



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

**INCORPORACIÓN DE METODOLOGÍAS DE LEAN MANAGEMENT EN LA ETAPA
DE CONSTRUCCIÓN DE LA MINA RECURSOS NORTE**

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

PABLO ANDRÉS ARRIAGADA HERNÁNDEZ

**PROFESOR GUÍA:
IVÁN BRAGA CALDERÓN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MANUEL ROJAS VALENZUELA
GERARDO DÍAZ RODENAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2018**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO
DE: Magíster en Gestión y Dirección de Empresas
POR: Pablo Andrés Arriagada Hernández
FECHA: 30/11/2018
PROFESOR GUÍA: Iván Braga Calderón

INCORPORACIÓN DE METODOLOGÍAS DE LEAN MANAGEMENT EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA MINA RECURSOS NORTE

La disminución de disponibilidad de mineral a partir del año 2021 producto del retraso en la puesta en marcha del Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) significó que División El Teniente tuviera que definir un Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) que permitiera mantener los actuales ritmos de producción, que bordean las 137.000 t/d como promedio anual. De esta forma, el PDA considera la puesta en producción de tres nuevos sectores asociados a la mina subterránea, junto con una primera etapa del PNNM, con plazos de ejecución exigentes debido a la necesidad de asegurar la cobertura de mineral.

El Proyecto Recursos Norte, perteneciente al PDA, instala el desafío de construir una mina de gran tamaño en tiempos menores a los que la División ha logrado concretar en proyectos anteriores de similares características, planteando el reto de desarrollar una forma diferente de encarar la construcción de una mina subterránea de modo de incrementar los indicadores de productividad de la actividad.

El objetivo general del presente trabajo de tesis consistió en elaborar una propuesta de implementación de metodologías de Lean Management y Excelencia Operacional en el desarrollo de las obras tempranas del Proyecto Recursos Norte, con el objetivo de mejorar los rendimientos exhibidos por la empresa constructora y sentar las bases de un esquema de operación estandarizado para la ejecución de otros proyectos de construcción de mina. Para ello, se seleccionaron y desplegaron al interior del equipo de construcción del Proyecto una serie de metodologías y herramientas, y se evaluó su impacto entre los meses de mayo y diciembre de 2017.

Los resultados logrados mediante el despliegue de estas metodologías evidenciaron una mejora relevante en los indicadores de productividad del contrato, sustentado en la gestión de interferencias e implementación de mecanismos de resolución de problemas que permitieron incrementar los tiempos efectivos de trabajo. A su vez, se dio una especial relevancia a los aspectos organizacionales relacionados con la implementación de este tipo de metodologías, de modo que su aplicación no respondiera a un lineamiento temporal si no que a un esquema estandarizado y asumido en el seno del equipo de construcción del Proyecto.

Los beneficios evidenciados brindan un impulso a la estandarización de las metodologías de trabajo implementadas para su uso en otros proyectos de construcción de mina subterránea, aprovechando el aprendizaje adquirido y profundizando su aplicación mediante la adición de nuevos elementos. Es así como el uso de este tipo enfoques se convierte en un pilar para asegurar e incluso adelantar la puesta en producción de las nuevas minas subterráneas respecto de su fecha planificada, contribuyendo directamente en la sostenibilidad de la Corporación durante los próximos años.

Tabla de Contenido

Resumen	i
1. Introducción	1
2. Objetivo general	3
3. Alcance.....	4
4. Antecedentes Proyecto Recursos Norte	4
4.1. Emplazamiento	4
4.2. Estimación de recursos	5
4.3. Geomecánica del sector.....	7
4.3.1. Hundibilidad	8
4.3.2. Fragmentación	8
4.4. Método de explotación	9
4.5. Parámetros de diseño minero.....	9
4.5.1. Malla de extracción	9
4.6. Sistema de socavación.....	11
4.7. Diseño de la mina.....	12
4.8. Infraestructura mina	13
4.8.1. Acceso principal.....	13
4.8.2. Transporte principal de mineral.....	14
4.8.3. Ventilación	15
4.8.4. Áreas de mantención, oficinas y comedores	16
4.8.5. Drenaje	16
4.9. Planes de desarrollo y preparación	17
5. Descripción de la problemática.....	21
6. Marco Teórico y metodologías de Lean Management	23
6.1. El sistema de producción Toyota.....	23
6.2. Lean Management	25
6.3. Lean Construction	25
6.4. Lean Project Delivery System.....	27
6.4.1. Sistema Último Planificador	27
6.4.2. Diseño con meta de valor (Target Value Design)	29
6.4.3. Contratos Relacionales	29
6.4.4. Sala de control del proyecto.....	30
6.5. Resolución de problemas	31
7. Incorporación de metodologías de Lean Management en Proyecto Recursos Norte	

7.1. Diagnóstico de la metodología de ejecución de actividades	35
7.1.1. Planificación de las actividades a inicio de turno.....	36
7.1.2. Control del desarrollo de actividades durante el transcurso del turno.....	39
7.1.3. Eficiencia en la ejecución de las actividades asociadas al proceso de desarrollo horizontal	39
7.1.4. Nivel de conocimiento de metodologías de excelencia operacional en la empresa constructora	47
7.2. Aplicación de metodologías de Excelencia Operacional.....	47
7.2.1. Involucramiento del equipo de construcción del Proyecto Recursos Norte y del equipo directivo de la empresa constructora	48
7.2.2. Estandarización de reunión de generación de Programa de Obras Diario (POD)	49
7.2.3. Sala de control y controlador de actividades	51
7.2.4. Publicación de indicadores de rendimiento	53
7.2.5. Implementación de estándar de análisis causal de fallas de equipos.....	55
7.2.6. Implementación de estándar de análisis causal de pérdida de disparos	55
7.2.7. Implementación de metodología de resolución de problemas (RDP) y plan de implementación táctico (PIT).....	56
7.2.8. Diálogo de desempeño gerencial	59
8. Resultados	60
8.1. Resultados asociados a diferentes KPI	60
8.1.1. Gestión de Interferencias	62
8.1.2. Análisis de disponibilidad de equipos.....	64
8.2. Resultados asociados a la dinámica de despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional	66
9. Conclusión.....	67
10. Bibliografía	71

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1 Localización geográfica División El Teniente	1
Ilustración 1-2 Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) División El Teniente	2
Ilustración 1-3 Principales indicadores Proyecto Recursos Norte	2
Ilustración 4.1-1 Ubicación sector Recursos Norte (color magenta)	5
Ilustración 4.2-1 Planta de distribución de CuT del sector Recursos Norte	6
Ilustración 4.2-2 Perfil de distribución de CuT del sector Recursos Norte	7
Ilustración 4.2-3 Planta de distribución de litologías principales del sector Recursos Norte	7
Ilustración 4.5.1-1 Parámetros geométricos de malla de extracción	10
Ilustración 4.5.1-2 Malla de extracción sector Recursos Norte	11
Ilustración 4.7-1 Módulo de producción sector Recursos Norte	12
Ilustración 4.8-1 Diseño general de infraestructura sector Recursos Norte	13
Ilustración 4.8.1-1 Acceso principal sector Recursos Norte	14
Ilustración 4.8.2-1 Sistema transporte principal sector Recursos Norte	15
Ilustración 4.8.3-1 Circuito de ventilación sector Recursos Norte	15
Ilustración 4.8.4-1 Áreas de manteción, casinos y oficinas	16
Ilustración 4.8.5-1 Estación de decantación y bombeo de aguas de drenaje	17
Ilustración 4.9-1 Plan de hundimiento (en rojo el año 2020) sector Recursos Norte	18
Ilustración 6.1-1 Tipos de desperdicio definidos en el Toyota Production System	24
Ilustración 6.3-1 Descomposición del trabajo total asociado a una actividad	26
Ilustración 6.5-1 Diagrama esquemático del Ciclo de Deming	31
Ilustración 6.5-2 Ejemplo de Diagrama de Ishikawa	33
Ilustración 7.1-1 Evolución de avance físico del proyecto entre diciembre 2016 y abril 2017	36
Ilustración 7.1.1-1 Organigrama área ejecutora de trabajos de empresa constructora	37
Ilustración 7.1.3-1 Secuencia resumida de desarrollo horizontal en minería subterránea	40
Ilustración 7.1.3-2 Secuencia de detalle de desarrollo horizontal en minería subterránea	41
Ilustración 7.1.3-3 Identificación de los tipos de desperdicio definidos en el <i>Toyota Production System</i> en actividades de desarrollo de mina subterránea División El Teniente	44
Ilustración 7.1.3-4 Resultados de análisis de agregación de valor en interior mina realizado por <i>Porsche Consulting</i>	44
Ilustración 7.2.2-1 Agenda POD Proyecto Recursos Norte	49
Ilustración 7.2.2-2 Revisión de disponibilidad de rutas de marinas durante realización de reunión POD	50
Ilustración 7.2.2-3 Ejemplo de planilla de programación de actividades finalizada la reunión POD	51
Ilustración 7.2.3-1 Esquema sala de reuniones POD/Sala de Control	52

Ilustración 7.2.3-2 Ejemplo de seguimiento de actividades en frentes de trabajo mediante Controlador de Actividades	53
Ilustración 7.2.3-3 Pizarras de planificación de actividades de Sala de Control	53
Ilustración 7.2.4-1 Ejemplo de visualización de indicadores de productividad durante el desarrollo del turno	54
Ilustración 7.2.4-2 Ejemplo de reporte ejecutivo resumen de una semana de actividad	54
Ilustración 7.2.6-1 Ejemplo de formato de análisis causal de disparo perdido	55
Ilustración 7.2.6-2 Agrupación de causas raíces por tipo para un período de tiempo específico.....	56
Ilustración 7.2.7-1 Formato estándar A3 de resolución de problemas (RDP)	57
Ilustración 7.2.7-2 Esquema de priorización de impacto de causa raíz y definición preliminar de plan de acción	58
Ilustración 7.2.7-3 Formato de control de plan de implementación táctico (PIT).....	59
Ilustración 7.2.8-1 Agenda Diálogo de Desempeño Gerencial	60
Ilustración 8.1-1 Evolución de disparos/día como promedio mensual	61
Ilustración 8.1-2 Evolución de metros de desarrollo horizontal.....	61
Ilustración 8.1.1-1 Evolución de horas de interferencia asociadas a falta de insumo <i>shotcrete</i>	63
Ilustración 8.1.2-1 Disponibilidad de equipos principales, promedio mensual durante 2017	64
Ilustración 8.1.2-2 Formato A3 de Resolución de Problema Baja Disponibilidad de equipos de perforación por rotura de flexible	65
Ilustración 8.2-1 Evolución de adherencia a la ejecución de las metodologías de Excelencia Operacional	67

Índice de Tablas

Tabla 4.2-1 Densidad media por unidad litológica en el modelo de bloques	6
Tabla 4.2-2 Categorización de recursos de CuT del sector.....	6
Tabla 4.5.1-1 Clasificación geomecánica del macizo rocoso sector Recursos Norte	10
Tabla 4.9-1 Obras tempranas polígono de producción Recursos Norte	20
Tabla 4.9-2 Obras tempranas infraestructura Recursos Norte	20
Tabla 6.4.3-1 Comparación principales características Contratos Transaccionales y Contractuales.....	30
Tabla 7.1.3-1 Distribución típica de tiempos en turno contrato obras de desarrollo mina	43
Tabla 7.1.3-2 Tiempos de ejecución de actividades del ciclo minero (real v/s programado).	46

1. Introducción

División El Teniente (DET) es uno de los complejos minero-metalúrgico de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco), siendo además la mina subterránea más grande del mundo. Sus instalaciones principales se localizan en la Sexta Región de Chile, a 80 km al Sureste de la ciudad de Santiago y a 50 km al Este de la ciudad de Rancagua (Ilustración 1-1).

