



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

“FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA FUTURA MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA.”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

MARÍA BELÉN KATTAN WRIGHTON

PROFESOR GUÍA:

ORLANDO CASTILLO ESPINOZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CLAUDIO ORSINI GUIDUGLI

ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

SANTIAGO DE CHILE

2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniera Civil Industrial.
POR: María Belén Kattan Wrighton
FECHA: 28/03/2016
PROFESOR GUÍA: Orlando Castillo

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA FUTURA MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA

Codelco es la empresa minera más grande del país, dedicada principalmente a la producción de cobre. Una de sus minas más importantes es Chuquicamata, la cual dejará de ser rentable en la próxima década. Para enfrentar esta situación se puso en marcha el Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS), con una inversión de USD\$4.2 millones (moneda 2013) y el inicio su vida productiva en el año 2019, permitirá a la empresa acceder a valiosas reservas y asegurar la producción por 40 años más.

El desarrollo del proyecto implica tasas de construcción del orden de 3.000 m/mes con una alta exigencia en el cumplimiento de plazos, costos, calidad y sustentabilidad definidos. La motivación por realizar este trabajo surge con el objetivo de asegurar la productividad de los principales desarrollos a través de un modelo de gestión operacional destinado a la construcción de los subniveles de hundimiento y producción, estipulados en el contrato CC010 - Desarrollos de Subniveles Superiores en Macro Bloques y Barrio Industrial Norte.

Se ha considerado el estudio de bibliografía que incorpore herramientas de diseño, control y gestión que permita la mejora continua del proyecto y elimine las actividades que provocan interferencias. También se estudian casos de construcción con el fin de obtener aprendizajes que se puedan adaptar para ser incorporados en el modelo, dentro de los que destacan la herramienta *Last Planner* para la planificación, la alineación entre el cliente y el contratista y la unificación de un sistema de control de gestión.

Se realiza un diagnóstico de problemas a partir de la situación actual del proyecto, donde se identifican siete variables críticas que pueden generar interferencias importantes en los desarrollos futuros. Éstas corresponden a esperas por servicios, disponibilidad de equipos, espera por materiales, ventilación, acumulación de marina y planificación.

Finalmente se propone un modelo de gestión operacional sobre el contrato en cuestión, que incluye un mapa gráfico del proceso de construcción y cómo las variables pueden influir sobre él. También considera un sistema de control de gestión que establece la planificación como eje principal para la mejora continua, que define objetivos sobre una serie de indicadores que permiten hacer seguimiento a las variables antes mencionadas. Estos indicadores serán reportados de manera periódica, lo que permitirá gestionar la información mediante el análisis de los desvíos a través de reportes y reuniones específicas.

En esta propuesta se incorporan prácticas que ayuden al cumplimiento de plazos y recursos planificados, lo que será transmitido al contratista bajo la supervisión de la dirección de construcción, con medidas que sean fáciles de entender y aplicar, pero a la vez que aporten efectividad. De esta manera se podrá tener un impacto real, promover la mejora continua y aportar a la productividad de una de las mayores inversiones en la historia de Codelco.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este proceso, quiero agradecer a todas aquellas personas que de alguna u otra forma han aportado en mi formación como mujer y profesional. En primer lugar agradezco a mi familia por todo su apoyo y confianza, especialmente a dos de las personas más importantes en mi vida, mis padres, quienes me entregaron un amor inmensamente incondicional y se esforzaron para darme todas las herramientas que estaban a su alcance. A mi hermana, mi primera amiga, que siendo tan distintas siempre ha creído en mí y me ha dado ánimo en momentos difíciles.

A Esteban, mi pilar fundamental, quien me ha acompañado a lo largo de toda mi vida universitaria y con quien he crecido y madurado. Gracias por todos los lindos momentos, por aguantarme y contenerme cada vez que lo necesité.

A mis amigos y compañeros que conocí desde los primeros años y con los que sigo hasta el día de hoy, con los que he compartido distintos momentos y vivido grandes experiencias. Especialmente a mi amigo Roberto, mi compañía fiel en la U, gracias por tu ayuda, por escucharme sin excepción, por aguantar todas mis dudas y por entregarme tu amistad todos estos años. También quiero destacar a mi amiga Valentina, quien ha sido una persona muy importante en este proceso, gracias por impulsarme a participar en la universidad, por darme tu apoyo, compañía y confianza.

A la Feria Empresarial, experiencia con la cual aprendí a vivir la universidad, a trabajar en equipo y darme cuenta lo que somos capaces de lograr como alumnos. Gracias por todo el apoyo y las lindas personas que conocí.

También quiero agradecer a mis profesores del Taller de Titulación, especialmente al profesor Orlando Castillo por guiarme y aconsejarme, por presionarme cuando fue necesario y darse el tiempo para ayudarme a sacar el trabajo adelante.

Finalmente al PMCHS por darme la posibilidad de acercarme al mundo de la minería, especialmente a la Dirección de Planificación Estratégica por recibirme y entregarme todo lo necesario para el desarrollo de mi trabajo. Le agradezco a Rodrigo, Álvaro, Cristian, Titi y a todos aquellos que se dieron el tiempo para compartir sus conocimientos y guiarme en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1.	CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1.1.	La Minería en Chile.....	1
1.1.2.	Codelco.....	2
1.1.3.	Vicepresidencia de Proyectos.....	4
1.1.4.	Proyectos Mineros.....	4
1.1.5.	Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS).....	5
1.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3.	OBJETIVOS.....	12
1.3.1.	Objetivo General.....	12
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	12
1.4.	ALCANCES.....	12
1.5.	RESULTADOS ESPERADOS.....	13
2.	CAPÍTULO II – MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1.	FILOSOFÍA LEAN.....	14
2.1.1.	Principios <i>Lean</i>	14
2.1.2.	Desperdicios.....	15
2.1.3.	Filosofía <i>Lean</i> en la Construcción.....	15
2.1.4.	Filosofía <i>Lean</i> en la Minería.....	18
2.2.	HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS.....	19
2.2.1.	Formato de Reporte A3.....	19
2.2.2.	<i>Obeya Room</i>	19
2.2.3.	<i>Last Planner</i>	19
3.	CAPITULO III – METODOLOGÍA.....	22
3.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.2.	ESTUDIO DE CASOS DE CONSTRUCCIÓN Y GESTIÓN.....	22
3.3.	ESTUDIO DE OPERACIONES UNITARIAS.....	22
3.4.	DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS.....	22
3.5.	MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL.....	22
3.5.1.	Identificación de Variables.....	23
3.5.2.	Definición de Indicadores.....	23
3.5.3.	Sistema de Control de Gestión.....	23
3.6.	REDACCIÓN DE LA MEMORIA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
4.	CAPITULO IV – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE CASOS DE ESTUDIO.....	24
4.1.	<i>CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE</i>	24
4.1.1.	Dificultades en la Implementación.....	25
4.1.2.	Factores de Éxito.....	25
4.2.	EUROTÚNEL.....	26
5.	CAPITULO V – DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS.....	28

5.1.	CC010 – DESARROLLOS SUBNIVELES SUPERIORES EN MACROBLOQUES Y BARRIO INDUSTRIAL NORTE.....	28
5.1.1.	Situación de Contratos.....	29
5.2.	DIAGNÓSTICO ACTUAL OIM.....	31
5.2.1.	Ciclo de Turno.....	32
5.2.2.	Ciclo de Frente.....	35
5.2.3.	Muestreo de Trabajo.....	38
5.2.4.	Encuestas de Detención.....	38
5.2.5.	Resumen.....	39
5.3.	DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS.....	40
5.3.1.	Espera por Servicios.....	41
5.3.2.	Espera por Disponibilidad de Equipos.....	41
5.3.3.	Espera por Falla Eléctrica.....	43
5.3.4.	Espera por Materiales.....	44
5.3.5.	Ventilación.....	44
5.3.6.	Acumulación de Marina.....	45
5.3.7.	Planificación.....	45
5.3.8.	Resumen.....	47
6.	CAPÍTULO VI – MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL.....	49
6.1.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.....	49
6.1.1.	Procesos Estratégicos.....	49
6.1.2.	Procesos Operativos.....	51
6.1.3.	Procesos de Apoyo.....	54
6.2.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS.....	55
6.2.1.	Espera por Servicios.....	55
6.2.2.	Espera por Disponibilidad de Equipos.....	55
6.2.3.	Espera por Falla Eléctrica.....	56
6.2.4.	Espera por Materiales.....	57
6.2.5.	Ventilación.....	57
6.2.6.	Acumulación de Marina.....	57
6.2.7.	Planificación.....	58
6.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE GESTIÓN.....	59
6.3.1.	Planificación Mensual.....	61
6.3.2.	Reporte de Información.....	61
6.3.3.	Gestión de la información.....	65
6.3.4.	Flujo de Comunicación.....	69
6.3.5.	Mejora Continua.....	69
7.	CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
7.1.	CONCLUSIONES GENERALES.....	71
7.2.	RECOMENDACIONES.....	72
7.2.1.	Revisión y Actualización del Modelo de Gestión Operacional.....	72
7.2.2.	Consideraciones para Futuros Proyectos.....	73

8.	CAPÍTULO VIII – BIBLIOGRAFÍA	74
9.	CAPÍTULO XIX – ANEXOS	76
9.1.	ANEXO 1	76
9.2.	ANEXO 2	77
9.3.	ANEXO 3	78
9.4.	ANEXO 4	79
9.5.	ANEXO 5	80
9.6.	ANEXO 6	81
9.7.	ANEXO 7	82
9.8.	ANEXO 8	85
9.9.	ANEXO 9	87
9.10.	ANEXO 10	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción y reservas de mineral en Chile 2014	1
Tabla 2: Filosofía Convencional versus Filosofía Lean en la Construcción	17
Tabla 3: Obras Mineras Contrato CC010 Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y Barrio Industrial Norte.....	28
Tabla 4: Hitos Contrato CC0010 Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y Barrio Industrial Norte.....	29
Tabla 5: Identificación de Horas Hombre Perdidas por Esperas.....	39
Tabla 6: Tabla Resumen Causa-Consecuencia del Diagnóstico de Problemas OIM.....	47
Tabla 7: Relación entre Servicio y Actividad del Ciclo	55
Tabla 8: Relación entre Equipos y Actividad del Ciclo	56
Tabla 9: Tabla de Control para Indicadores de Gestión.....	64
Tabla 10: Reuniones de Coordinación.....	67
Tabla 11: Clasificación de Actividades del Ciclo de Frente según Filosofía Lean.....	81
Tabla 12: Posibles Frecuencias de Espera por Causalidad.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: PIB del sector minero y su participación en el PIB nacional 2003-2015.....	2
Ilustración 2: Producción de Cobre en Chile por Tipo de Empresa 2003-2015.....	3
Ilustración 3: Diseño PMCHS al término de Ingeniería Básica	6
Ilustración 4: Perfil Esquemático del Sistema de Manejo de Materiales	7
Ilustración 5: Distribución de las Obras que conforman un Nivel de Exploración	7
Ilustración 6: Etapas del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea.....	9
Ilustración 7: Éxito de Megaproyectos en la Industria	11
Ilustración 8: Razones de Incumplimiento de Proyectos No Exitosos	11
Ilustración 9: Modelo de Conversión de un Proceso de Producción	16
Ilustración 10: Modelo de Flujo de un Proceso de Producción	16
Ilustración 11: Planificación Operacional	20
Ilustración 12: Situación de los Principales Contratos PMCHS	30
Ilustración 13: Organigrama Dirección OIM	31
Ilustración 14: Ciclo de Turno Tipo – OIM	33
Ilustración 15: Actividades en Ciclo de Turno OIM	34
Ilustración 16: Principales Esperas en Ciclo de Turno OIM	35
Ilustración 17: Actividades del Ciclo de Frente	37
Ilustración 18: Esperas del Ciclo de Frente	37
Ilustración 19: Muestreo del Trabajo PMCHS – OIM	38
Ilustración 20: Distribución de Pérdidas Encuesta de Detenciones OIM.....	40
Ilustración 21: Esperas por Servicios (26,6%)	41
Ilustración 22: Espera por Disponibilidad de Equipos (20,6%)	42
Ilustración 23: Espera por Falla Eléctrica (19,6%)	43
Ilustración 24: Espera por Materiales (16,2%).....	44

Ilustración 25: Mapa del Proceso de Construcción de Túneles Chuquicamata Subterránea.....	50
Ilustración 29: Esquema de Control de Gestión	60
Ilustración 26: Ejemplo Ilustrativo Sala SAMKA.....	66
Ilustración 27: Flujo de Información CC010.....	69
Ilustración 30: Organigrama Gerencia Proyecto Chuquicamata Subterránea	76
Ilustración 31: Plano Disposición General Subnivel de Producción.....	77
Ilustración 32: Plano Disposición General Subnivel de Hundimiento	78
Ilustración 33: Desarrollos Horizontales Contrato CC010 y Contrato CC013	79
Ilustración 34: Desarrollos Verticales Contrato CC010 y Contrato CC013.....	80
Ilustración 35: Mapa del Proceso de Construcción de Túneles Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea	82
Ilustración 36: Resumen Programa Contratos CC010 y CC013 (julio 2016 – junio2018).....	85
Ilustración 37: Resumen Programa Contratos CC010 y CC013 (julio 2018 – julio2020).....	86
Ilustración 38: Esquema Reporte A3.....	88
Ilustración 39: Ejemplo Reporte A3.....	89

1. CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1.1. La Minería en Chile

Chile se define como un país minero, lo que forma parte importante de su identidad. Es el mayor productor y exportador de cobre alcanzando 30% de las reservas y un 31% de la producción a nivel mundial en los últimos años (Tabla 1).

Tabla 1: Producción y reservas de mineral en Chile 2014

	Producción en Chile	Participación la producción mundial	Ranking en producción mundial	Participación en reservas mundiales
Cobre	5,74 millones de TM	31%	1	30%
Oro	44,16 TM	2%	14	7%
Plata	1.426 TM	6%	7	15%
Molibdeno	48,77 mil TM	21%	3	16%

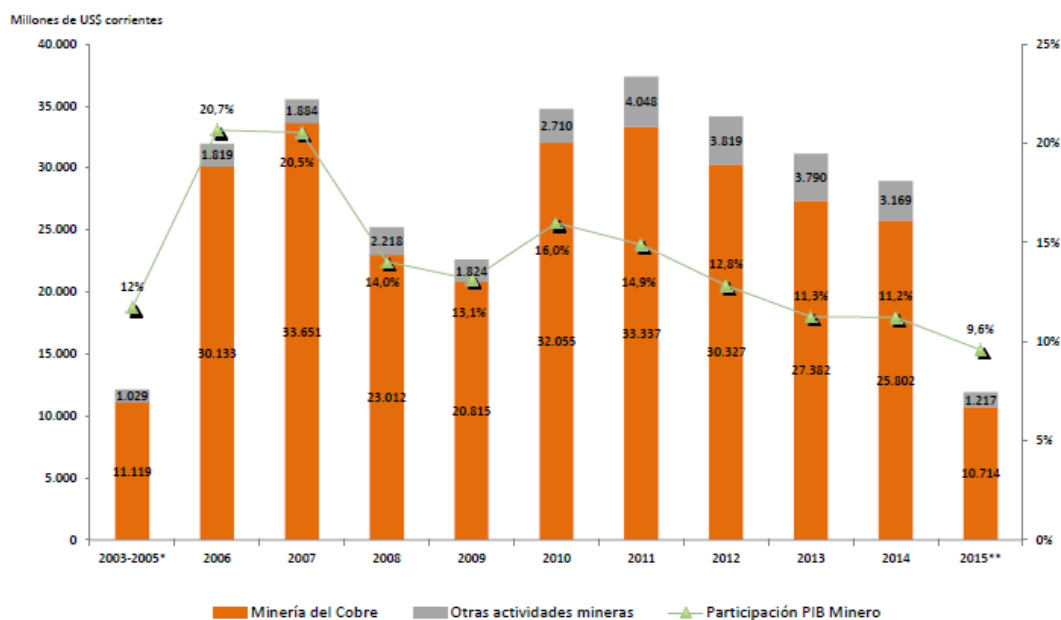
Fuente: Presentación Minería en Cifras, Consejo Minero, Agosto 2015

La minería representa el principal sector productivo nacional con un 11.2% de participación del PIB en el año 2014 y ha sido actor importante en el crecimiento del país en las últimas décadas (Ilustración 1). En consecuencia con lo anterior, la inversión en exploraciones ha ido en aumento, llegando a cifras cercanas a los USD\$1.000 millones.

Para la comercialización del mineral se debe realizar una serie de procesos productivos, que se resumen a continuación.

- **Extracción:** extrae la roca mineralizada desde la faena hasta la planta de procesamiento
- **Procesamiento:** la roca es sometida a distintos procesos metalúrgicos con el objetivo de aumentar la concentración metálica para su posterior venta o traspaso a las siguientes etapas
- **Fundición:** Separa los metales que están contenidos en los concentrados a través de un proceso pirometalúrgico en el que se funde el concentrado a altas temperaturas. Como resultado se obtienen subproductos impuros con altos contenidos de metal
- **Refinación:** Se obtiene metales con niveles de pureza aptos para su transformación industrial

Ilustración 1: PIB del sector minero y su participación en el PIB nacional 2003-2015



Fuente: Presentación Minería en Cifras, Consejo Minero, Agosto 2015

1.1.2. Codelco

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco, es una empresa autónoma, propiedad del Estado chileno que se dedica la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, así como también a su procesamiento y posterior comercialización como cobre refinado. En el año 2014 registró cifras que alcanzan los US\$35.257 millones en activos con un patrimonio de US\$11.526 millones.

Los productos de la empresa, en orden de importancia, son:

- Cátodos de cobre grado A
- Concentrado de cobre
- Calcina de cobre
- Molibdeno
- Plata
- Barros anódicos
- Alambrón (producto semielaborado)

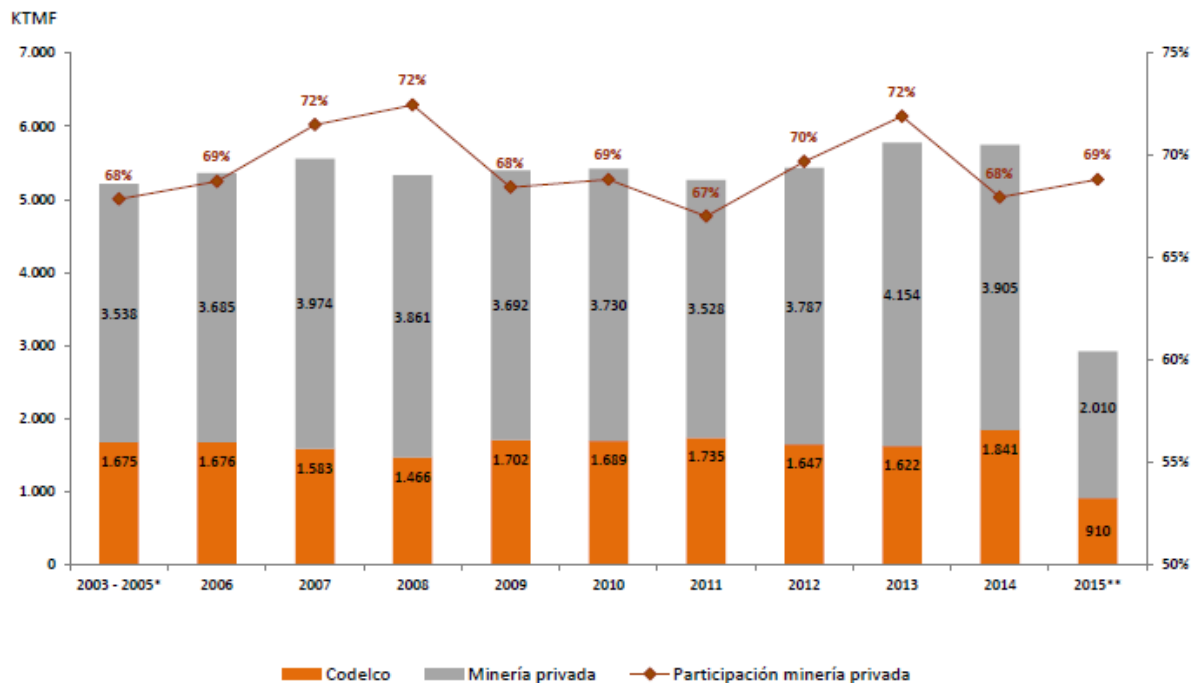
Codelco concentra el 9% de las reservas globales de cobre contenidas en sus yacimientos, lo que le permitiría proyectar su explotación por más de 70 años a partir de sus recursos minerales. Es el mayor productor de cobre de mina del mundo, alcanzando en 2014 un 10% de producción mundial de cobre y un 31% a nivel nacional, considerando su participación en El

* Promedio anual período 2003-2005

** Al primer semestre del año

Abra y Anglo American Sur. También ocupa el segundo lugar en la producción de molibdeno de mina con una producción total de 31 mil toneladas de métricas finas en el mismo año (Ilustración 2) [1].

Ilustración 2: Producción de Cobre en Chile por Tipo de Empresa 2003-2015



Fuente: Presentación Minería en Cifras, Consejo Minero, Agosto 2015

La Casa Matriz de Codelco está ubicada en Santiago de Chile y posee 8 divisiones ubicadas entre la región de Antofagasta y la Región Libertador Bernardo O'Higgins bajo la supervisión de las Vicepresidencias de Operaciones, que se encargan de la explotación y procesamiento de minerales, así como también del envío a los mercados [2].

Vicepresidencia de Operaciones Zona Norte:

- División Chuquicamata
- División Radomiro Tomic
- División Gabriela Mistral
- División Ministro Hales

Vicepresidencia de Operaciones Centro Sur

- División Salvador
- División Andina
- División Ventanas

* Promedio anual período 2003-2005

** Al primer semestre del año

- División El Teniente

1.1.3. Vicepresidencia de Proyectos

La Vicepresidencia de Proyectos de Codelco es la organización encargada del desarrollo de todas las etapas de los proyectos con base geo-minero-metalúrgica con presupuestos sobre los US\$ 10 millones, tanto en la conceptualización como en el diseño, construcción y puesta en marcha.

Esta Vicepresidencia fue creada en el año 2005 a partir de un rediseño integral de la institución, con el objetivo de reconocer, diferenciar y establecer responsabilidades claras entre las operaciones de activos existentes, a cargo de las Divisiones, y la creación de nuevos activos a través del desarrollo de proyectos, bajo la responsabilidad de la VP.

La VP debe velar por maximizar la rentabilidad de inversión en los estudios de pre factibilidad y factibilidad, agregando valor a las fases de ejecución inversional y puesta en marcha. Asimismo, debe asegurar el cumplimiento de plazos, costos, calidad y sustentabilidad definidos para cada proyecto, respetar los roles y responsabilidades establecidas en el rediseño y contribuir a un alto desempeño en la gestión de proyectos [3].

Actualmente, la VP está a cargo de Gerhard Von Borries y está compuesta de las siguientes Gerencias funcionales:

- Gerencia de Recursos Humanos
- Gerencia de Administración y Servicios a Proyectos
- Gerencia de Sustentabilidad y Asuntos Externos
- Gerencia de Seguridad y Salud Ocupacional
- Gerencia de Ingeniería y Constructibilidad
- Gerencias de Proyectos

Las Gerencias de Proyectos representan a la VP en el rol de gestor-ejecutor en los proyectos específicos. Su misión es liderar el equipo y asegurar la relación con las empresas contratistas que intervienen, con el fin de facilitar y mantener una comunicación adecuada con el cliente. Dentro de estas gerencias se consideran:

- Gerencia de Proyecto Nuevo Nivel Mina el Teniente
- Gerencia Cartera Proyectos Andina
- Gerencia Proyecto Chuquicamata Subterránea
- Gerencia Cartera Proyectos Radomiro Tomic Sulfuros
- Gerencia Cartera Proyectos Especiales
- Gerencia Proyecto Desarrollo Fundición Chuquicamata

1.1.4. Proyectos Mineros

Las minas se pueden clasificar en dos principales categorías de acuerdo a sus operaciones. Si las labores se desarrollan sobre la superficie se les denomina a tajo o rajo abierto y si los trabajos se realizan bajo tierra corresponden a subterráneas. En ambos casos, los proyectos en minería son de plazos extensos y altas inversiones. Entre el descubrimiento de un yacimiento y el inicio de las operaciones pueden pasar décadas.

La primera etapa es la de descubrimiento, donde se realiza la exploración del yacimiento y las condiciones ambientales. Luego se realizan estudios en los cuales se define el proyecto, que son Estudio de Perfil, Estudio de Pre-Factibilidad y Estudio de Factibilidad.

Una vez que se han analizado las oportunidades se toma la decisión de inversión, lo que da paso a la construcción de la mina, donde se realizan todas las preparaciones para su funcionamiento. Luego viene el período en que se genera valor, que corresponde a la explotación del mineral mediante las operaciones y expansión de las faenas.

Dado que en minería se explotan recursos no renovables, una vez que se agotan las reservas se procede al cierre de las faenas, lo que significa el fin del proyecto.

1.1.5. Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS)

La División Chuquicamata es un complejo minero que se encuentra en la Región de Antofagasta a 2.870 msnm. Inició sus operaciones en el año 1910 y hoy cuenta con dos minas a tajo abierto, “Chuquicamata” y “Mina Sur”, de las cuales se producen 339 mil toneladas de cátodos electrorefinados y electroobtenidos con una pureza de 99,99% de cobre. Otros subproductos de estas minas son molibdeno, barros anódicos y ácido sulfúrico.

Chuquicamata está ubicada en la II Región, 15 km al norte de Calama y a 245 km de Antofagasta. Es la mina a tajo abierto más grande del mundo, de la cual se producen más de 340 mil toneladas anuales al 2014. Posee una forma elíptica, una superficie aproximada de 800 Ha y 1.250 m de profundidad. Representa la mayor producción de cobre en Chile con una dotación de 6.214 personas y ha estado alrededor de 100 años en funcionamiento [4].

Estudios que se han realizado en la Corporación muestran que el Rajo Abierto de Chuquicamata agota sus reservas en torno al año 2018. Actualmente presenta las dificultades propias de un yacimiento longevo, con la disminución natural de las leyes medias de cobre del mineral, el aumento de las distancias de transporte, la gran cantidad de lastre que debe removerse para extraer una tonelada de mineral y el creciente riesgo geotécnico debido al aumento de la profundidad del rajo [5].

El Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea contempla un cambio de explotación de la mina, de rajo abierto a subterránea, y surge como solución para acceder a valiosas reservas mineras de 1.760 millones de toneladas de mineral que se han encontrado bajo el rajo, con una ley media de 0,712% de cobre, 512 ppm de molibdeno y 492 ppm de arsénico. Esta opción representa parte importante del futuro de Codelco y le permitirá explotar el mineral durante un período de operación de aproximadamente 40 años (2019 – 2058), precedida por una fase de construcción y puesta en marcha de 8 años [6].

La Gerencia Proyecto Chuquicamata Subterránea⁵, bajo la administración de Germán Flores, es la responsable del diseño, construcción y puesta en marcha con cero daño a las personas, sin afectar el medio ambiente. El proyecto debe contar con las mejores tecnologías disponibles, considerando eficiencia energética y costos competitivos y sustentables en el tiempo.

⁵ En el ANEXO 1 se encuentra la organización estructural de la gerencia con sus respectivas direcciones.

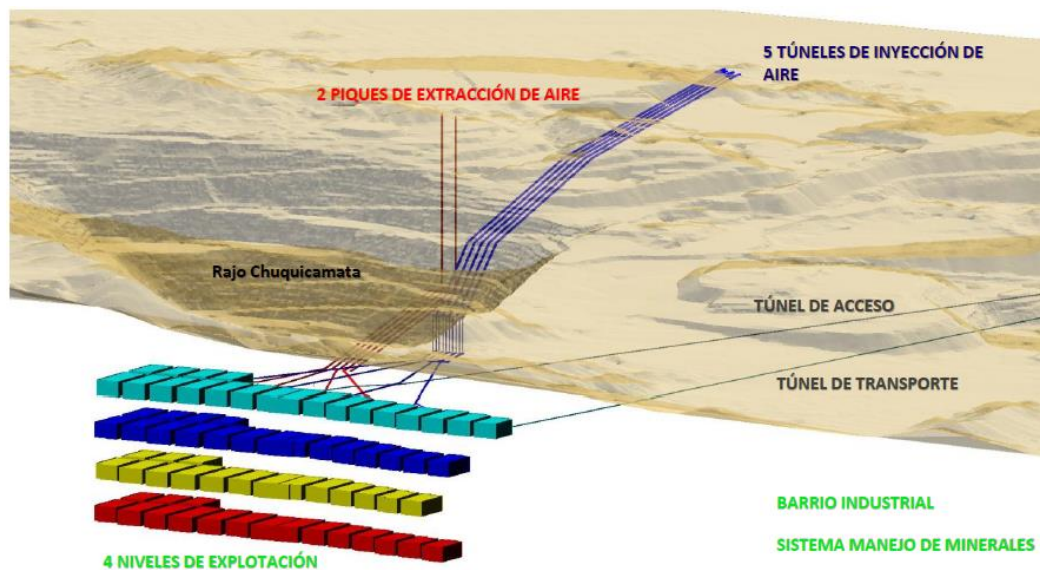
Todo esto debe llevarse a cabo de acuerdo al presupuesto y plazos considerados, exigiendo el cumplimiento de las condiciones por parte de las empresas asociadas [5].

La explotación de la mina se realizará mediante la aplicación del método Block Caving o Hundimiento por Bloques, bajo la configuración de unidades básicas denominadas Macro Bloques cuyas áreas basales varían entre 24 mil y 39 mil metros cuadrados. En el método se socaba la base del Macro Bloques en forma separada siguiendo una secuencia mediante explosivos, de manera que el resto de la columna mineralizada se fragmente hacia arriba y se desplome hacia los puntos de extracción, siguiendo las fases de perforación, tronadura, carguío y transporte. Esto permitirá desarrollar un ritmo de explotación promedio de 140.000 toneladas diarias [7].

La inversión total aprobada para la construcción y emplazamiento de la mina, así como también de la infraestructura asociada, asciende a US\$ 4.200 millones en total (moneda 2013), la cual contemplará cuatro niveles de explotación, un túnel de acceso principal de 7,5 kilómetros, un túnel de transporte de mineral, cinco túneles de inyección y dos piques de extracción de aire, además de una serie de obras complementarias.

Los niveles de producción tienen sus cotas de hundimiento en las elevaciones 1.841 - 1.625 - 1.409 - 1.193 msnm, los cuales serán desarrollados y explotados en forma secuencial y descendente durante la vida útil de la mina. Habrá períodos de transición en que la producción de dos niveles deberá coexistir debido al agotamiento del nivel superior y crecimiento de producción del nivel inferior. En los dos niveles superiores se utilizará el tipo de hundimiento convencional, mientras que en los más profundos se necesitará uno avanzado (Ilustración 3).

