridad y salud para los operadores
15	Es lo que debe hacer para mantenerse como líder de la industria.
16	En general existe una mirada de corto plazo que no lleva a asumir riesgos en innovación, los resultados medidos son los del día a día, por tanto uso lo probado, incluso en los proyectos nuevos.
17	Codelco, debe ser parte importante para impulsar el desarrollo de tecnología especialmente de minas Subterráneas ya que sus operaciones en el futuro serán mayoritariamente subterránea , de baja ley y complejas , por lo que se incorporar la tecnología para desarrollar proyectos competitivos y sustentables
18	Codelco debe transitar hacia estas tecnologías para ser más eficiente y productivo y

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	depender cada vez menos de las personas y los riesgos asociados. Además las personas cada vez quieren trabajos de mayor calidad de vida y menor esfuerzo físico.
19	Q se desarrolle el propósito claro, q se incube el know how, q se evalúen beneficios y costo: 100% apoyo. Dudo fuertemente q haya éxito si se maneja con lógica de crear algo 100% de la nada con el fin oculto de embutir high tech a proyecto emblemático para adquirir figuración social positiva.
20	Debe aplicar en forma exitosa en no más de 5 años y dar énfasis en los centros de entrenamiento para la capacitación, operación y manutención.
21	Codelco NO debe seguir haciendo la misma minería de los últimos 30 años, tiene que incorporar I&T para hacer más productivos los procesos y atractivos los puestos de trabajo, eliminando condiciones riesgosas y que puedan enfermar a los trabajadores (enfermedades respiratorias y osteomusculares)
22	Es relevante para diseñar e implementar, y habilitar un paradigma tecnológico-operacional que sea base de una minería con control centralizado y operado desde fuera de la mina, con altos estándares de seguridad y productividad.
23	Definitivamente, es el paso que debería dar para una Operación mucho más Segura, Productiva y Moderna.
24	Me parece una muy buena iniciativa, alternativas como estas permiten el desarrollo de una minería más segura, dinámica, tecnológica, vanguardista y por sobre todo que integre nuevas disciplinas a su quehacer, además puede permitir expandir la tecnología a otras áreas.
25	Codelco posee los recursos y conocimientos necesarios para la aplicación de este tipo de iniciativas
26	De acuerdo, con un plan concreto de desarrollo que considere un riesgo conocido y aceptable por el proceso de aprendizaje y cambio transformacional que se requiere para materializar estas iniciativas.
27	En mi opinión es que se han llevado a cabo muchos proyectos en CODELCO que han sido mal implementados, que no se le han hecho el seguimiento ni la correspondiente post evaluación, quedando en una inversión que no se recupera y no aporta lo que se había prometido, esta buena iniciativa de llevarse a cabo se debe asegurar que se logran los objetivos y que realmente se obtendrán costos operacionales mejores y que no genere costos ocultos.
28	Codelco debe ser el articulador principal que empuje a los proveedores a desarrollar tecnologías acordes a las operaciones mineras de caving, reducir interferencias y consolidar diseños acordes a la operación de estas nuevas tecnologías.
29	Es una iniciativa excelente, ya que la calidad de vida es un punto relevante para enfrentar el futuro productivo del país, cada vez hay menos mano de obra que está dispuesta a trabajar en la zona de riesgo, como consecuencia, la generación de esta nueva forma de trabajo permite generar más producción y bajar los costos operativos de manera importante.
30	Me parece que está acorde con la tecnología utilizada en este siglo y en la minería mundial. Aunque Codelco siempre está más atrasado que la industria minera.
31	Cada día es más difícil hacer minería con todas las restricciones que tiene Codelco, el País, la Gente, la Industria, etc. / Hay que buscar cómo hacer un cambio. Por etapas. Los proyectos estructurales son la vía. Enfatizar en el modelo de gestión y la filosofía de operación. La tecnología está. Hay que depender menos de los poderes, la cultura, etc, que afectan el negocio y su sustentabilidad. / El tema cultura es muy importante, no solo de los trabajadores, sino también de ejecutivos y supervisores.
32	Codelco como empresa líder en el mercado y como uno de los principales activos de Chile tiene la obligación de incorporar tecnología de punta a sus procesos, asegurando la viabilidad de los negocios
33	Codelco debe hacerlo porque lo necesita: reducir costos en minería subterránea. / Codelco en minería subterránea es líder. / LHD SA con AD va en la vena del negocio. Es una buena idea y debe priorizarse. Se requiere un roadmap para materializar esta aplicación.
34	El éxito real y los equipos de alto desempeño trabajan haciendo cosas diferentes. Hay que cambiar la forma de pensar y hacer. La automatización es el futuro. / Como aplicar la tecnología es el desafío. / Hay que cautelar la forma de tener políticas de largo plazo. No

ANEXO 8: RESULTADOS ENCUESTA

	puede depender de los GG.
35	Hay que cambiar. Eso es una necesidad del negocio. / Hay un problema cultural. Somos muy técnicos. / Se hacen promesas que no se cumplen. / Hay que hacer un cambio en la visión estratégica del negocio. Hay que apostar a la renovación generacional. Hay que incorporar miradas distintas. / Esto cruza no solo las operaciones sino también las áreas de proyectos. / La mirada atomocista del desarrollo tecnológico no nos va a llevar a ninguna parte. / Hay liderazgo en Codelco que se puede aprovechar. Se puede. Hay que hacerlo. / Hay tres focos: 1) con lo misma tecnología hacerlo diferente en lo que se refiere a filosofía operacional, 2) basado en lo anterior traer tecnologías de otras industrias para hacerlo mejor y 3) desarrollar en base a una visión de largo plazo, capturando grandes cambios estructurales en el negocio
36	Hay que considerar temas de corto plazo: productividad, costos, seguridad y otro asociado a las personas: empleabilidad, etc. / Codelco va a atrás en lo que pasa en Chile. Rol de los sindicatos. La transición nos pilla con los proyectos estructurales. Hay lucha de fuerzas por el cambio del modelo de gestión que es una realidad en dónde se ven cambios antes vistos. / PNNM y PMCHS deben ser diferentes. Esto está socializado, partir de algo nuevo. Como evitamos en esto nuevo el hecho que este tipo de iniciativas disminuye la cantidad de gente. Es muy bueno para la gente que queda. Que pasa con la gente que queda afuera?. Esto es inevitable, pero se debe gestionar puesto que es necesario. / Codelco ralentizó su desarrollo en el último tiempo. Tenemos que ir más rápido.
37	Codelco debe ser el primero.
38	Codelco es más reactiva que proactiva...Codelco debe ser una empresa pionera en tecnología minera, si bien ha intentado y lo ha hecho, cuesta cambiar los paradigmas operaciones.
39	Me gusta mucho que se presente este tipo de innovación, ya que puede ser aplicada en el proyecto logrando optimizar recursos de LHD y operadores, y con buen entrenamiento de los operadores no creo que sea muy complicado.
40	Es la única manera de hacer viable el negocio en el futuro
41	Es sumamente importante que Codelco desarrollé y aplique a la brevedad este tipo de tecnologías, con el objeto de reducir la variabilidad de las operaciones y la consecuente reducción de costos operacionales.