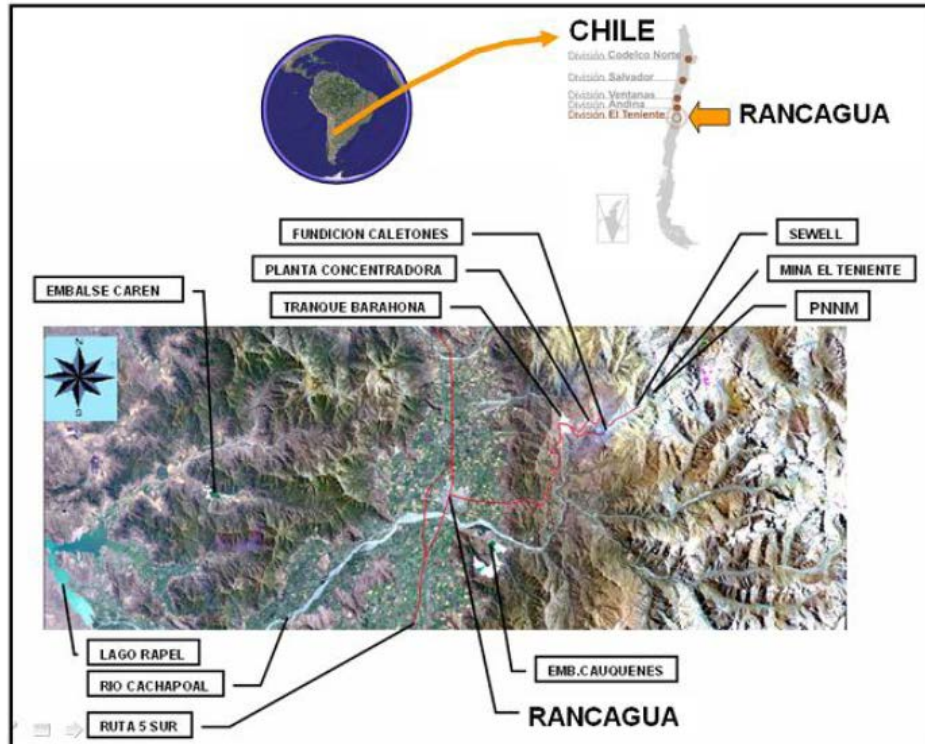


Ilustración 1-1 Localización geográfica División El Teniente

En vista de la disminución de disponibilidad de mineral a partir del año 2021 producto del retraso y reformulación del Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM), División El Teniente definió un Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) que considera la puesta en producción de tres nuevos sectores asociados a la mina subterránea denominados Recursos Norte, Diamante y Andesita, junto con una primera etapa del PNNM llamada Andes Norte, de modo de mantener los ritmos de producción actuales que bordean las 137.000 t/d como promedio anual (Ilustración 1-2).

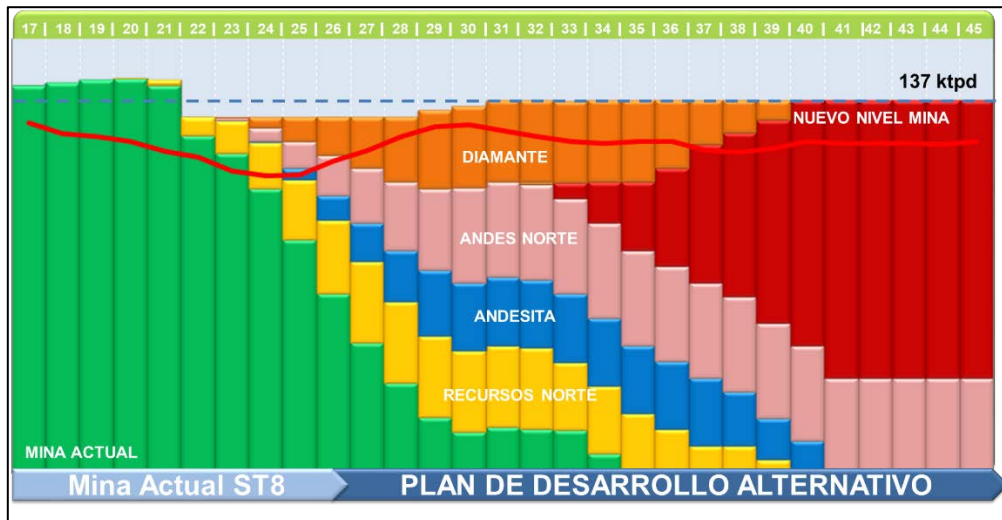


Ilustración 1-2 Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) División El Teniente

De esta forma, el PDA contempla que Recursos Norte es el primero de los nuevos sectores en iniciar su etapa de producción, estando este hito programado para diciembre del año 2020. Desde el año 2015 la Gerencia de Proyectos, encargada de la formulación y ejecución de proyectos para la continuidad operativa de DET, desarrolló las etapas de prefactibilidad y factibilidad del Proyecto Recursos Norte, etapas en que se definió un esquema de explotación mediante *Panel Caving* Convencional con Fracturamiento Hidráulico. Las principales características del proyecto se resumen en la Ilustración 1-3.

• Método de explotación	: Panel Caving Convencional + Preacondicionamiento (FH)
• Reservas	: 137 Mton
• Ley de Cu	: 0,75 %
• Producción	: 30 ktpd
• Destino Mineral	: Concentrador Colón
• Inicio producción	: Año 2020
• Vida útil	: 20 años
• Estado Actual	: Etapa Factibilidad (terminada)
	Obras Tempranas (en ejecución)
	• Habilitación de accesos
	• Facilidades Constructivas.

Ilustración 1-3 Principales indicadores Proyecto Recursos Norte

Los acotados plazos de ejecución del Proyecto Recursos Norte plantean el desafío de construir una mina en tiempos menores a los que la División ha logrado concretar en proyectos anteriores de similares características, definiendo el reto de desarrollar una forma diferente de encarar la construcción de una mina. Actualmente se están efectuando obras tempranas del Proyecto que tienen por objetivo dejar habilitadas facilidades críticas de acceso y suministro de energía y ventilación para asegurar el adecuado inicio de la etapa de construcción en el mes de marzo de 2018, sin embargo estas facilidades por sí solas no aseguran el logro de los hitos asociados al comienzo de la construcción del proyecto ni los posteriores.

Desde hace algunos años, División El Teniente ha impulsado la aplicación de la filosofía LEAN, en sus diferentes esquemas de implementación, en algunos de sus procesos productivos (principalmente asociados a procesos de producción mediante LHD), logrando incrementos de producción basados en mayor utilización del tiempo disponible del turno y mejoras en la disponibilidad de equipos, entre otros aspectos. Sin embargo, las aplicaciones a nivel de construcción de proyectos mineros se han reducido a implementaciones de alcance acotado, quedando disponible un amplio ámbito de uso. De esta forma, las herramientas y metodologías enmarcadas en el concepto de *Lean Management* y Excelencia Operacional pueden transformarse en un aporte relevante y concreto en la búsqueda de mecanismos que permitan optimizar los rendimientos de los ciclos de construcción minera, abarcando tanto aspectos organizacionales como operativos propiamente tales.

Dados los desafiantes plazos en el contexto productivo que enfrenta División El Teniente, es relevante buscar metodologías y mecanismos que permitan cambiar algunos aspectos de la logística general con que la División ha desarrollado la construcción de sectores productivos en el pasado. De esta forma, las mejores prácticas que se adquieran durante el desarrollo de las obras tempranas de Recursos Norte serán fundamentales para asegurar el cumplimiento de los hitos de producción de los sectores Recursos Norte, Diamante y Andesita.

2. Objetivo general

Existen diferentes experiencias y niveles de aplicación de metodologías *Lean* en procesos de construcción de minas, tanto al interior de División El Teniente como fuera de ella. El trabajo desarrollado en esta Tesis consiste en realizar un análisis y estudio descriptivo de diferentes implementaciones de conceptos *Lean Management* en procesos de construcción de minas. Junto con proponer un esquema de aplicación de las mejores prácticas disponibles en las actividades que actualmente se encuentran en ejecución como parte de las obras tempranas del Proyecto Recursos Norte, las cuales tienen por objetivo generar facilidades de acceso y disponibilidad de suministros varios (tales como energía eléctrica, agua, entre otros) para habilitar el adecuado desempeño de la etapa inversional del proyecto, a iniciarse en marzo de 2018. De esta forma, no sólo se busca elevar la productividad de la obras actualmente en ejecución, sino que también es un objetivo el fomentar en la organización una forma de encarar la construcción de proyectos mineros orientada a lograr los mejores rendimientos posibles que permitan sustentar los plazos de construcción de los sectores mineros definidos en el PDA.

El objetivo general del trabajo de tesis consiste en elaborar la propuesta de implementación de metodologías de *Lean Management* en conjunto con Excelencia Operacional en el desarrollo de las obras tempranas del Proyecto Recursos Norte, considerando el estado del arte e implementaciones en proyectos de similares características de manera de aprovechar los aprendizajes logrados, con el objetivo de generar un esquema de trabajo que incorpore las mejores prácticas del mercado aplicable a los cuatro proyectos que componen el Proyecto de Desarrollo Alternativo. De esta forma, los objetivos específicos son:

- Revisar y seleccionar metodologías de *Lean Management* y Excelencia Operacional a aplicar, a partir de bibliografía existente y experiencias previas.
- Definir un conjunto de métricas para comparar los rendimientos de las actividades de construcción del proyecto Recursos Norte entre los meses de mayo y diciembre de 2017, de modo de verificar la efectividad de la aplicación de las metodologías propuestas.
- Aplicación de las metodologías definidas en las etapas de planificación y ejecución de actividades asociadas al desarrollo del proyecto.
- Realizar una evaluación general de la etapa de implementación efectuada entre los meses de mayo y diciembre de 2017, tanto en términos técnicos como organizacionales.
- Elaborar propuesta de recomendaciones y mejoras en la implementación de mejores prácticas para proyectos futuros.

3. Alcance

El presente trabajo de tesis contempla el análisis y propuesta de diseño e implementación de metodologías de *Lean Management* y Excelencia Operacional en el Proyecto Recursos Norte durante la etapa de obras tempranas, en un período que abarca desde mayo a diciembre de 2017. Es así como esta iniciativa permitirá la optimización de las actividades durante la etapa inversional del Proyecto, la cual se desarrollará entre marzo de 2018 y mayo de 2021.

Los principales puntos contemplados en el alcance del trabajo de tesis son los siguientes:

- Diagnóstico de las actividades en ejecución como parte de las Obras Tempranas del Proyecto.
- Evaluación e implementación de metodologías de *Lean Management* en el desarrollo de las actividades asociadas al proyecto Recursos Norte. Considera, entre otros, la creación e implantación de esquemas de planificación de actividades y estándares operacionales que permitan mejorar la productividad de las operaciones mediante la comparación con métricas de control.
- Implementación de metodologías de análisis y resolución de problemas.
- Análisis del efecto de la aplicación de las citadas metodologías en los rendimientos de las obras actualmente en ejecución mediante la comparación con un caso base.
- Propuesta de implementación para los restantes proyectos que componen el PDA.

4. Antecedentes Proyecto Recursos Norte

4.1. Emplazamiento

El yacimiento El Teniente está ubicado en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Provincia de Cachapoal, aproximadamente a 44 km al noroeste de la ciudad de Rancagua. Sus coordenadas geográficas son 34°05' de latitud Sur y 70°21' de longitud Oeste.

Su acceso se realiza a través de la Carretera Presidente Eduardo Frei Montalva (ex-Carretera del Cobre), la cual une la ciudad de Rancagua con las locaciones al interior de la mina El Teniente.

El polígono de explotación de Recursos Norte se encuentra al norte de las minas: Dacita, Reservas Norte y Quebrada Teniente, entre las coordenadas locales Norte 1.200 y 2.000, y coordenadas Este 0 y 700. La Ilustración 4.1-1 muestra la posición relativa del sector Norte respecto a los sectores de la mina El Teniente.