Ilustración 3: Diseño PMCHS al término de Ingeniería Básica

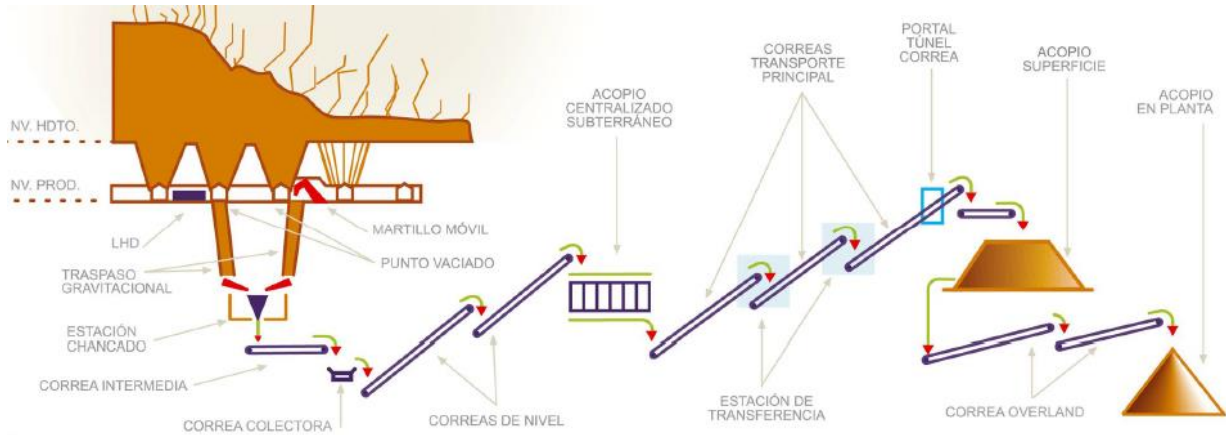


Fuente: Presentación PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

1.1.5.1. Nivel de Exploración

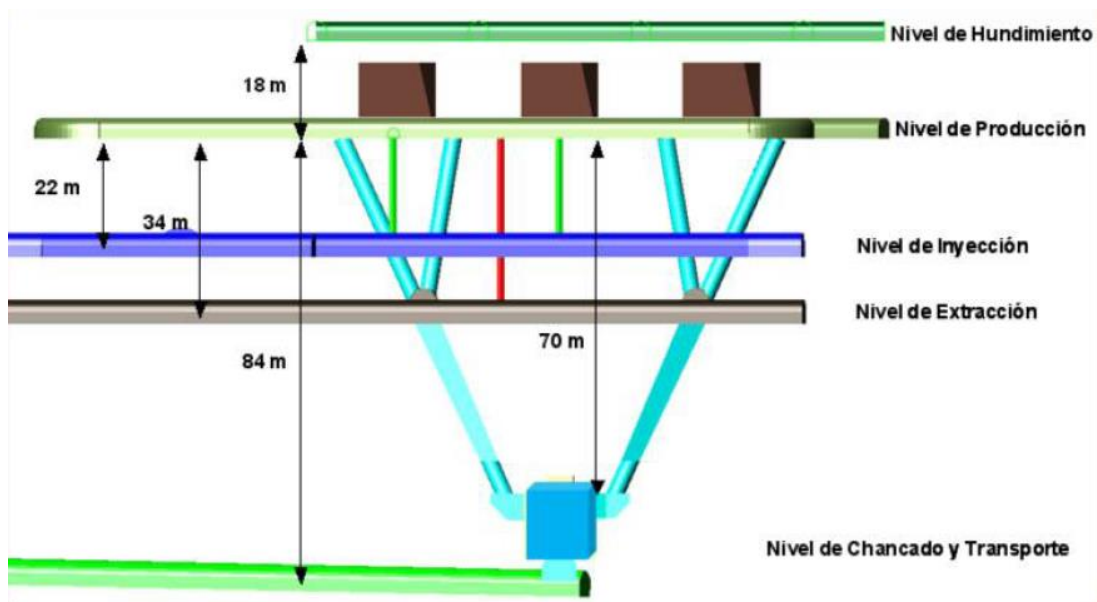
El sistema de manejo de minerales (Ilustración 4) para cada Macro Bloque está compuesto por el nivel de exploración, conformado por el nivel de hundimiento, nivel de producción, nivel de producción, subnivel de ventilación, nivel de traspaso y nivel de transporte (Ilustración 5).

Ilustración 4: Perfil Esquemático del Sistema de Manejo de Materiales



Fuente: Estudio de Prefactibilidad PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

Ilustración 5: Distribución de las Obras que conforman un Nivel de Exploración



Fuente: Estudio de Prefactibilidad PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

- **Nivel de Hundimiento**

En este nivel se produce la socavación del Macro Bloque, para lo cual se realiza una red de perforaciones en forma de abanico y se le introducen explosivos, cuya tronadura fragmenta la base de la columna mineralizada hasta una cierta altura. Una vez retirado el material, el macizo

comienza a caer por efectos de gravedad y produce el hundimiento paulatino de la totalidad del bloque.

- **Nivel de Producción**

El nivel de producción consiste captar en el punto de extracción del material proveniente del nivel de hundimiento, a través de piques en forma de embudo. Luego, mediante equipos LHD, el material se carga y se transporta al punto de vaciado, donde se vierte en piques de traspaso centralizados para ser conducido a las siguientes etapas.

- **Subnivel de Ventilación**

Es una red de galerías ubicada bajo el nivel de producción, que introduce aire fresco conducido desde la superficie hacia las áreas de trabajo y retira el aire viciado por contaminación de los gases de tronadura y equipos diésel para ser expulsado fuera de la mina.

- **Nivel de Traspaso**

Comprende desde los piques de traspaso hasta la salida de la estación de chancado y su objetivo es controlar el paso del mineral desde el nivel de producción al nivel de transporte, filtrando de acuerdo a su tamaño para que puedan pasar a través de las parrillas.

Si el mineral es grueso (duro) se envía al chancador principal para reducir su tamaño y permitir su paso al transporte final. En el caso de bloques mayores (colpas) se disponen de sistemas de martillos picadores fijos para fragmentarlos. Las rocas de mineral secundario son más blandas y se traspasan de un nivel a otro de forma manual.

- **Nivel de Transporte**

En el nivel de transporte el mineral se carga desde los buzones en los piques de traspaso para ser trasladado al exterior de la mina.

1.1.5.2. Plan de Ejecución

Para lograr este cambio de operaciones, es necesario que la construcción responda a la magnitud de las necesidades del funcionamiento de la futura mina subterránea más grande del mundo. El plan de ejecución a partir de la estrategia de ingeniería se detalla a continuación.

- 1) Obras De Infraestructura Permanente
 - Túnel de Acceso
 - Túnel de Transporte
 - Túneles de Ventilación Inyección
 - Pique de Ventilación Extracción
 - Obras Interior Mina (Facilidades Constructivas)
- 2) Facilidades Constructivas
 - Acceso Interior Mina
 - Facilidades Manejo de Marinas
 - Ventilación para Construcción
 - Instalaciones de Faenas

- Servicios para Construcción
- 3) Construcción Área Productiva
- Macro Bloques Iniciales
 - Área Producción para Incorporación Mediano Plazo
- 4) Habilitación Sistema Manejo De Minerales
- LHD, Sala de Chancado, Alimentadores
 - Correas Transportadores Subterráneas
 - Correa Transportadora *Over Land*
 - Estaciones de Transferencia
- 5) Infraestructura
- Barrio Industrial Superficie
 - Barrio Industrial Subterráneo
 - Sistema Eléctrico
 - Sistemas Hidráulicos
 - Comunicaciones y Control

1.1.5.3. Etapas del Proyecto

En el año 2001 Codelco decidió comenzar los sondeos y en 2008 se implementó una rampa de exploración para identificar las reservas existentes bajo el rajo de Chuquicamata, dando inicio a las primeras etapas de desarrollo del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea. Una vez que inicie la socavación, el período de rump up será de siete años hasta alcanzar el régimen productivo que durará 25 años, seguido de una fase de *rump down* de ocho años (Ilustración 6).

Ilustración 6: Etapas del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea

I ETAPA	II ETAPA	III ETAPA	IV ETAPA	VI ETAPA		RAMP-UP		
Ingeniería de Diagnóstico	Ingeniería de Perfil	Ingeniería Conceptual o Prefactibilidad	Ingeniería Básica o Factibilidad	Construcción y Montaje		Inicio Socavación	Se alcanza régimen productivo	
				Ingeniería de Detalle				
2001	2003	2007	2009	2014	2015	2019	2025	2028

Fuente: Presentación PMCHS Expomin, Abril 2010, Santiago de Chile

El proyecto requiere iniciar su vida productiva el año 2019, donde la infraestructura debe estar operativa en su totalidad. Actualmente se encuentra en la etapa de Construcción y Montaje, en fase de ejecución, donde el esfuerzo constructivo implica tasas de desarrollos de túneles del orden de 3.000 m/mes a partir del segundo semestre del año 2016 en adelante, completando un total de 181 kilómetros al momento de realizar la entrega a operaciones. Dicha tasa de desarrollos mineros solo ha sido alcanzada durante la construcción de la mina Grasberg en Indonesia, mientras que el referente nacional corresponde a la mina El Teniente, con tasas no superiores a 1.500 m/mes.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

El Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea es el de mayor inversión en la historia de Codelco, lo que refleja una gran magnitud y dimensión de alto impacto esperado. Es por esto que

se considera como un megaproyecto, ya que implica un esfuerzo único para la empresa, tanto en tiempo como en recursos.

Durante los últimos años, en Chile y el resto del mundo, la realización de proyectos de construcción ha tenido serios problemas para cumplir los objetivos de plazos y presupuesto, lo que implica sobrecostos por mayores recursos y tiempo. Sobre una base de 47 megaproyectos⁶ que se han desarrollado en el sector de minería y metales, un 70% no han logrado ser ejecutados exitosamente⁷ (Ilustración 7), resultando en promedio un 40% de sobrecosto en Capex y un 28% de retraso (Ilustración 8). En Chile estas cifras corresponden al 40% y 14%, respectivamente, mientras que en el caso particular de Codelco, la VP ha tenido un desempeño similar a la industria en costos, con un 42% de desviación en Capex, pero ligeramente inferior en el cumplimiento de plazos, alcanzando un 19% de desviación en meses.

El proyecto en estudio puede ser exitoso en la medida que el nivel de interferencias operativas dentro de las áreas y frentes de desarrollo sean mínimos, aspecto que ha sido cautelado a través de la planificación y el diseño del proyecto, que incluye múltiples accesos, ventilación, rutas de marinas y una serie de facilidades constructivas adicionales en cantidad y calidad suficiente al tamaño del problema.

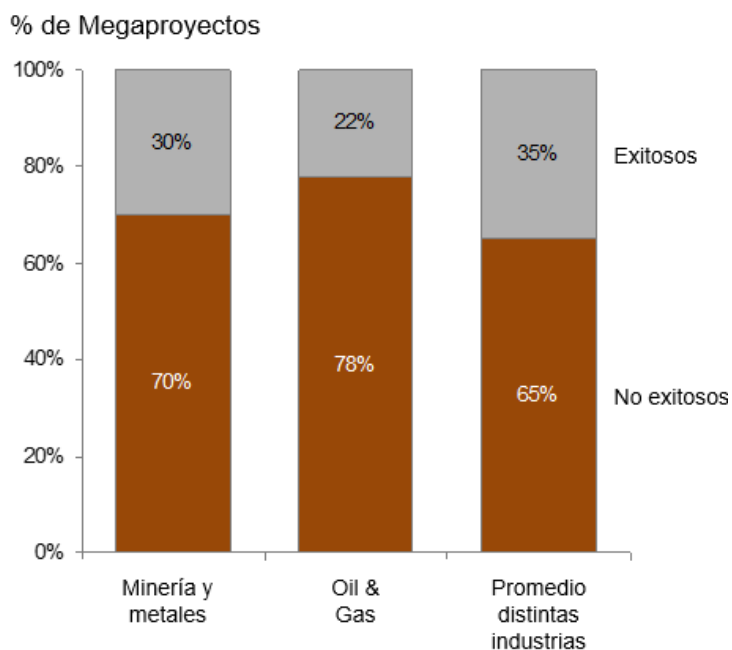
Lo anterior requiere, además, que las obras sean ejecutadas con una noción moderna de gestión de operaciones, que permita asegurar que las tasas de desarrollo se logren con mínimo uso de recursos y con alta confiabilidad en cuanto a lo planificado y ejecutado, así como también en la calidad de las obras. En ese sentido, es crucial gestionar y controlar personas, equipos, materiales, energía, agua y otros insumos, de forma que los ciclos de operación de cada frente de trabajo no sean interrumpidos, minimizando las interferencias entre las diferentes actividades y asegurando un alto estándar de seguridad a las personas, equipos e instalaciones.

Como referente, Mina el Teniente ha llevado adelante un interesante programa de *Lean Construction* en operaciones como respuesta a las necesidades crecientes de mejora de productividad. Sin embargo, este modelo no es directamente aplicable al caso Chuquicamata Subterránea por cuanto existen diferencias importantes en la estandarización de trabajos.

6 Definidos como proyectos con más de US\$1.7 Bn en Capex

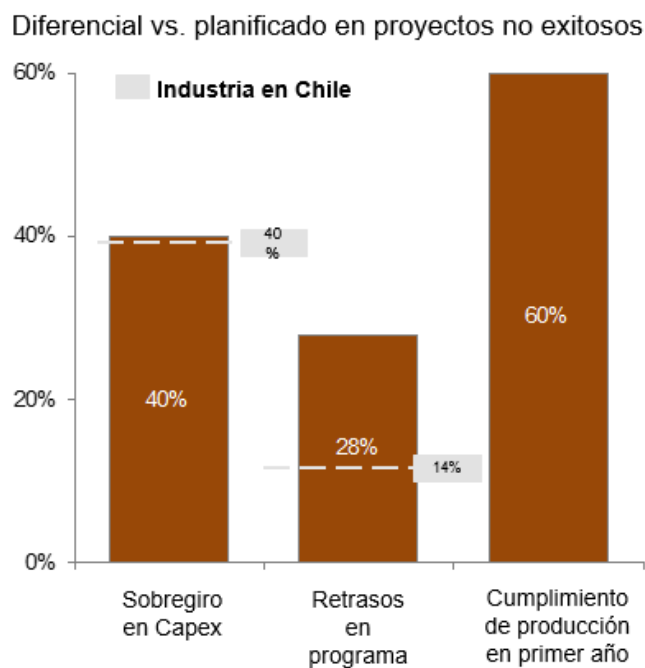
7 Definición de proyectos no exitosos: Cumple cualquiera de las tres condiciones Capex overruns > 25%, retrasos en programa > 25%, producción vs plan significativamente inferior en segundo año del proyecto

Ilustración 7: Éxito de Megaproyectos en la Industria



Fuente: Edward W. Merrow, "Industrial Megaprojects – Base de datos IPA," 2014

Ilustración 8: Razones de Incumplimiento de Proyectos No Exitosos



Fuente: Edward W. Merrow, "Industrial Megaprojects – Base de datos IPA," 2014

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- ✓ El tema de memoria se enfocará en proponer un modelo de gestión operacional que permita asegurar la productividad del sistema de desarrollos mineros en los niveles principales de la construcción de la futura mina Chuquicamata Subterránea.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Utilizar los enfoques de *Lean Construction* y herramientas complementarias para incorporar conceptos, estrategias y metodologías de gestión y control que permitan mejorar los procesos en la ejecución de los proyectos, promoviendo la mejora continua dentro de la organización
- ✓ Contribuir al cumplimiento de los objetivos de construcción definidos en los niveles de hundimiento y producción del proyecto, gestionando los recursos de manera adecuada
- ✓ Identificar las variables claves de los procesos de construcción en estudio, detectando las principales brechas e impactos entre personas, procesos y equipos
- ✓ Optimizar los ciclos de trabajo del contratista asociado y mitigar los tiempos improductivos que se puedan presentar
- ✓ Incorporar a todos los trabajadores de la línea operativa involucrada como protagonistas en el proceso de mejora, mediante disciplina y cumplimiento de los estándares necesarios

1.4. ALCANCES

El trabajo se desarrollará en el contexto de la construcción de la mina Chuquicamata Subterránea y se enmarcará en contribuir a la productividad necesaria para lograr la tasa de construcción objetivo de 3.000 m/mes que posee el proyecto.

Para obtener un impacto real en la gestión de los recursos, la memoria se enfocará en el subnivel de hundimiento y producción, los cuales deberán ser desarrollados desde el segundo semestre del año 2016 hasta el segundo semestre del 2020. Esta construcción cubre entre 1.600 a 1.700 m/mes de la tasa especificada anteriormente en el peak del contrato, que corresponde al CC010 – Desarrollo de Subniveles Superiores en Macro Bloques (MB) y Barrio Industrial Norte.

El modelo a implementar considera metodologías que aseguren la productividad y eficiencias necesarias, mitigando los desperdicios, pero no considera participación en modificaciones de la construcción.

El trabajo no tendrá incidencia sobre el contratista en términos de la metodología técnica, pero sí podrá influir en la organización de las actividades en la rutina y el sistema de reportes, ya que en el contrato CC010 está estipulado que el dentro del equipo administrativo deben haber cargos de productividad destinados a trabajar en conjunto con la empresa para lograr la colaboración mutua. La adjudicación será en marzo de 2016, por lo que habrá tiempo para establecer y acordar nuevas medidas en pos de los objetivos planteados.

En base a lo anterior, el modelo conceptual deberá ser ejecutado por el contratista encargado de la construcción, incorporando metodologías útiles en su sistema de funcionamiento, siendo monitoreado y gestionado por la dirección de construcción en terreno.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS

Propuesta de un modelo de gestión operacional que especifique la planificación y control que se deberá realizar del contrato. Incorporará prácticas que aseguren el cumplimiento de plazos y recursos en la construcción y eviten interferencias en las operaciones del subnivel de hundimiento y producción.

El plan incluirá

- Objetivos
- Responsables
- Herramientas a utilizar
- Indicadores
- Sistema de Control

Lo anterior será transmitido al contratista y sus trabajadores con medidas simples, fáciles de entender y aplicar, pero efectivas para la gestión diaria de la organización y los recursos que se utilizarán. De esta manera se espera incrementar el nivel de cumplimiento de las tasas de construcción acorde al programa en el plazo dentro del presupuesto, eliminando aquellas actividades que no agregan valor, con el fin de avanzar hacia un sistema de construcción continuo.

2. CAPÍTULO II – MARCO CONCEPTUAL

2.1. FILOSOFÍA LEAN

La Filosofía *Lean* tiene su origen en la industria automotriz en el siglo XIX y se asocia a la empresa Toyota. Propone la mejora continua y eliminación de desperdicios, centrándose en el consumidor para diseñar una cadena de suministro que permita el flujo continuo, a través de la colaboración por parte de todos los eslabones de la empresa. No tiene una estructura definida, sino que depende de cada realidad y es un trabajo a largo plazo que se debe incorporar en la cultura de la organización. Su primera definición está relacionada a hacer más con menos, acercándose cada vez más a lo que quiere el cliente, en el instante en que lo necesita. Lo anterior se basa en el concepto de eliminación de *muda* o pérdidas. Esta filosofía propone 5 principios con los cuales busca la excelencia organizacional [8].

2.1.1. Principios *Lean*

A continuación se presentan los principios del Pensamiento *Lean* que postulan que el producto final debe fluir sin obstáculos hacia el cliente mientras es tirado por éste [9]:

- 1) **Valor:** es el punto de partida de esta filosofía y corresponde al resultado de un análisis sobre los requerimientos del cliente final. El valor es creado por el productor, pero definido por el demandante, por lo que es crucial poder satisfacer sus exigencias a un precio y en un plazo determinado, de lo contrario la producción pierde validez y genera pérdidas en el proceso
- 2) **Cadena de Valor:** La cadena de valor corresponde a todas las actividades necesarias para la creación de un producto o servicio específico, las cuales se traducen en las tareas críticas de gestión: la resolución de problemas, que está presente tanto en el diseño como en la ingeniería de detalle; la gestión de información, que va desde que se inicia el pedido hasta que se realiza la entrega; y la transformación física, que corresponde al proceso en el cual las materias primas se transforman para fabricar el producto que será entregado al cliente. El trabajo productivo corresponde a aquellas actividades que crean valor, el contributivo a aquellas que no crean valor pero son necesarias para el producto final y el no contributivo a actividades que no crean valor y deben ser eliminadas
- 3) **Flujo:** una vez que el valor y las actividades que lo crean han sido identificados, eliminando las pérdidas, se debe asegurar que la cadena de valor fluya continuamente. Para esto es necesario generar una cultura centrada en la producción y sus necesidades, por sobre la organización y equipos de trabajo.
- 4) **Pull:** el cliente final es el que tira la producción en la cadena de valor, es decir, se espera a que el cliente demande para comenzar la fabricación. El reemplazo de las áreas de trabajo y lotes de producción por equipos de trabajo permiten que disminuya el tiempo total de procesamiento
- 5) **Perfección:** a medida que los principios anteriores van siendo implementados y el cliente va jalando la producción, el flujo del valor se profundiza y se van descubriendo más actividades que deben ser eliminadas. De esta manera se comienza una iteración en que la búsqueda de la mejora continua es constante, lo que se define como *Kaizen*, por su origen japonés. Para que esto sea viable la transparencia en el proceso es

crucial, ya que si está a disposición de todos los actores, la posibilidad de detectar de nuevas oportunidades aumenta y promueve la retroalimentación

2.1.2. Desperdicios

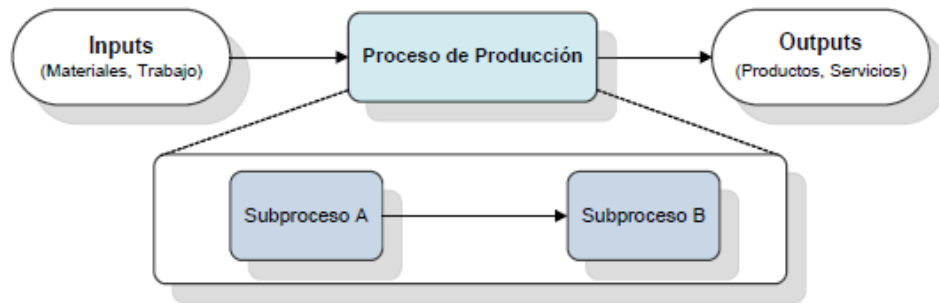
En la bibliografía referida al *Lean* se ha identificado el concepto de *Muda* que corresponde al desperdicio, actividades que utilizan recursos pero no crean valor para la fabricación del producto final. Se ha identificado una serie de *Muda*, que es necesario detectar para poder lograr la mejora continua. Tiene su origen en la industria manufacturera, pero pueden ser aplicados a cualquier proceso [10]:

- 1) **Sobreproducción:** pérdidas de tiempo y esfuerzos por realizar trabajos no requeridos que entorpecen el flujo a través de la cadena de valor
- 2) **Inventario:** pérdidas por mantener materias y productos innecesarios
- 3) **Transporte:** transporte innecesario de materiales, bienes y pasajeros, así como también la transferencia de información que aumentan el tiempo de ciclo
- 4) **Desplazamiento Innecesario:** movimiento físico necesario para acceder o procesar materiales o información que los trabajadores deben realizar en su lugar de trabajo para llevar a cabo las tareas asignadas.
- 5) **Espera:** tiempos de espera de los trabajadores o productos al no poder realizar las actividades que generan valor
- 6) **Defectos:** pérdidas percibidas por defectos en la producción, corrección y rectificación de actividades como de tareas mal ejecutadas y procesos innecesarios
- 7) **Procesos Inapropiados:** actividades adicionales a la producción que no agregan valor en el proceso. También se consideran actividades de inspección excesivas
- 8) **Subutilización del Personal:** se presenta cuando el personal no es aprovechado de manera adecuada, utilizando menos de la capacidad que disponen.

2.1.3. Filosofía *Lean* en la Construcción

A la visión tradicional de la industria de la construcción se le llama Modelo de Conversión y consiste en ver el proceso como una secuencia de transformaciones, donde el *input* son las materias primas y el *output* corresponde a la entrega (Ilustración 9). El proceso productivo se centra en las actividades, donde pueden existir subprocesos que se analizan de manera aislada y el costo total de la construcción será igual al costo de cada proceso y subproceso de conversión. El objetivo de este modelo es minimizar los costos independientes, sin considerar el flujo y la creación de valor, lo que oculta los desperdicios producidos en la interacción, dificultando la gestión de los proyectos a medida que se hacen más grandes y complejos [11].

Ilustración 9: Modelo de Conversión de un Proceso de Producción

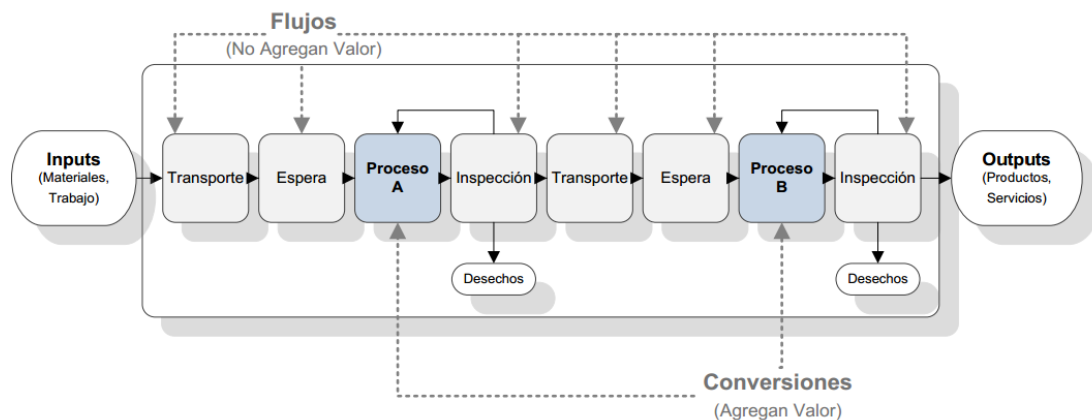


Fuente: L. Koskela, "Application of the new production philosophy to construction," 1992

El *Lean Construction* fue introducido por Koskela mediante la adaptación de esta filosofía incorporando la transformación, el flujo y el valor. Define que la producción es un flujo de materiales y/o información desde las materias primas hasta el producto final, que pueden ser procesadas, inspeccionadas y estar en espera o movimiento (Ilustración 10), lo que incorpora la posibilidad de diferenciar las actividades que crean valor de aquellas que generan desperdicios.

El propósito tradicional al controlar proyectos es la minimización de variabilidad sobre lo establecido, monitoreando las programaciones, presupuestos y calendarios. Una visión enfocada en lo macro parte en la confiabilidad del flujo de trabajo, que luego se extiende al tiempo de ciclo, trabajo en proceso, capacidad disponible, etc. Es decir, se busca el efecto combinado entre dependencia y variabilidad, ajustándose a la planificación a través del control en vez del monitoreo y de la optimización global del proyecto en vez de actividades aisladas.

Ilustración 10: Modelo de Flujo de un Proceso de Producción



Fuente: L. Koskela, "Application of the new production philosophy to construction," 1992.

De esta manera, el *Lean Construction* introduce una nueva visión sobre las prácticas utilizadas y los mecanismos de gestión de los proyectos, incorporando nuevos focos y metodologías (Tabla 2).

Tabla 2: Filosofía Convencional versus Filosofía Lean en la Construcción

	Filosofía Convencional	Filosofía Lean
Concepto de Producción	Actividades de conversión donde todas agregan valor	Actividades de conversión (agregan valor) y de flujo (no agregan valor)
Foco de Control	Costo de las actividades	Costo, tiempo y valor de los flujos
Foco de Mejoramiento	Aumento de eficiencia mediante la implementación de nueva tecnología	Elimina actividades que no agregan valor y aumentar la eficiencia de las actividades que agregan valor a través de la mejora continua y nuevas tecnologías

Fuente: L. Koskela, "Lean production in construction," 1993.

Para la implementación del *Lean* en la construcción hace necesario conocer las diferencias de esta industria con el sector productivo del cual surge la filosofía.

- Cada proyecto es un producto único e irrepetible
- La producción se lleva a cabo en el terreno, lo que dificulta el control
- El alcance del proyecto varía a lo largo de su desarrollo
- La secuencia del trabajo no es estandarizada y se debe ajustar a las necesidades
- La organización es temporal y específica para cada proyecto, lo que influye en la integración del equipo y la transmisión del conocimiento

El valor en la construcción se crea cuando el proyecto es llevado a cabo sin pérdidas, tales como daños a equipos, instalaciones, personas, comunidad o entorno físico. Junto a esto se debe cumplir el alcance establecido de manera óptima conforme a lo acordado con el cliente. Por último es necesario respetar los plazos y el presupuesto definidos [9].

Tirar el trabajo se refiere a que una actividad es programada de acuerdo al momento en que será requerido por la tarea sucesora, no será realizada hasta que sea necesaria para desarrollar la siguiente labor. Empujar el trabajo se enfoca en la fecha en que las tareas deben ser iniciadas, lo que conlleva a realizar trabajos antes que sean necesarios y utilizar recursos que se podrían haber aprovechado en otras actividades.

El punto de partida es reconocer y controlar las actividades de flujo para luego enfocarse en la eficiencia de las actividades de conversión. Dentro de las actividades contributivas se consideran la planificación, el control de procesos y la prevención de riesgos [12], las cuales son necesarias para el desarrollo del proyecto, pero consumen recursos y no aportan valor al producto final. Los desperdicios en la construcción corresponden a transporte, esperas, defectos, pérdidas de material, re-trabajos e inspecciones [9]. Las principales causas que originan estas pérdidas son deficiencia en la planificación por incumplimiento, en la comunicación producto de fallas en el flujo de la información y en los procesos que son poco predecibles [11].

Uno de los principales problemas para implementar *Lean* en la construcción es la jerarquía de los contratos, los cambios que se requieren no pueden ser realizados solo en una de las organizaciones involucradas en el proyecto, sino que se requiere la colaboración conjunta de los participantes para que los conceptos *Lean* tengan un impacto sustancial en el desempeño del proyecto.

2.1.4. Filosofía *Lean* en la Minería

La filosofía *Lean Construction* es una de las metodologías que buscan mejorar la gestión de proyectos mineros, cuyos esfuerzos de implementación comenzaron a mediados de la década del 90 con el fin de enfrentar los desafíos de la minería y su necesidad por satisfacer al cliente mediante la reducción de costos, aumento en la productividad, mejora en la seguridad, entre otros [13].

La minería tiene gran incidencia en la industria de la construcción debido a la magnitud de las infraestructuras que se desarrollan. Es por esto que se hace relevante describir el contexto en el que se desenvuelve e identificar aspectos que distinguen a los proyectos de montaje industrial y que están presentes en la minería.

- Extensas y complicadas cadenas de suministros
- Gran número de actores involucrados con una alta interdependencia disciplinaria
- Construcciones dependen de las ventanas de mercado
- Múltiples cambios en el diseño
- Variaciones sobre la marcha de la definición de alcance
- Los proveedores de suministros optimizan su producción según restricciones internas por sobre las necesidades del proyecto
- Se debe competir con empresas de nivel internacional
- Locaciones geográficas remotas
- Ambientes frágiles y responsabilidad social
- Contexto de cero accidentes

Debido a las características antes mencionadas, la complejidad de la construcción en minería es mayor que en otras industrias, lo que hace que las prácticas tradicionales sean insuficientes producto de deficiencias en gestión y factores que afectan la estabilidad de los proyectos [14].

La literatura que ha realizado investigaciones sobre la aplicación del *Lean Construction* en minería ha identificado una serie de impactos directos que afectan de manera positiva los resultados de construcción, los que se detallan a continuación.

- Disminución de 32,9% de costos de producción y aumento de 43,6% de productividad en proyectos cuyo objetivo era la modificación de procesos a través del muestreo de trabajo [15]
- Reducción de un 95% la generación de polvo al implementar *Lean* en desarrollos mineros, lo que provocó un mejoramiento de calidad de vida al interior de la mina, una reducción del 37% de las pérdidas por esperas y un aumento del 17% en actividades que crean valor [15]
- Mediante la implementación de la metodología *Last Planner* en proyectos de montaje industrial en la minería, se han demostrado impactos significativos en el desempeño de indicadores de producción, en comparación a proyectos similares realizados por la misma compañía [16]
- Evidencia de una relación directa entre el aumento de confiabilidad del programa y la reducción de indicadores de plazos y costos [17]

Esto ha demostrado la aplicabilidad en el uso práctico de la filosofía *Lean* en su integración a la industria de la minería, provocado motivación por parte de otras compañías de incorporar esta metodología al observar los resultados que se han obtenido en otros proyectos. Sin embargo, cabe destacar que los impactos han sido en implementaciones aisladas en las empresas y no conllevan una transformación integral, ya que esta filosofía requiere de un cambio cultural de largo plazo que se refleja en la organización, la satisfacción del cliente y la forma de trabajar.