Ilustración 4.1-1 Ubicación sector Recursos Norte (color magenta)

4.2. Estimación de recursos

El modelo de recursos del sector Norte consiste en un modelo de bloques de 20m x 20m x 20m limitado por las siguientes coordenadas y que contienen al polígono subterráneo:

Este: -100 a 1,200
Norte: 760 a 2.100
Cota: 2.000 a 2.700

El modelo contiene las densidades para cada bloque, siendo las densidades promedio de cada unidad litológica las que se presentan en la Tabla 4.2-1:

NOMBRE	CODIGO	MENA PRIMARIA	MENA SECUNDARIA
		gr/cm3	gr/cm3
CMET	1	2,77	2,52
P, Dacítico	3	2,63	2,53
Talus	17	---	1,82
Bx Ígnea P Dacítico	29	2,64	2,53
P, Diorítico	60	2,77	2,61
Brecha Anhidrita	70	2,77	2,51
Brecha Sericita	76	2,63	2,59

Tabla 4.2-1 Densidad media por unidad litológica en el modelo de bloques

Este modelo contiene valores para el Cobre Total (CuT), Molibdeno Total (MoT), e incluye valores de impurezas: Arsénico, Antimonio, Plomo, Níquel y Zinc. El total de recursos para el Cobre Total (CuT) del modelo de bloques del Sector Norte se resume en la siguiente tabla (se considera una ley de corte de 0.2 %).

RECURSOS	TONELAJE	LEY MEDIA	Cu FINO	PROPORCIÓN
	MT	%CuT	KT	
Medidos	368	0,81	2.964	40%
Indicados	404	0,51	2.047	44%
Inferidos	150	0,36	546	16%
TOTAL	922	0,60	5.557	100%

Tabla 4.2-2 Categorización de recursos de CuT del sector.

La Ilustración 4.2-1 muestra una planta característica (cota 2120) con la distribución de leyes del recurso. Se observa que hacia el sur y en las zonas colindantes con los sectores RENO/Dacita se encuentran las leyes más altas.

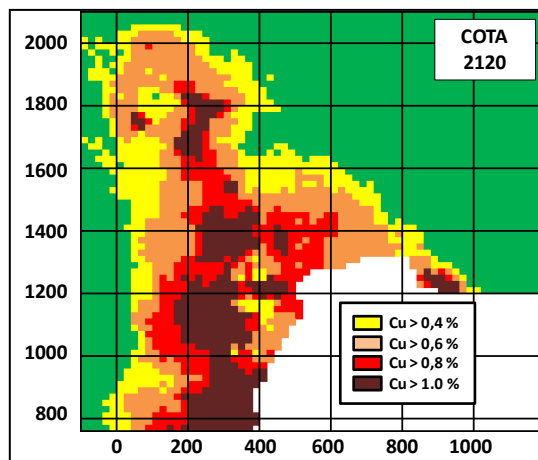


Ilustración 4.2-1 Planta de distribución de CuT del sector Recursos Norte

A su vez, una vista de perfil muestra que la mineralización es más bien uniforme en la vertical.

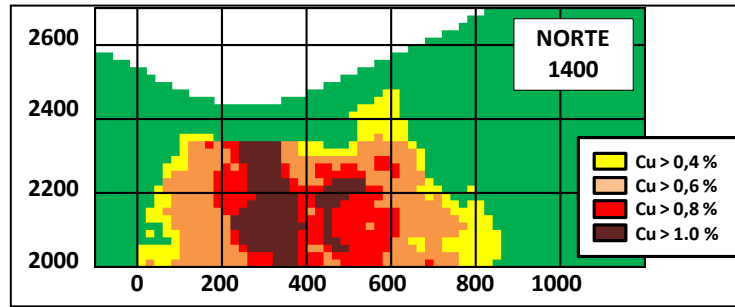


Ilustración 4.2-2 Perfil de distribución de CuT del sector Recursos Norte

Finalmente, la siguiente ilustración muestra las principales litologías, donde se observa predominancia de CMET con presencia de un cuerpo de Pórfido Dacítico ubicado en la zona central del área de interés.

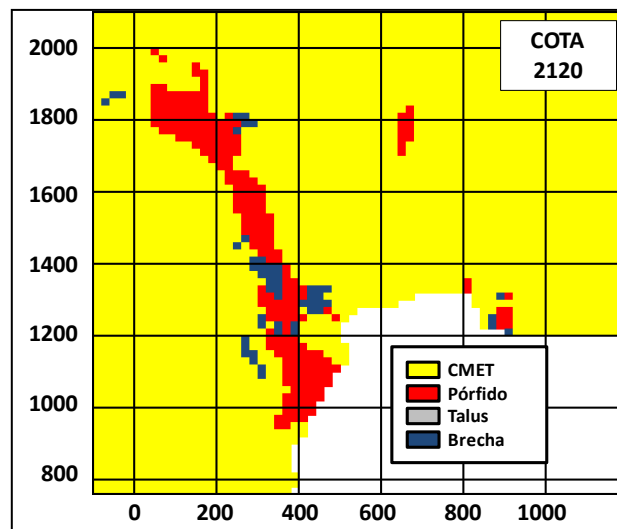


Ilustración 4.2-3 Planta de distribución de litologías principales del sector Recursos Norte

4.3. Geomecánica del sector

El área de estudio se encuentra inmediatamente al norte de las áreas productivas Dacita y Reservas Norte (RENO). Las unidades geotécnicas del sector Recursos Norte son similares a las del área productiva Dacita.

Las unidades litológicas a cota del nivel de hundimiento del proyecto Recursos Norte (2121 m) corresponden principalmente a Pórfido Dacítico 1° y CMET 1°. A priori, se predice que la unidad litológica Pórfido Dacítico 1° presenta escasos elementos geológicos que permitan un buen desarrollo de la hundibilidad y fragmentación, por lo que es recomendable considerar un método de explotación que incluya Preacondicionamiento o, en su defecto, forzamiento total o parcial de la columna mineralizada primaria. Por otra parte, la unidad litológica CMET 1° es más benigna que

el Pórfido Dacítico 1° en términos de hundibilidad y fragmentación. Esta diferencia radica en la frecuencia de estructuras geológicas (fracturas, vetillas) con potencial de activación ante el esfuerzo aplicado al macizo rocoso.

Las unidades geotécnicas más abundantes en el sector Norte corresponden a Pórfido Dacítico primario y secundario y CMET primario y secundario. La diferencia principal entre las unidades geotécnicas primarias y secundarias está dada por el índice RQD. Así, las unidades geotécnicas primarias presentan un índice RQD superior, en general, a 90% tanto para CMET como para Pórfido Dacítico; mientras que para las unidades geotécnicas secundarias dicho índice es inferior, en general a 30%, siendo en muchos casos igual a 0%.

4.3.1. Hundibilidad

El comportamiento en términos de hundibilidad de un cuerpo litológico como respuesta a la minería desarrollada está relacionado con factores geológicos, tales como características de la roca intacta y estructuras geológicas a distintas escalas; también responde a factores geotécnicos/geomecánicos, como por ejemplo esfuerzos resultantes sobre el cuerpo litológico y propiedades de resistencia de la roca intacta y del macizo rocoso; además, depende de factores mineros, como por ejemplo geometría del layout, geometría de roca sólida y quebrado, tasas de extracción y socavación, entre otros.

Análisis geológicos y geotécnicos del Pórfido Dacítico de la mina Dacita indican que el tamaño de bloques, considerando sólo el arreglo estructural del sector, confirma su carácter masivo y competente, además de su escasa ocurrencia de estructuras débiles. Es por lo mismo que la fragmentación esperada es de carácter gruesa y que su hundimiento natural sea considerado muy bajo, condición similar a la esperada en el sector Recursos Norte.

Por otra parte, se espera que el CMET primario presente una buena o alta hundibilidad, en base a la experiencia obtenida en otros sectores y a sus características geológicas y geotécnicas.

4.3.2. Fragmentación

A partir de diversos estudios, se ha observado que los bloques de rocas generados producto de la propagación del caving están limitados principalmente por estructuras geológicas, y que las estructuras geológicas que intervienen en el proceso de ruptura para generar estos bloques son aquellas que presentan una resistencia menor, tales como fallas y vetillas con relleno blando.

Las curvas de predicción de fragmentación que históricamente se han aplicado en El Teniente se basan en la información geológica de las distintas unidades presentes en el yacimiento, y se utilizan bajo el supuesto de que existe una relación directa entre el espaciamiento medio de las estructuras geológicas y la distribución que presentan los ejes mayores de las colpas.

Para el Pórfido Dacítico se espera una fragmentación de entre 42% y 56% de bloques sobre 1,43 m (1 m³) y entre 32% y 46% sobre 1,79m (2 m³), ambos valores estimados según la metodología Teniente. En consecuencia, se considera que esta unidad litológica tendrá una fragmentación gruesa.

Para la unidad CMET 1° se espera una fragmentación caracterizada por un rango de entre 14% y 20% de bloques sobre 1,43 m (1 m³) y entre 8% y 15% sobre 1,79m (2 m³), según la metodología Teniente. En consecuencia, se considera que esta unidad litológica tendrá una fragmentación media a gruesa.

4.4. Método de explotación

El sistema de explotación para Recursos Norte corresponde al denominado Hundimiento Convencional por Paneles con Fracturamiento Hidráulico.

El método consiste de un nivel de hundimiento conectado al nivel de producción mediante zanjas. La geometría del nivel de producción es de malla tipo Teniente, con calles de producción y cruzados de zanjas a 60°.

En este nivel operarán palas LHD que extraerán el mineral desde los puntos de extracción y lo descargarán en puntos de vaciado ubicados en el interior del polígono correspondiente al nivel de producción.

En el nivel de transporte el mineral es cargado con buzones a camiones para ser transportado hasta la sala de chancado o piques de traspaso que conectan al FFCC Teniente 8. Finalmente, la roca chancada o directamente vaciada a piques de traspaso es transportada mediante carros metaleros del FFCC Teniente 8 a la planta de procesamiento de Colón Alto.

La infraestructura de apoyo considera ADIT's y niveles de ventilación (inyección y extracción) que alimentan chimeneas de ventilación. Además, se considera desarrollar un barrio cívico, talleres para palas y utilitarios de apoyo en el nivel de producción y talleres para camiones en el nivel inferior, entre otros.

4.5. Parámetros de diseño minero

4.5.1. Malla de extracción

El tamaño de mallas de extracción utilizado en la mina El Teniente es en general de 300 m² con espaciamiento entre calles de 30 m y distancia entre zanjas de 20 m. Este tamaño de malla se ha aplicado en minas Esmeralda, Pipa Norte, RENO y Dacita. En el sector Diablo Regimiento se utiliza una malla de 340 m² con 34 m de espaciamiento entre calles y 20 m de distancia entre zanjas. El tamaño de equipos LHD utilizado en los sectores con malla de 300 m² van desde las 7 yd³ a 10 yd³, mientras que en Diablo Regimiento se utilizan LHD de 13 yd³. La geometría de la malla de extracción también se caracteriza por la longitud del punto de extracción, siendo del orden de 11 m en las distintas mallas de extracción aplicadas en El Teniente (10.75 m - 10.93 m en Esmeralda; 11.07 m en Dacita; 12.1 m en Diablo Regimiento).

La condición de roca presente en el sector Recursos Norte es similar a la existente en los sectores RENO y Dacita. En particular, y como se indicó anteriormente, la distribución de litologías del sector corresponde a un 74% de CMET, 25% a Pórfido Dacítico y 1% corresponde a brechas.