2.2. HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS

2.2.1. Formato de Reporte A3

Es una herramienta de gestión relacionada al *Lean* que permite tomar decisiones y resolver problemas a través de un informe con estructura estándar. Recibe su nombre porque la información debe ser resumida en una hoja de tamaño A3, lo que implica una profunda comprensión de la situación. El reporte debe tener los siguientes apartados:

- 1) **Descripción del problema:** definir el contexto y las problemáticas que se produjeron incluyendo en lo posible datos cuantificables
- 2) **Situación Actual:** identificar el proceso en el cual se presenta el problema, utilizando esquemas y diagramas que complementen la información
- 3) **Análisis de Causas:** reconocer las causas del problema, ilustrarlas de manera gráfica y concluir a partir de la información recolectada en los cinco “por qué”
- 4) **Situación Objetivo:** representar la situación ideal especificando el valor deseado de los indicadores utilizados en la situación actual
- 5) **Plan de Acción:** describir las medidas y acciones que se deben realizar para lograr la situación objetivo, detallando responsables, fechas, etc.
- 6) **Seguimiento:** controlar el estado de las acciones en todo momento y lo que se quiere lograr en cada una de ellas
- 7) **Resultados:** mostrar lo que se logró con el procedimiento y las lecciones aprendidas

2.2.2. Obeya Room

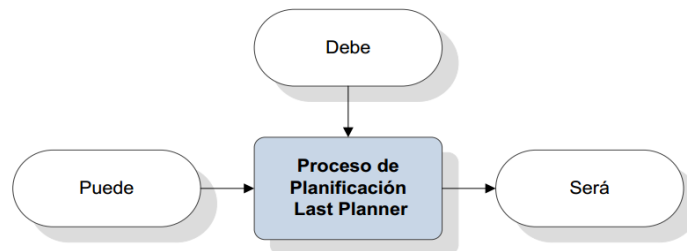
Es un método de gestión de proyectos que corresponde a una sala de trabajo que permite eliminar barreras de comunicación y hacer reuniones efectivas enfocándose en aquellos aspectos más importantes sobre los cuales se deban tomar decisiones en conjunto. Se utiliza material visual en las paredes para transparentar la información, incluyendo datos relevantes como la planificación del proyecto, indicadores del estado actual, mejoras obtenidas, estado de cumplimiento y nuevos compromisos [18].

2.2.3. Last Planner

El *Last Planner*, o Último Planificador, es un sistema de planificación y control de proyectos introducido por Ballard y Howell, fundadores del *Lean Construction Institute*, para estabilizar la producción y reducir la variabilidad, con el objetivo de mejorar el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos. De esta manera mide el grado en que los traspasos fueron efectuados según lo planeado y desarrolla un control proactivo permitiendo a los miembros de la organización detener el proceso ante defectos en la construcción e identificar problemas metódicamente antes que ellos ocurran [19].

Para reducir la variabilidad de la planificación, se identifican las actividades que es posible realizar, a partir de aquellas que deben ser ejecutadas (Ilustración 11). Se complementa con la idea del *pull planning*, donde una actividad no será realizada hasta que sea requerida o tirada por su sucesora. Paralelamente, se debe identificar y liberar las restricciones para aumentar el inventario de trabajo listo para desarrollar. Luego, el foco debe estar en generar una red de compromisos confiables de producción basado en las actividades libres de restricciones que posibilite el flujo de trabajo continuo.

Ilustración 11: Planificación Operacional



Fuente: G. Howell and G. Ballard, "Lean Production Theory: Moving Beyond "CanDo"," 1994

En la implementación de este sistema se proponen tres tipos de planificación, ordenadas jerárquicamente, donde los niveles más específicos utilizan los más generales como guía. El grado de detalle depende del período de tiempo al cual está relacionado.

- **Plan Maestro**

Programación general del proyecto, abarca desde su inicio hasta el fin y contiene los principales hitos, definiendo los plazos en la medida en que se necesitarán las actividades. En proyectos complejos se utilizan planificaciones de fases organizadas según etapas.

- **Planificación Intermedia**

Es un nivel intermedio de planificación y especifica las actividades necesarias para cumplir con los hitos del plan maestro, detalladas de acuerdo el método de tirar el trabajo. Todas las limitaciones que impiden la ejecución han sido identificadas previamente y las actividades se programan con el tiempo suficiente para poder eliminar las restricciones. Tiene un espacio temporal de 3 a 12 semanas y permite revisar la secuencia de actividades y balancear la carga y capacidad de trabajo. Luego se deben descomponer las actividades de forma más detallada hasta que queden a un nivel de asignación.

- **Planificación semanal**

Detalla todas las tareas que son necesarias realizar en la semana para cumplir con la planificación a partir del inventario de trabajo ejecutable. El último planificador es quien desarrolla la planificación semanal y asigna las tareas a cada persona, considera los objetivos de productividad y dotación de personal. En caso que la planificación deba retrasarse o el trabajo se termine antes de tiempo, se incluyen actividades que están listas para ser realizadas, pero no son requeridas según el proceso de “tirado”.

- **Planificación por fases**

Cuando el proyecto de construcción es de gran envergadura, se desarrolla una programación por fases más detallada que el plan maestro, que permita definir objetivos para cada una. Esta planificación debe contener el trabajo que puede ser realizado, un alcance definido, una correcta secuencia de actividades y en cantidades acordes a los recursos disponibles [20].

Medición de desempeño y causas de no cumplimiento

La confiabilidad de la planificación semanal se mide a partir de la comparación sistémica entre los compromisos establecidos y el trabajo ejecutado. Este se traduce al índice “Porcentaje de Planificación Completo” (PPC), que refleja la proporción de las actividades planificadas que han sido completadas en la práctica. Para aquellas labores que no lograron ser llevadas a cabo se deben analizar las causas de no cumplimiento y se deben tomar acciones para prevenir que vuelvan a ocurrir, de modo tal que permita aprendizaje y mejoramiento continuo.

3. CAPITULO III – METODOLOGÍA

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Investigar y seleccionar estrategias y herramientas de *Lean Construction* que se adapten al desarrollo del proyecto y las tasas de construcción, que ayuden a la productividad eliminando aquellos factores que no agregan valor.

3.2. ESTUDIO DE CASOS DE CONSTRUCCIÓN Y GESTIÓN

Recopilar metodologías de construcción aplicadas en la práctica, recogiendo aquellas que tuvieron resultados positivos y analizando los inconvenientes e interferencias.

3.3. ESTUDIO DE OPERACIONES UNITARIAS

Lograr un manejo necesario para comprender las operaciones unitarias y su interrelación en los desarrollos y frentes que deben ser coordinados y gestionados para obtener las tasas de construcción propuestas.

Lo anterior se complementa con visitas a las instalaciones de la Mina Chuquicamata Subterránea, con el objetivo de experimentar de manera práctica las condiciones laborales y la rutina que está instaurada en las localidades de Codelco, tanto para una mina en construcción como para los resultados que se han obtenido.

3.4. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

Analizar los posibles problemas que se puedan presentar en el desarrollo del contrato CC010 en la construcción de los subniveles de hundimiento y producción. La metodología para obtener la información estará basada en el contrato vigente al momento de desarrollar la memoria. Éste corresponde al CC005 – Facilidades Constructivas Mineras, adjudicado por la empresa Astaldi. Este contrato establece la construcción de Obras Interior Mina (OIM), que corresponden al desarrollo precursor de los contratos CC010 – Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y de Barrio Industrial Norte y CC013 – Desarrollos de Subniveles Inferiores y Transporte de Nivel 1 y Manero de Marinas, los cuales serán la continuación de dicho avance, por lo que el diagnóstico de OIM posee condiciones aplicables a los futuros desarrollos, ya que ambos consisten principalmente en el proceso de construcción de túneles, cuyas variables pueden ser controladas para disminuir los desvíos que se presentaron en el CC005.

Los instrumentos a utilizar para este análisis son entrevistas a distintos cargos que influyen en la toma de decisiones de operaciones, tanto de Codelco como de Astaldi, observación directa de las actividades que realiza el jefe de turno en la supervisión de las labores y revisión bibliográfica sobre los resultados obtenidos en el diagnóstico de la situación actual realizado por el DICTUC, una filial de la Escuela de Ingeniería UC.

3.5. MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL

Proponer un modelo de gestión operacional para la construcción de los niveles de hundimiento y producción, a través del diseño de un mapa de procesos de la construcción de túneles, identificando las principales variables que pueden afectar a cada actividad y que deben

ser controladas a través de indicadores de control, enmarcados en un sistema que permita gestionar las variabilidades e interferencias. Para la construcción de este mapa se considera el modelo de flujo de la filosofía *Lean*, incorporando actividades intermedias como posicionamiento de equipos, esperas, etc.

3.5.1. Identificación de Variables

Identificar las variables que afectan en el desarrollo del contrato CC005 y que constituyen un riesgo para la construcción de los subniveles de hundimiento y producción, estableciendo el impacto que pueden tener en la construcción.

Seleccionar aquellas variables críticas sobre las cuales se hace necesario establecer un mecanismo de control que disminuya las interferencias que conllevan.

3.5.2. Definición de Indicadores

Un indicador está estrechamente relacionado con la toma de decisiones en los procesos de planificación, debido a su capacidad para representar cuantitativamente una variable o relación de estas, que es verificable objetivamente. Se utiliza para registrar y procesar la información necesaria para medir los resultados de una intervención y valorar su desempeño en el logro de un determinado objetivo [21].

Los indicadores cumplen funciones tanto cuantitativas como cualitativas. La primera mide el estado de avance y la segunda introduce un componente valorativo al establecer afirmaciones de carácter calificativo. Además sirven para hacer seguimiento a una intervención, donde se crea un proceso continuo de generación de información sobre el progreso del proyecto, y su evaluación, donde se busca determinar la relación de causalidad entre los efectos en términos de eficiencia y eficacia, es decir, en el control de recursos y resultados.

Por las razones anteriores se definirán indicadores que recojan la información necesaria para controlar las variables críticas y tomar acciones sobre las variabilidades que se presenten.

3.5.3. Sistema de Control de Gestión

Desarrollar un sistema de control de gestión de dichas variables, que contenga herramientas para conseguir y procesar la información de los indicadores, responsables del manejo y análisis de la información y el mecanismo de acción para evitar la repetición de interferencias. En este punto se considera la incorporación de metodologías que complementan la filosofía *Lean* como el *Last Planner* y las reuniones estilo *Obeya*.

3.6. REDACCIÓN DE LA MEMORIA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Incorporar las investigaciones, análisis y trabajos desarrollados en el informe de la memoria, así como también obtener conclusiones a partir del trabajo realizado que puedan significar aprendizajes para la empresa, junto con recomendaciones que permitan incorporar la mejora continua en los proyectos para que el trabajo tenga un impacto real y asegure la productividad y eficiencia de deseadas.

4. CAPITULO IV – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE CASOS DE ESTUDIO

A través de la revisión bibliográfica de casos de estudio se ratifica la necesidad de complementar las prácticas tradicionales de gestión en la totalidad de la vida de los proyectos para complementar el control de los objetivos, aumentar la confiabilidad, reducir la variabilidad y lograr la productividad necesaria para el mejoramiento continuo que permite a la empresa mantenerse competitiva en la industria.

4.1. CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE

El instituto *Construction Industry* desarrolló un mapa a seguir para la implementación de *Lean* en proyectos de construcción en su publicación “*Roadmap for Lean Implementation at the Project Level*”, donde establece que esta filosofía no puede ser reducida a un listado de reglas o herramientas a seguir, sino que se trata de una forma de pensar y actuar que es compartida a través de toda la cadena de valor.

En la investigación se estudiaron 15 casos de implementación *Lean* en empresas de construcción⁸ de distintos tamaños y países. Si bien las industrias en las cuales se llevaron a cabo los proyectos, existen conceptos y características comunes a las implementaciones

Dentro de las principales herramientas de la filosofía *Lean* que fueron implementadas, las más frecuentes, y que son aplicables al PMCHS, son las siguientes

- Last Planner
- Value Stream Mapping
- 5S
- Simulación 3D
- Control Visual
- JIT

Del listado mencionado, el *Last Planner* es la metodología más utilizada por las empresas, la cual tuvo un efecto positivo en todos los casos implementados, aumentando el índice PPC, mejorando la productividad y disminuyendo los costos. Algunas implementaciones incluso lograron resultados bajo el presupuesto y los plazos establecidos en un principio.

Complementario a lo anterior, el *Value Stream Mapping* es muy útil en la implementación *Lean*, ya que sirve para mejorar el flujo de la producción, ayudando a identificar los desperdicios y diferenciar el trabajo según si agregan valor o no, lo que permite disminuir las actividades contributivas y eliminar aquellas que no lo son.

⁸ Empresas en estudio: Air Products, BAA/LOR, General Motors, Sutter Health, Westbroo006B, Boldt, GS Construction, Messer Construction, Walbridge Aldinger, BMW Constructors, Dee Cramer, Ilyang, Southland Industries, Burt Hill Architects & Engineers, Spancrete.

La herramienta 5S tiene utilidad en la construcción, ya que sirve para mantener el lugar de trabajo limpio y ordenado, mejorando la eficiencia del trabajador. Lo mismo ocurre en el caso de bodegas y talleres.

La Simulación 3D permite una representación visual de la construcción que ayuda a poner a prueba el diseño, estimando de manera más precisa los recursos y plazos necesarios para llevarlo a cabo. Esto disminuye el riesgo de cambios posteriores en el diseño.

El Control Visual muestra de manera gráfica resultados, indicadores, compromisos, etc., lo cual es efectivo para mantener el flujo de comunicación, hacer seguimiento y transparentar los procesos, comprender de mejor forma la situación actual y aclarar los requerimientos de las actividades.

La filosofía JIT evita la sobre producción y almacenaje innecesario, en este caso, de materiales, herramientas y piezas que aún no serán utilizadas. Favorece el flujo de la materia prima a la fabricación e instalación a un ritmo rápido y sin detenerse para llegar al sitio necesario en el último momento.

4.1.1. Dificultades en la Implementación

La principal dificultad que se presenta cuando una empresa comienza a implementar *Lean* está en el capital humano. Cambiar el statu quo de la organización, la mentalidad de los trabajadores y su forma de hacer las cosas requiere de un importante cambio de paradigma de alta complejidad.

Al momento de plantear esta filosofía, y de incorporar sus herramientas, las personas tienden a confundirse debido a que precisan tener competencias que no fueron enseñadas en su formación, lo que las hace más reacias al cambio. Esto ocurre especialmente cuando el cliente quiere incorporar al contratista a esta implementación, lo que hace necesario promover el *Lean* y ayudarlos a desarrollar las capacidades necesarias.

A lo anterior se suma el hecho que la filosofía *Lean* es una implementación continua y de largo plazo para que sea insertada en la cultura organizacional. Las personas, al no ver resultados inmediatos, se desmotivan y no comprenden el beneficio que puede aportar. Lo anterior hace necesario fijar objetivos e indicadores de corto plazo para ir monitoreando cómo va mejorando el desempeño a medida que se desarrollan las herramientas.

4.1.2. Factores de Éxito

Es importante que toda la compañía esté alineada bajo los mismos objetivos, la filosofía *Lean* debe ser una iniciativa que vaya desde la cima de la compañía hacia las divisiones menores y luego hacia los proyectos. En este proceso es crucial el liderazgo, debe haber personas que promuevan de manera constante la mejora continua, que incentiven a los trabajadores a incorporarla como cultura de la empresa y que los apoyen en el transcurso. Es un factor determinante en el éxito que pueda tener la implementación.

El entrenamiento a toda la empresa es otro factor relevante para el éxito en la gestión, no solo los líderes deben estar instruidos, sino que el conocimiento debe ser traspasado a toda la

línea operativa. Además, esta instrucción no debe ser aislada, sino que es un proceso continuo en el cual el aprendizaje debe ser constante.

También se debe incrementar las relaciones entre todos los participantes del proyecto, juntar administrativos con operarios en equipos multidisciplinarios en que participen personas de diseño con ingenieros en terreno y estos, a su vez, con los capataces. Lo anterior facilita la comprensión de los requerimientos y exigencias de las y ayuda a la promoción de la metodología.

La relación que se establece entre cliente y contratista debe ser de colaboración, si los trabajadores ayudan en el diseño, planificación y ejecución de las tareas su disposición a mejorar aumenta y los motiva a proponer nuevas soluciones. Para que lo anterior resulte, se debe establecer un plan de incentivos en que se compartan tanto los riesgos como las ganancias.

La información debe ser compartida en tiempo real, un buen canal de comunicación disminuye la necesidad de coordinación y eliminación de imprevistos.

Por último el proyecto debe ser una red de compromisos confiables en que la optimización debe ser en la totalidad del proceso y no para cada etapa por separado.

4.2. EUROTÚNEL

Eurotúnel es un túnel que cruza el canal de la Mancha y une por tierra Francia, ciudad de Coquelles, y Gran Bretaña, ciudad de Folkestone. Es el segundo más grande del mundo, superado por el Túnel Seikan de Indonesia, posee 50,5 kilómetros de distancia, de los cuales 39 son submarinos, y su recorrido tarda 35 minutos. La infraestructura consiste en 2 vías de tren de 9 metros de diámetro y un túnel más pequeño de 6 metros de diámetro para servicios y emergencias.

Esta gran obra arquitectónica, considerada una de las maravillas del mundo contemporáneo, comenzó su construcción en el año 1.987 con 4 mil trabajadores por cada país y 12 tuneladoras que fueron fabricadas especialmente para el proyecto con un costo de 15 millones de euros cada una. Fue financiado por empresas privadas bajo un presupuesto de 4.500 millones de euros. A una distancia entre 40 y 75 metros del nivel del mar, el gran desafío del proyecto era tener la precisión para ambos túneles se encontraran a mitad del camino con una desviación menor a 2,5 metros.

Una vez iniciada la construcción, comenzó una competencia por cuál país llegaba primero. Los rendimientos promedios alcanzados son de 800 metros/mes en el caso de Gran Bretaña y 700 metros/mes en Francia. Esta diferencia se origina en el tipo de maquinaria utilizada para la excavación.

Ambos túneles se encontraron exitosamente en 1991 a menos de 35 centímetros de distancia. Si bien el Eurotúnel es considerado una de las maravillas del mundo contemporáneo, su proceso de construcción no estuvo exento de polémicas y conflictos. Por deficiencias en seguridad, especialmente en el caso británico, se originó un incendio y tuvieron accidentes de inundaciones, que terminaron con 10 trabajadores fallecidos.

En cuanto a la administración, Eurotúnel es una sociedad concesionaria que financió la construcción a cambio de su explotación hasta el año 2052. El túnel sería construido bajo un

acuerdo de contrato de *target cost*, donde el empleador accedía a pagar al contratista el costo incurrido en el trabajo más un honorario acordado entre las partes. Si el contratista logra hacer el trabajo bajo el presupuesto se dividen el ahorro de manera igualitaria, si el costo se excede del presupuesto, el empleador paga el 70%. De esta manera el contratista está presionado a tener los costos bajo control.

Sin embargo, cada contratista tenía su propio sistema computarizado de control y asignación de recursos, enlazado a su sistema de orden y contabilidad. Cada uno lo utilizó para su participación en el proyecto y pasaron dos años y medio hasta que se pusieron de acuerdo. A esas alturas el control era absolutamente confuso y los costos sobrepasaban las proyecciones. El valor objetivo fue renegociado en 1989.

A lo anterior se suman conflictos provocados al introducir modificaciones en el proyecto, por falta de claridad en la descripción del trabajo, a raíz de la prisa con la que se había preparado la oferta. En ese caso el empleador pedía una ampliación de la descripción del trabajo y si no estaba conforme solicitaba modificaciones. Estas modificaciones eran vistas como cambios del contratista y el empleador tenía que emitir una orden de variación que generalmente implicaba un aumento en la suma global.

También se presentaron dificultades cuando el diseño del proyecto pasó por el parlamento, donde se introdujeron modificaciones de impacto ambiental y se creó la IGC, una comisión intergubernamental que velaba por el interés de ambos gobiernos y tenía la facultad para interferir en el diseño y metodología de trabajo.

Por su parte, para los prestamistas era importante que el dinero invertido en el avance del proyecto valía la pena, por lo que se creó una entidad que supervisara el trabajo en conjunto con la IGC, la cual fue denominada *Maître d'oeuvre*. Su misión era monitorear las actividades y hacer reportes trimestrales al gobierno y bancos sobre el progreso del trabajo, con el objetivo de tener imparcialidad entre empleador y contratista, pero se consideró la necesidad de proveer a Eurotúnel de asesoría técnica, para lo cual se crearon dos equipos independientes.

Finalmente, las obras fueron entregadas en 1994, un año después de lo estimado y con un costo de 15 mil millones de euros. La excavación pasó de 1.900 a 3.000 millones de euros, mientras que el principal desvío se produjo en la construcción de terminales, vías y trenes que dispararon el presupuesto.

A partir del estudio de este caso de construcción se puede identificar la necesidad de los proyectos de una planificación confiable, estandarización de procesos, visión unificada de construcción, incentivos correctos, equipos de trabajo experimentados y un control constante.

5. CAPITULO V – DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

En este capítulo se realiza un diagnóstico de problemas a partir de las experiencias adquiridas en el contrato CC005, que se utilizarán como base para generar y transmitir aprendizajes, así como también identificar aquellos aspectos o variables que es necesario controlar para disminuir el riesgo y aumentar el control de las implementaciones futuras.

5.1. CC010 – DESARROLLOS SUBNIVELES SUPERIORES EN MACROBLOQUES Y BARRIO INDUSTRIAL NORTE

El contrato CC010 – Desarrollos Subniveles Superiores en Macrobloques y Barrio Industrial Norte y CC013 – Desarrollos de Subniveles Inferiores y Transporte de Nivel 1 y Manero de Marinas serán desarrollados de forma simultánea y son los encargados de la construcción de las principales obras mineras del PMCHS.

En la propuesta y desarrollo del contrato CC010, la Gerencias del PMCHS estará a cargo de la Ingeniería de Detalle, mientras que el contratista será responsable del desarrollo y construcción de las obras mineras subterráneas especificadas en las bases técnicas (Tabla 3). Las obras comenzarán el segundo semestre del año 2016 y se extenderán por 54 meses, de los cuales 4 meses estarán destinado a la movilización, 48 meses para el desarrollo de las obras, y dos meses de desmovilización⁹.

Tabla 3: Obras Mineras Contrato CC010 Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y Barrio Industrial Norte

Tipo de Obra	Unidad	Total
Desarrollos Horizontales	M	62,547
Desarrollos Verticales	M	7,652
Punto de Extracción (PEX)	Un	120
Punto de Vaciado (PVAC)	Un	6
Montaje de Buzones	Un	5
Transporte de Marinas	Mt	3,64

Fuente: Bases Técnicas Contrato CC010 PMCHS, Codelco Chile

El alcance del contrato corresponde a un contrato de construcción, excavación y fortificación de obras mineras y puesta en servicios de buzones y extracción de marinas. Las obras mineras están asociadas a los subniveles de hundimiento y producción de los Macro Bloques iniciales de la explotación de la futura mina y Barrio Industrial Norte del Nivel 1. Posee nueve hitos internos que se detallan a continuación (Tabla 4)¹⁰.

⁹ En el ANEXO 2 y ANEXO 3 se muestran los planos asociados a la construcción de los subniveles de producción y hundimiento de la futura mina Chuquicamata Subterránea, respectivamente

¹⁰ En el ANEXO 4 y ANEXO 5 se muestra el programa de desarrollos horizontales y verticales, respectivamente, para el contrato CC010 y CC013.

Tabla 4: Hitos Contrato CC0010 Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y Barrio Industrial Norte

N°	Hito CC010	Meses corridos desde inicio de obras
1	Avance de 3.400 m de Desarrollos Horizontales	6
2	Avance de 10.500 m de Desarrollos Horizontales	12
3	Término de Desarrollos (Producción) MB-N01 y S01	19
4	Término de Desarrollos (Producción) MB-N42	28
5	Término de Desarrollos (Hundimiento) MB-N01 y S01	19
6	Término de Desarrollos (Hundimiento) MB-N42	29
7	Término de Desarrollos Barrio Industrial Norte	22
8	Término Construcción PEX y PVAC en Subnivel de Producción MB-N01 y S01	19
9	Término Construcción PEX y PVAC en Subnivel de Producción MB-N42	28

Fuente: Bases Técnicas Contrato CC010 PMCHS, Codelco Chile

5.1.1. Situación de Contratos

Para la construcción del PMCHS se creó una serie de contratos, donde es importante considerar que serán ejecutados en un entorno dinámico, por cuanto habrá presencia de contratistas de obras mineras, servicios, suministros y obras de montaje.

En el área de operaciones subterráneas y sus accesos en superficie, se espera que existan interferencias con personal, equipos y faenas de otras empresas contratistas que se encontrarán realizando desarrollos y construcción de obras subterráneas asociadas a los contratos que se detallan a continuación:

Contratos de Facilidades Constructivas

- **CC010B:** Sistema de Radiocomunicaciones Subterráneo y Sistemas de Apoyo a la Operación
- **CC010C:** Sistemas de Apoyo a la Construcción, específicamente la habilitación de los sistemas de detección de presencia, de detección de incendios, de circuito cerrado de televisión e intercomunicadores de emergencia.
- **CC102:** Operación y Mantenimiento Redes de Agua – Construcción Mina
- **CC027A:** Operación y Mantenimiento Eléctrico – Construcción Mina

Contratos de Obras Mineras

- **CC011:** Construcción de obras civiles y de preparación minera, en subniveles de hundimiento y producción
- **CC013:** Desarrollos de Subniveles Inferiores y Transporte de Nivel 1 y Manero de Marinas
- **CC010:** Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y de Barrio Industrial Norte

Contratos de Montajes

- **CC023B:** OOC y Montaje Sistema de Transporte Principal
- **CC024B:** Obras Civiles y Montaje de Salas de Chancado y Sistema de Correas Interior Mina
- **CC024C:** Ingeniería, Suministro, Puesta en Marcha Equipos Principales de Producción (Camiones LHD y Martillos)
- **CC015:** Ingeniería, Suministro, Obras Civiles y Habilitación Barrio Industrial Norte y de Chancado

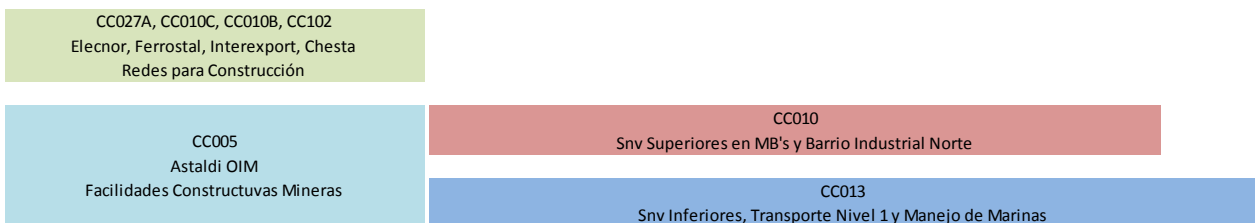
Contratos de Servicios

- Alimentación, Mantenimiento de Extintores, Suministro de Hormigón y Shotcrete, Suministro de Explosivos, Suministro de Combustible, entre otros, de menor incidencia

En el contexto del desarrollo de la memoria, el proyecto se encuentra en la etapa de Construcción y Montaje, particularmente las Obras Interior Mina a cargo la empresa contratista principal, Astaldi, bajo el contrato CC005 - Facilidades Constructivas Mineras, además de los contratos de Facilidades Constructivas.

La siguiente fase de construcción de Obras Mineras corresponde al desarrollo de los contratos CC010 Desarrollos Subniveles Superiores en Macro Bloques y de Barrio Industrial Norte y el CC013 Desarrollos de Subniveles Inferiores y Transporte de Nivel 1 y Manero de Marinas, los cuales en el período de desarrollo del trabajo se encuentran en la etapa de licitación (Ilustración 12).

Ilustración 12: Situación de los Principales Contratos PMCHS



Fuente: Documento de Trabajo, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

El contrato CC013 considera la ejecución de obras mineras como alcance principal de su contrato, por lo que serán intensivos en el uso de explosivos en el desarrollo de sus actividades. Esto activa un procedimiento de aislación de área mediante la evacuación de zonas afectadas por vibraciones, que es informado al inicio de cada turno. Generalmente las tronaduras se realizan al final de cada turno, pero también podrán ser llevadas a cabo en otros horarios de acuerdo a la planificación del contrato respectivo. De aquí surge la necesidad de coordinación entre las administraciones de cada contrato, en conjunto con la Vicepresidencia de Proyecto.

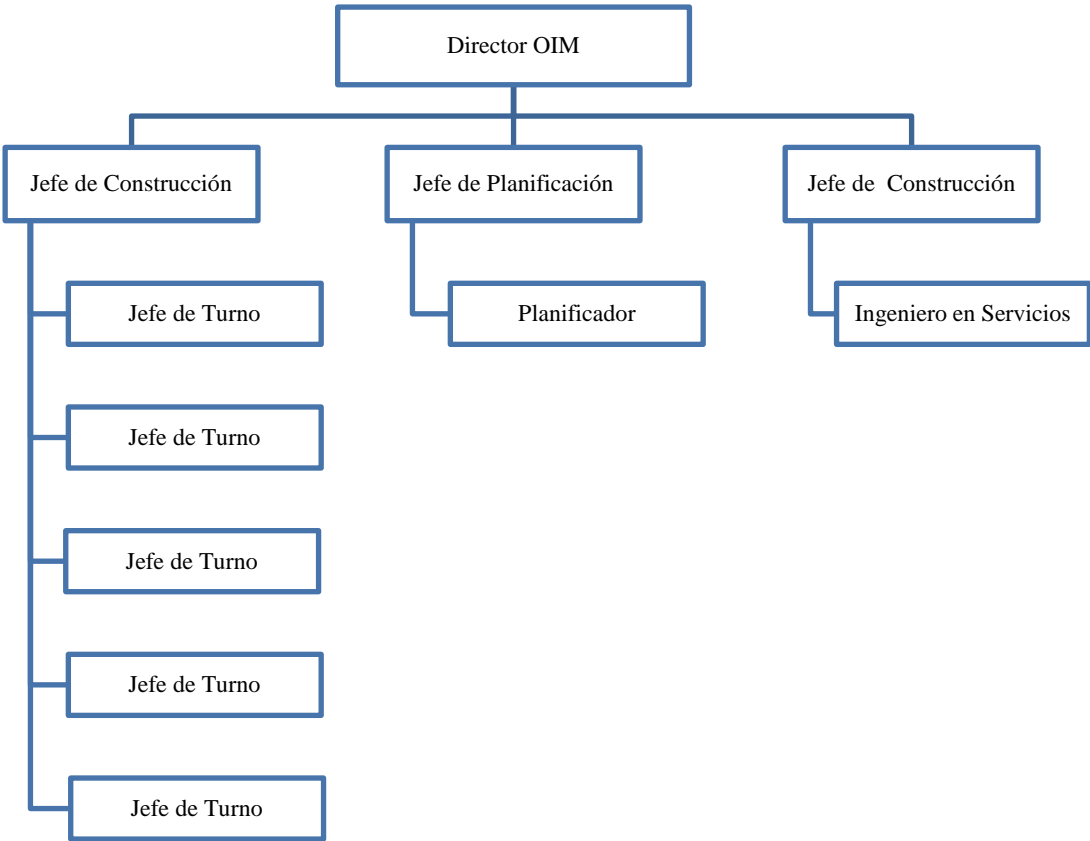
Además, existen restricciones operacionales impuestas por la explotación del rajo mina Chuquicamata, las cuales deberán ser informadas para capacitar a los trabajadores de acuerdo a las normas y procedimientos de contingencia vigentes. Dentro de las interferencias con el rajo se

consideran la acreditación para el ingreso, tronaduras, tráfico, restricciones al interior de la mina producto de las vibraciones, control de estabilidad de taludes que puedan interferir en el tránsito de equipos y personal, y restricciones en el uso normal de las rutas de transporte de marina hacia el interior del rajo.

5.2. DIAGNÓSTICO ACTUAL OIM

La dirección a cargo de la construcción en el período de desarrollo de este trabajo es la de Obras Interior Mina (OIM) (Ilustración 13), quien debe velar por el cumplimiento del programa y otorgar a los contratistas la infraestructura necesaria para su correcto desempeño. El contrato vigente corresponde al CC005 – Facilidades Constructivas Mineras, cuya principal función es la construcción de túneles, al igual que el contrato al cual está dirigido este trabajo. Es por eso que al realizar un diagnóstico actual de OIM, se podrá tener un precedente de aquellos problemas que se puedan presentar a futuro y definir un sistema de control sobre las variables que puedan tener un mayor impacto.

Ilustración 13: Organigrama Dirección OIM



Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Codelco Chile

El plan de construcción tiene un avance del 22%, con un retraso en el plazo de 3 a 4 meses y sobrecostos del 25%, sin embargo, cabe destacar que el hito más importante, correspondiente al inicio de socavación, está dentro de los plazos. El principal indicador de desarrollo son los metros que se avanzan al mes. Dada la magnitud y exigencias de la situación del proyecto, y gracias a reestructuraciones organizacionales para una mejor gestión, se ha

alcanzado aumentar el rendimiento de 400-500 metros/mes que se llevaban a cabo en el mes de junio, a 800-850 metros/mes que se han llevado a cabo entre octubre y diciembre de 2015. No obstante, la dotación de recursos y la capacidad de construcción no han aumentado de manera proporcional, lo que ha presentado problemáticas que afectan a la condición de operación de la Mina, junto a otras deficiencias que han perjudicado el desempeño y pueden afectar el rendimiento de contratos futuros.

Con el objetivo de mantener su liderazgo y competitividad en el mercado, la VP de Proyectos de Codelco ha buscado formas de mejorar la productividad a través de distintas opciones. En varias de ellas ha comenzado a incorporar metodologías *Lean* como un interés a nivel gerencial.

Uno de estos proyectos es Sello Codelco, que está llevando a cabo la implementación de salas *Obeya* con el propósito de mejorar el control y coordinación de compromisos. En el caso del PMCHS, esto ha sido realizado con gran aceptación por parte de los involucrados.

Además, se ha realizado un estudio del funcionamiento de OIM, para obtener un retrato de la situación actual, sus principales dificultades y causas, con el objetivo de poder reaccionar e introducir mejoras a través de la filosofía *Lean*.

DICTUC desarrolló un diagnóstico de la etapa actual en OIM y Túnel de Transporte. Para efectos de la memoria, solo se considerará el primer caso para futuros desarrollos mineros del contrato CC010, ya que corresponden a las obras antecesoras que continuará el futuro contrato y sus operaciones serán similares.

El objetivo del estudio es establecer la línea base de productividad, identificar las principales causas y reunir información cuantitativa que permita establecer un diseño estratégico sustentable que considere la cultura de ejecución del contratista, la cultura de desarrollo de Codelco y la experiencia internacional.

Se midieron turnos tanto de día como de noche en los desarrollos de las Rampas 1, 6 y 7, las cuadrillas tipo evaluadas están compuestas por 6 personas con un total de 7 cuadrillas y las observaciones fueron realizadas entre el 16 de junio de 2015 hasta el 12 de septiembre de 2015, obteniendo un total de 86 muestras.

5.2.1. Ciclo de Turno

Corresponde a la identificación y medición de las etapas que se llevan a cabo en el ciclo de turno, para su posterior análisis de comportamiento y variabilidad.

En el caso de OIM, el ciclo de trabajo posee las siguientes actividades:

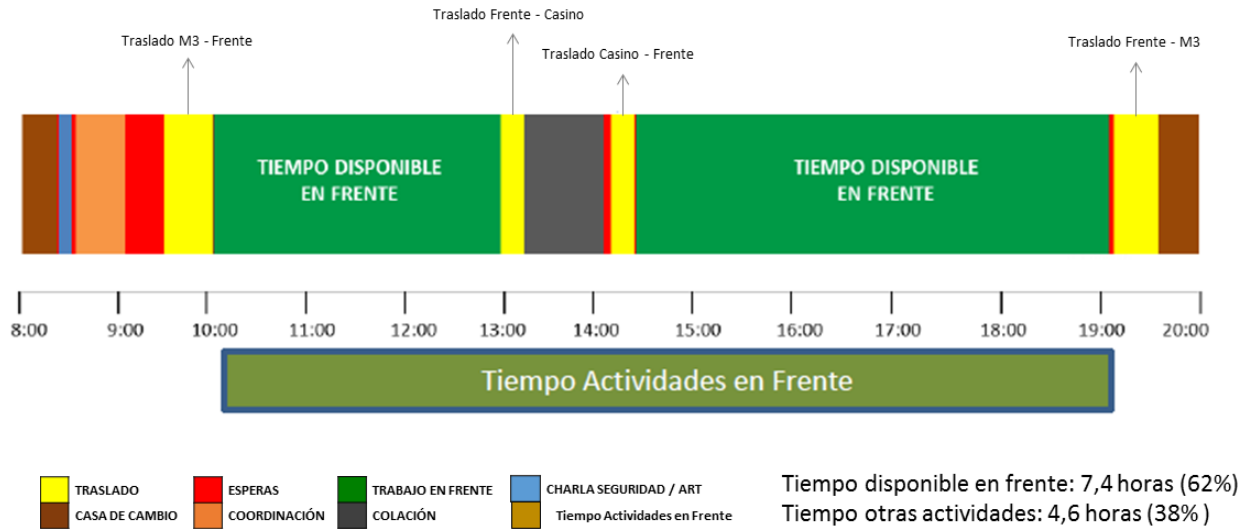
- **Casa de Cambio Inicio de Turno:** los trabajadores tienen un sector y tiempo determinado al inicio del turno donde se visten y preparan para la rutina
- **Charla de seguridad:** consiste en una charla que se realiza todos los días para reforzar las medidas de seguridad para minimizar los riesgos de accidentes
- **Reunión de Coordinación Inicio de Turno (POD):** contempla la revisión de los frentes que tendrán actividad en el turno, asignación de las cuadrillas a dichos

frentes y planificación de los equipos que se utilizarán. Junto con esto se revisan temas de seguridad, estado de servicios dentro de la mina, etc.

- **Traslado M3 – Frente:** los trabajadores son trasladados en minibús desde las instalaciones de M3¹¹ al frente de trabajo en el cual comenzarán sus labores
- **Transporte Frente – Comedor:** los trabajadores son trasladados desde el frente actual de trabajo al comedor, instalado en el interior de la mina
- **Colación:** la hora de colación es variable y se decide entre el capataz y la cuadrilla según las actividades que se realizarán, la cuadrilla se divide en dos grupos para no detener las labores y se aprovechan aquellas que no requieren la participación de la cuadrilla completa
- **Transporte Comedor – Frente:** los trabajadores son trasladados de vuelta al frente de trabajo
- **Transporte Frente – M3:** los trabajadores son trasladados desde el frente de trabajo a las instalaciones M3 una vez que finalizan las labores del turno
- **Casa de Cambio Fin de Turno:** los trabajadores se preparan para volver al campamento. La salida del bus es a las 20:00 horas, independiente de la hora en que hayan salido de la mina

En las mediciones realizadas se observa que, de las 12 horas que tiene un turno, el tiempo disponible en la frente alcanza un 62% del ciclo, mientras que el 38% restante es dedicado a las actividades mencionadas con anterioridad (Ilustración 14).

Ilustración 14: Ciclo de Turno Tipo – OIM



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

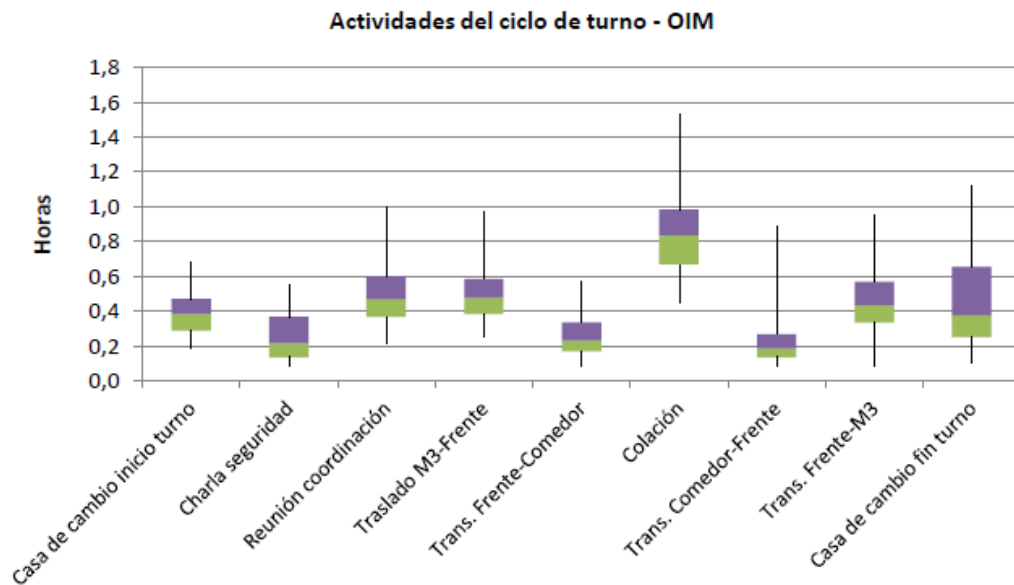
¹¹ El M3 corresponde a las oficinas en la superficie del rajo de las instalaciones del PMCHS.

Los tiempos promedio disponibles en frente son de 2,93 horas antes de colación y 4,54 horas después de colación. Al desagregar los datos por turnos de día y noche y por rampa observada, la distribución del tiempo, las esperas y la variabilidad son similares, lo que indica que los resultados son consistentes.

El detalle de duración y variabilidad de las labores, sin considerar el tiempo disponible en frente, está representado en un diagrama de caja (Ilustración 15) que identifica valores mínimos y máximos, así como también el valor del 25%, 50% y 75% de la muestra.

Las actividades que poseen mayor variabilidad en el ciclo corresponden a casa de cambio fin de turno, colación, reunión de coordinación y traslados. En el primer caso, el tiempo depende de la hora en la que terminan las labores, el segundo de la cuadrilla, ya que calculan el tiempo restante antes que salga el bus a las 20:00 horas, el tercero de la profundidad con que son tratados los temas y el último se produce porque el minibús traslada a trabajadores de distintos frentes, por lo que las rutas no son siempre iguales. Cabe mencionar que la variabilidad de los datos entre el 25% y 75% de las observaciones es menor a 30 minutos para cada actividad.

Ilustración 15: Actividades en Ciclo de Turno OIM



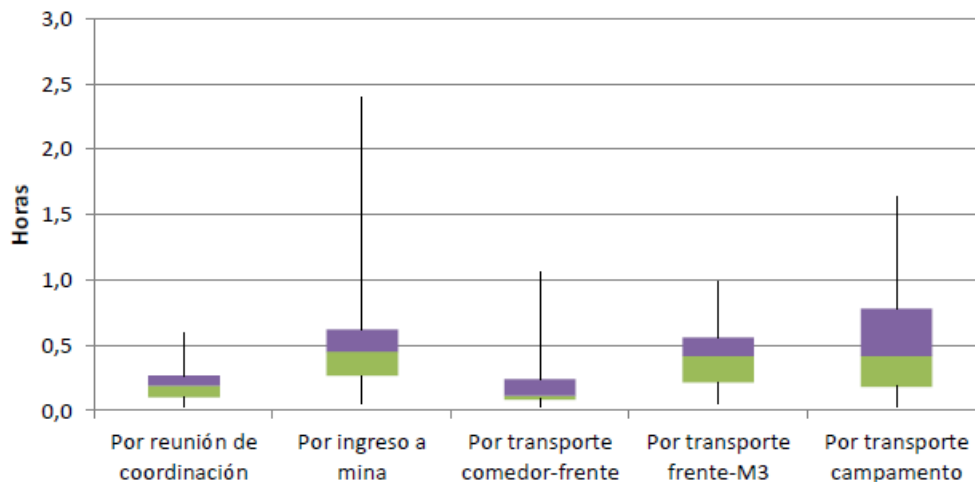
Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

En el caso de las esperas, aquellas que poseen mayor duración coinciden con ser las de mayor variabilidad (Ilustración 16). Éstas corresponden a las esperas por el transporte al campamento y el ingreso a la mina. La espera del transporte desde el frente al comedor no se considera, ya que los trabajadores dejan sus labores una vez que llega el minibús.

Para la espera por transporte desde el M3 al campamento, se considera el tiempo desde que los trabajadores salen de la casa de cambio y el bus comienza a moverse, la variabilidad se puede explicar por las diferencias de horarios en que los trabajadores salen de la mina.

Las esperas por el ingreso a la mina se puede explicar por dos motivos, uno es el tiempo que se utiliza en hacer la fila para entregar la credencial en el pentágono¹² antes de ingreso y la espera de la llegada del minibús que los traslada al frente de trabajo, mientras que el otro motivo puede generar retrasos en el inicio de las labores producto de actividades que no han sido completadas en el frente de trabajo y que impiden tener las condiciones necesarias para el ingreso a la mina.

Ilustración 16: Principales Esperas en Ciclo de Turno OIM



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

5.2.2. Ciclo de Frente

El ciclo de frente está relacionado netamente al avance físico. Para analizar los resultados es necesario identificar las actividades que se llevan a cabo en la construcción de túneles mineros y que se desarrollan en el tiempo disponible en frente.

- **Topografía:** se estudia la calidad de la roca, se especifica la clase y tipo de fortificación que será necesario llevar a cabo
- **Perforación:** se perfora el frente de manera horizontal para generar cavidades en las cuales serán alojadas las cargas explosivas. El equipo utilizado es el *jumbo*
- **Carguío Explosivo:** Se introducen explosivos en las cavidades perforadas y se produce la tronadura, donde se libera energía que permite fragmentar y desplazar la roca. Para esta actividad es necesario evacuar la zona y posteriormente ventilar para eliminar el humo, polvo y vapores nocivos
- **Retiro de Marina:** La roca fragmentada, que contiene mineral y material estéril, debe ser transportada a un banco ubicado al exterior de la mina. Para el retiro de marina se cuenta con palas cargadores *scoop*, que traslada la marina desde el

¹² El pentágono corresponde a la oficina que administra el ingreso y salida del personal a la mina, maneja la información de la planificación diaria de las operaciones, como tronaduras, rutas, trabajos de servicios, etc. y lleva un registro de los eventos ocurridos.

frente de trabajo hasta un punto de acopio o piques de vaciado. Luego la marina es traspasada a camiones para ser transportada al exterior.

Luego, se realiza el proceso de acuñadura y fortificación, en el cual se refuerza el entorno con elementos de soporte, para evitar derrumbes y proteger a los trabajadores.

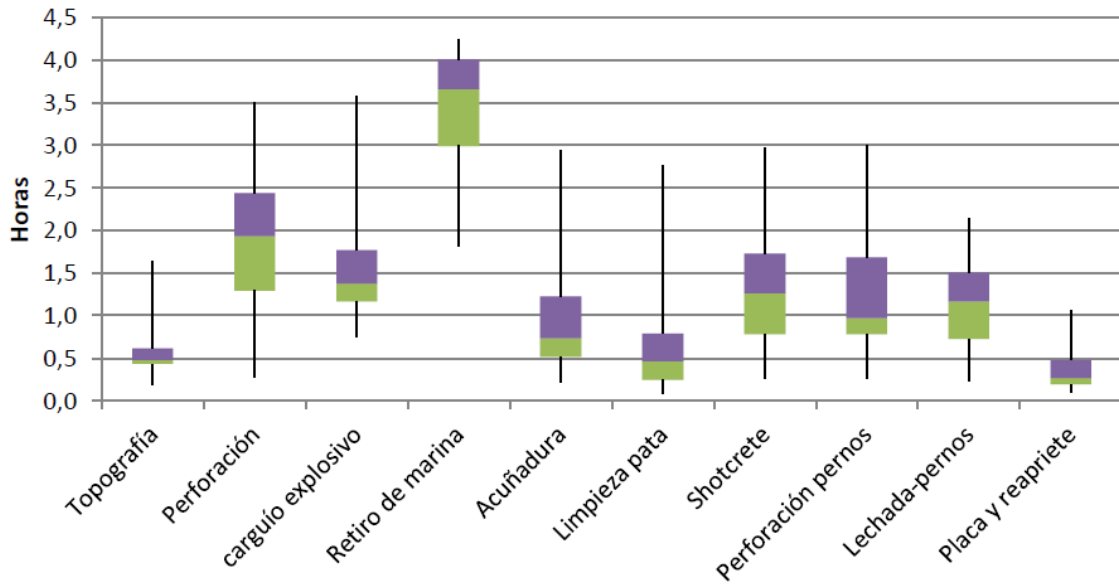
- **Acuñadura:** proceso en el cual se detecta y derriba de manera controlada las rocas de zonas agrietadas que quedan inestables tras la tronadura. Esta actividad es obligatoria y se realiza para evitar accidentes por derrumbe
- **Limpieza Pata:** la pata corresponde a la sección entre el suelo y el frente del túnel, ésta debe ser limpiada luego de la proyección de shotcrete para no interferir en las operaciones siguientes
- **Shotcrete:** se proyecta hormigón sobre las paredes del túnel, usando una manguera impulsada con aire comprimido. Como la superficie es impactada por el hormigón a alta velocidad, la mezcla se compacta y se sostiene sin escurrir. El equipo utilizado para el traslado del shotcrete son los camiones *mixer* de bajo perfil. Este se conecta al *roboshot*, que es un equipo mecanizado que proyecta el shotcrete que impulsa el hormigón.
- **Perforación de Pernos:** se realizan perforaciones verticales para formar cavidades donde se introducirán pernos que fortificarán el túnel. El equipo utilizado es el *jumbo*.
- **Lechada Pernos:** se introduce cemento en las cavidades perforadas para adherir el perno a la roca. En esta actividad se utiliza el equipo de levante
- **Placa y Reapriete:** en caso de ser necesario, se coloca una malla que refuerza las paredes del túnel y posteriormente se vuelve a proyectar *shotcrete*

Las mediciones consideran las operaciones unitarias desarrolladas en el tiempo de trabajo disponible en el frente, registrando su duración y logística asociada, así como también esperas y actividades que no corresponden al ciclo

Las actividades que más toman tiempo en ser realizadas son el retiro de marina, perforación de frente y carguío de explosivos. Se observa que, en general, estas labores presentan alta variabilidad, entre 1 y 3 horas, dentro de las que destacan perforación de frente, acuñadura, shotcrete y perforación de pernos (Ilustración 17).

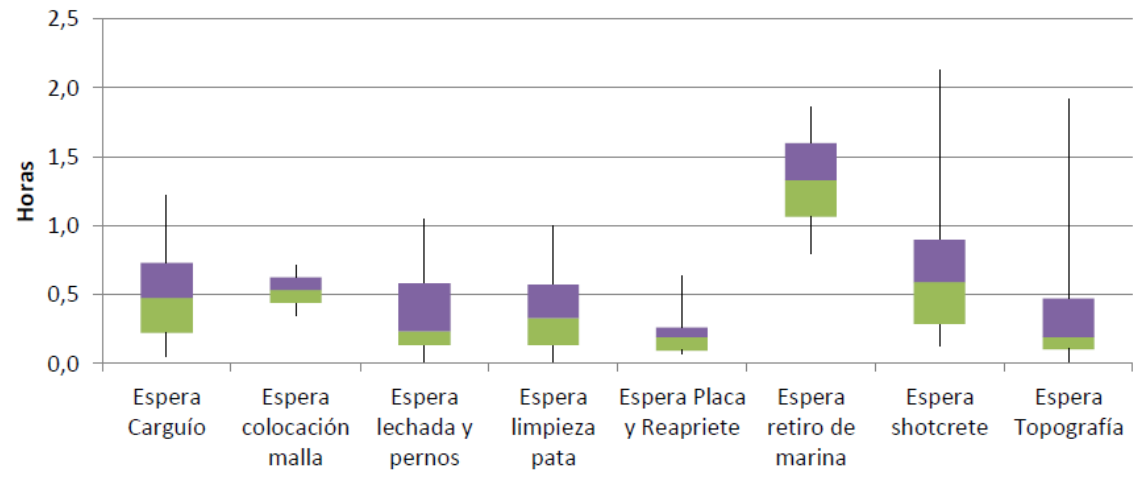
Las esperas ocurridas en el frente de trabajo se deben principalmente a las actividades de colocación de shotcrete, retiro de marina, y carguío de explosivos (Ilustración 18). Estas esperas tienen relación con la falta de disponibilidad de equipos, que se analiza más adelante.

Ilustración 17: Actividades del Ciclo de Frente



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

Ilustración 18: Esperas del Ciclo de Frente



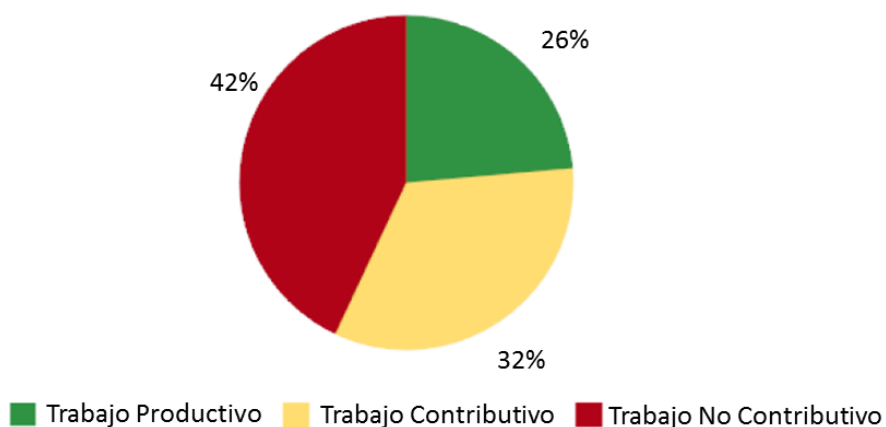
Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

5.2.3. Muestreo de Trabajo

Categoriza las actividades que realizan los integrantes de la cuadrilla en el frente de trabajo en labores productivas, contributivas y no contributivas. El tipo de valor que aporta cada actividad se define de acuerdo a los principios de la metodología *Lean*, revisada en el marco conceptual de este trabajo. Cada turno observado posee al menos 385 muestras, obteniendo un total de 34.844 datos lo que permite afirmar un 95% de confiabilidad. Cada actividad a realizar en el ciclo de frente puede contener distintos tipos de trabajo, de acuerdo a las características y requerimientos de la labor¹³.

Como resultado se obtuvo que el 26% del tiempo la cuadrilla está realizando trabajos productivos, un 32% en labores contributivas y un 42% en tareas no contributivas (Ilustración 19). Aquellas que no generan valor son las que presentan mayor variabilidad, la que puede deberse al uso de mano de obra en actividades que dependen de un recurso clave como maquinarias o equipos. En este caso, el operador de equipo es el que realiza el trabajo que genera valor, mientras que el resto de la cuadrilla desarrolla labores de soporte o no contributivas.

Ilustración 19: Muestreo del Trabajo PMCHS – OIM



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

5.2.4. Encuestas de Detención

Identifica las causas de detenciones más frecuentes ocurridas en el tiempo de trabajo en el frente, detallando el motivo y Horas Hombre (HH) involucradas.

Se obtuvo una muestra estimada de 3.870 HH disponibles y se realizaron 70 encuestas, de las cuales se pudo obtener 110 observaciones. A partir de lo anterior las pérdidas originadas en esperas corresponden a 477,2 HH, que representan un 12,3% del total de tiempo disponible en frente (Tabla 5).

¹³ En el AENXO 6 se encuentra el detalle de trabajos necesarios para cada actividad y su clasificación de acuerdo a si aporta valor al producto final.

Tabla 5: Identificación de Horas Hombre Perdidas por Esperas

Categorías generales	HH registradas	Porcentaje (%)
Esperando por servicios	126,9	26,6
Esperando por Equipos	98,5	20,6
Espera por falla Eléctrica	93,6	19,6
Esperando por materiales	77,6	16,3
Esperando por falla de Equipo	48,1	10,1
Espera por disponibilidad de frente	10,7	2,2
Espera por chequeo de gases	9,3	1,9
Esperando por información	8,5	1,8
Espera por Topografía	4,1	1
Total	477,2	100

Fuente: Servicios de Mejora de Productividad en Proyectos –PMCHS, DICTUC

Utilizando el Principio de Pareto, se profundizó en las esperas que representan más del 80% de HH perdidas, las cuales corresponden a esperas por servicio, disponibilidad de equipos, falla eléctrica y materiales. Cabe desatacar que en algunas ocasiones el origen de las esperas es puntual y la frecuencia en la que se presenta es baja, pero provoca grandes esperas que terminaron siendo significativas en los resultados (Ilustración 20).

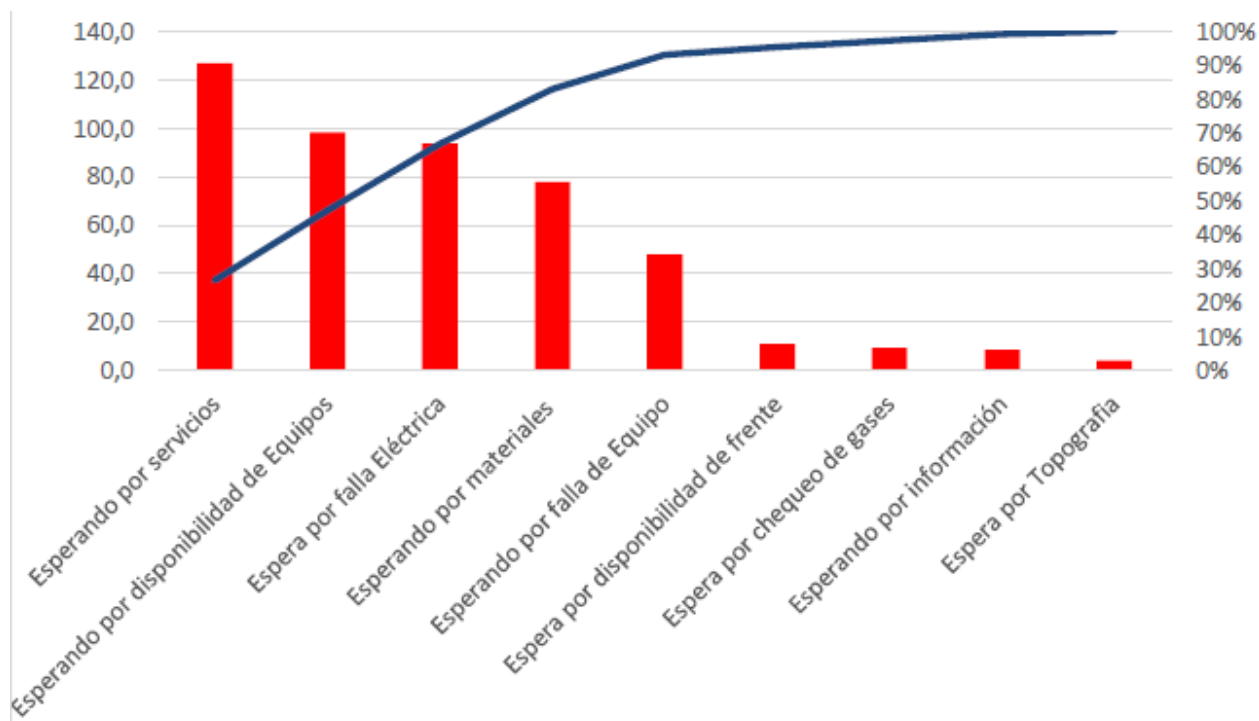
5.2.5. Resumen

En resumen, del diagnóstico de la situación actual de OIM se obtuvo que, en un turno de 12 horas de trabajo en OIM, se estima que el tiempo disponible en el frente asciende a 62%, mientras que el 38% restante es dedicado a otras actividades que introducen variabilidad principalmente en la colación, casa de cambio al final de turno, reunión de coordinación y traslados. Las esperas más importantes se originan al ingreso a la mina y previo al transporte hacia el campamento.

De las 7,4 horas de tiempo disponible en frente, un 26% corresponde a trabajo productivo, un 32% trabajo contributivo y un 42% a trabajo no contributivo, donde las actividades que toman más tiempo en ser realizadas corresponden al retiro de marina, perforación de frente y carguío de explosivos. Aquellas que conllevan mayor variabilidad son acuñadura, shotcrete y perforación de pernos. Las esperas más importantes tienen relación con las actividades de retiro de marina, colocación de shotcrete y perforación de frente.

De las encuestas de detenciones se obtuvo que las esperas se originan esencialmente por problemas con los servicios, equipos, fallas eléctricas y materiales.

Ilustración 20: Distribución de Pérdidas Encuesta de Detenciones OIM



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

5.3. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

Para el diagnóstico de problemas se consideran las principales esperas que originan más del 80% de pérdidas. Éstas corresponden a esperas por servicios, disponibilidad de equipos, falla eléctrica y por materiales. El DICTUC formó equipos en OIM para desarrollar un plan de mejoramiento con cuatro iniciativas que aborden estas temáticas.

Por otro lado, la dirección de OIM definió tres lineamientos de los que es necesario hacerse cargo, estos son disponibilidad de equipos, acumulación de marina y ventilación. El primero coincide con los resultados del DICTUC, que ha sido una interferencia constante para las operaciones. El segundo se presentó posterior a las mediciones realizadas, producto del crecimiento del avance sin una limpieza adecuada de los frentes. El último es un factor que se debe mitigar, ya que si no se tiene la infraestructura necesaria presenta un riesgo para los futuros contratos.

El último problema seleccionado está asociado a la planificación y se considera un aspecto crucial de acuerdo a la filosofía *Lean* y constituye un factor determinante en el éxito de los proyectos, puesto que es un elemento transversal en la gestión y administración que incide directamente en los resultados.

A continuación se detalla cada uno de estos con los impactos e interferencias que generan.

5.3.1. Espera por Servicios

Las esperas por servicios representan el 26,6% de las mediciones y se originan por problemas en el suministro de agua, aire comprimido explosivos, problemas eléctricos asociados al frente de trabajo (iluminación y caja eléctrica), drenaje y ventilación (Ilustración 21).

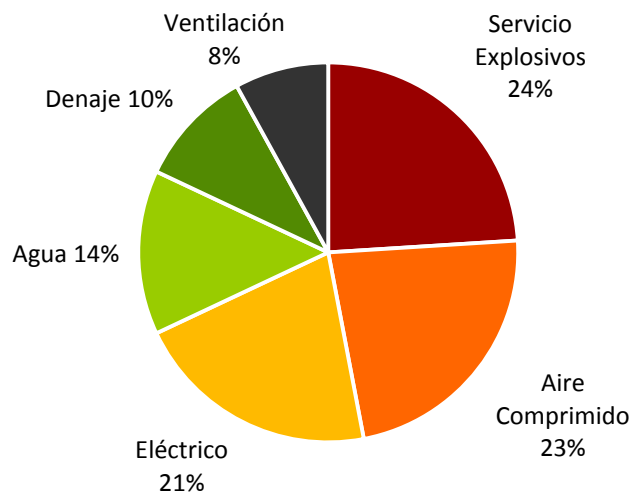
La principal causa se debe a la espera de la llegada de la camioneta que abastece de explosivos al frente de trabajo, estos cuentan como servicios debido a que se encuentra subcontratado en el proyecto.

El aire comprimido es fundamental para el funcionamiento de equipos como el jumbo y *roboshot*. Corresponde al segundo impacto en pérdidas por servicios, sin embargo, cabe mencionar que su frecuencia es baja pero tiene una alta repercusión temporal.

Los servicios eléctricos son aquellos relacionados directamente con el frente de trabajo, específicamente iluminación, que origina el 46% de los problemas, y la caja eléctrica del jumbo, que provoca el 54% de las esperas.

Actualmente, los servicios en el frente de trabajo, están a cargo del contratista Astaldi. Las principales problemáticas que se originan a partir de esto es la imposibilidad para que las labores fluyan, ya que en ocasiones los servicios están ubicados muy lejos del frente, no existe una planificación acorde a los desarrollos de avance exigidos y se prioriza el desarrollo físico por sobre el de los servicios, lo que implica que no quede tiempo para trabajar de manera adecuada en ellos.

Ilustración 21: Esperas por Servicios (26,6%)



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

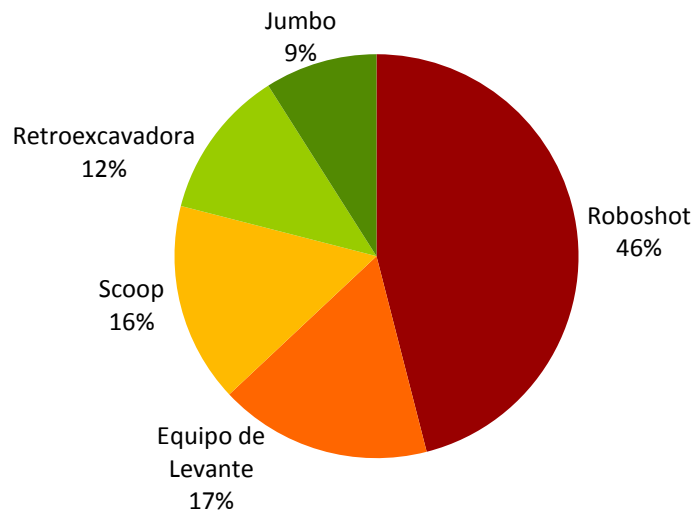
5.3.2. Espera por Disponibilidad de Equipos

Estas pérdidas corresponden al 20,6% de la muestra y se originan cuando al momento de comenzar las labores en el frente el equipo no está disponible (Ilustración 22).