La clasificación geomecánica de los tipos litológicos presentes en el área se muestran en la tabla siguiente:

	RMR (Laubscher)	Clase
Pórfido Dacítico	58 - 63	III A - II B
CMET HT (contacto BX Braden)	62 - 65	II B
CMET HT	55 - 58	III A
Brecha Anhidrita	58 - 62	III A - II B
Dilución (TALUS)	10	V

Tabla 4.5.1-1 Clasificación geomecánica del macizo rocoso sector Recursos Norte

A partir de estos antecedentes se estiman los tamaños de elipsoide de extracción y las dimensiones máximas y mínimas entre las que pueden variar los espaciamientos de la malla de extracción. Para la litología predominante CMET HT se tiene que el diámetro del elipsoide aislado es de 11.5 m y el rango de espaciamientos va desde 11,5 m a 20,5 m.

Considerando los tres parámetros que caracterizan la malla de extracción tipo Teniente y que se muestran en la Ilustración 4.5.1-1 se hizo un análisis de las dimensiones obtenidas al considerar distintos valores para las tres dimensiones paramétricas.

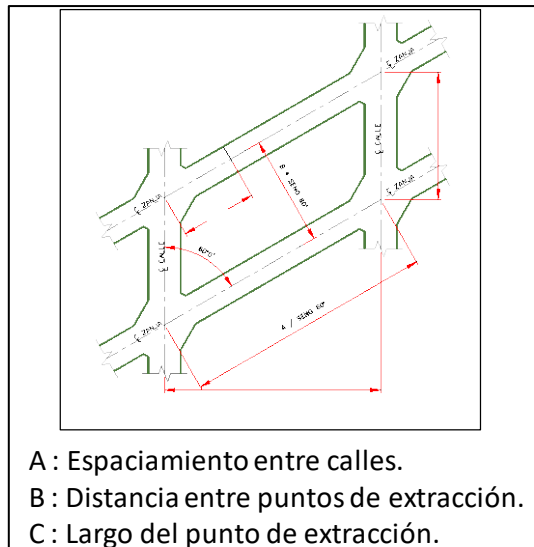


Ilustración 4.5.1-1 Parámetros geométricos de malla de extracción

El análisis realizado, en particular en lo referente a la cobertura del área de interés que otorga cada combinación de dimensiones de malla, permite establecer que la malla de 30 m x 20 m es la más adecuada para el sector Recursos Norte.

Se considera entonces la aplicación de la malla de 30 m x 20 m x 11 m para el sector Recurso Norte, dado que se ajusta adecuadamente a los requerimientos geométricos que impone la caracterización del macizo rocoso y a que existe la experiencia previa de su aplicación en los sectores inmediatamente vecinos. La orientación de las calles y estocadas de carguío corresponde a Este-Oeste para las primeras y N30°E para las segundas.

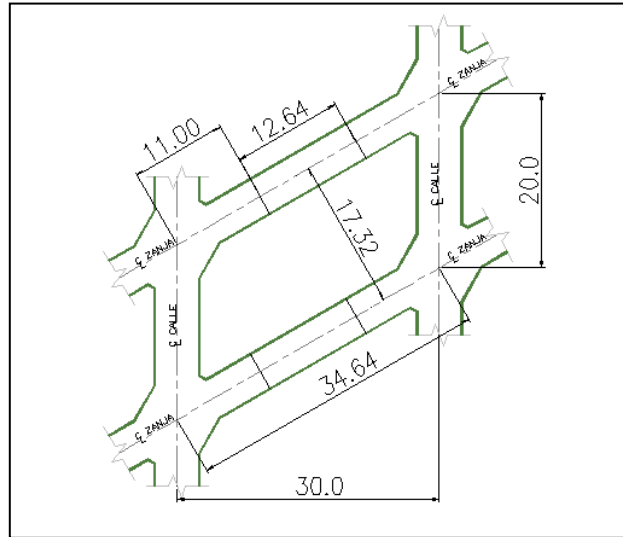


Ilustración 4.5.1-2 Malla de extracción sector Recursos Norte

4.6. Sistema de socavación

La socavación es una de las actividades más importantes dentro de los sistemas de explotación por hundimiento, no sólo por la necesidad de completar el corte para inducir el “Caving” en el macizo, sino que también el diseño y la secuencia de hundimiento permiten la reducción de los efectos del “abutment stress” inducido en la infraestructura de explotación, minimizando la posibilidad de generación de daños en la misma.

El sistema de socavación aplicado en la mina El Teniente ha evolucionado en los últimos años hacia la aplicación de la variante de hundimiento convencional, dejando de lado las variantes de pre hundimiento aplicadas en varios sectores de la mina. Las condiciones de esfuerzos a los que está expuesta la explotación en el sector norte son más favorables que las que se experimentan en la actualidad en los sectores RENO/DACITA y Esmeralda.

La variante con hundimiento convencional es la que ha sido más utilizada en las minas de block y panel caving. En esta variante de hundimiento, los frentes de socavación y de extracción, prácticamente coinciden en su avance (uno encima del otro) y el nivel de producción está desarrollado y preparado delante del frente de socavación, siendo afectado directamente por la zona de abutment stress.

En la comparación realizada frente a otras alternativas de socavación, se seleccionó la variante de hundimiento convencional en virtud de las siguientes consideraciones:

- Otorga mayor flexibilidad para minimizar las interferencias entre los procesos de producción y preparación (gracias a la ejecución de desarrollos pre-minería).
- Existe experiencia en la aplicación de esta variante de socavación en otros sectores de la División.
- Baja probabilidad de dejar pilares remanentes, y evita remover esponjamiento.
- Permite una mayor velocidad de incorporación y/o un inicio anticipado de la producción, con efectos positivos en la capacidad productiva del sector.
- Tiene un menor costo nominal de preparación.
- La condición de esfuerzos del sector norte es más favorable que la que se observa actualmente en RENO/Dacita, haciendo viable la aplicación de esta variante de socavación.

4.7. Diseño de la mina

Una vez definida la geometría de la malla de extracción, el método de socavación y la distribución que presentan los recursos extraíbles del sector, se desarrolló el diseño de los niveles de explotación indicando los accesos tempranos que permiten anticipar los desarrollos para reducir el período de puesta en producción del sector. La Ilustración 4.7-1 presenta el diseño del módulo de producción.

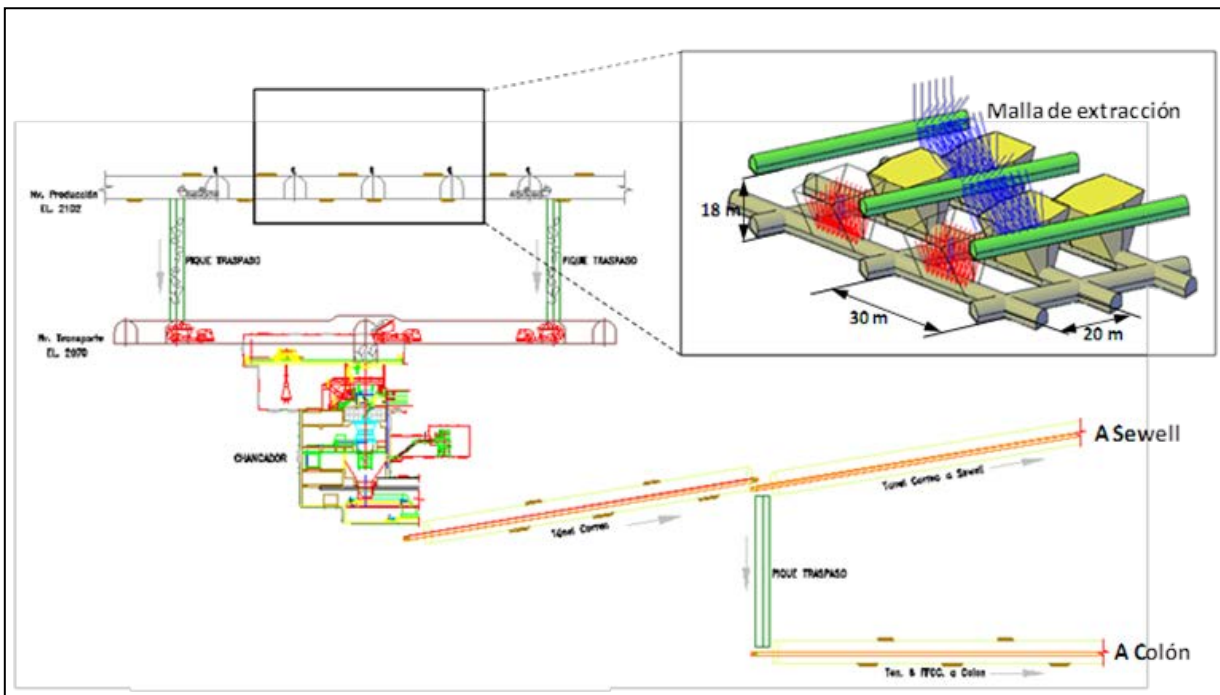


Ilustración 4.7-1 Módulo de producción sector Recursos Norte

La sección de los desarrollos en el nivel de hundimiento es de 4 m x 3,6 m, mientras que su elevación referencial de diseño es 2.120 m.

En el caso del nivel de producción, sus galerías típicas tienen una sección de 5,1 m x 4,5 m y se ubica en la cota 2.102 m. El diseño del nivel de producción incluye piques de

traspaso de mineral de 3,4 m de diámetro excavado y espaciados a 160 m de distancia a lo largo de las calles de producción.

El nivel de transporte intermedio se emplaza 32 m por debajo del nivel de producción, en la cota 2.070 m, para mantener el mismo diseño aplicado en los sectores RENO/Dacita. El diseño del circuito de transporte se establece de acuerdo a la distribución de puntos de vaciado de cada configuración de polígono de explotación y cuenta con galerías de sección típica 6,5 m x 5,3 m. El circuito de transporte permite acarrear el mineral hasta las tolvas de alimentación del chancador primario. Se contemplan tres puntos de vaciado equipados con parrillas de 5,5 m x 5,5 m. El tamaño de las tolvas de alimentación es de 5,5 m x 5,5 m y 10 m de altura, lo que permite acopiar hasta 500 t en cada una de las tres tolvas de alimentación.

Por último, emplazados por debajo del nivel de transporte intermedio se encuentran los subniveles de inyección y de extracción de aire. Estos permiten distribuir el aire fresco hacia los lugares de consumo y recolectar el aire viciado para entregarlo en las vías de extracción principal. La disposición de los subniveles de ventilación permite establecer circuitos de ventilación tanto en el nivel de producción como en el nivel de transporte, que son los que demandan la mayor cantidad de air. También se abastece al nivel de hundimiento, a las áreas de servicio y a la sala de chancado.

4.8. Infraestructura mina

La operación de una mina subterránea con capacidad de producción de 30 ktpd requiere de obras de infraestructura relevantes. Más aún, en el caso de una explotación en el sector Recursos Norte no es posible considerar la utilización de instalaciones ya existentes por cuanto el progreso de la explotación del Proyecto Nuevo Nivel Mina dejará inutilizables una gran mayoría de las instalaciones actualmente existentes por sobre el nivel Teniente 8 y que brindan acceso y servicios a los sectores actualmente en producción. Se requiere entonces considerar el diseño de nuevas áreas de infraestructura para una futura explotación subterránea en el sector norte de la mina El Teniente, las cuales se aprecian en la Ilustración 4.8-1 y se detallan a continuación.