La ausencia del *roboshot* impide la proyección de hormigón, los equipos de levante afectan la colocación de pernos, planchas y reapriete de pernos. El *scoop*, o *LHD* impiden la limpieza del frente de trabajo. El *jumbo* presenta retrasos en su llegada debido a que tiene que tener dificultad de movimiento o debe recorrer distancias desde otros frentes.

La disponibilidad de equipos en la construcción de OIM ha sido un tema relevante, principalmente por la confiabilidad de estos. No existe un programa efectivo de mantenimiento preventivo, calidad de personal y de repuestos. La rigurosidad de este tema es deficiente y en muchas ocasiones las características de los equipos no es la que se exigió en un principio.

Ilustración 22: Espera por Disponibilidad de Equipos (20,6%)



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

Dado que la inversión no puede ser realizada antes de la adjudicación del contrato, el contratista utiliza equipos puente mientras se espera la llegada de los equipos solicitados. Sin embargo, una vez que se tiene la dotación, los equipos puente siguen siendo utilizados para tener mayor capacidad. El problema es que estos equipos fallan con mayor frecuencia y conllevan a retrasos y esperas.

La duración de este tipo de contratos es de mediano plazo, por lo que las inversiones no pueden ser muy altas. Esto implica que los camiones que posee Astaldi ya están por sobre las 5 mil o 10 mil horas de trabajo y no se tiene la posibilidad de hacer un reacondicionamiento del equipo. Esto disminuye su confiabilidad y aumenta la frecuencia de fallas.

La situación se agrava al considerar las condiciones ambientales a la que están expuestos los equipos. La mina está sometida a altas temperaturas, lo que empeora con los problemas de ventilación, provocando la disminución en la vida útil de los mismos.

La disponibilidad que se exige por contrato es del 74%. Si bien con la llegada de algunos equipos mejoró alcanzando un 70%, se debe considerar que si un equipo falla antes que termine el turno se corre el riesgo de no poder hacer el disparo, lo que es un efecto mucho más perjudicial de lo que refleja este indicador.

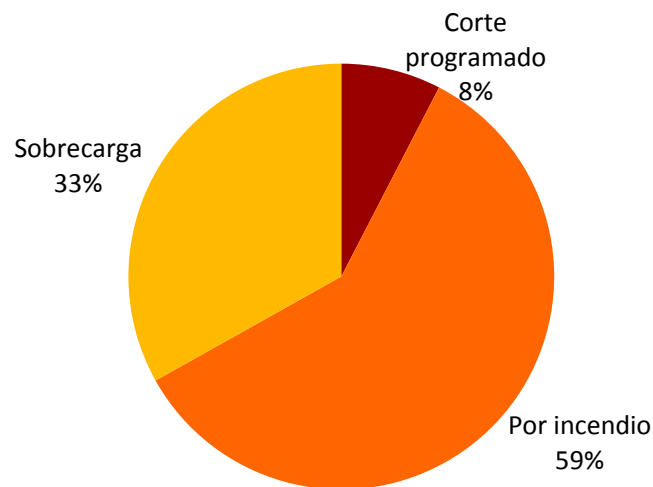
Para el ingreso a la mina existen dos tipos de acreditación, una de la VP y otra de la División Chuquicamata. Esta última presenta deficiencias en su funcionamiento, lo que provoca que en ocasiones a los operadores se les impide el paso con sus equipos y no logran llegar a su turno. Cuando esto ocurre la dotación no es la planificada y puede afectar el rendimiento. En el caso de un camión de shotcrete, si el equipo tarda más de tres horas en llegar a la frente, se pierde el material generando desperdicios.

Por último, existe una gama diversa de equipos, lo que implica distintos tipos de repuestos y la necesidad de un complejo sistema de administración. Se necesita una bodega de gran tamaño para todos los elementos. Si bien el espacio existente no es suficiente para los requerimientos de operación, hay lugares disponibles que no se ha sabido implementar.

5.3.3. Espera por Falla Eléctrica

Durante el período de medición ocurrió un incendio que aumentó las repercusiones de esta categoría, como bajo voltaje o cortes de energía eléctrica que afectan las operaciones y condiciones de la frente (Ilustración 23).

Ilustración 23: Espera por Falla Eléctrica (19,6%)



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

Luego del incendio, el sistema eléctrico es compartido por las operaciones del proyecto y la división, lo que implica que cualquier falla interfiere mutuamente en las labores. Los cortes eléctricos en su mayoría son originados por el rajo de Chuquicamata, mientras que los que son responsabilidad del proyecto provienen de deficiencias en el manejo de equipos que pueden producir desconexión o corte de cables que no son informados a tiempo, lo que implica un costo de tiempo de detección del origen del problema que aumenta el tiempo de reacción.

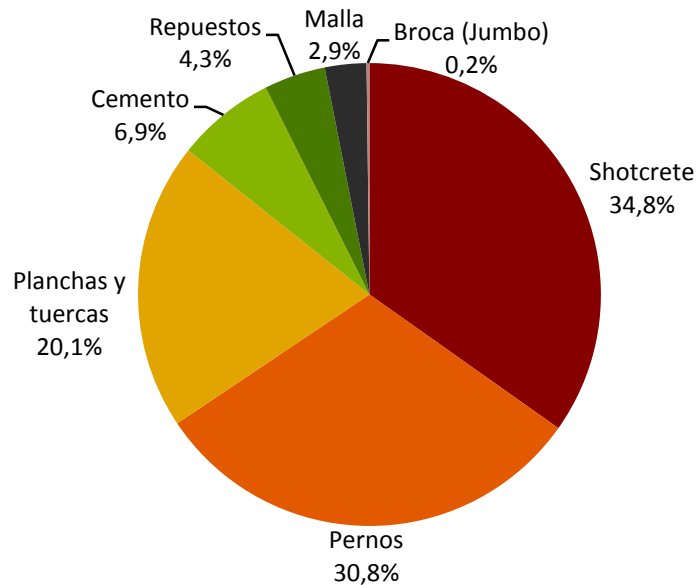
5.3.4. Espera por Materiales

La principal espera por materiales se origina por la ausencia del *shotcrete* debido a que el camión correspondiente no llega a tiempo y afecta la colocación de hormigón proyectado (Ilustración 24).

La disponibilidad de pernos se presentó con una frecuencia baja, pero tuvo un alto impacto en el flujo de trabajo.

La bodega donde se encuentran los materiales está ubicada en túnel de transporte, lo que dificulta su llegada al frente de trabajo. A lo anterior se suma la ausencia de una logística adecuada de envíos, lo que provoca esperas de hasta 12 horas en algunos materiales, como por ejemplo pernos.

Ilustración 24: Espera por Materiales (16,2%)



Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

5.3.5. Ventilación

La mina posee una ventilación principal, a cargo de Codelco, y una auxiliar, que debe ser abastecida por Astaldi. Se considera uno de los problemas principales que se han presentado en la construcción de la mina, ya que es un aspecto determinante que no ha sido desarrollado de manera adecuada.

La principal causa de los problemas de ventilación fue la inconsistencia entre el diseño y las operaciones. El modelo inicial consideraba solo una chimenea, pero operacionalmente esto no era factible, por lo que se tuvo que aumentar con ventiladores y dos chimeneas en lugares estratégicos de acuerdo a las deficiencias que tenían.

Además, existe poca experiencia en el tema, lo que se traduce en carencias de requerimientos de calidad, instalación, utilización adecuada de materiales, etc. Se hace considerable una programación que esté más aproximada a la realidad.

La condición ambiental de la ubicación de Chuquicamata, sumado a las operaciones del rajo, genera alta polución que es inyectada a la mina, empeorando el escenario laboral que puede llegar a suspender actividades en algunos sectores.

Por último, la exigencia de avance hace que se priorice por sobre el desarrollo de la ventilación. Esto significó que no se le diera la prioridad necesaria generando finalmente un cuello de botella importante. La infraestructura actual representa un riesgo para la instalación de los futuros contratos, ya que no ha sido desarrollada lo suficiente de acuerdo a los requerimientos de estos.

5.3.6. Acumulación de Marina

Actualmente se presenta una gran acumulación de marina al interior de la mina, lo que provoca interferencias y restricciones al desarrollo minero. Esto ha llegado al punto de ser una preocupación para el equipo y un riesgo de desempeño futuro.

Nuevamente, por el interés de lograr el avance objetivo, se priorizan los disparos por sobre la limpieza de la mina, lo que conlleva a la mala práctica de acoplar. La cantidad de frentes disponibles y disparos planificados impide que se tenga el tiempo y la disponibilidad para trabajar de manera adecuada los servicios.

El recorrido de extracción de marina desde el interior es único y las vías son compartidas por la movilización de equipos y personal, lo que conlleva altos niveles de interferencia que ralentiza el proceso.

La responsabilidad del tema de marina no es conocimiento común, no hay claridad sobre el alcance, quién tiene que hacerse cargo una vez que termine el CC005. Es crucial comenzar los próximos contratos con la mina en óptimas condiciones, por lo que este tema debe ser transparentado.

El acoplamiento trae consecuencias para el avance tanto de desarrollos mineros como de servicios, existen subestaciones que no han podido ser instaladas producto de la acumulación de marina, lo que genera problemas posteriores de energía. También hay frentes en los que no se ha podido seguir avanzando porque no se ha podido limpiar el sector, lo que hace que se avance siempre en los mismos frentes. Consecuencias similares a estas provocarán un efecto mayor a futuro si no se diseña un plan de contingencia adecuado.

5.3.7. Planificación

La planificación y coordinación es la base de todo proyecto y su manejo determina el desempeño de este, es una de las causas que está presente en todos los problemas

El proyecto posee una ruta crítica general, segmentada en hitos que se dividen en los distintos contratos. El contratista propone una ruta a seguir para lograr los objetivos propuestos.

El plan inicia como teórico, luego se va afinando con las operaciones y se integran el resto de las empresas, incluyendo las de servicios.

La planificación de corto plazo se compone de un plan mensual y semanal acorde al plan maestro. La inclusión de tareas en el plan se realiza según prioridad, para poder desarrollar una actividad en la frente se debe tener la habilitación de servicios, limpieza de sectores, finalizar las labores pendientes y se organizan para asegurar las actividades críticas.

Existe una política contractual de Codelco de no involucrarse en la planificación, pero en la práctica esto no es posible, ya que no resulta otorgarle toda la responsabilidad al contratista. En un inicio Codelco exigía según sus intereses y Astaldi se planificaba de acuerdo a su capacidad. Esto produjo rendimientos de avance muy bajos, por lo que se realizó una reestructuración y se incorporaron nuevos actores que cambiaron la forma de relacionarse incorporando el trabajo en equipo. Se creó el área de planificación en ambas empresas, las cuales trabajan en conjunto para llegar a objetivos realizables que sean de interés común, se manejan priorizando actividades y estableciendo acuerdos para manejar variabilidades. Si bien es un tema delicado contractualmente, ambas partes comprenden el beneficio de esta relación y se cuida de no imponer soluciones, sino de guiar las propuestas a través de recomendaciones. De esta forma se logra que, tanto el cliente como el contratista, estén alineados.

La principal dificultad fue el cambio de mentalidad del contratista, pasar de la visión de construir túneles a considerar el comportamiento operacional de mina, con múltiples frentes y actores. Se requirió la comprensión de la necesidad de perfiles con preparación mínima, en un inicio tenía operadores que nunca habían trabajado en minas subterráneas o con ciertos equipos, lo que aumenta el riesgo de accidente y de no conformidades. Además, los líderes del equipo deben ser personas con experiencia, esto se demostró al incluir un Gerente de Operaciones en la organización del contratista.

Otro factor relevante que es necesario comprender es la constructibilidad del proceso, saber dónde empieza, cuándo empieza, qué se necesita, cuándo se necesita y qué oportunidades existen. De esta manera se puede definir las tareas que se deben realizar de manera anticipada, establecer los requerimientos, ordenar las prioridades y analizar si es posible realizarlo operativamente. Sin embargo, la tendencia a priorizar metros por sobre la infraestructura y los servicios terminan por ser el cuello de botella, los avances se sustentan con los servicios que da la mina, por lo que se les debe dar la importancia necesaria.

Tampoco existe una planificación clara sobre el abastecimiento en la frente, lo que complica el proceso de alistar los requerimientos para el avance. La solicitud de materiales es poco eficiente.

Otro factor que influye es la interacción con el rajo, esto irá aumentando a medida que las operaciones de producción avancen y el proyecto crezca. Cuando se realiza la tronadura del rajo se deben evacuar sectores de la mina, tanto al interior como al exterior. Esto es avisado el mismo día en las reuniones de coordinación, lo que implica cambios en la planificación.

5.3.8. Resumen

A continuación se muestra una tabla que resume las causas y consecuencias para cada problema detectado en el diagnóstico (Tabla 6).

Tabla 6: Tabla Resumen Causa-Consecuencia del Diagnóstico de Problemas OIM

Casusas	Problema	Consecuencias
Priorización avance físico	Espera por Servicio	Aplazamiento del desarrollo de servicios que se transforma en cuello de botella
Servicios lejos del frente		Esperas e interferencias en el flujo de trabajo
Planificación no acompaña el desarrollo físico		Incapacidad de responder a las necesidades de desarrollo
Baja confiabilidad	Espera por Disponibilidad de Equipos	Equipos no alcanzan a terminar el turno
Ausencia de programa de mantenimiento preventivo		Se espera falla de equipo para su revisión
Duración de contratos impiden mayor inversión		Tardanza en la llegada de equipos nuevos, utilización de equipos puente y desgaste sin posibilidad de reacondicionamiento
Inexistencia de taller de mantención al interior de la mina		Baja capacidad y rapidez de respuesta
Indicador no refleja realidad		Fallas de equipos tienen repercusiones mayores que las que refleja el indicador, riesgo de perder el disparo
Fallas en acreditación		No se dispone del equipo porque el operador no puede pasar la barrera
Ausencia de espacios destinados a bodega para repuestos		Dificultad de mantención y arreglos
Gama diversa de equipos		Necesidad de una bodega de gran tamaño y sistema de administración complejo
Altas temperaturas en la mina		Disminución de la vida útil de los equipos
Incendio		Espera por Falla Eléctrica
Bajo voltaje y cortes de energía	Detenciones que afectan las operaciones y condiciones del frente	
Impedimento para que el camión de shotcrete llegue a tiempo	Espera por Materiales	Ausencia de shotcrete que impide la colocación de hormigón proyectado
Ausencia de espacios destinados a bodega para repuestos		Bodega ubicada en túnel de transporte dificulta la velocidad de reacción
Ausencia de logística de insumos		Retardo en la llegada de materiales al frente que puede tener baja frecuencia pero alto impacto en HH

Inconsistencia entre diseño y factibilidad de operaciones por inexperiencia	Ventilación	Cambios en el diseño que repercute en las operaciones
Inexperiencia		Carencias de requerimientos de calidad, instalación, utilización de materiales, etc
Condiciones ambientales		Inyección de aire con presencia de partículas
Infraestructura insuficiente para operaciones y próximos contratos		Altas temperaturas al interior de la mina, suspensión de actividades por condiciones inadecuadas y riesgo futuro para la necesidad de avance
Priorización avance físico		Postergación de trabajos de ventilación que se transforma en cuello de botella
Priorización avance físico	Acumulación de Marina	Interferencias y restricciones al desarrollo físico y de servicios
Falta de tiempo y disponibilidad		Incapacidad para realizar metros limpios
Falta de transparencia de responsabilidades		Riesgo para el inicio de futuros contratos
Existe solo una ruta de extracción		Interferencia entre equipos y traslado de personal
Baja disponibilidad de camiones		Impedimento para realizar los viajes necesarios
Crecimiento de avance no es proporcional al crecimiento de recursos		Falta de condiciones de operación adecuadas
Política contractual de no involucrarse en planificación	Planificación	Intervención en planificación no estipulada
Contratos tradicionales		Posición de enfrentamiento entre las partes
Ausencia mentalidad de operaciones de mina		No se consideran interferencias y operaciones
No se considera constructibilidad (Claridad en los requerimientos)		No se liberan todos los requerimientos, no hay una construcción de infraestructura adecuada que acompañe al desarrollo
Interferencias con el rajo		Impedimento para operar que origina esperas no planificadas
No hay planificación clara de abastecimiento al frente		Esperas e interferencias en el flujo de trabajo

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe DICTUC y visitas a terreno PMCHS

6. CAPÍTULO VI – MODELO DE GESTIÓN OPERACIONAL

En este capítulo se identifica cómo los problemas descritos en la sección anterior afectan en el proceso de construcción, cuáles son las variables claves que tienen un mayor impacto y se propone un modelo de control de gestión que permita un correcto desempeño del CC010 a través de la utilización de elementos *Lean Construction* que potencien la confiabilidad de la planificación mensual, estableciendo indicadores para el control de las variables críticas y promueva el flujo continuo y transparente de la información con el objetivo de poder reaccionar de manera eficaz ante contingencias y generar aprendizajes a partir de ellas.

6.1. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

Se ha desarrollado un mapa que representa el proceso de construcción de túneles en el PMCHS donde se identifican procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo. En el proceso operativo se ha considerado un modelo de flujo, incluyendo aquellas actividades intermedias donde se pueden generar interferencias. Los inputs de la construcción de túneles corresponden a equipos, materiales, servicios y cuadrilla de trabajo, mientras que el output es el avance físico (Ilustración 25)¹⁴.

6.1.1. Procesos Estratégicos

Los procesos estratégicos son aquellos que están a cargo de la dirección del proyecto y se orientan a armonizar los procesos operativos con los de apoyo, establecer políticas y estrategias, definir objetivos, asegurar la disponibilidad de recursos, etc. En el PMCHS se han seleccionado tres procesos, que se detallan a continuación.

6.1.1.1. Ingeniería

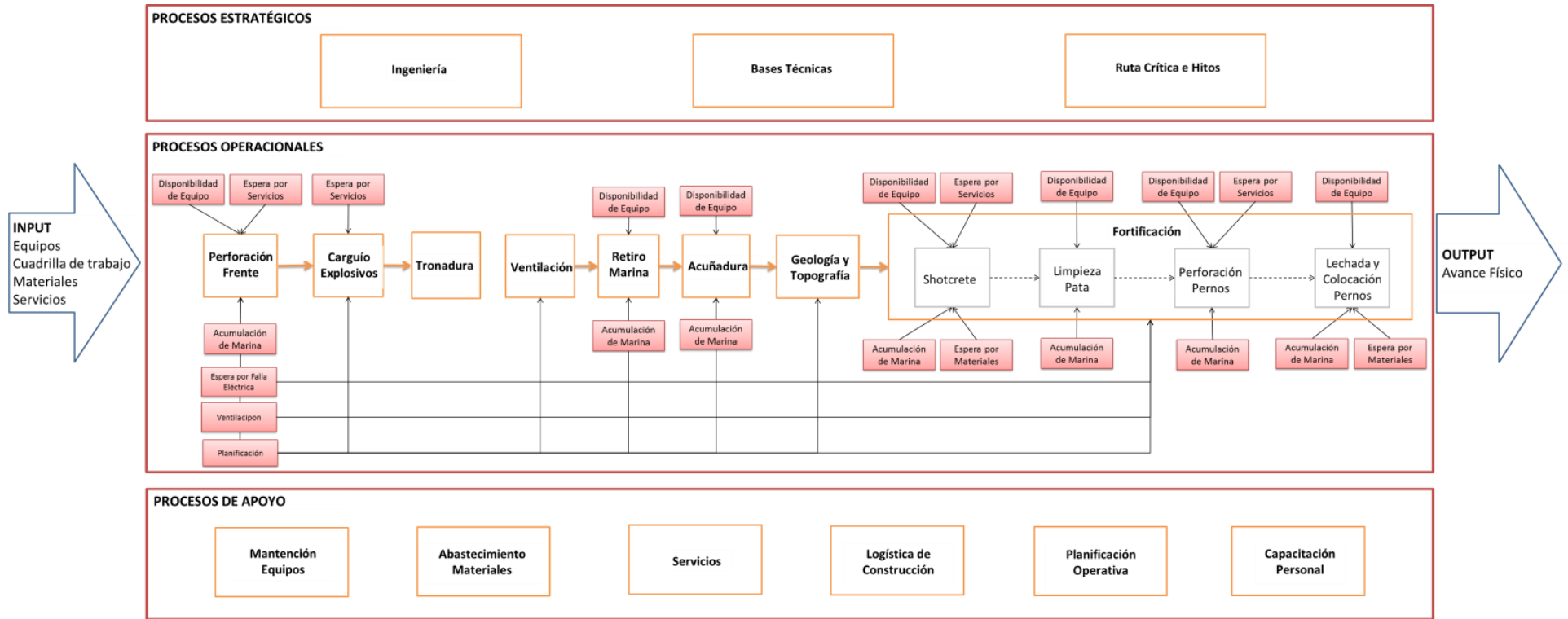
En este proceso se desarrolla el diseño detallado de la mina, luego de la generación y selección de alternativas para el proyecto. Se encarga de definir los planos, requerimientos y exigencias de construcción, así como también los cambios de diseño pertinentes.

6.1.1.2. Bases Técnicas

Las Bases Técnicas establecen las condiciones contractuales bajo las cuales se llevará a cabo el desarrollo y construcción de las obras mineras estipuladas en el contrato. Su objetivo es entregar una descripción y definición detallada del servicio a ser entregado por el contratista, otorgando los antecedentes e información técnica a ser considerados. De la misma manera indica ubicación, condiciones, forma, disposición, materiales, calidad, especificaciones, normas aplicables, estándares mínimos exigibles, planos, restricciones, entre otros.

¹⁴ En el ANEXO 7 se muestra el mapa del proceso desagregado en las sub actividades del proceso operativo.

Ilustración 25: Mapa del Proceso de Construcción de Túneles Chuquicamata Subterránea



Fuente: Elaboración propia a partir del Informe DICTUC y visitas a terreno PMCHS

6.1.1.3. Ruta Crítica e Hitos del Proyecto

La ruta crítica establece de forma secuencial los tiempos y plazos del proyecto en los cuales se basa la planificación y programación. Los hitos corresponden a etapas dentro del proyecto, representados como puntos en la ruta crítica que significan un logro en el avance.

6.1.2. Procesos Operativos

El proceso de operaciones para la construcción de túneles se compone de un ciclo en el cual el objetivo es generar un disparo que culmina con la tronadura, lo que permite el avance en el frente. Luego de esta actividad se inicia la preparación del próximo disparo, para lo cual se debe iniciar por ventilar los gases liberados, luego retirar la marina remanente, acuñar el frente, realizar la limpieza de la pata, correspondiente a la unión entre el suelo y el frente, hacer el análisis geológico y topográfico de la roca para definir el tipo de fortificación necesaria, para luego hacer la perforación del frente, cargar los explosivos y realizar nuevamente la tronadura, con lo cual el nuevo disparo se dará por finalizado. A continuación se detallan las actividades para cada operación.

6.1.2.1. Perforación de Frente

Corresponde a la primera actividad para realizar la tronadura, ya que constituye las cavidades donde se introducirán los explosivos. Se inicia con la perforación de las zapateras, puntos ubicados en la base del túnel, ya que deben ser tapadas con mangueras para evitar la obstrucción de material. Se sigue con los tiros de contorno y por último con los de la sección interior, denominadas rainura.

- **Posicionamiento Equipo:** llegada del *jumbo* al frente de trabajo
- **Conexión Jumbo:** se instala la red de agua, electricidad y aire comprimido
- **Perforación:** perforación horizontal que crea cavidades para alojar las cargas explosivas

6.1.2.2. Carguío Explosivos

El orden de detonación de los explosivos es crucial para el correcto desempeño de un disparo, es por eso que en el carguío de explosivos se debe tener rigurosidad en el manejo de los materiales.

- **Transporte y preparación:** ingreso de explosivos, distribución de los números según el orden de tronadura e introducción de detonadores
- **Colocación Explosivos:** inyección de explosivos en las cavidades de perforación
- **Colocación y Amarre de Mecha:** las conexiones se enlazan para que el disparo ocurra en el orden presupuestado

6.1.2.3. Tronadura

La tronadura es el paso para dar por finalizado el disparo y consiste en la evacuación del sector y el encendido de la mecha.

- **Evacuación:** se evacúa el frente, a excepción del encargado de encendido

- **Encendido Mecha:** la mecha se enciende para provocar la explosión

6.1.2.4. *Ventilación*

En esta operación se realiza la revisión del estado del aire en frente y se espera el tiempo necesario para extraer los gases viciados y continuar con las operaciones.

- **Chequeo de Gases:** se chequea el estado del aire post tronadura para autorizar la continuación de los trabajos sin perjuicios a la salud de los trabajadores
- **Espera por Ventilación:** Tiempo de espera, correspondientes a 30 minutos mínimo por ley, en el cual se extrae el aire viciado con gases

6.1.2.5. *Retiro de Marina*

El retiro de marina consiste en el traslado del material fragmentado en la tronadura al exterior de la mina para liberar el frente y permitir su avance. Las actividades que posee se detallan a continuación.

- **Posicionamiento de Scoop:** el *scoop*, o LHD, es una pala cargadora con la cual se remueve y recoge material. Para el retiro de marina este equipo debe ingresar y posicionarse en el frente de trabajo para dar inicio a la operación
- **Recoger el Material:** el material es removido y retirado del frente para permitir el flujo del trabajo
- **Posicionamiento Camión:** para trasladar la marina al exterior de la mina generalmente se debe traspasar el material a un camión, que continuará la ruta de extracción. Para esto equipo debe ingresar y posicionarse en el lugar de traspaso
- **Cargar Material:** la marina es traspasada del *scoop* al camión para que continúe el transporte por la ruta
- **Traslado Frente a Botadero:** el material es transportado desde frente de trabajo al botadero ubicado al exterior de la mina

6.1.2.6. *Acuñadura*

La acuñadura consiste en la extracción de la roca remanente en el frente de trabajo para evitar la caída de planchones al continuar las operaciones. Se puede realizar de forma manual, utilizando palas, o mecánica, mediante el uso de máquinas retroexcavadoras.

- **Posicionamiento Equipo:** la retroexcavadora o palas se posicionan en el frente
- **Acuñadura:** se extrae la roca remanente del frente de trabajo
- **Limpieza:** el material debe ser retirado del frente de trabajo

6.1.2.7. *Geología y Topografía*

Se evalúa la calidad de la roca y se define la clase de soporte, lo que delimita el tipo de fortificación que se realizará posteriormente. En esta etapa se realiza la medición del telémetro para marcar el frente y los pernos para la perforación.

- **Medición Telémetro:** Medición de las distancias donde irán las perforaciones
- **Marcado de Frente:** Se marcan los puntos donde se perforará el frente

- **Marcado de Pernos:** Se marcan los puntos donde se perforará los pernos

6.1.2.8. Fortificación

La fortificación es el proceso mediante el cual se refuerza el entorno del túnel para evitar derrumbes. Depende del tipo de roca y clase de soporte definido en la operación anterior. En general la fortificación para los túneles del PMCHS consiste en la proyección de *shotcrete*, perforación y colocación de pernos y refuerzo con mallas de acero.

6.1.2.8.1. Shotcrete

- **Posicionamiento Equipo:** llegada del *roboshot* al frente de trabajo
- **Conexión Roboshot:** instalación de servicios de aire comprimido
- **Carguío Shotcrete:** proyección de *shotcrete* sobre las paredes del túnel
- **Limpieza Equipo:** se realiza limpieza del equipo para el próximo uso

6.1.2.8.2. Limpieza Pata

Esta actividad corresponde a la limpieza del sector inferior del túnel. La pata es la unión entre el suelo y el frente del túnel, sector que debe estar limpio para las actividades posteriores. Esto puede ser realizado con retroexcavadoras o palas y luego el material debe ser removido.

- **Posicionamiento Equipo:** la retroexcavadora o palas se posicionan en el frente
- **Carguío Material:** el material sobrante se debe eliminar del frente de trabajo
- **Traslado Material:** traslado del material sobrante para que no interfiera las operaciones

6.1.2.8.3. Perforación de Pernos

- **Posicionamiento Equipo:** llegada del *jumbo* al frente de trabajo
- **Conexión Jumbo:** instalación de red de agua, electricidad y aire comprimido
- **Perforación:** se realizan perforaciones verticales para cavidades donde se introducirán los pernos

6.1.2.8.4. Lechada y Colocación de Pernos

- **Preparación Personal:** cambio de ropa de la cuadrilla
- **Transporte Materiales:** transporte de los materiales necesarios desde la bodega hasta el frente de trabajo
- **Preparación Lechada:** se prepara el material adherente para los pernos
- **Posicionamiento Equipo:** llegada del equipo de levante
- **Inyección Lechada:** los trabajadores inyectan el material de forma manual desde el equipo de levante
- **Colocación de Pernos:** se introducen los pernos para que se adhieran a la lechada
- **Placa y Reapriete:** en caso de ser necesario, se coloca una malla sujeta con placas en los pernos para dar mayor resistencia a la roca, luego se proyecta *shotcrete* nuevamente

6.1.3. Procesos de Apoyo

Los procesos de apoyo corresponden a aquellos que dan soporte a las actividades críticas. No repercuten directamente en la producción pero son necesarios para su correcto desarrollo o están impuestos por temas legales o políticos. En esta sección se detallan los procesos de apoyo que se han identificado en el PMCHS.

6.1.3.1. *Mantenión de Equipos*

Los equipos son un factor crucial para el desarrollo de las operaciones, ya que tiene repercusiones directas en el avance. Las mantenciones que se realizan pueden ser preventivas, que corresponden a detenciones programadas, y correctivas, las cuales implican detenciones no programadas que interfieren en el flujo del trabajo, generando desperdicios en el proceso.

6.1.3.2. *Abastecimiento de Materiales*

El abastecimiento de materiales consiste en el manejo de estos desde la bodega hasta el frente de trabajo en el momento en que sean requeridos. Esto depende de la ubicación de la bodega, la logística de inventario y el tiempo de respuesta.

6.1.3.3. *Desarrollo de Servicios*

Los servicios que se deben abastecer en el frente son aire comprimido, red eléctrica, agua industrial, drenaje y ventilación. El desarrollo de estos se considera un proceso de apoyo, ya que corresponden a uno de los inputs para el proceso operativo. Éste tiene que ver con proveer las condiciones necesarias para el funcionamiento del frente en el momento requerido.

6.1.3.4. *Logística de Construcción*

La logística de construcción corresponde a la identificación de todos los requerimientos necesarios para llevar a cabo una actividad, qué es lo que se debe hacer, cuándo se necesita, qué oportunidades existen, qué se debe llevar a cabo con anterioridad, etc. Todo esto con el objetivo de liberarlos a tiempo de manera integrada para evitar interferencias.

6.1.3.5. *Planificación Operativa*

La planificación operativa corresponde a los planes de corto plazo, mensuales y semanales, que se desarrollan para alinear las operaciones a los objetivos y prioridades del proyecto dentro de los plazos y presupuestos que se han establecido.

6.1.3.6. *Capacitación Personal*

Las labores de una mina subterránea están sometidas a altos riesgos, por lo que el conocimiento y capacidades del trabajador es un punto relevante. Para esto, se hace relevante la capacitación del personal, especialmente en equipos y maquinaria, ya que es una vía para disminuir riesgos de accidentes y fallas del equipo por manejo inadecuado.

6.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS

El diagnóstico de problemas realizado en el desarrollo de la memoria fue utilizado como escenario para identificar las aquellas variables que puedan afectar en el futuro desarrollo de los niveles de hundimiento y producción. Se han establecido siete variables críticas que deben ser controladas para evitar las desviaciones que se presentaron en OIM. En esta sección se describe cómo estas variables pueden afectar en el proceso operativo y se proponen indicadores de control, con sus respectivos niveles de alerta, cuyo objetivo es poder tomar acciones pertinentes en el seguimiento.

6.2.1. Espera por Servicios

En esta variable se consideran las esperas originadas por defectos en los servicios de explosivos, aire comprimido, sistema eléctrico, agua industrial, drenaje y ventilación en frente, los cuales afectan a distintas actividades, de acuerdo a su uso (Tabla 7).

Tabla 7: Relación entre Servicio y Actividad del Ciclo

Servicio	Actividad Afectada
Explosivos	Carguío Explosivos
Aire Comprimido	Conexión <i>jumbo</i> y <i>roboshot</i>
Eléctrico	Conexión <i>jumbo</i>
Drenaje	Drenaje de agua luego del uso del <i>jumbo</i>
Ventilación	Interrupción por arreglos

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe DICTUC y visitas a terreno PMCHS

6.2.1.1. Indicador:

- **Tiempo de Espera por Servicios en Frente:** Su objetivo es que las esperas por servicios en frente no superen los 15 minutos por turno y su análisis tiene relación con la distancia a la que están ubicados los servicios con respecto al frente en el cual se está trabajando

6.2.1.2. Recomendaciones de Control

En el caso de los servicios se hace pertinente establecer los requerimientos de servicio para el avance físico que se espera lograr, así como también un programa de desarrollo con el objetivo de liberarlos y evitar que se transformen en un cuello de botella que interfiera en el flujo de las actividades. Para esto se deben otorgar las ventanas de tiempo adecuadas y definir una distancia de ubicación pertinente.

6.2.2. Espera por Disponibilidad de Equipos

Las esperas por la llegada del equipo a un frente planificado, ya sea por falla o porque no hay equipos disponibles para su utilización, también son una variable clave que afecta a distintas actividades en el avance (Tabla 8).

Tabla 8: Relación entre Equipos y Actividad del Ciclo

Equipo	Actividad Afectada
Roboshot	Proyección de shotcrete
Equipo de Levante	Lechada y colocación de pernos
Scoop	Retiro de marina (recoger material y cargarlo al camión)
Jumbo	Perforación de frente y pernos

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe DICTUC y visitas a terreno PMCHS

6.2.2.1. Indicadores

- **Tiempo de Espera por Equipos en Frente:** este indicador se relaciona al tiempo que las actividades en frente están detenidas producto de la ausencia de un equipo, a pesar de haber estado dentro del programa. El objetivo es que este tiempo sea menor a 15 minutos en cada turno y está relacionado a la confiabilidad y sistemas de mantención y reparación
- **Satisfacción de Requerimientos de Equipo:** su definición es la relación entre los equipos operativos y el requerimiento de equipos de acuerdo a la necesidad operacional. Se expresa de forma porcentual y su objetivo es que dichos requerimientos estén cubiertos en un 100%

6.2.2.2. Recomendaciones de Control

La variable de disponibilidad de equipos tiene directa relación con la confiabilidad de la maquinaria, por lo que estima conveniente establecer un programa de mantención preventiva adecuado, donde se asegure la efectividad. Además, se debe tener una cantidad de operarios necesaria para el manejo de los equipos utilizables, que estén capacitados debidamente, para evitar fallas originadas por mal uso. También se recomienda desarrollar una logística de inventario de repuestos y herramientas para optimizar su manejo tanto en el taller como en la frente. Por último, establecer un protocolo para las mantenciones correctivas, con el objetivo de disminuir las interferencias que esto pueda provocar, registrando el origen de las fallas para tomar acciones sobre la causalidad tanto en las mantenciones preventivas como en la logística de repuestos.

6.2.3. Espera por Falla Eléctrica

El sistema eléctrico general de la mina depende mutuamente de las operaciones del rajo. Se define como una variable transversal, ya que las esperas ocasionadas afectan la totalidad de las operaciones, impidiendo la realización de disparos y, con esto, el avance.

Sin embargo, el origen de los desvíos ocasionados por este factor se debe principalmente a variables exógenas, lo que implica que el control se escapa de los alcances de esta memoria. Es por esta razón que se ha determinado no incluirla en el control de gestión a través de los indicadores.

Las acciones que es posible tomar sobre el control de las fallas eléctricas provenientes de las operaciones de la mina subterránea es transparentar el proceso generando incentivos a los operarios y trabajadores a informar las fallas sin perjuicio para el responsable, ya que de esta

manera aumenta la oportunidad de control de la variable, disminuyendo el tiempo de detección, con lo cual aumentará la capacidad de reacción y reanudación de labores.

6.2.4. Espera por Materiales

La principal operación afectada por las esperas con origen en la falta de materiales corresponde al proceso de fortificación, particularmente en las actividades de proyección de shotcrete y colocación de pernos y malla.

6.2.4.1. Indicador

- **Tiempo de Espera por Materiales:** la logística de materiales debe ser un factor planificado de manera confiable, por lo que se definió este indicador con el objetivo que las esperas por este factor no supere los 12 minutos por turno

6.2.4.2. Recomendaciones de Control

Para el caso de los materiales se precisa establecer el flujo desde la bodega hasta el frente de trabajo, analizando el tiempo de traslado y la capacidad de respuesta de acuerdo a las restricciones que presenta la operación de la mina. También se debe implementar una planilla de inventario que permita llevar un control de los recursos.

6.2.5. Ventilación

La ventilación es una variable relevante en el desarrollo de los próximos contratos, ya que la mina debe estar preparada para la recepción de estos. Si no existen las condiciones adecuadas para trabajar se detienen las operaciones en el frente, por lo que se considera una variable transversal que afecta la totalidad de actividades.

6.2.5.1. Indicador

- **Tiempo de Activo de Frente Perdido por Ventilación:** este indicador se refiere al tiempo de frente que se pierde en un turno debido a que las condiciones inadecuadas de ventilación impiden los trabajos, ya sea por problemas con las mangas o ventiladores. Su objetivo es que este tiempo sea menor a 15 minutos

6.2.5.2. Recomendaciones de Control

Para aumentar el control sobre la variable de ventilación se deben identificar los requerimientos de operación y crear las ventanas de tiempo necesarias para liberarlos en el momento que se necesite. Además, se debe hacer un análisis sobre la calidad de materiales y experiencia de los operadores. Por último, los defectos que tengan las mangas de ventilación deben ser comunicados de manera oportuna, creando los incentivos adecuados.

6.2.6. Acumulación de Marina

Las toneladas de marina acumuladas son uno de los problemas principales que ha tenido el desarrollo del contrato CC005 y representan un riesgo para la implementación de los futuros contratos. Esta variable produce interferencias principalmente en los traslados dentro de la mina, afectando el posicionamiento de equipos en el frente de trabajo, así como también afecta la

disponibilidad de trabajar en frentes que no han sido limpiados o en los que se ha acoplado marina para priorizar otros.

Para el desarrollo de los contratos CC010 y CC013, el primero contará con puntos de vaciado y el segundo se encargará de trasladarla al exterior de la mina. Es por esta razón que la comunicación y coordinación entre ambos es crucial, ya que la producción de marina debe ser tal que el contrato CC013 tenga la capacidad para extraerla, de lo contrario se generará acumulación que deberá ser manejada por el contrato CC010.

6.2.6.1. Indicador

- **Espacio Disponible en Puntos de Vaciado:** dado que la marina originada en el desarrollo se debe depositar en los puntos de vaciado destinados para esto, se ha propuesto este indicador que mide la disponibilidad espacial, con el objetivo de evitar la acumulación de marina remanente, mediante la generación de alertas en el seguimiento que permita actuar a tiempo antes que esto ocurra. Se mide en el porcentaje de utilización y la meta es que la disponibilidad esté entre 50% y 100%, de acuerdo al ritmo de producción y extracción

6.2.6.2. Aumento de Control

Para evitar la acumulación de marina se considera establecer un programa detallado para la coordinación entre ambos contratos (CC010 y CC013), clarificando las responsabilidades de cada uno y coordinando los ritmos de producción y extracción. Se deben identificar interferencias, predecir posibles dificultades y generar planes de contingencia.

6.2.7. Planificación

La planificación se identifica como una variable transversal, ya que, de acuerdo a la filosofía *Lean*, corresponde a la causa principal de los desperdicios y define las actividades que se llevarán a cabo de acuerdo a las prioridades del proyecto, coordinando la relación entre los distintos factores y prediciendo las posibles interferencias que se pueden presentar, por lo que afecta a la totalidad de las operaciones.

6.2.7.1. Indicadores

- **Porcentaje de la Planificación Mensual Cumplida:** este indicador proviene de la metodología *Last Planner* y su indicador PPC visto en el marco conceptual. Su objetivo es cumplir el programa mensual desarrollado en la planificación, manteniéndolo estable. Representa el porcentaje del programa establecido que fue completado con las actividades desarrolladas en el período de planificación. Se expresa como el promedio de todos los programas (desarrollo y servicios) y su meta se cumpla entre el 80% y el 100% de lo planificado
- **Porcentaje del Programa Mensual de Desarrollo Físico Cumplido:** el principal indicador en los proyectos mineros de construcción de túneles corresponde a los metros de desarrollo en un determinado período de tiempo, ya que mide el avance físico, que es el resultado que agrega valor al cliente. Es por eso que el objetivo es que el programa de desarrollo físico sea cumplido en un 100%, se mide según la relación entre los metros de longitud realizados en un mes y los que estaban planificados de acuerdo al programa

- **Metros Remanentes Acumulados:** el inicio de la socavación es el hito más importante del proyecto de construcción y corresponde a la principal prioridad, ya que es una fecha que no se debe retrasar. Este indicador tiene como objetivo controlar el cumplimiento de dicha fecha a través de la revisión de los metros remanentes. Este indicador se expresa como la suma acumulada de los metros del programa mensual que no fueron completados, en caso de haberlos, y que afectan directamente a la ruta crítica, los que corresponden a metros horizontales de desarrollo de producción central e infraestructura¹⁵. De esta manera se deberán incorporar en las siguientes planificaciones y llevar una estimación de los posibles atrasos. Posee unidad de longitud (metros) y la meta es que este valor no supere los 321 metros
- **Porcentaje de Compromisos Mensuales Cumplidos:** los integrantes del equipo destinado al desarrollo del contrato, tanto de Codelco como por parte del contratista, deberán responsabilizarse de los compromisos pertinentes en cada reunión, con fecha y objetivo de logro. Este indicador tiene como objetivo el correcto cumplimiento de los compromisos y se espera que su valor no baje del 80% para cada tipo de reunión.
- **Metros de Avance Diarios:** el programa mensual se traduce en los metros de avance diarios, por lo que este número debe ser controlado para lograr el cumplimiento mensual. Está directamente relacionado con el programa mensual de desarrollo físico, por lo que su objetivo es que se cumpla en un 100%

6.2.7.2. *Recomendaciones de Control*

Para la correcta implementación del sistema de planificación es conveniente que existan facilitadores de la filosofía *Lean* dentro del proyecto, que la iniciativa provenga desde los administrativos de la organización con el objetivo que promuevan el desarrollo de la cultura de mejora continua para que llegue a los operarios. Se considera que todos deben estar alineados a las prioridades y deben comprender los impactos que pueden provocar las deficiencias y desperdicios.

6.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE GESTIÓN

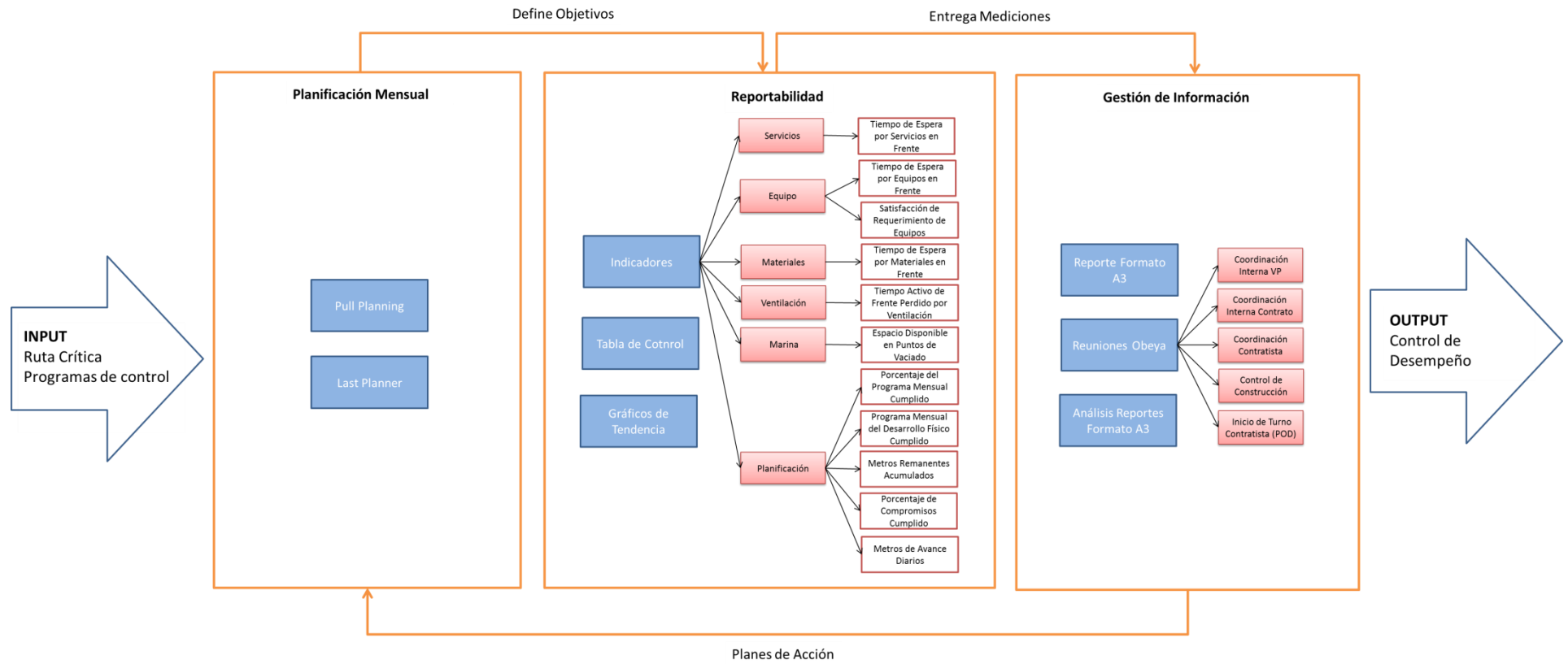
En esta sección se propone un sistema de control de gestión basado en principios y herramientas de la filosofía *Lean Construction* mediante los cuales se espera fortalecer la planificación mensual de la construcción a través del *Pull Planning* y el *Last Planner*.

La planificación definirá los lineamientos de la información que se reportará, que corresponde a los indicadores propuestos en la sección anterior, representados en tableros de control y gráficos de tendencia que deberán ser registrados periódicamente.

Con las mediciones necesarias se podrá gestionar la información a tiempo, utilizando de reportes con formato A3 para analizar los desvíos y realizando reuniones estilo *Obeya* a través de las cuales se podrá tomar acciones que permitan mitigar posibles efectos y evitar que vuelvan a ocurrir, integrando en la planificación los planes de acción necesarios (Ilustración 26).

¹⁵ En el ANEXO 8 se encuentra el programa de los contratos CC010 y CC013 por sector de construcción

Ilustración 26: Esquema de Control de Gestión



Fuente: Elaboración propia a partir de la Revisión Bibliográfica Lean

6.3.1. Planificación Mensual

6.3.1.1. Fortalecimiento de la Planificación y Programación

La planificación se definió como una de las variables críticas del proyecto, es un factor crucial para el cumplimiento de la ruta crítica establecida e influye en la correcta realización de las actividades, con la llegada de los recursos y requerimientos necesarios a tiempo.

Para el desarrollo del contrato CC010 se propone integrar la metodología *Last Planner*, revisada en el marco conceptual de este informe, en la planificación mensual y semanal de las labores. El plan maestro corresponde a la ruta crítica entregada por el proyecto, por lo que se deberá realizar un plan intermedio, correspondiente a la planificación mensual, considerando un horizonte de 5 semanas y un plan semanal¹⁶.

El plan mensual se desarrolla de acuerdo a la ruta crítica que debe seguir el proyecto, utilizando la metodología *Pull Planning*, donde se establecen los hitos que se deben cumplir en el período de planificación con las restricciones de diseño, materiales, mano de obra, equipos y actividades previas de cada uno. Luego se planifica “hacia atrás” la secuencia de actividades que se deben realizar para liberar dichas restricciones y así asegurar la fecha de entrega.

El plan semanal se realiza de acuerdo a las restricciones que deben ser liberadas para cumplir el programa mensual. Se deben prever las principales interferencias que se pueden presentar y se debe desarrollar un listado de actividades que están listas para realizar, pero no aún no son incluidas en el programa de acuerdo al *Pull Planning*. En caso que el programa semanal presente problemas para el desarrollo de una de las labores, estas actividades podrán ser adelantadas para aprovechar el tiempo, evitando los desperdicios.

Es de suma importancia que, para el desarrollo de esta planificación, exista una gestión temprana y continua de requerimientos base, como suministros de ingeniería, para las condiciones de trabajo del contratista, ya sea limitantes logísticas, información de ingeniería, permisos, etc. Se recomienda mantener una comunicación continua de retroalimentación con la Gerencia Operativa de Infraestructura para tener los requerimientos a tiempo e incorporar las actividades pertinentes en la planificación.

Para la planificación mensual, se deberá revisar el comportamiento de los indicadores principales definidos en la sección 6.2 e incorporar los planes de acción que sean necesarios para atacar las causas de no cumplimiento que deban ser incorporados al programa.

6.3.2. Reporte de Información

6.3.2.1. Tabla de Control

Se propone una tabla de control (Tabla 9) donde se deberán registrar los resultados actuales y anteriores del indicador, clasificándolo de acuerdo a un código de color en semáforo según el nivel de cumplimiento. El color verde indica el valor óptimo conforme a lo planificado,

¹⁶ Se recomienda la revisión de la publicación Guía para la implementación del sistema del último planificador, Luis Fernando Alarcón, GEPUC, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2008, Chile.

el color amarillo levanta una alerta de precaución y el color rojo revela que el indicador se encuentra en un nivel crítico que debe ser revisado. Además, para los indicadores relacionados a las esperas, se debe agregar a la tabla propuesta la información de la cantidad de detenciones por turno para poder actualizar posteriormente los niveles.

Para la definición de los niveles de alerta en el caso de las esperas se estimó el tiempo promedio de éstas por cuadrilla en un turno, considerando un total de siete cuadrillas. Se utilizaron los resultados obtenidos del DICTUC, los cuales entregan la totalidad de horas de espera en las 86 muestras y su distribución de acuerdo a las causas. Sin embargo, los datos presentan algunas deficiencias, ya que las detenciones no se presentan en todas las mediciones, no se tiene la frecuencia de cada una y los turnos no eran observados de forma continua, por lo que al normalizar los datos se consideró la cantidad de esperas por actividad en el frente y se relacionó a las posibles causas según el mapa del proceso (Ilustración 25). Con esto se calculó el promedio ponderado lineal entre dichas frecuencias, que corresponden al máximo de veces que se puede haber producido la espera en cada actividad¹⁷.

A partir de los cálculos anteriores se obtuvo que la espera promedio en un turno para cada cuadrilla es de 60 minutos para el caso de servicios y equipos, y de 45 minutos en las esperas por materiales. Dado que éste es el valor actual, sin tomar acciones al respecto, los niveles se definen del 0% al 25% para el valor óptimo, del 25% al 75% de precaución y sobre el 75% el indicador será crítico y se deberán analizar las causas.

Para el indicador de satisfacción de requerimientos de equipos, se definió como nivel crítico si este valor es menor al 90%, ya que tendrá repercusiones directas en las esperas y provocará interferencias en el flujo del trabajo al no tener los equipos operativos necesarios para cumplir con las tareas programadas.

El indicador relacionado a la ventilación se debe calcular en base al tiempo efectivo en frente, ya que, de lo contrario, no estará reflejado en los tiempos de espera de la cuadrilla producto que los trabajos de reparación están a cargo de un equipo especializado. Su valor será crítico si afecta al 10% del tiempo que demora en realizarse un disparo, el cual tarda 15 horas. Considerando que un turno posee aproximadamente 7,5 horas de trabajo disponibles, el valor se traduce en 45 minutos por turno. El nivel óptimo se define entre cero y la tercera parte de este valor, es decir, entre 0 y 15 minutos, y el nivel de precaución será entre 15 y 45 minutos, correspondiente al rango intermedio.

Para evitar la acumulación de marina el valor óptimo de disponibilidad espacial de los puntos de vaciado oscila entre el 50% y 100%, mientras que valor crítico se definió en un 25%, ya que en este nivel se deben analizar el ritmo de producción del contrato CC010 y capacidad de extracción del CC013 para crear planes de contingencia y evitar que este indicador llegue al límite, correspondiente al 100% de utilización, e implique re manejo de marina por parte del CC010 o acumulación en otros frentes.

¹⁷ En el ANEXO 9 se muestra una tabla con los datos a partir de los cuales se realizó este cálculo. La fórmula del tiempo de esperas en la situación actual es
$$\frac{\text{Horas de Espera por Servicio/Equipo/Materiales}}{\text{Promedio de Frecuencia} \times \text{N}^\circ \text{ de Cuadrillas}}$$

Los indicadores relacionados al avance físico corresponden al porcentaje de programa mensual de desarrollo físico y los metros de avance diarios, cuyo nivel crítico se define con un desvío del 10% con respecto al programa, ya que tiene relación con el cumplimiento de la ruta crítica, mientras que el objetivo es que se alcance el 100% de lo planificado.

El indicador de metros remanentes acumulados tiene relación con asegurar la fecha de inicio de socavación, por lo que el valor será crítico cuando este atraso represente, en promedio, un mes de desarrollos horizontales relacionados directamente con la ruta crítica, los cuales corresponden a la construcción del sector de producción central e infraestructura. Esto se traduce en que la acumulación de metros remanentes será crítica cuando alcance un nivel de 428 metros, mientras que el nivel de precaución será en el 75% de este valor.

Por último, si el cumplimiento del programa mensual y de compromisos baja del 80% se considera crítico. Este valor es menor al del cumplimiento de metros del programa, ya que considera la totalidad de labores a ser realizadas, donde pueden existir retrasos en actividades que no afecten el hito principal del proyecto y deban ser postergadas para priorizar el cumplimiento de la ruta crítica. El nivel de cumplimiento de compromisos se definió con el objetivo de no generar incentivos incorrectos para que los trabajadores adquieran responsabilidades.

6.3.2.1. Gráficos de Tendencia

Se deben crear gráficos que permitan detectar y medir la tendencia de los indicadores con la información semanal y mensual para analizar la trayectoria de su comportamiento, ya sea ascendente, constante o descendente. El objetivo de esto es identificar tempranamente procedimientos anómalos, por ejemplo, un indicador que se encuentra en el nivel de precaución y su tendencia en el último período ha empeorado, se puede analizar para atacar las causas y así evitar que llegue a un nivel crítico.

Tabla 9: Tabla de Control para Indicadores de Gestión

Variable	Objetivo	Indicador	Unidad	Óptimo	Precaución	Crítico	Responsable	Frecuencia Seguimiento
Servicios	Esperas por servicios en frente menores a 15 min	Tiempo de Espera por Servicios en Frente	Minutos	0-15	15 - 45	> 45	Jefe Cuadrilla	Por Turno
Equipos	Esperas por disponibilidad de equipos menores a 15 min	Tiempo de Espera por Equipos en Frente	Minutos	0-15	15 - 45	> 45	Jefe Cuadrilla	Por Turno
	Cubrir las necesidades operacionales de equipos	Satisfacción de Requerimiento de Equipos	Porcentaje	100%	90%-100%	< 90%	Jefe Cuadrilla	Por Turno
Materiales	Esperas por materiales menores a 12 minutos	Tiempo de Espera por Materiales en Frente	Minutos	0-12	12 - 34	> 34	Jefe Cuadrilla	Por Turno
Ventilación	Tiempo de interrupción por ventilación en frente menor a 15 minutos	Tiempo Activo de Frente Perdido por Ventilación	Minutos	0-15	15 – 60	> 60	Jefe Turno	Por Turno
Marina	Inexistencia de marina remanente	Espacio Disponible en Puntos de Vaciado	Porcentaje	50%-100%	50%-25%	< 25%	Jefe Cuadrilla	Por Turno
Planificación	Cumplir el programa mensual integrado	Porcentaje del Programa Mensual Cumplido	Porcentaje	90%-100%	80%-90%	< 80%	Planificación	Mensual y Semanal
	Cumplir el programa de desarrollo físico	Porcentaje del Programa Mensual de Desarrollo Físico Cumplido	Porcentaje	100%	90%-100%	<90%	Planificación	Mensual y Semanal
	Controlar cumplimiento de inicio de socavación	Metros Remanentes Acumulados	Metros	0-321	321-428	>428	Planificación	Mensual y Semanal
	Cumplir compromisos adquiridos en reuniones	Porcentaje de Compromisos Cumplido	Porcentaje	90%-100%	80%-90%	< 80%	Planificación	Mensual y Semanal
	Controlar avance diario	Metros de Avance Diarios	Porcentaje	100%	90%-100%	<90%	Jefe Turno	Por Turno

Fuente: Elaboración propia a partir del Diagnóstico de Problemas

6.3.3. Gestión de la información

6.3.3.1. Reportes Formato A3

Para analizar las desviaciones y causas de no cumplimiento, se debe generar un reporte en formato A3, visto en el marco conceptual de este informe, con los antecedentes, situación actual, análisis de causas y efectos, recomendaciones y, en caso de ser necesario, un plan de trabajo o acción para hacerse cargo del problema¹⁸. Este plan de acción deberá ser incorporado en el siguiente programa mensual que desarrolla el área de planificación.

6.3.3.2. Reuniones

Las reuniones son un canal importante de comunicación y coordinación, aumenta las posibilidades de mejora en el desarrollo de las actividades y da a conocer cómo se está realizando el trabajo para el logro de objetivos. La efectividad de estas reuniones también es un factor relevante y radica en la definición de la estructura de la reunión, el conocimiento por parte de los participantes de los temas a tratar y el levantamiento solo de información en la cual se necesita discusión, compromisos por parte de los participantes y tomas de decisiones en conjunto.

En el caso de mega proyectos de alta complejidad, como es el PMCHS, donde coexisten una serie de contratistas y subcontratistas que generan interferencias entre sí las reuniones son cruciales para coordinar las labores, alinear las prioridades y solucionar los problemas e interferencias.

Las instalaciones del PMCHS cuentan con una sala, denominada SAMKA, implementada con el formato *Obeya Room*, cuyo objetivo es entregar una visión transversal del estado actual del proyecto y los desvíos que se han presentado, definir y alinear prioridades a través de la ruta crítica, identificar las restricciones que se deben liberar para el cumplimiento y, por último, comprometer a todo el equipo con la mejora continua.

La sala SAMKA fue desarrollada por la empresa *Boston Consulting Group* a través del proyecto Sello Codelco. Los resultados iniciales de esta implementación han sido positivos, haciendo las reuniones más efectivas, generando cambios en la forma de trabajar y contribuyendo a la mejora en los indicadores. Es por esta razón que se considera conveniente continuar con este mecanismo de reunión, ya que proporciona una serie de beneficios estudiados en el marco conceptual de este informe.

Para la utilización de la sala SAMKA se deben hacer cambios en los objetivos y rutinas de reunión, enfocándose en la gestión y diálogo de desempeño, analizar la causa raíz de las brechas y definir las prioridades del proyecto. Además, el espacio físico de la sala debe tener información visible por todos los asistentes, con los indicadores e información importante. Para mejorar las prácticas de la gestión visual, la sala estará sectorizada por áreas, debe poseer información relevante y actualizada y utilizar asistencias visuales como semáforos para indicar el estado de los indicadores (Ilustración 27). Por último, se deben definir las normas de interacción

¹⁸ En el ANEXO 10 se muestra el esquema y un ejemplo del reporte en formato A3

que requieren cambios en la conducta, generación y seguimiento de compromisos, así como también las mejores prácticas, detalladas a continuación.

1. La reunión se prepara con anticipación
2. Se comienza y termina puntualmente
3. Los participantes están de pie durante las reuniones
4. Se siguen rutinas estándar y se respetan los tiempos
5. Se escucha atentamente hasta que el expositor cierra la idea
6. Se levantan temas solo si son relevantes para la reunión
7. Se proponen soluciones cuando se levantan temas
8. Se anotan compromisos y quedan visibles en la sala
9. Se avanza en compromisos adquiridos previamente
10. Se mantiene siempre un espíritu de aprendizaje y mejora

Ilustración 27: Ejemplo Ilustrativo Sala SAMKA



Fuente: Presentación Reuniones Obeya Sala SAMKA, The Boston Consulting Group

Se propone continuar con el sistema de reuniones existente en PMCHS que consiste en cuatro reuniones: Reunión de Coordinación Interna VP, Reunión de Coordinación Contratista, Reunión de Control de Construcción y Reunión Inicio de Turno Contratista (POD). Debido a que este método se implementó en la existencia de un solo contrato principal, se estima conveniente dividir la Reunión de Coordinación Interna VP en dos reuniones, una destinada a coordinar la interacción de los contratos CC010 y CC013 y otra para cada contrato en particular, donde se traten temas específicos y se levante la información pertinente para la reunión anterior (Tabla 10).