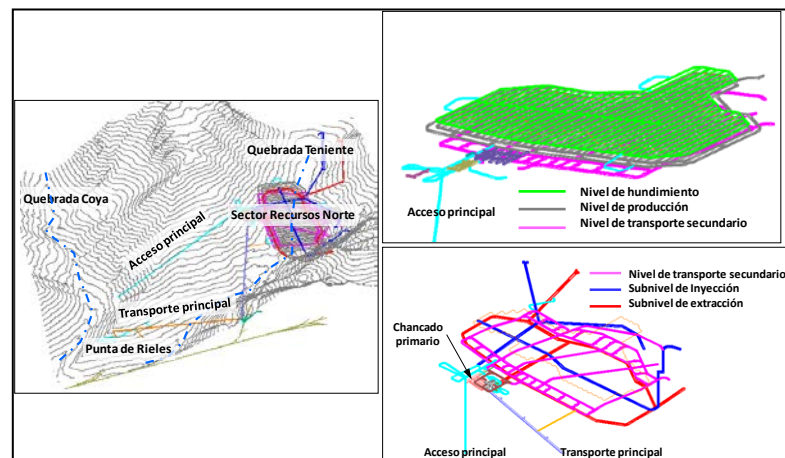


Ilustración 4.8-1 Diseño general de infraestructura sector Recursos Norte

4.8.1. Acceso principal

El proyecto requiere la construcción de un nuevo acceso desde superficie a la mina, correspondiente a un túnel que tiene su punto de partida en la quebrada Coya y tiene una longitud aproximada de 2,3 km. La máxima inclinación considerada para el diseño es de 10%, de modo de permitir el tránsito de vehículos mayores de carga y de transporte de personal. La sección a excavar es de 5,5 m x 5,5 m.

La Ilustración 4.8.1-1 muestra el diseño del acceso principal, indicando la construcción de estocadas de marina cada 200 m y estocadas de drenaje cada 500 m. Se incluye en el diseño la solución de rampas para interconectar los niveles de hundimiento, producción, transporte y ventilación.

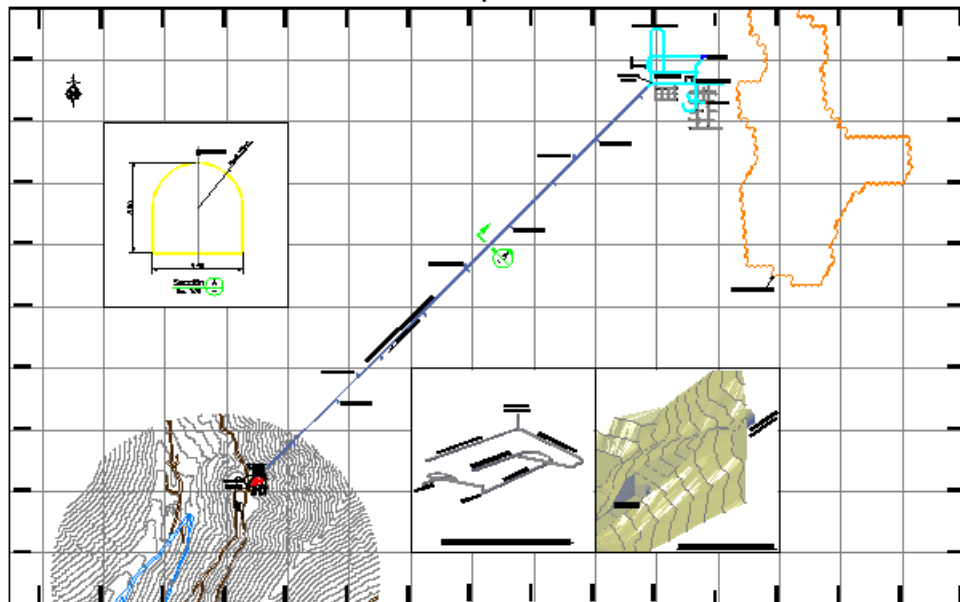


Ilustración 4.8.1-1 Acceso principal sector Recursos Norte

4.8.2. Transporte principal de mineral

El diseño de la correa de transporte principal contempla su construcción en dos tramos de correa. El primero abarca desde el chancador hasta el punto de derivación de mineral hacia la planta Colón, tiene una inclinación de 8% y su longitud alcanza los 1690 m. La capacidad de transporte de la correa en este tramo es de 35 ktpd.

El segundo tramo abarca desde la transferencia hacia la planta Colón hasta la descarga a las tolvas de Punta de Rieles. Este tramo tiene una inclinación de 18%, su longitud es de 1180 m y la capacidad de transporte de la correa es de 25 ktpd. La figura 4.8.2-1 muestra la disposición general de las obras de transporte principal.

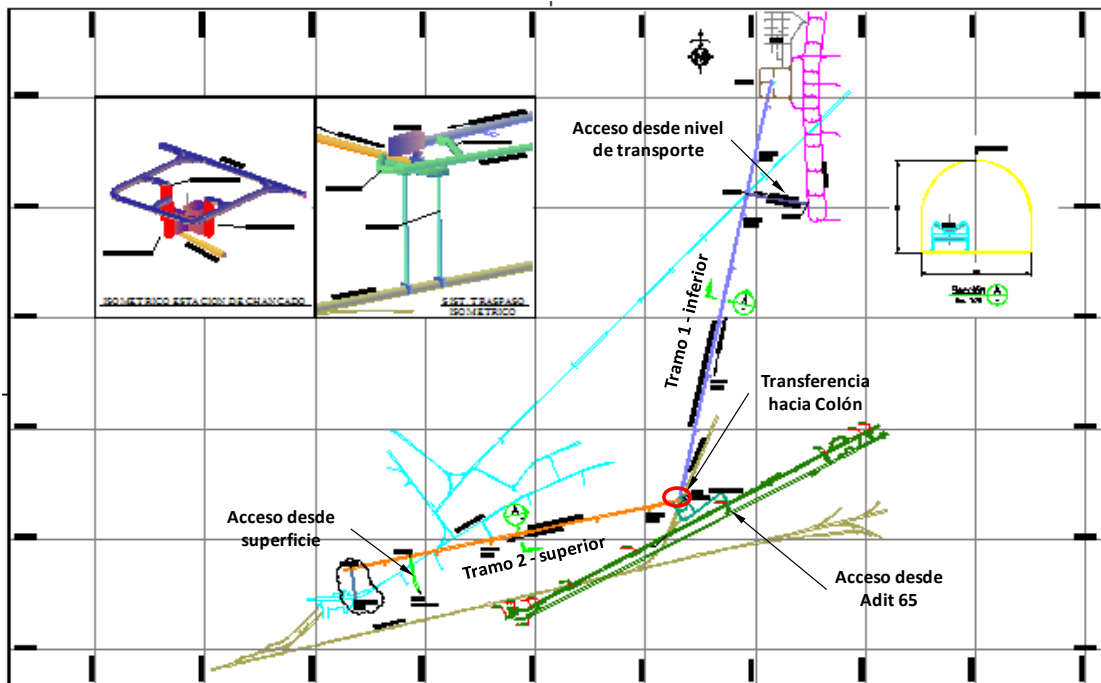


Ilustración 4.8.2-1 Sistema transporte principal sector Recursos Norte

4.8.3. Ventilación

El diseño de las vías de ventilación principal responde al requerimiento de aire de la operación del sector Recursos Norte en régimen, considerando las personas, equipos e instalaciones asociadas. De esta forma, el requerimiento de aire calculado alcanza los 43.682 m³/min (aprox. 1.550 kCFM). Para conducir este caudal de aire de forma eficiente, es condición necesaria que las obras de ventilación principal tengan secciones amplias de modo de minimizar las pérdidas de carga del circuito y no se haga necesaria una elevada potencia de los ventiladores de inyección y extracción principales.

La Ilustración 4.8.3-1 permite apreciar el circuito de ventilación propuesto para el sector Recursos Norte (inyección en color azul y extracción en color rojo).

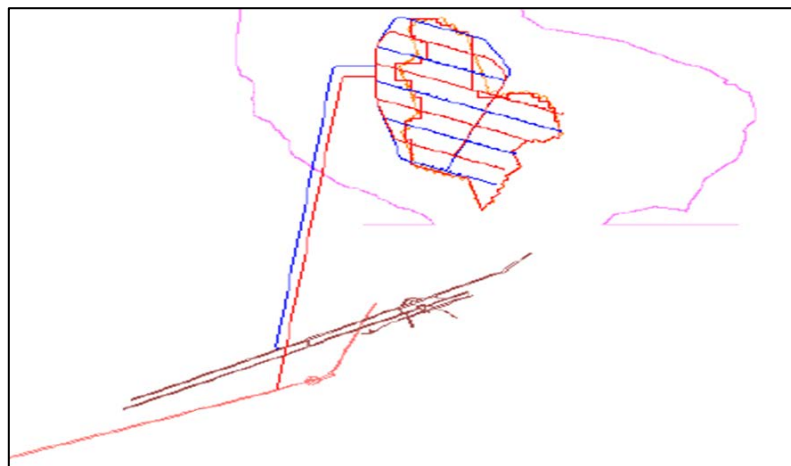


Ilustración 4.8.3-1 Circuito de ventilación sector Recursos Norte

4.8.4. Áreas de mantención, oficinas y comedores

La utilización de equipos LHD y camiones para la extracción de mineral, junto con la pérdida de la infraestructura existente por efecto de las actividades del Proyecto Nuevo Nivel Mina, hace necesario desarrollar nuevas instalaciones para atender los requerimientos de mantención de esas unidades. Se contemplan dos áreas de mantención, una en el nivel de producción para los equipos LHD y otra en el nivel de transporte para camiones. Junto con lo anterior, se debe considerar la construcción y habilitación de áreas de comedores y oficinas. La Ilustración 4.8.4-1 muestra el diseño considerado para las citadas áreas de servicios.

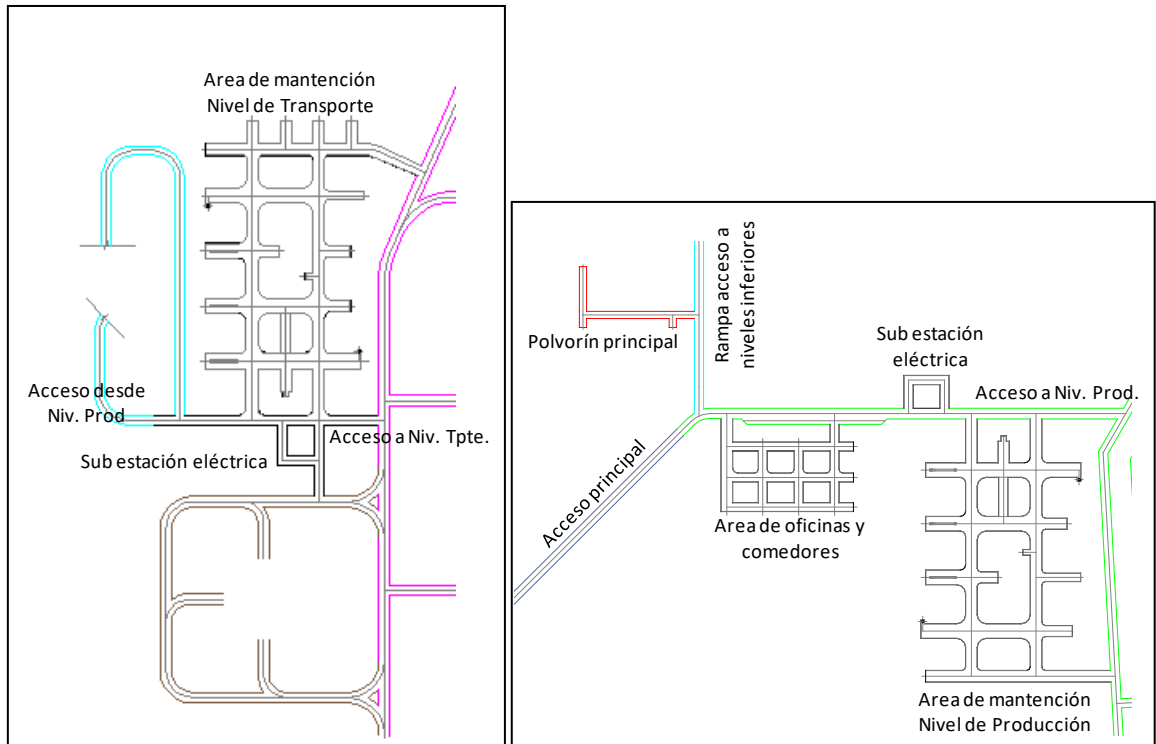


Ilustración 4.8.4-1 Áreas de mantención, oficinas y comedores

4.8.5. Drenaje

La localización del sector Recursos Norte, alejado de la infraestructura general de la mina actual (y con la consideración de que estos sistemas quedarán inaccesibles con el progreso de la explotación del Proyecto Nuevo Nivel Mina), no permite integrar el drenaje de las aguas mina del sector norte a las vías actuales de evacuación de aguas.