Tabla 10: Reuniones de Coordinación

Reunión	Participantes	Frecuencia	Objetivos	Agenda	Duración
Reunión de Coordinación Interna VP	<ul style="list-style-type: none"> • Director y Jefes Construcción y Planificación VP (OIM) • Director Coordinación y Logística 	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> • Control estado actual • Definición prioridades y objetivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión construcción (desarrollos y servicios) • Revisión interferencias entre contratos • Cierre (novedades y prioridades) 	45 min
Reunión de Coordinación Interna VP Contrato	<ul style="list-style-type: none"> • Director y Jefes Construcción y Planificación VP (OIM) • Representantes Áreas Funcionales (OIM) 	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> • Control estado actual de las áreas del contrato • Definición prioridades y objetivos del contrato 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión construcción (desarrollos y servicios) • Revisión áreas funcionales • Cierre (novedades y prioridades) 	60 min
Reunión de Coordinación Contratista	<ul style="list-style-type: none"> • Director y Jefes Construcción y Planificación VP (OIM) • Jefes Contratista (CC010) 	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión rendimiento contrato • Revisión y validación nuevo plan semanal 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado semana anterior • Nuevo programa semanal y proyección • Cierre (novedades y prioridades) 	60 min
Reunión de Control de Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Jefes Construcción y Planificación (OIM) • Jefes Contratista (CC010) 	Bisemanal	<ul style="list-style-type: none"> • Control y alineamiento • Levantamiento de restricciones en 72 horas siguientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de construcción • Compromisos de corto plazo • Resumen 	30 min
Reunión Inicio de Turno Contratista (POD)	<ul style="list-style-type: none"> • Jefes de Turno • Cuadrillas de Trabajo (CC010) 	Diaria	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar y alinear avance diario 	<ul style="list-style-type: none"> • Informar estado frentes de trabajo • Levantar alertas • Informar plan diario 	30 min

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Codelco Chile

- **Reunión de Coordinación Interna VP:** en esta reunión participan los principales representantes a cargo de los contratos CC010 y CC013, esto es, el director de construcción y los jefes de construcción y planificación. La frecuencia de reunión es semanal y el objetivo es comunicar el estado de desarrollo de cada contrato, levantar problemas o interferencias que requieran del apoyo del director y definir objetivos y prioridades de la semana. En la primera parte de la reunión se debe revisar el estado de avance de los contratos en los principales indicadores, luego se deben levantar los temas relevantes y revisar los compromisos para

finalizar con la revisión y prioridades e información de novedades del proyecto. La duración de esta reunión no debe superar los 45 minutos

- **Reunión de Coordinación Interna VP CC010/CC013:** en esta reunión participan los encargados del contrato específico, ya sea CC010 o CC013, y un representante de cada área funcional (seguridad, calidad, programación y control, ingeniería y electricidad). La frecuencia de reunión es semanal y el objetivo es controlar el estado actual de cada área, donde se debe informar de los principales desvíos e interferencias que requieran el apoyo del encargado del contrato y definir los objetivos y prioridades de la semana. En la primera parte de la reunión se debe hacer una revisión de la construcción en cuanto al avance del desarrollo y los servicios, posteriormente se debe hacer la revisión de las áreas funcionales, donde se levantan los temas y se revisa el estado de los compromisos. Finalmente se informan novedades y se definen las prioridades. La duración de esta reunión no debe superar los 60 minutos

- **Reunión de Coordinación Contratista:** en esta reunión participan los encargados del contrato específico (director y jefes de construcción y planificación) y las principales jefaturas del contratista. La frecuencia de reunión es semanal y el objetivo es controlar el estado actual del rendimiento del contrato, donde se deben revisar los indicadores e informar los principales desvíos e interferencias que requieran el apoyo del encargado del contrato y definir los objetivos y prioridades de la semana. En la primera parte de la reunión se debe presentar el resultado de la semana anterior con la revisión y levantamiento de compromisos para hacerse cargo de los principales desvíos. Luego se debe revisar el nuevo programa semanal y la proyección con respecto al cumplimiento del programa, donde se informan los supuestos, se identifican posibles restricciones y se establecen compromisos para liberarlas. Por último se revisan los compromisos anteriores y se alinean las prioridades y objetivos de la semana. La duración de esta reunión no debe superar los 60 minutos

- **Reunión de Control de Construcción:** en esta reunión participan las jefaturas de la VP (construcción y planificación) y las principales jefaturas del contratista. La frecuencia de reunión es bisemanal y el objetivo es controlar y alinear el avance y levantar restricciones de las siguientes 72 horas. En la primera parte de la reunión se debe informar el estado de la construcción, identificando los principales problemas que presentan los frentes y las restricciones que se pueden interferir en el cumplimiento del programa dentro de las próximas 72 horas. Luego se deben establecer compromisos de corto plazo para librear dichas restricciones, así como también revisar el cumplimiento de compromisos establecidos con anterioridad. Por último se resume lo conversado en la reunión, con énfasis en las prioridades del período de análisis y los compromisos tomados. La duración de esta reunión no debe superar los 30 minutos

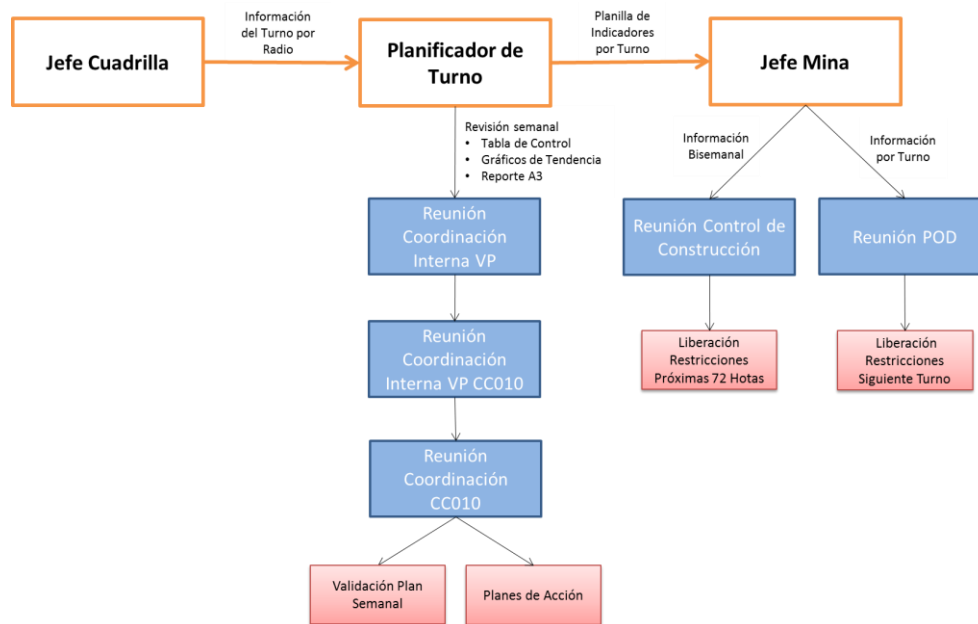
- **Reunión Inicio de Turno Contratista (POD):** en esta reunión participan el jefe de turno VP y las cuadrillas de trabajo. La frecuencia de reunión es al inicio de cada turno (dos reuniones al día) y su objetivo es controlar y alinear el avance diario. En la primera parte se informa el estado de cada frente de trabajo, informando sobre las alertas levantadas por los indicadores y las interferencias que pueden generar desvíos. Luego se informa sobre los avances previstos para el turno siguiente y se levantan compromisos de los ejecutores del plan diario. Finalmente se informan las novedades y prioridades del proyecto. La duración de esta reunión no debe superar los 30 minutos

6.3.4. Flujo de Comunicación

El flujo de la información (Ilustración 28) comienza cuando el Jefe de Cuadrilla informa vía radio al Planificador de Turno los datos relevantes de la jornada. Este último es el encargado de digitalizar la información para cada turno en una planilla que es entregada al Jefe Mina, quien la debe comunicar en las reuniones POD que se realizan al inicio de cada ciclo con el objetivo de liberar las restricciones para el siguiente turno, así como también informar de manera bisemanal en la Reunión de Control de Construcción para liberar las restricciones de las 72 horas siguientes.

Por otro lado, el Planificador de Turno debe preparar semanalmente los elementos visuales en los cuales se mostrará la información, correspondientes a la tabla de control, los gráficos de tendencia y debe preparar reportes formato A3 en caso de ser necesario, con las personas que considere pertinente. Esta información debe ser analizada y profundizada de acuerdo a los objetivos de cada reunión, ya sea Reunión de Coordinación CC010, Reunión de Coordinación Interna VP CC010 o Reunión de Coordinación Interna VP, con el objetivo de levantar las solicitudes necesarias para crear planes de acción semanales y validar la planificación en ese período de tiempo, anticipando posibles interferencias.

Ilustración 28: Flujo de Información CC010



Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Codelco Chile

6.3.5. Mejora Continua

El objetivo de la implementación de la filosofía *Lean* es la búsqueda de la mejora continua. Para esto se consideran una serie de aspectos que ayuden a optimizar el flujo de trabajo y la eficiencia en el uso de recursos.

En primer lugar, una vez avanzado el contrato se debe revisar los indicadores y su utilidad para el control de cada variable, si la información que se reúne es útil para el cumplimiento de

objetivos y logro de resultados, así como también si la frecuencia y responsables de obtener la información son los adecuados.

Junto a lo anterior, se debe analizar la meta de cada indicador para determinar si los niveles son adecuados y detectar si los objetivos se están cumpliendo con ineficiencias. De esta manera se podrán actualizar los valores que sean necesarios y definir nuevos objetivos.

Además se propone la revisión de las variables identificadas en el modelo una vez que haya pasado un plazo suficiente para recabar información. El objetivo es poder modificar las variables en caso de ser necesario o incorporar aquellas que sea pertinente controlar de acuerdo a la realidad del desarrollo del contrato para traspasar el conocimiento y aprendizaje adquirido en el proceso.

Se recomienda evaluar las posibilidades de capacitación constante a los operarios y administrativos, tanto para introducirlos al *Lean* como para mejorar su desempeño en las distintas labores que deben llevar a cabo. Esto se ha definido como un factor relevante en el logro de objetivos y la mejora continua, ya que permite perfeccionar el desempeño, detectando las oportunidades en el proceso y desarrollando acciones de mejora.

También es conveniente revisar la metodología de reuniones para generar *feedback* sobre el funcionamiento de éstas e identificar oportunidades para incorporar herramientas que permitan aumentar su efectividad.

Por último se recomienda llevar a cabo un análisis mensual del tiempo disponible en frente, tiempos productivos, contributivos y no contributivos con el objetivo de detectar las fuentes de desperdicio y poder hacerse cargo de sus causas.

7. CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES GENERALES

Con el objetivo de asegurar la productividad de la construcción de los principales desarrollos mineros correspondientes a los niveles de hundimiento y producción de la futura Mina Chuquicamata Subterránea, este estudio ha propuesto un modelo de gestión operacional a partir del diagnóstico de la situación actual, identificando variables clave dentro del proceso que puedan afectar en el futuro y estableciendo un sistema de control de gestión que ayudará en el desarrollo del contrato destinado a esta labor.

Los megaproyectos son de alta complejidad debido a la magnitud y gran cantidad de variables sobre las que se trabaja. Es por esto que el control y gestión de los plazos y presupuestos se vuelve un punto relevante en el logro de objetivos y obtención de resultados. Éste es el caso del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, cuya construcción se lleva a cabo en un contexto de múltiples contratistas y frentes de desarrollo que deben ser coordinados. A lo anterior se suma la compleja realidad que vive Codelco debido a la baja significativa en el precio del cobre, que ha afectado fuertemente a la organización y la ha obligado a buscar alternativas para aumentar la productividad y hacer sus operaciones más eficientes, es decir, realizar la producción con un menor requerimiento de recursos.

El marco conceptual fue destinado al estudio de la filosofía *Lean*, la cual está orientada a mejorar la productividad a través de la entrega del máximo valor al cliente, en el momento en que lo necesita y con la menor cantidad de recursos posibles, que es lo que se busca en todos los proyectos. Se analizaron los principios y desperdicios de esta filosofía, su aplicabilidad a la minería y proyectos como éste, los beneficios que conlleva su implementación y herramientas complementarias, como la planificación *Last Planner* y las reuniones tipo *Obeya Room*, que son utilizadas en la propuesta final del trabajo. Esta metodología entrega la posibilidad de mejorar la programación para aumentar el cumplimiento de plazos y presupuestos, de adaptarse a las características de la organización, de incluir al cliente y generar la mejora continua en el proceso.

El estudio de casos mostró la importancia del control y seguimiento sobre los proyectos de construcción y cómo la ausencia de estos factores puede afectar negativamente al cumplimiento de los objetivos. En el caso *Construction Industry Institute*, los aspectos relevantes a considerar son el uso de la herramienta *Last Planner* para mejorar la planificación de actividades, tener un facilitador *lean* dentro de la empresa, la importancia del convencimiento de los administrativos y altos mandos sobre la metodología para generar cultura aguas abajo en la organización, la incorporación de la metodología desde el diseño de los proyectos y tener capacitación permanente al personal para que se instaure como cultura y permita la mejora continua.

En el caso de la construcción del Eurotúnel se observaron las consecuencias que un proyecto sin control de productividad y planificación puede tener sobre el cumplimiento de los plazos y presupuestos. Esto deja como aprendizaje que es crucial que los contratistas involucrados estén alineados con el cliente, que la planificación sea realizada en conjunto y que el sistema de control esté unificado. Estos aspectos fueron considerados al momento de desarrollar las propuestas de este trabajo.

El diagnóstico de problemas permitió identificar las variables que puedan afectar en el desarrollo de la construcción de los niveles de hundimiento y producción. Para esto se utilizó la información del principal contrato en desarrollo correspondiente al CC005 – Facilidades Constructivas Mineras, destinado a la construcción de Obras Interior Mina. Esta información es útil en el estudio, ya que es el contrato precursor al cual se está analizando y ambos están orientados principalmente a la construcción de túneles, por lo que el proceso es similar y la situación actual sirve como línea base para el funcionamiento futuro.

Como resultado se obtuvo un mapa del proceso de construcción de túneles, donde se identificaron siete variables críticas que es necesario controlar para mejorar desarrollo y cumplimiento de los objetivos. Ésta son espera por servicios, disponibilidad de equipos, espera por falla eléctrica, espera por materiales, ventilación, acumulación de marina y planificación. Se desarrolló una serie de indicadores para levantar alertas y atacar las causas a tiempo antes que se transformen en un problema mayor, así como también recomendaciones para aumentar el control de dichas variables.

Por último, el sistema de control de gestión propuesto plantea incorporar las herramientas de *Last Planner* y *Pull Planing* en la planificación, con el objetivo de optimizar desempeño del programa y asegurar el cumplimiento de la ruta crítica. Además, entrega las bases para el reporte de la información a través de la tabla de control y gráficos de tendencia para su posterior análisis en las reuniones, las cuales se definieron con formato *Obeya Room*, y reportes A3, que permitirán el desarrollo de un plan de acción para mitigar las causas.

Se destaca la orientación de medir el avance de metros con respecto al programa y no solo el cumplimiento numérico, ya que actualmente se centran en los metros por mes logrados de acuerdo al objetivo, sin embargo, esta es una medida de la capacidad de producción y no refleja el cumplimiento con respecto a la ruta crítica.

7.2. RECOMENDACIONES

7.2.1. Revisión y Actualización del Modelo de Gestión Operacional

Para la ejecución del modelo de gestión operacional se recomienda llevar a cabo una jerarquización de las variables críticas, lo que permitirá priorizar aquellas acciones y actividades orientadas a controlar los desvíos que tendrán un mayor impacto en el proyecto. De esta manera se podrán distribuir los recursos de manera eficiente, en caso que no sea posible abarcar todos los factores.

También se considera incorporar a la planificación la interacción con el rajo de Chuquicamata, ya que a medida que avancen sus operaciones se irán acercando cada vez más provocando mayores interferencias, por lo que se debe aumentar la comunicación y coordinación, analizando la posibilidad de tener la información de los sectores a evacuar por tronadura con mayor anticipación.

Por último se recomienda volver a desarrollar este estudio en base al funcionamiento del contrato CC010 para actualizar el modelo de gestión operacional e incorporar o eliminar variables e indicadores según se estime necesario. También se podrá analizar el desempeño del sistema de control de gestión y planificación, observando los resultados y potenciando aquellas herramientas que dieron un mejor resultado.

7.2.2. Consideraciones para Futuros Proyectos

Para el desarrollo de futuros proyectos se recomienda considerar la propuesta de contratos colaborativos, donde se propicia el trabajo en equipo entre contratista y cliente, compartiendo las ganancias y riesgos sobre los resultados obtenidos. De esta manera se podrá ayudar al contratista a mejorar su productividad a través de la incorporación de herramientas de control y gestión orientadas a la metodología *Lean* y Codelco tendrá el beneficio de obtener un mejor rendimiento y cumplimiento de objetivos en sus proyectos.

Para incorporar la cultura *Lean* en toda la organización, se deben implementar estas herramientas desde las etapas tempranas de los proyectos, con el objetivo de incluirla en el diseño y propiciar un ambiente de mejora continua en toda la escala de la empresa, con una planificación de acuerdo al principio de tirar la producción y no solo incluirla en el control y gestión de las operaciones.

Además, se recomienda mantener la visión macro sobre los proyectos, considerando el proceso como un flujo de trabajo y no como subprocesos aislados, de esta manera se crearán oportunidades alineadas a la mejora del proyecto completo y no solo a óptimos locales que puedan tener repercusiones en otras actividades que no fueron consideradas.

Por último, se debe trabajar en superar las barreras culturales que impiden la realización de diagnósticos y evaluaciones, disminuir las dificultades del factor humano a través de apoyo en el trabajo técnico y de esta manera desarrollar un proceso iterativo continuo a mediante un fuerte liderazgo por parte de los agentes de cambio.

8. CAPÍTULO VIII – BIBLIOGRAFÍA

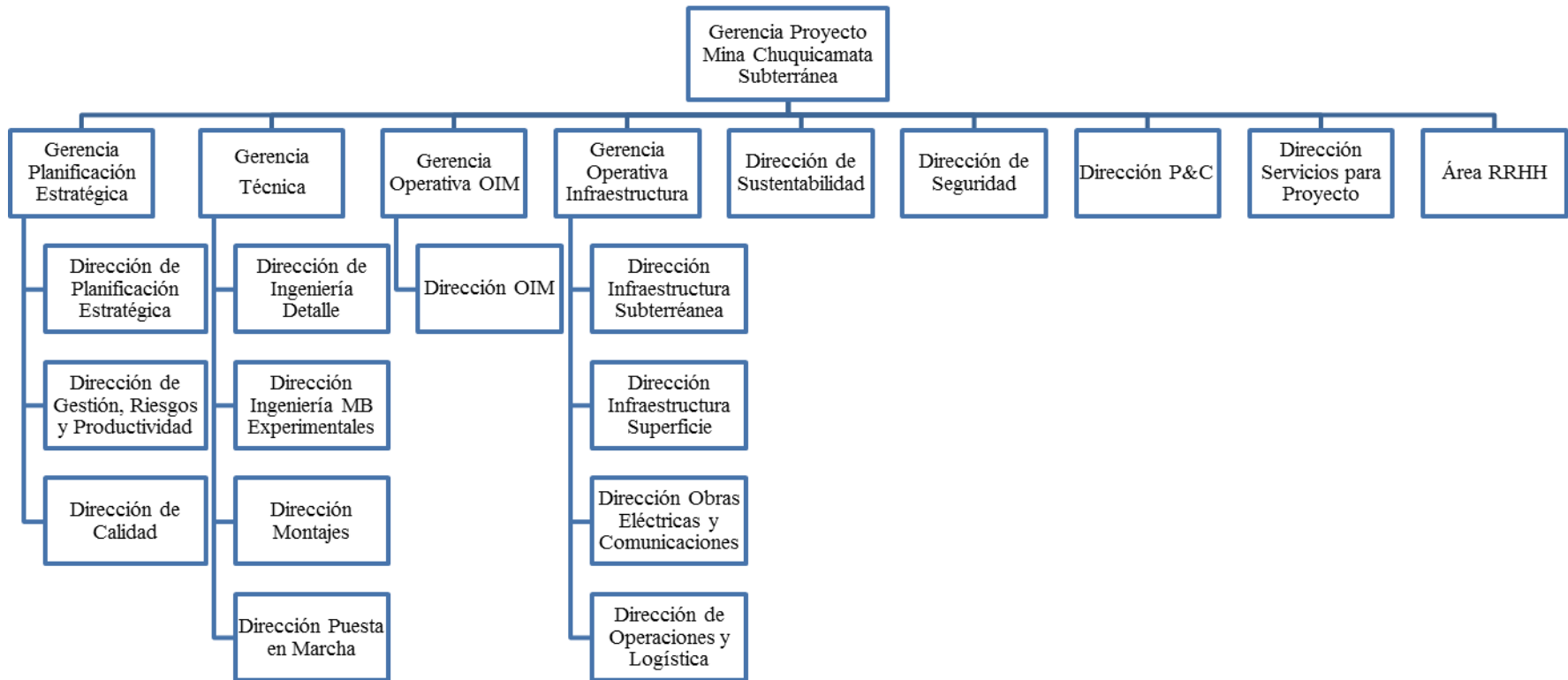
- [1] Codelco. Codelco - La Corporación. [Online]. https://www.codelco.com/la-corporacion/prontus_codelco/2011-06-21/164601.html.
- [2] Codelco. [Online]. http://www.codelco.com/preguntas-frecuentes/prontus_codelco/2011-02-28/183604.html. [Último acceso: 30 mayo 2015].
- [3] Codelco. Vicepresidencia de Proyectos. [Online]. <http://shpcorpapp.codelco.cl/sites/SEVP/Gerencias/Vicepresidencia-de-Proyectos/Paginas/default.aspx>
- [4] Codelco. Chuquicamata. [Online]. http://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/chuquicamata.html
- [5] Codelco Chile, Vicepresidencia de Proyectos, "Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea - Expomin," Chile, «Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea – Expomin,» Chile, 2010., 2010.
- [6] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, "Informe Principales Decisiones Estudio de Prefactibilidad," Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, Codelco, «Informe Principales Decisiones Estudio de Prefactibilidad,» 2009., 2009.
- [7] M. C Ardiles, "Proceso presupuesto de operaciones división Chuquicamata, Codeclo, Chile," Santiago, 2013.
- [8] Enterprise Ireland, "Becoming a Lean Service Business ," 2013.
- [9] J. Womack and D. Jones, "Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation," 1996.
- [10] T. Ohno, "The toyota production system: Beyond large-scale production," 1998.
- [11] L. Koskela, "Application of the new production philosophy to construction," 1992.
- [12] A. Serpel, A. Ventirui, and J. Contreras, "Characterization of Waste in Building Construction Projects," 1995.
- [13] G. Howell, G. Ballard, and I. Tommelein, "Construction engineering, reinvigorating the discipline," 2011.
- [14] G. Ballard and G. Howell, "Implementing Lean Construction: Reducing Inflow Variation," 1994.
- [15] A. Klippel, C. Petter, and J. Antunes, "Lean management implementation in mining industries," 2008.
- [16] M. Leal, "Impactos de la implementación del sistema last planner en obras de montaje industrial en minería," 2010.
- [17] M. Leal and M. Alarcón, "Quantifying impacts of last planner, implementation in industrial mining projects," 2010.
- [18] The Boston Consulting Group, "Implementación de Obeyas en PMCHS," 2015.
- [19] G. Howell and G. Ballard, "Lean Production Theory: Moving Beyond "CanDo"," 1994.

- [20] L. Alarcón, S. Diethelmn, and O. Rojo, "Collaborative Implementation Of Lean Planning Systems in Chilean Construction Companies," 2002.
- [21] Departamento de Planificación Nacional, "Guía Metodológica para la Formulación de Indicadores," Bogotá, 2009.
- [22] Juan Felipe Pons. [Online]. <httpwww.juanfelipepons.comworkshop-lean-management>
- [23] Consejo Minero, "Minería en Cifras," Agosto 2015.
- [24] Edward W. Merrow, "Industrial Megaprojects – Base de datos IPA," 2014.
- [25] Izak Duenyas, "Lean Office Management: Gestión Eficiente de Procesos y Servicios Administrativos," 2015.
- [26] L. Koskela, "Lean production in construction," 1993.
- [27] A. Wijaya, R. Kumar, and U. Kumar, "Implementing lean principle into mining industry issues and challenges," 2009.
- [28] M. Ade and V. S. Deshpande, "Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry," 2012.
- [29] Lean Roots. [Online]. <http://www.leanroots.com/A3.html>
- [30] Michael Pappas, "Evaluating Innovative Construction Management," 1990.

9. CAPÍTULO XIX – ANEXOS

9.1. ANEXO 1

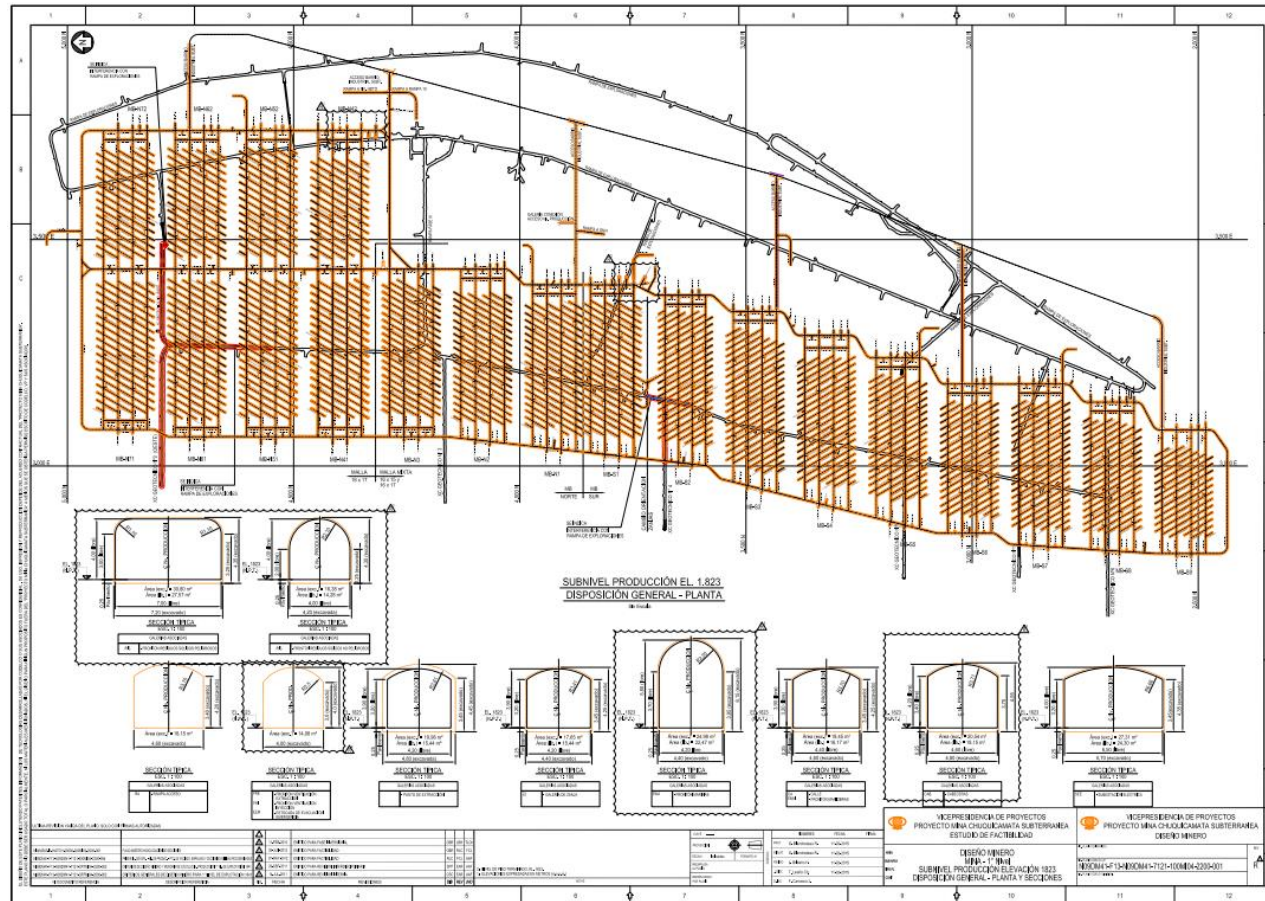
Ilustración 29: Organigrama Gerencia Proyecto Chuquicamata Subterránea



Fuente: Gerencia Planificación Estratégica, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.2. ANEXO 2

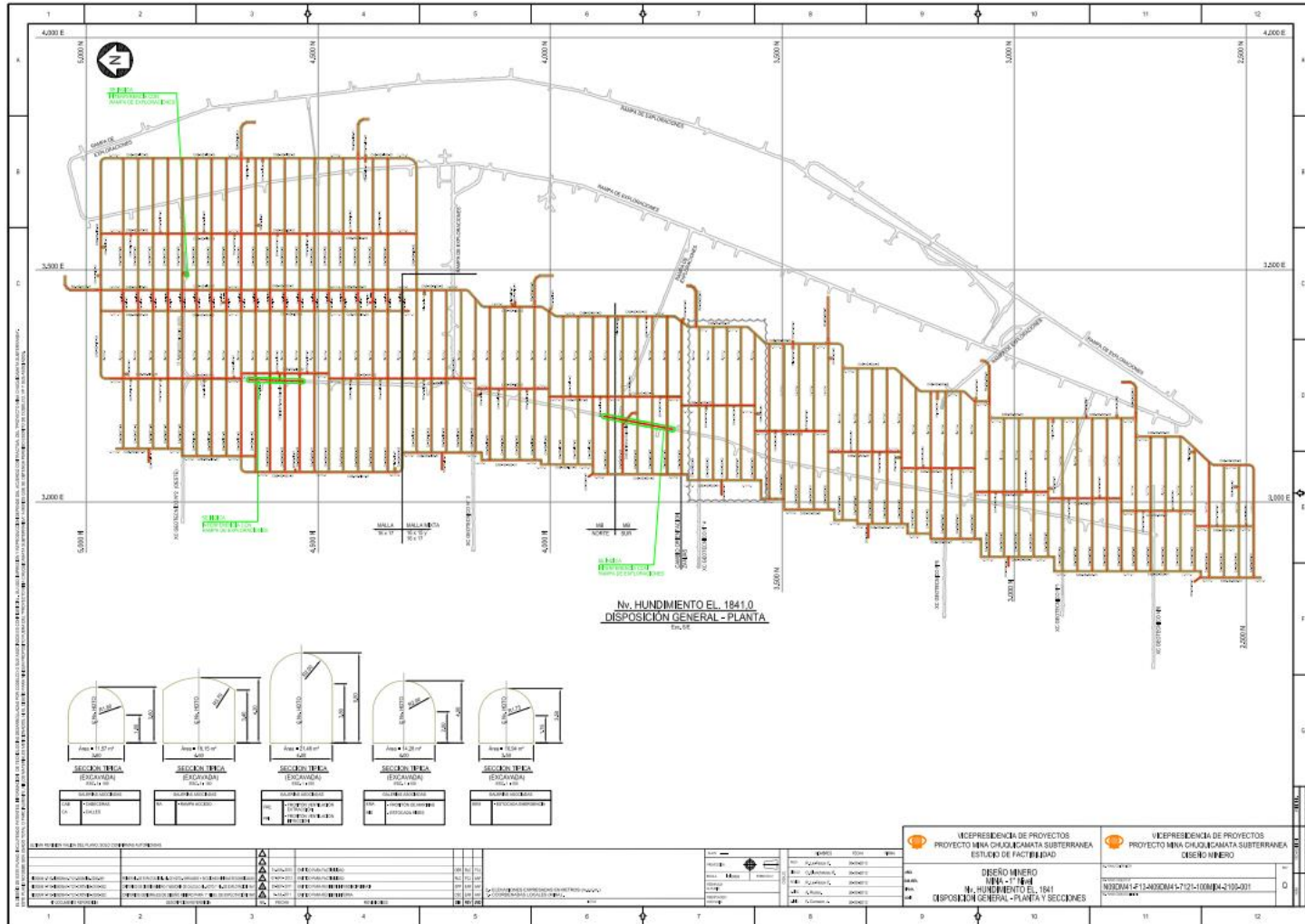
Ilustración 30: Plano Disposición General Subnivel de Producción



Fuente: Diseño Minero – PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.3. ANEXO 3

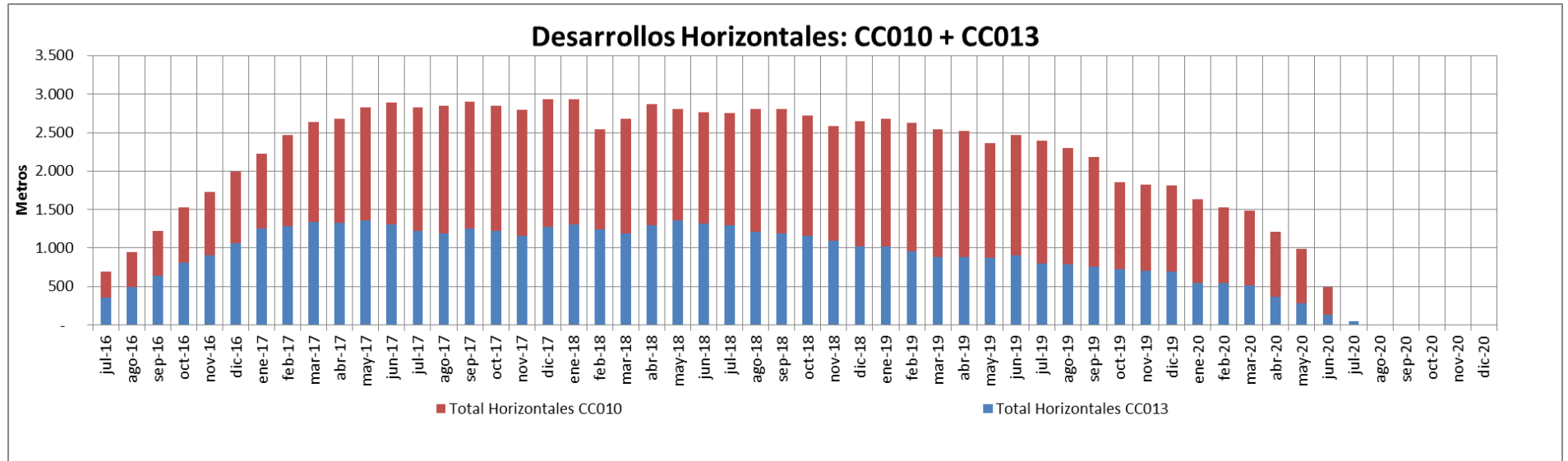
Ilustración 31: Plano Disposición General Subnivel de Hundimiento



Fuente: Diseño Minero – PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.4. ANEXO 4