El requerimiento de drenaje proviene de la infiltración de aguas de la cuenca Quebrada Teniente, los aportes de agua producto de lluvia y nieve en el cráter, y el descarte de aguas usadas en la ejecución de las actividades asociadas a la operación del sector.

Las estimaciones efectuadas concluyeron que el requerimiento máximo de drenaje, que se produce en un año húmedo, alcanza un caudal de 342 l/s. De esta forma, se diseñó un sistema de drenaje capaz de operar a máxima capacidad bombeando 342 l/s, dividido

en cuatro unidades de 85 l/s de manera de operar con una o más unidades de acuerdo al requerimiento puntual de drenaje del sistema. La implementación de un sistema de bombeo de estas características conlleva la necesidad de estanques de acumulación de agua para eliminar los residuos sólidos que arrastra el agua y que pueden dañar los equipos de bombeo. Para dar respuesta a este requisito, el diseño considera la construcción de 3 estanques de decantación de 3000 m³ cada uno, otorgando una capacidad de acumulación de casi 8 horas en el régimen de máximo caudal de agua. La geometría de los estanques definidos se aprecia esquemáticamente en la Ilustración 4.8.5-1.

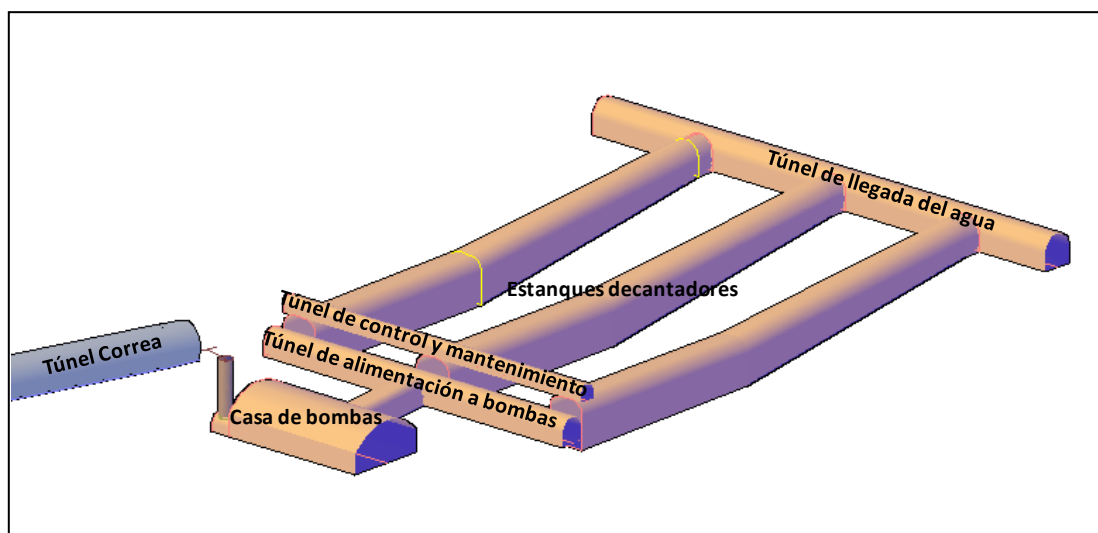


Ilustración 4.8.5-1 Estación de decantación y bombeo de aguas de drenaje

4.9. Planes de desarrollo y preparación

Para poder lograr el cumplimiento de los hitos de producción señalados en capítulos anteriores es necesario construir un plan de desarrollo y preparación minera que permita visualizar posibles cuellos de botella, de modo de generar los planes de acción respectivos.

En la Ilustración 4.9-1 se observa el plan de hundimiento del sector. Éste comienza con un área concentrada con el fin de lograr el radio hidráulico necesario para generar el hundimiento, pero luego se produce la transición al frente con orientación sureste y avanzando hacia el noreste.

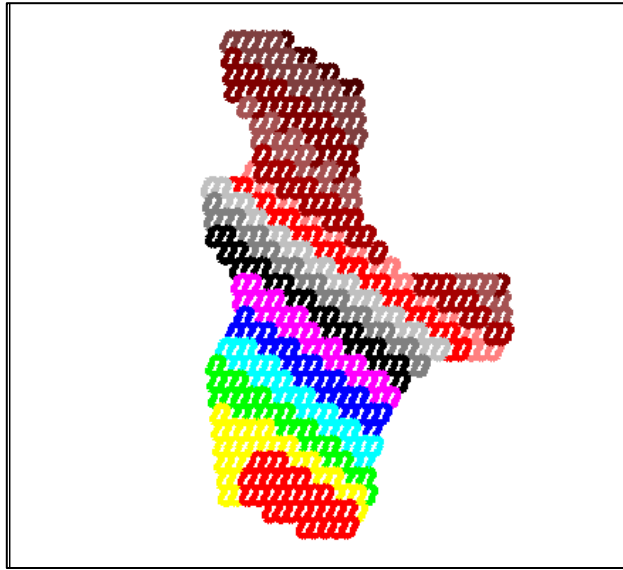


Ilustración 4.9-1 Plan de hundimiento (en rojo el año 2020) sector Recursos Norte

Las revisiones indicaron que la habilitación del sector para entrar en producción implica un alto requerimiento de obras adelantadas. Por una parte, es necesario acceder al nivel de producción, y posteriormente al nivel de hundimiento, con la finalidad de preparar el área para iniciar la extracción. En segundo término, es necesario avanzar con la ventilación para conectar el aire desde superficie a todo el sector antes de iniciar la explotación.

También es necesario acceder a la ubicación chancador, a través del nivel de acarreo, y llegar a la parte inferior del mismo por medio del desarrollo del túnel correa. Por último, se debe desarrollar de manera anticipada los túneles correa hacia el traspaso de Teniente 8 y el que permite el transporte de mineral hacia Sewell.

A continuación se detalla la infraestructura y desarrollos cuya construcción es condición necesaria para habilitar el inicio de producción del sector Recursos Norte:

- **Acceso principal**, se requiere construir un túnel de acceso descendente (-10%) que brinde todos los servicios de transporte de personas y abastecimiento requeridos para la operación de la mina. Se trata de un túnel de aproximadamente 2.300 m de longitud y requiere que se excave en superficie un portal principal con habilitación para control de acceso. La duración de la obra se estima en 3,3 años y su construcción se puede atacar con dos frentes (superficie e interior). Dada la duración de esta obra, puede llegar a transformarse en ruta crítica si se retrasa su ejecución.
- **Transporte principal**, se trata de un sistema de correas transportadoras que permiten derivar parte de la producción hacia el ferrocarril Teniente 8 / planta Colón y alimentar a la planta Sewell descargando directamente a las tolvas de Punta de Rieles. El primer tramo de la correa se inicia en la descarga del chancador primario y termina en la estación de derivación hacia Teniente 8. El segundo tramo abarca desde la estación de derivación a Teniente 8 hasta la descarga a las tolvas de

Punta de Rieles. El sistema de derivación de mineral hacia Teniente 8 incluye dos piques de traspaso de 90 m de largo y un cruzado nuevo con dos buzones en Teniente 8. La construcción de esta obra se puede atacar con dos frentes en cada tramo gracias a la consideración de varios accesos para construcción. La duración estimada para completar las obras del sistema de transporte principal es de 3,2 años, y parte de ellas son requeridas para la construcción de la estación de chancado. Por esta razón, son parte de la ruta crítica del programa de obras.

- **Chancado primario**, corresponde a una estación de chancado primario en que la alimentación de mineral al chancador se realiza desde tres tolvas. Esta obra, junto con el chancador primario en sí, incluye tres estaciones de vaciado de camiones (una por cada tolva de alimentación), sistemas de captación y depresión de polvo, tolva de compensación y correa de sacrificio en la salida de la estación de chancado. La duración de su construcción se estima en 2 años y debido a su condición de receptor de toda la producción de mineral del sector es parte de la ruta crítica de desarrollo del proyecto.
- **Ventilación principal**, en el diseño considerado la ventilación principal involucra un volumen de obras que no es de mucha cuantía. Tanto para el sistema de inyección como para el de extracción de aire se tiene una sección superior que rompe a superficie con túneles de gran sección (8 m x 8 m) y longitudes del orden de 100 m. La sección inferior corresponde a túneles de sección 8 m x 8 m y desarrollos del orden de 500 m. La unión entre ambas secciones se realiza mediante chimeneas Raise Borer de 6 m de diámetro y longitudes máximas del orden de 440 m. Se estima que el plazo necesario para la construcción de la totalidad de los sistemas de ventilación es de 3,1 años; sin embargo, a los 2,6 años ya se tiene operativo el primer par de chimeneas que habilitan el inicio de producción de la sección inicial del polígono de explotación. La construcción de la sección inferior del sistema de ventilación requiere acceder desde interior mina lo que puede retrasar su ejecución y poner esta obra en ruta crítica.
- **Obras del área de servicio**, corresponde a todas las instalaciones comunitarias (oficinas, comedores, salas de reunión/capacitación), talleres de mantención, bodegas, almacenaje de combustibles y lubricantes, polvorín, estación de drenaje, etc. Estas obras se construyen en la medida que hay acceso al lugar en que se localizan de acuerdo a los planos de diseño. Gran parte de estas obras se ubica en los niveles de producción y transporte intermedio, y se construyen en el período en que estos niveles se están preparando. La estación de drenaje es una obra de magnitud mayor producto de que se requiere la instalación de un sistema de bombas para impulsar el agua por el túnel de la correa transportadora para luego descargarla hacia Teniente 8 o hacia el Adit 71. El plazo de ejecución estimado para estas obras es de 1,6 años para las áreas de talleres y oficinas, y de 1,4 años para la estación de drenaje. Ninguna de estas obras en principio es parte de la ruta crítica del proyecto, en particular la estación de drenaje no requiere ser implementada en tanto no comience la infiltración de aguas desde el hundimiento.
- **Obras de preparación**, estas se dividen en obras mineras que se concentran principalmente en los niveles de producción y hundimiento con un importante

requerimiento de desarrollos (calles y zanjas), y en obras civiles en los niveles de producción y transporte intermedio con un gran volumen de construcción de puntos de extracción, puntos de vaciado, buzones, entre otros. Se estima que se requieren 3,5 años para completar todas las obras necesarias para alcanzar un área hundida que habilite la generación del radio hidráulico mínimo necesario para asegurar la socavación inicial del sector. El inicio de producción se alcanza al cabo de 1,9 años de preparación. Estas obras son parte de la ruta crítica del proyecto por cuanto determinan en última instancia el inicio de las actividades de extracción de mineral del sector.

El desarrollo del proyecto requiere que las obras indicadas se ejecuten a tiempo para lograr la puesta en producción del sector, especialmente las que entran en la categoría de ruta crítica. En un plan de ejecución que se base en rendimientos históricos evidenciados en División El Teniente para proyectos de la envergadura de Recursos Norte se requieren 5 años de construcción, junto con 2 años asociados al desarrollo de los estudios de factibilidad y detalles, y a los plazos asociados a la obtención de permisos y aprobaciones requeridos. Dada la necesidad de contar con alimentación de mineral a la planta Sewell en el año 2020 es necesario considerar un plan de ejecución acelerado del proyecto que incluya el desarrollo de diseños para una fracción inicial del polígono de producción y la ejecución de obras tempranas. Estas obras tempranas deben incluir desarrollos que estén definidos como ruta crítica y que, además, tengan una baja probabilidad de sufrir modificaciones relevantes durante el desarrollo de los estudios posteriores.