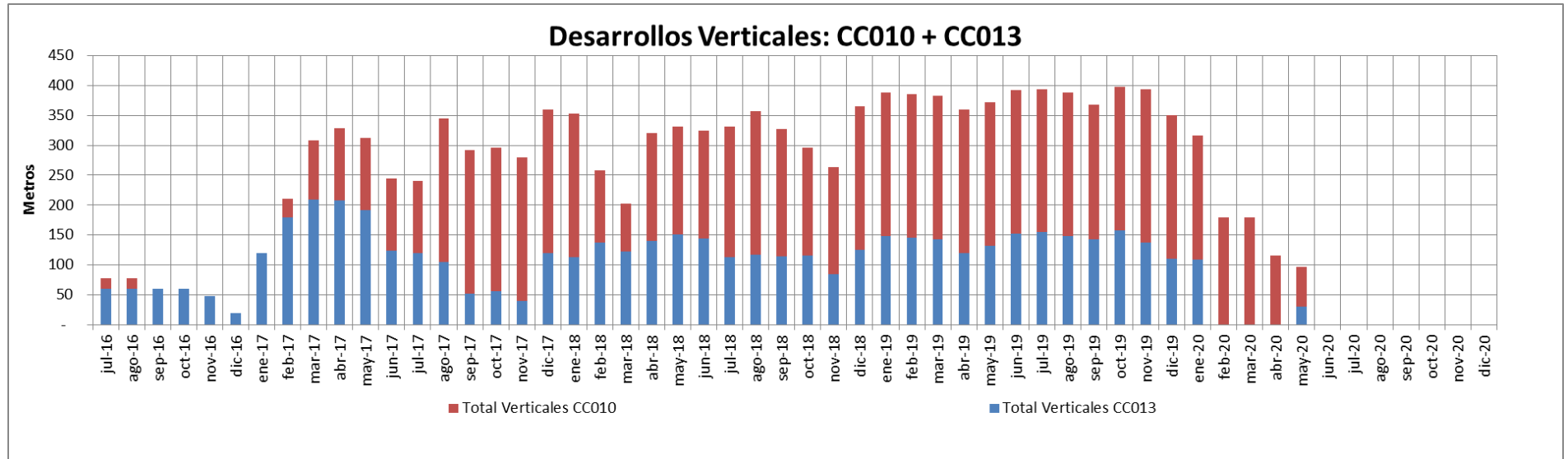
Ilustración 32: Desarrollos Horizontales Contrato CC010 y Contrato CC013



Fuente: Programa PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.5. ANEXO 5

Ilustración 33: Desarrollos Verticales Contrato CC010 y Contrato CC013



Fuente: Programa PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.6. AENXO 6

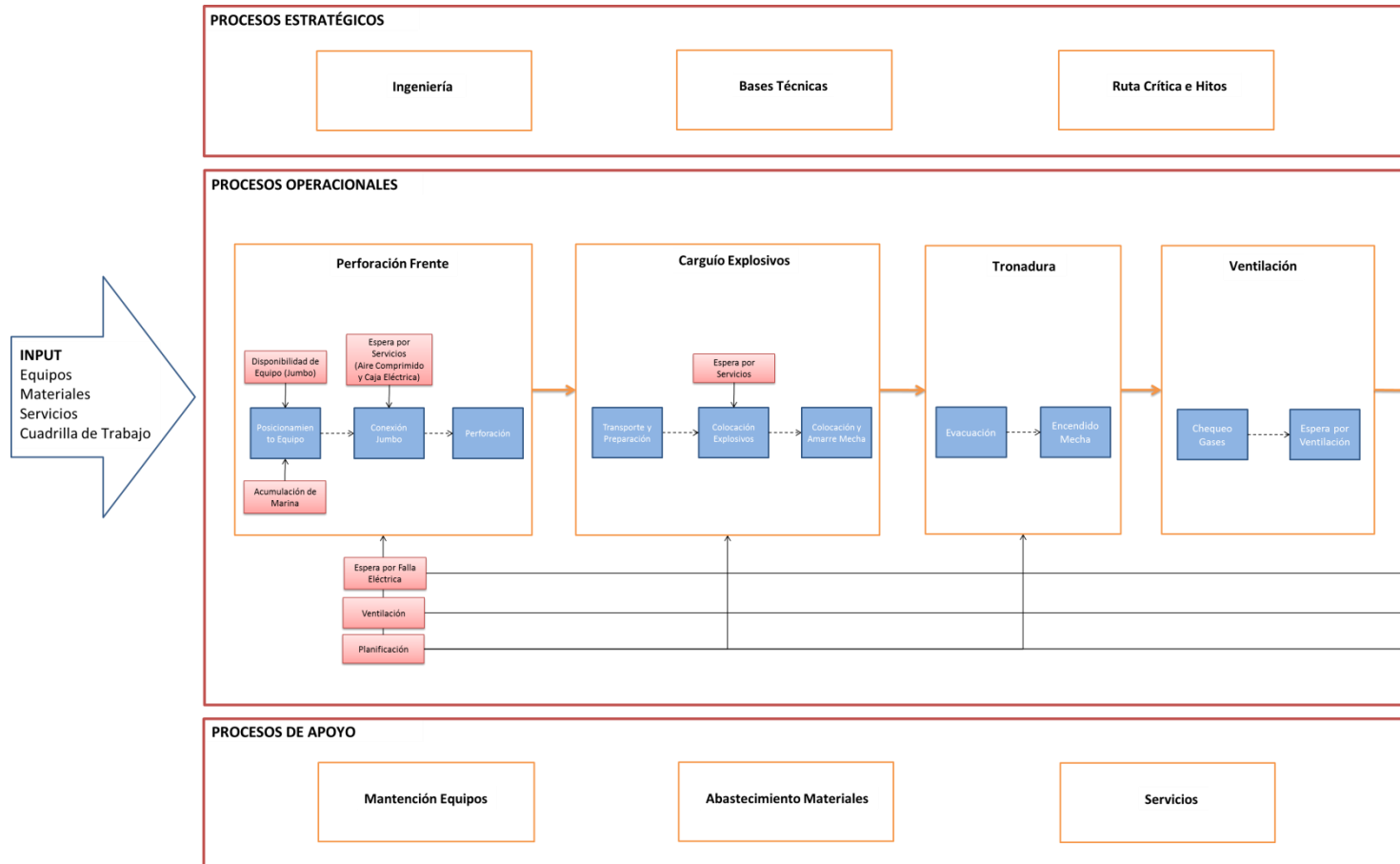
Tabla 11: Clasificación de Actividades del Ciclo de Frente según Filosofía Lean

Actividad	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo
Acuñadura	Acuñadura	Posicionamiento Equipo	
Shotcrete	Proyección Shotcrete	Posicionamiento Equipo Conexión Roboshot Carguío Shotcrete Limpieza Equipo	Esperas
Topografía		Mercado de Frente Mercado de Pernos Medición Telemetro	
Perforación de Pernos	Perforación	Posicionamiento Equipo Conexión Jumbo/Perforadora	Esperas
Perforación de Frente	Perforación	Posicionamiento Equipo Conexión Jumbo/Perforadora	Esperas
Limpieza Pata		Posicionamiento Equipo Carguío Material Traslado Material	
Lechadas/Pernos	Inyección Lechada Colocación de Pernos	Preparación Personal(Cambio de Ropa) Preparación Lechada Posicionamiento Equipo (Levante) Transporte Materiales	
Carguío Explosivos	Colocación Explosivos Inyección Colocación y Amarre De Mecha	Transporte a Frente Preparación Explosivo Instalación Equipo	
Tronadura	Encendido de Mecha		Evacuación
Ventilación		Chequeo Gases	Espera por Ventilación
Retiro Marina	Recoger Material Cargar Material	Posicionamiento Scoop Posicionamiento Camión Traslado Frente + Botadero	Espera por Interferencias

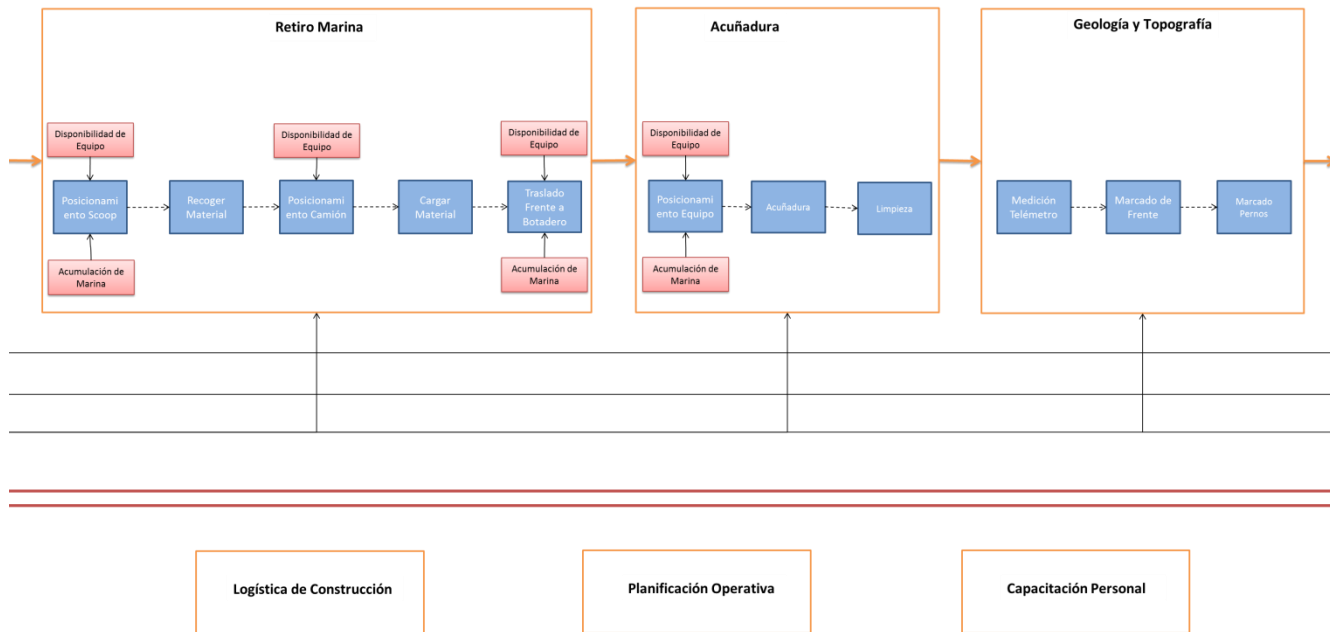
Fuente: Informe Etapa Diagnóstico PMCHS, DICTUC

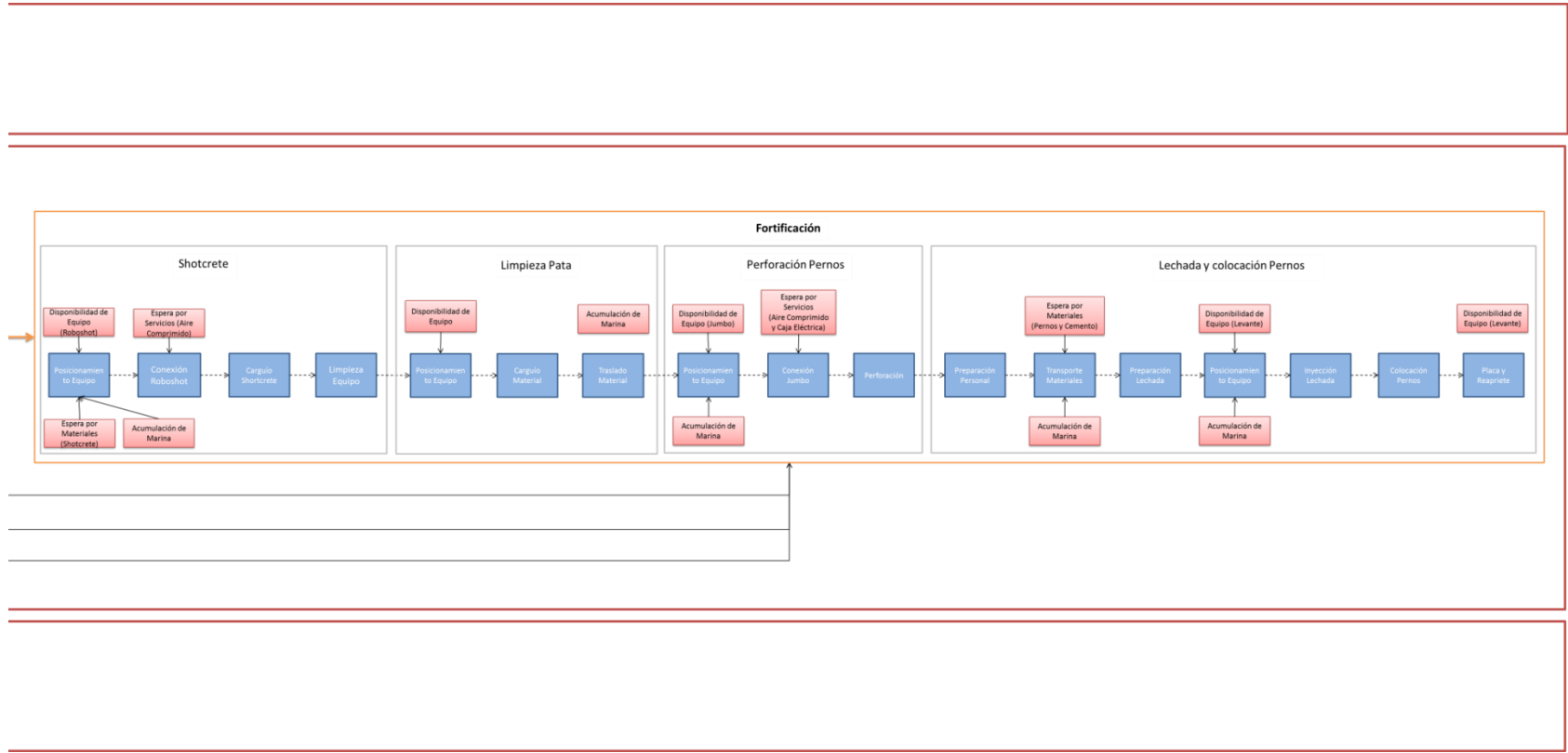
9.7. ANEXO 7

Ilustración 34: Mapa del Proceso de Construcción de Túneles Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea



Fuente: Elaboración propia a partir del Informe DICTUC y visitas a terreno PMCHS





9.8. ANEXO 8

Ilustración 35: Resumen Programa Contratos CC010 y CC013 (julio 2016 – junio 2018)

Sector	Contrato	Tipo de Labor	Total	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	
Hundimiento Central	CC010	Horizontal	7.714	-	-	84	114	116	142	143	280	352	360	360	435	450	450	430	422	422	428	390	180	180	180	180	180	
Hundimiento Sur	CC010	Horizontal	2.201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	180	180	180	180	180	
Hundimiento Norte	CC010	Horizontal	5.277	-	-	-	-	-	-	-	60	82	82	102	116	146	150	150	136	183	180	180	180	180	180	180	180	
Producción Central	CC010	Horizontal	18.025	204	274	302	364	426	502	510	510	520	560	645	645	625	630	630	626	590	590	590	95	180	270	270	270	
Producción Sur	CC010	Horizontal	12.887	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	140	140	360	360	360	360	360	
Producción Norte	CC010	Horizontal	11.294	-	-	-	-	-	-	42	57	58	73	81	102	104	145	180	180	180	180	180	180	280	280	280	280	
Barrio Industrial Norte	CC010	Horizontal	2.756	72	96	100	124	130	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	122	-	-	
Infraestructura	CC010	Horizontal	2.167	60	82	102	116	146	150	150	150	150	150	150	150	150	150	135	132	44	-	-	-	-	-	-	-	
Chimeneas	CC010	Vertical	3.024	-	-	-	-	-	-	-	30	-	120	120	120	120	81	6	-	-	57	60	107	80	60	60	60	
Piques	CC010	Vertical	3.788	17	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	159	234	240	240	240	172	-	-	-	36	120	
Tiros	CC010	Vertical	914	-	-	-	-	-	-	-	-	98	-	-	-	-	-	-	-	-	11	180	13	-	120	84	-	
Correa de Nivel 1	CC013	Horizontal	3.502	42	57	58	113	138	160	200	200	200	200	200	205	205	207	212	210	210	210	206	105	105	30	30	-	
Chancado + Traspaso Sur	CC013	Horizontal	6.685	60	98	153	189	225	257	281	281	240	287	161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	190	227	290	
T.Intermedio Sur	CC013	Horizontal	3.157	60	81	125	139	140	150	131	68	86	26	-	-	-	-	-	-	-	124	150	150	150	150	150	150	
Chancado + Traspaso Nor	CC013	Horizontal	3.046	-	-	-	-	-	-	42	57	100	170	220	240	244	156	150	150	149	225	225	150	180	170	160	145	
T.Intermedio Norte	CC013	Horizontal	1.570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	60	56	144	150	150	151	75	75	150	120	130	135	50	
Correa Colectora	CC013	Horizontal	3.045	60	81	113	143	158	246	246	246	244	210	210	210	195	155	105	105	80	80	80	0	-	-	-	-	
Infraestructura	CC013	Horizontal	2.317	42	57	58	73	75	75	90	90	90	90	90	90	-	97	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	
Inyección	CC013	Horizontal	7.902	30	41	41	51	58	73	75	128	165	191	191	201	208	223	225	157	145	144	145	185	185	220	223	257	
Inyección Principal	CC013	Horizontal	6.478	60	81	90	102	116	105	100	100	100	100	100	100	100	100	100	130	105	105	105	105	105	90	120	105	
Extracción	CC013	Horizontal	8.859	-	-	-	-	-	-	84	113	116	143	162	204	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
Extracción Principal	CC013	Horizontal	6.480	60	81	83	102	105	105	147	162	163	176	186	207	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	
RB 3m diam	CC013	Vertical	3.085	-	-	-	-	48	19	-	60	90	89	72	-	-	-	52	56	-	-	113	86	62	81	91	84	
RB 6m diam	CC013	Vertical	1.297	61	61	61	61	-	-	120	120	120	120	120	124	-	-	-	-	39	-	-	52	60	60	60	60	
Tiros	CC013	Vertical	765	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	105	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	
Correa de Nivel 1	CC013	Exc. Mayor	70.490	-	-	-	-	1.000	959	-	-	4.750	4.776	3.750	3.750	5.650	2.618	2.890	3.962	5.671	5.396	3.971	4.109	2.900	5.746	5.746	2.846	
Chancado + Traspaso Sur	CC013	Exc. Mayor	60.672	-	-	-	-	-	-	-	1.264	1.264	1.264	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	1.264	1.264	1.264	-	-	-	-	-	-	
T.Intermedio Sur	CC013	Exc. Mayor	7.787	-	-	-	-	-	-	81	737	657	656	657	-	-	656	1.313	1.448	791	791	-	-	-	-	-	-	
Chancado + Traspaso Nor	CC013	Exc. Mayor	20.224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	1.264	1.264	1.264	1.264	1.264	1.264	
T.Intermedio Norte	CC013	Exc. Mayor	5.305	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	656	657	656	657	656	657	656	657	-	27	-	27	-	-	
Total Horizontales	CC013			354	495	637	810	909	1.064	1.249	1.282	1.341	1.327	1.361	1.310	1.218	1.194	1.249	1.217	1.155	1.278	1.301	1.240	1.186	1.295	1.359	1.312	
Total Horizontales	CC010			336	452	588	718	818	926	977	1.189	1.294	1.357	1.470	1.580	1.607	1.657	1.657	1.628	1.641	1.650	1.634	1.307	1.492	1.572	1.450	1.450	
Total Verticales	CC013			61	61	61	61	48	19	120	180	210	209	192	124	120	105	52	56	39	120	113	138	122	141	151	144	
Total Verticales	CC010			17	17	-	-	-	-	-	30	98	120	120	120	120	240	240	240	240	240	240	120	80	180	180	180	

Fuente: Programa PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

Ilustración 36: Resumen Programa Contratos CC010 y CC013 (julio 2018 – julio 2020)

Sector	Contrato	Tipo de Labor	Total	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	
Hundimiento Central	CC010	Horizontal	7.714	180	180	180	180	180	11	-	-	-	-	-	-	-	90	90	90	90	90	76	-	-	-	-	-	-	
Hundimiento Sur	CC010	Horizontal	2.201	180	180	180	180	136	153	90	90	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hundimiento Norte	CC010	Horizontal	5.277	180	180	180	160	220	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Producción Central	CC010	Horizontal	18.025	270	270	270	270	270	363	410	410	410	410	410	410	330	90	145	300	300	300	300	300	300	300	300	300	60	-
Producción Sur	CC010	Horizontal	12.887	360	380	486	500	500	650	710	710	710	690	390	435	367	434	290	290	290	290	290	410	410	410	410	410	305	-
Producción Norte	CC010	Horizontal	11.294	280	400	320	274	180	270	270	270	270	360	512	540	720	720	720	360	435	435	423	270	270	133	-	-	-	
Barrio Industrial Norte	CC010	Horizontal	2.756	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Infraestructura	CC010	Horizontal	2.167	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chimeneas	CC010	Vertical	3.024	98	120	94	128	180	120	46	-	-	18	120	120	73	-	-	-	203	240	107	60	60	90	67	-	-	
Piques	CC010	Vertical	3.788	120	120	120	52	-	120	194	240	240	163	89	49	167	240	181	191	-	-	120	120	26	-	-	-	-	
Tiros	CC010	Vertical	914	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	31	71	-	-	43	49	53	-	102	-	-	-	-	-	-	
Correa de Nivel 1	CC013	Horizontal	3.502	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chancado + Traspaso Sur	CC013	Horizontal	6.685	290	290	290	290	258	233	225	225	225	225	205	195	175	175	145	90	97	-	-	-	-	-	-	-	-	
T.Intermedio Sur	CC013	Horizontal	3.157	150	150	150	150	150	150	150	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chancado + Traspaso Nor	CC013	Horizontal	3.046	113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T.Intermedio Norte	CC013	Horizontal	1.570	28	40	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Correa Colectora	CC013	Horizontal	3.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Infraestructura	CC013	Horizontal	2.317	105	105	105	105	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Inyección	CC013	Horizontal	7.902	300	312	300	300	300	300	228	150	180	150	195	195	195	195	195	195	195	195	179	105	105	66	-	-	-	
Inyección Principal	CC013	Horizontal	6.478	105	105	105	105	105	88	165	255	225	255	210	210	210	210	210	227	210	210	210	210	210	135	80	-	-	
Extracción	CC013	Horizontal	8.859	210	210	210	210	255	255	255	255	255	255	265	300	215	210	210	210	210	210	235	235	235	235	198	130	49	
Extracción Principal	CC013	Horizontal	6.480	210	210	210	210	165	165	165	165	165	165	155	105	105	105	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RB 3m diam	CC013	Vertical	3.085	114	117	84	116	84	85	129	125	113	120	132	153	104	129	113	118	108	110	28	-	-	-	-	-	-	
RB 6m diam	CC013	Vertical	1.297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tiros	CC013	Vertical	765	-	-	30	-	-	40	20	20	30	-	-	-	50	20	30	40	30	-	80	-	-	-	30	-	-	
Correa de Nivel 1	CC013	Exc. Mayor	70.490	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chancado + Traspaso Sur	CC013	Exc. Mayor	60.672	-	-	-	-	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	-	-	-	-	-	
T.Intermedio Sur	CC013	Exc. Mayor	7.787	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chancado + Traspaso Nor	CC013	Exc. Mayor	20.224	1.264	2.028	1.264	1.264	1.264	1.264	1.264	1.264	1.264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T.Intermedio Norte	CC013	Exc. Mayor	5.305	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total Horizontales	CC013		1.301	1.212	1.190	1.160	1.095	1.026	1.023	962	885	885	875	900	795	790	760	722	705	696	550	550	511	370	278	130	49		
Total Horizontales	CC010		1.450	1.590	1.616	1.564	1.486	1.627	1.660	1.660	1.660	1.640	1.492	1.565	1.597	1.514	1.425	1.129	1.115	1.115	1.089	980	980	843	710	365			
Total Verticales	CC013		114	117	114	116	84	125	149	145	143	120	132	153	154	149	143	158	138	110	108	-	-	-	30	-			
Total Verticales	CC010		218	240	214	180	180	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	224	240	256	240	209	180	180	116	67	-		

Fuente: Programa PMCHS, Vicepresidencia de Proyectos Codelco Chile

9.9. ANEXO 9

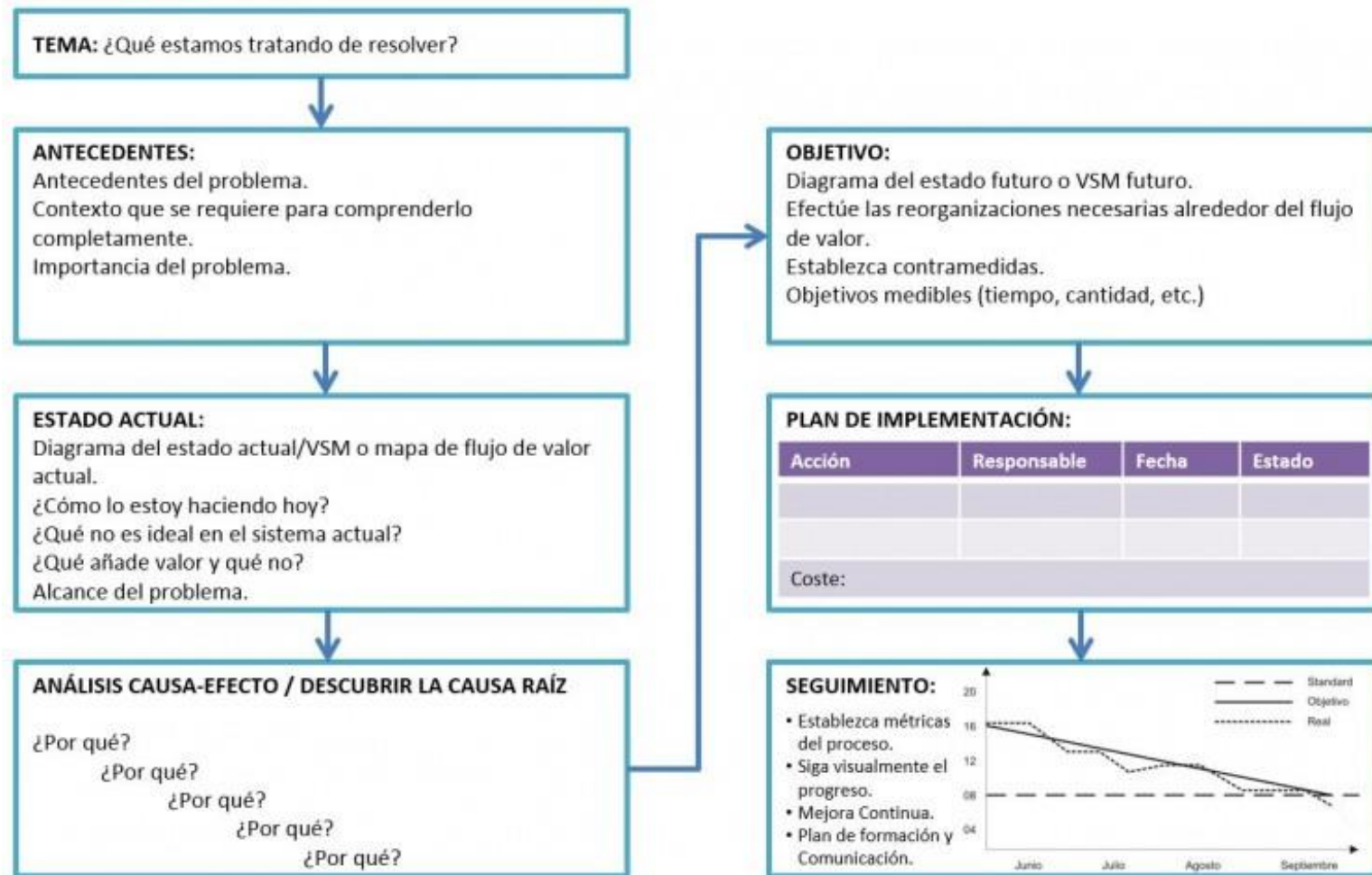
Tabla 12: Posibles Frecuencias de Espera por Causalidad

Esperas	Servicio	Equipo	Materiales
Espera Acuñadura	-	9	-
Espera Carguío	22	-	-
Espera colocación malla	-	2	2
Espera lechada y pernos	-	29	29
Espera limpieza pata	-	27	-
Espera perforación pernos	1	1	-
Espera Perforación	32	32	-
Espera Placa y Reapriete	-	6	6
Espera retiro de marina	-	1	-
Espera shotcrete	-	22	22
Promedio	18	14	15

Fuente: Elaboración propia, a partir de la base de datos del diagnóstico del PMCHS desarrollado por el DICTUC

9.10. ANEXO 10

Ilustración 37: Esquema Reporte A3



Fuente: Sitio Web Juan Felipe Pons [22]

Ilustración 38: Ejemplo Reporte A3

ANTECEDENTES:

- Búsqueda de la compañía por gestionar la productividad en próximos contratos
- Escenario económico complejo
- Evolución del avance planificado vs avance real: Pendiente
- Tiempo disponible en el frente obtenido (TDF): 7,4 horas

RECOMENDACIONES:

- Implementación de pull planning para mejorar planificación de largo plazo.
- Implementación de panel de indicadores en sala Obeya para mejorar planificación de corto y mediano plazo (PPC-porcentaje de programa cumplido, CNC-causas de no cumplimiento, KPI'S de cada iniciativa,etc.)
- Estandarizar reunión POD (formalización, incluir pizarra de planificación, reporte de planificación incorporando Last Planner, panel con prioridades y compromisos, layout de la sala y actualización de paneles de equipos por operadores.

SITUACIÓN ACTUAL:

- Se realiza planificación trimestral, mensual y semanal.
- Reuniones POD: traspaso de información turno saliente (5:30-06:00), traspaso información turno entrante (07:00-07:15), planificación ASTALDI (07:15-07:55) y reunión de traspaso de trabajos a mineros (08:00-08:30).
- Boston Consulting está implementando una Obeya room para el proyecto.
- Dentro de las principales pérdidas registradas en encuesta de detenciones se encuentran:

ANÁLISIS:

- Actualmente se han registrado 1,7 horas/turno perdidas por falta de coordinación en servicios.

Espera	Situación Actual
Espera por servicios	1,7 hrs.

- Dentro de los registros, el roboshot es el equipo más incidente en esta categoría de espera. La distribución de general asociada a las mediciones es:

- En implementaciones de Last Planner, se han obtenido disminuciones de al menos el 70% de las pérdidas.
- Alguna de las causas asociadas a las condiciones de la coordinación y planificación actual son:
 - Operaciones no sabe estado de sus áreas de apoyo.
 - Falta de coordinación y planificación entre distintas áreas de apoyo.
 - Reuniones POD no estandarizadas.

OBJETIVO:

Disminuir las horas de esperas por servicios a 0,86 horas/turno (50%), antes del 16 de febrero.

Espera	Situación Objetivo
Espera por servicios	0,86 hrs.

PLAN:

SEGUIMIENTO:

ACTIVIDAD	FECHA INICIO	FECHA FIN	% CUMPLIMIENTO	STATUS	RESPONSABLE
1. Pull Planning			0%	Se debe programar con Actual fecha para realizar Pull Planning	Óliver Miranda / Álvaro Palomares
2. Estandarizar POD	01-12-2015	23-12-2015	60%	Se está apoyando en la estructura de la POD, se debe actualizar la estructura de POD con la STP formen.	Sebastián Tabo / Sebastián González
3. Panel en sala Obeya	17-12-2015	30-12-2015	15%	Se están presentando en la Obeya KPIs asociados a cada iniciativa	Álvaro Palomares
3.1 Definir cálculo de PPC	18-12-2015	20-12-2015	20%	Esta fórmula implementación de planillo para tener presente el PPC no está siendo calculado.	Planificador Astaldi
3.2 Definir cálculo de CNC	18-12-2015	20-12-2015	0%	No se está calculando el CNC, se debe definir método de cálculo con Planificador	Planificador Astaldi
3.3 Acciones correctivas	29-12-2015	30-12-2015	0%	Se debe concientizar sobre tomar acciones correctivas sobre las CNC, no se está realizando ningún análisis.	Doni- Rojas

Diagnóstico	Objetivo	Reducción esperada	Situación actual	% Del alcance del objetivo (RPF/RPE)
1,7 horas	0,86 horas	0,86 horas	3,94 horas	-258%

Fuente: Servicios de Mejora de Productividad en Proyectos – Reporte de Avance PMCHS, DICTUC