De esta forma, se definieron los siguientes volúmenes de obras para realizar de forma temprana:

Nivel	unidad	cantidad
Nivel Hundimiento	m	896
Nivel Producción	m	2,092
Nivel Transporte	m	1,891
Subnivel Inyección	m	1,026
Subnivel Extracción	m	1,234

Tabla 4.9-1 Obras tempranas polígono de producción Recursos Norte

Nivel	unidad	cantidad
Tunel Extensión T8	m	472
Pique de Traspaso	m	154
Tunel Correa T8	m	1,557
Tunel Correa Traspaso	m	40
Tunel Correa Sewell	m	1,234
Tunel Descarga Sewell	m	108
Tunel Conexión Superficie	m	142
Tunel Conexión T7	m	455

Tabla 4.9-2 Obras tempranas infraestructura Recursos Norte

5. Descripción de la problemática

A partir de lo descrito en el capítulo anterior, resulta evidente que el desarrollo del Proyecto Recursos Norte plantea desafíos que obligan a pensar la construcción de un proyecto minero subterráneo de forma distinta. Estos desafíos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Debe ser desarrollado como parte del plan minero que se encarga de suplir el déficit de producción de mineral que se produce a partir del año 2022 debido a los retrasos experimentados por el Proyecto Nuevo Nivel Mina. En este contexto, Recursos Norte es el primero de 3 nuevos sectores que deben ponerse en producción en fechas altamente desafiantes si se toman como referencia los rendimientos históricos que División El Teniente exhibe en el desarrollo y puesta en operación de nuevos sectores productivos. Más aún, de no cumplirse el hito de puesta en producción del proyecto, la División enfrentará un escenario de disminución de aporte de cobre fino con las consecuencias que ello implica (aumento de costos, pérdida de competitividad, infraestructura de procesamiento de mineral con utilización parcial, entre otros).
- Como su nombre indica, el polígono de producción se encuentra ubicado en el sector norte del yacimiento, fuera del perímetro de explotación histórico de la mina subterránea. La gran distancia existente entre la zona de producción del Proyecto y la infraestructura que brinda soporte a las minas actualmente en operación hace necesaria la construcción de nuevos sectores de talleres, casinos, oficinas, galerías de ventilación, accesos, galerías de carguío de trenes en Teniente 8, entre otros.
- Considerando el diseño original de los sectores que conforman la mina subterránea en sus respectivas etapas de pre factibilidad y factibilidad, Recursos Norte es uno de los sectores más grandes que División El Teniente ha concebido a lo largo de su historia. Esto se traduce en 36 km de túneles que conforman los 4 niveles principales que dan forma a la mina, 4,2 km asociados a las galerías principales que entregarán aire fresco, 4,7 km de desarrollos verticales (piques de traspaso de mineral, chimeneas de ventilación), entre los principales indicadores que dan cuenta de la magnitud del proyecto.

Dicho de otra forma, Recursos Norte debe habilitar una vasta cantidad de infraestructura, debido a su tamaño y lejanía de las operaciones actuales de la mina subterránea, en plazos que son altamente desafiantes si se toma como referencia los rendimientos históricos que exhibe la División en la construcción de minas subterráneas. Esta situación plantea un tremendo desafío, que abarca aspectos relacionados con las facilidades y logística que la División otorga a las empresas constructoras, productividad de las mismas, modelo de negocio y relación contractual entre la División (mandante) y constructora (ejecutor), entre otros.

En cuanto a la mina subterránea, a inicios de la década de los 90 División El Teniente definió que enfocaría sus esfuerzos en la operación de los diversos sectores que la conforman, aplicando su expertiz y conocimiento en las etapas en que se divide la operación de una mina: perforación y tronadura, extracción, carguío y transporte (además

de sus sub etapas). De esta forma, la construcción y habilitación de un sector, paso previo a la operación de explotación minera, se dejó en manos de empresas constructoras externas a Codelco, teniendo la División el rol de supervisar la ejecución de las obras y el cumplimiento de estándares de seguridad, calidad y medioambiente a través de organizaciones tales como las actuales Gerencia de Proyectos (que ejecuta las etapas financiadas con montos de inversión) y Gerencia de Obras Mina (que construye con financiamiento proveniente de los presupuestos de operación de un sector). Es así como, durante casi 30 años, diversas empresas especialistas en la construcción de mina subterránea han participado activamente en la habilitación de los diversos sectores que hoy conforman la mina subterránea de División El Teniente.

Estos 30 años han brindado tanto a División El Teniente como a las empresas constructoras un amplio bagaje en cuanto a técnicas de desarrollo horizontal y vertical, montaje de obras civiles, formas de gestionar las interferencias que se producen entre las actividades de producción y las de construcción, etc. Sin embargo, también han propiciado la instalación de paradigmas que, tanto en mandante como en ejecutor, se han convertido en un lastre que impide avanzar en la implementación de medidas que permitan incrementar la productividad de las actividades ligadas a la construcción de minas.

En efecto, diversas evaluaciones, tanto internas como efectuadas por empresas consultoras, han concluido que la productividad de las actividades de construcción de minas en DET es baja respecto de otras compañías mineras. A modo de ejemplo, se puede señalar que de las 10 horas aproximadas de un turno de obras de DET, se cuenta con 5,5 horas efectivas en que se están realizando actividades relacionadas con las obras en desarrollo (incluye recolección y preparación de materiales y suministros) y alrededor de 4 horas de trabajo propiamente tal en los diversos frentes activos. Esta situación se debe tanto a restricciones que impone la misma DET (horarios de acceso de personal y suministros a la mina, disponibilidad de sistemas de manejo de minas, entre otros) como a problemas internos de cada empresa constructora para organizar sus esquemas y logística de trabajo.

Estos efectos se ven acentuados por el hecho de que históricamente las actividades de desarrollo de mina no han contado con el mismo nivel de monitoreo y control que las actividades de producción. Cuando las minas ya están construidas es relativamente simple montar redes de comunicaciones (radial, *wifi*, etc.) y es así como hoy existe la posibilidad de visualizar desde un centro de control o mediante aplicaciones móviles el estatus de equipos y personas, cumplimiento de metas de producción del turno, entre otros. Por el lado de las actividades de construcción de mina, la misma naturaleza de avance constante de una mina, y la consiguiente necesidad de aumento de cobertura de redes de forma frecuente, ha propiciado que éstas sean muy deficientes y que las actividades de las empresas constructoras sean monitoreadas principalmente vía supervisores de turno.

Es así como, entre otras iniciativas, aparece la necesidad imperiosa de implementar metodologías de excelencia operacional en las actividades de construcción que permitan elevar los niveles de productividad de la actividad y así habilitar el cumplimiento de los hitos de puesta en operación de los nuevos sectores en general, y de Recursos Norte en

particular. A su vez, y como parte del despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional, se debe buscar un mecanismo de gestión del cambio que permita derribar los paradigmas instalados durante 30 años de desarrollos de minas subterráneas en División El Teniente y abrazar un cambio que propicie la generación de una cultura orientada al mejoramiento continuo.

6. Marco Teórico y metodologías de Lean Management

6.1. El sistema de producción Toyota

El término “Lean” fue usado formalmente por primera vez a principios de la década de los 90 por los investigadores James P. Womack y Daniel T. Jones en su libro *The Machine That Changed The World* para describir y evolucionar el sistema de producción implementado por Taiichi Ohno en la compañía Toyota durante los años 50, denominado Sistema de Producción Toyota (*TPS*, por sus siglas en inglés). Se puede traducir como “esbelto” o “sin grasa” y hace referencia al objetivo central de la metodología implementada en la compañía automotriz, que no es más que la eliminación sistemática de los desperdicios y diversas causas de despilfarro (*Muda*, en japonés), entendiendo estos 2 términos como todos aquellos elementos que no generan valor agregado al producto o servicio final. De esta forma, la compañía puede elevar sus niveles de productividad, calidad y flexibilidad a través de la mejora continua, reducción de costes, inventarios y defectos de productos, entre otros elementos.

Uno de los principios básicos del *TPS* es el *Just In Time* (Justo a Tiempo), que significa producir sólo lo necesario, en el momento justo y en la cantidad requerida. Ohno se inspiró en el funcionamiento de un supermercado, en que un cliente toma una determinada cantidad de bienes desde un estante para comprarlos y más tarde el personal del supermercado repone en los estantes la cantidad de bienes que se vendió. Análogamente, un centro de trabajo (el cliente) retira desde un punto de inventario (el estante) una cantidad determinada de piezas (los bienes), y luego otro centro de trabajo (personal reponedor del supermercado), responsable de fabricar o adquirir es pieza, repone la misma cantidad que se utilizó. De esta forma, en un contexto de stocks ajustados, es fundamental la velocidad de reposición de piezas de modo de no impactar la ejecución de la actividad que la requiere. Estos conceptos se pueden resumir en tres principios:

- *Pull* (tirar, atraer): el usuario solicita la pieza que necesita (no otras), cuando la requiere (no antes) y en la cantidad que necesita (ni más ni menos).
- Flujo continuo: asociado a la rápida eliminación de los problemas que detienen las líneas de producción, de modo de no afectar los requerimientos de piezas o etapas de los procesos posteriores.
- *Takt Time* (ritmo, mezcla de alemán e inglés): ritmo, cadencia o sincronización de tiempos necesarios para la fabricación de productos o componentes, de modo de lograr una línea de producción en constante movimiento y sin acumulaciones o falta de componentes.

Un segundo principio del *TPS* es la mejora continua, que apunta a mejorar los productos, servicios y procesos de una compañía. Entre sus principios rectores se puede mencionar: que el proceso a mejorar debe estar bien definido y parametrizado en indicadores; es

recomendable contar con una base de comparación de procesos similares en otras compañías; los participantes de un proceso, desde la supervisión hasta los trabajadores, son los que realmente pueden efectuar aportes a la discusión de mejora; los cambios deben someterse a un período de evaluación de modo de verificar su real aporte.

Un tercer principio del sistema es el de respeto a las personas, que hace referencia a respetar la opinión del otro asumiendo una actitud para crear vínculos de confianza y fomentar el trabajo en equipo.

Mencionado en párrafos anteriores, el objetivo último del *TPS* es la eliminación, a través de la implementación de los principios descritos, de todos los desperdicios que afectan a la cadena de producción. Estos se clasifican en siete tipos:

1. Defectos: genera un gasto debido a la disposición de productos con defectos y el tiempo asociado a la reparación o fabricación de un producto de reemplazo.
2. Exceso de producción: genera gasto de sobre inventarios.
3. Transporte: gastos asociados a movimientos de partes y/o productos.
4. Esperas: pérdida por costo de oportunidad de elementos en espera.
5. Inventarios: gasto por costo de mantenimiento de espacios de bodega y materiales inmovilizados.
6. Movimiento: pérdida de tiempo, mayor necesidad de personal.
7. Procesos innecesarios: etapas que no agregan valor al producto o servicio.

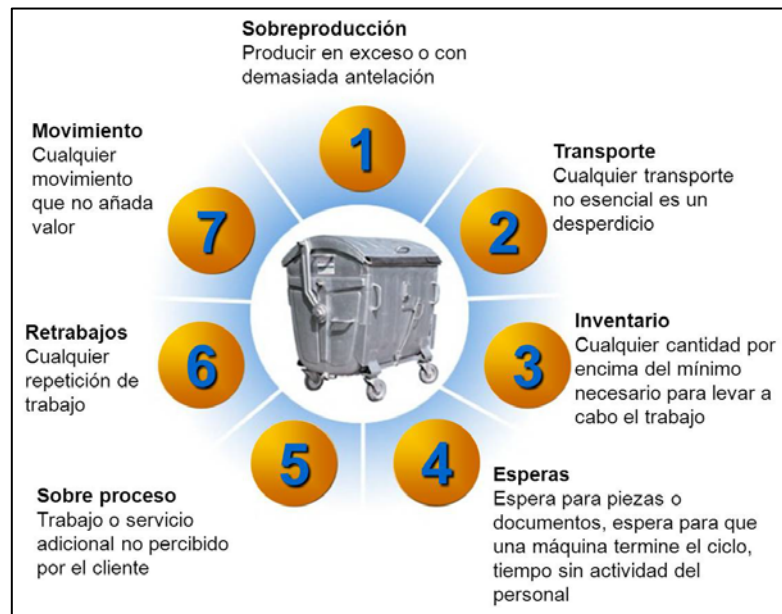


Ilustración 6.1-1 Tipos de desperdicio definidos en el *Toyota Production System*

La industria automotriz norteamericana empezó a mirar con interés el caso de Toyota en los años 70, cuando la compañía mostró una recuperación más rápida que la de sus competidores de la industria luego de la crisis del petróleo de esa década. Posteriormente, durante los años 80, se hizo evidente la mayor productividad lograda por Toyota en particular y la industria automotriz japonesa en general, lo que condujo a la adopción inicial del *TPS* por parte de empresas automotoras europeas y

norteamericanas, y al comienzo del uso del término *Lean* para describirlo. Finalmente, en el año 1990 los investigadores Womack y Jones documentaron el sistema de producción en el libro *The Machine That Changed The World*, desarrollando el concepto de *Lean Manufacturing*.

6.2. Lean Management

El *Lean Management* (Gestión *Lean*) es una evolución de la cultura del *Lean Manufacturing* desarrollada originalmente en Japón. Uno de sus objetivos fue romper tres paradigmas que se habían instalado respecto de *Lean Manufacturing*:

1. *Lean* sólo tiene aplicación en la industria automotriz.
2. Los resultados de *Lean* sólo son realmente apreciables en empresas de gran tamaño.
3. *Lean* no tiene aplicación fuera del sector industrial.

De esta forma, la cultura *Lean* se expande a diversos tipos de sectores e industrias, ya que sus conceptos básicos asociados a generar organizaciones flexibles y orientadas a la reducción de costos tienen un amplio campo de aplicación, apuntando al objetivo de crear el máximo valor posible con el menor consumo de recursos mediante el uso del conocimiento y habilidades de las personas que realizan el trabajo. Pasa de ser una metodología y un conjunto de herramientas a establecerse como una cultura organizacional cuya forma de pensar siempre está orientada a la mejora continua.

De esta forma, una compañía que pretenda implementar exitosamente una Gestión *Lean* de sus procesos debe no sólo enfocarse en desplegar herramientas de gestión en su dotación; más importante aún es generar en sus equipos una cultura que:

- No esconda los problemas. Sólo al visibilizarlos se puede analizar sus causas y elaborar planes de acción que los elimine o minimice su impacto.
- Cambie la cultura jerarquizada que busca resolver problemas desde los niveles superiores del esquema organizacional por un sistema de delegación que aporte a la resolución de problemas desde cada nivel de jerarquía (los problemas se solucionan en los procesos donde se generan y por las personas que participan del proceso).
- Tenga foco en los procesos que componen la cadena productiva de la empresa, y no sólo en los resultados.

6.3. Lean Construction

Luego de la revolución en el diseño y sistemas de producción industrial propiciada por el desarrollo y aplicación de los conceptos asociados a *Lean Management*, la industria de la construcción observó con interés las posibilidades que este sistema de gestión ofrecía para optimizar la ejecución de proyectos de construcción. Es así como nace *Lean Construction*, tomando los conceptos de la gestión *Lean* y direccionándolos específicamente a los problemas que afectaban las actividades de montaje y construcción de proyectos para maximizar su valor y minimizar las pérdidas mediante la

aplicación de técnicas destinadas a incrementar la productividad de los procesos de construcción.

En palabras simples, el objetivo del esquema *Lean Construction* es minimizar el tiempo asociado a actividades que no le agregan valor al producto final; dicho de otra forma, se busca reducir las pérdidas o desperdicios, entendiéndolos como el tiempo dedicado por una organización a actividades por las cuales el cliente del proyecto no está dispuesto a pagar.

En general, un proceso se puede descomponer en Trabajo con Valor Agregado, Trabajo con Desperdicio Oculto y Trabajo con Desperdicio Evidente.

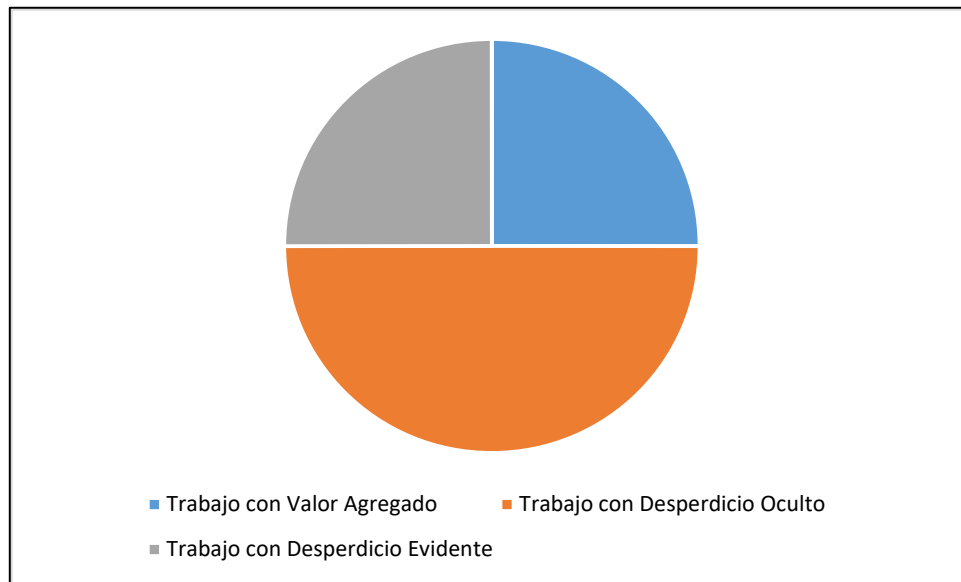


Ilustración 6.3-1 Descomposición del trabajo total asociado a una actividad

- Trabajo con valor agregado: son actividades que agregan valor al producto final. Por definición, son actividades por las cuales el cliente está dispuesto a pagar.
- Trabajo con desperdicio oculto: son actividades que no agregan valor al producto, pero que generalmente son necesarias para la ejecución de las mismas. Entre ellas se pueden mencionar tiempo de chequeo de equipos previo al inicio de actividades, tiempos de traslado, recolección de materiales e insumos para la actividad, entre otros.
- Trabajo con desperdicio evidente: son actividades innecesarias para agregar valor al producto. Entre ellas se puede mencionar tiempos de espera (por falta de equipos, insumos, actividades precedentes que no han finalizado, entre otros), retrabajo por productos defectuosos, desplazamientos y transportes innecesarios de personas y materiales, sobrestocks de insumos y productos generando gasto por concepto de mantenimiento de los materiales. Estos tipos de desperdicio se pueden resumir en el concepto de falta de sincronización entre actividades y procesos, que en mayor o menor grado genera los restantes ejemplos de desperdicio.

De esta forma, la finalidad de la metodología es reducir al mínimo el desperdicio oculto e idealmente eliminar completamente el desperdicio evidente. Para lograr este objetivo se debe desarrollar un proceso que considere los siguientes pasos:

1. Cuantificar el tiempo que agrega valor y el tiempo dedicado a pérdidas en cada una de las actividades de construcción del proyecto.
2. A través de una tabulación y análisis de la información obtenida en el paso anterior, identificar la magnitud de las pérdidas registradas.
3. Definición de las pérdidas que se buscará reducir o eliminar, junto con las estrategias de ataque para cada una de ellas.
4. Aplicación en las actividades de la obra de las estrategias definidas anteriormente.
5. Realizar nuevas evaluaciones para determinar la efectividad de las estrategias desplegadas.

6.4. Lean Project Delivery System

Lean Project Delivery System surge como una evolución o desarrollo a partir de los principios de *Lean Construction*. Al igual que este último, considera el uso de conceptos destinados a maximizar el valor para el cliente y minimizar las pérdidas asociadas a los desperdicios, pero además agrega y enfatiza conceptos asociados a revisar y optimizar los modelos organizacionales de la empresa constructora y los modelos de relaciones contractuales comunes entre mandante y ejecutor. Es así como se propicia un cambio de paradigma que se puede resumir en los siguientes conceptos:

- La definición tradicional de Proyecto, asociada a un esfuerzo efectuado durante un período de tiempo determinado para llevar a cabo la creación de un producto, servicio o resultado, cambia hacia un énfasis en sistema de relaciones entre personas y organizaciones a partir de las cuales se crea y comparte valor entre las partes interesadas. De esta forma, el alto desempeño no sólo se obtiene mediante la implementación de herramientas de excelencia operacional, sino que se releva la importancia de las relaciones de colaboración entre los diferentes actores que participan en el desarrollo del proyecto.
- Reforzando lo expuesto en el punto anterior, la Estructura de Proyecto evoluciona desde un desglose de actividades con el propósito de programar, presupuestar y controlar su ejecución, a una estructura basada en las relaciones que se desarrollan entre los distintos actores que intervienen en el desarrollo del proyecto.

Para plasmar estos conceptos e ideas en aplicaciones prácticas, el sistema de gestión *Lean Project Delivery* se apoya en 4 herramientas: Sistema Último Planificador (*Last Planner System*), Diseño con Meta de Valor (*Target Value Design*), Contratos Relacionales y Sala de Control del Proyecto. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

6.4.1. Sistema Último Planificador

Este sistema de planificación fue desarrollado a fines de la década de los 90 como una forma de sistematizar la incorporación de principios de *Lean Construction* en la gestión de proyectos de construcción. Su objetivo es mejorar el desempeño de la obra mediante

el incremento de la fiabilidad de la planificación de actividades, lo que se logra a través de la aplicación de diversas herramientas en todos los niveles de planificación de las actividades.

Del párrafo anterior se desprende que la planificación es el concepto central del sistema. Planificar consiste en definir lo que será realizado y cómo se ejecutará, para luego verificar la ocurrencia de las actividades definidas. Como toda herramienta, la eficacia de las metodologías de planificación depende en última instancia de las personas que las utilizan, siendo absolutamente necesario que se instale en la organización una cultura que implique asumir y mantener compromisos confiables.

El nombre del sistema hace referencia al denominado Último Planificador, que corresponde a la/las personas que asignan tareas específicas a los grupos de trabajo que directamente las ejecutarán y supervisan su desarrollo. Dependiendo de la etapa de desarrollo del proyecto, el Último Planificador puede corresponder a distintos profesionales; por ejemplo, en la etapa de análisis de constructibilidad puede ser un ingeniero de proyecto, mientras que en la etapa de construcción puede ser el líder de un turno.

El Sistema Último Planificador consta de cuatro niveles de planificación donde se planifican actividades con mayor detalle y menor incertidumbre a medida que se pasa de un nivel al siguiente. Los niveles de planificación se detallan a continuación:

- Programa Maestro: corresponde a la planificación inicial, a partir de la cual se genera el presupuesto y programa de desarrollo del proyecto. Se le da forma a partir de los objetivos especificados por el mandante y de indicadores de desempeño de la empresa que ejecutará la obra, de forma de determinar la cantidad de recursos necesarios e hitos de control para las diversas etapas. Estas se desglosan en subetapas que permitirán determinar la secuencia en que serán ejecutadas, estimando la cantidad de recursos totales involucrados en una distribución temporal, y dar una mirada preliminar a posibles cuellos de botella.
- Programa de Fase: especialmente en proyectos largos y complejos es relevante contar con un nivel planificación de mayor detalle que el Programa Maestro, pero que tampoco cubra la totalidad de actividades del proyecto en su máximo nivel de detalle porque puede tornarse inmanejable. De esta forma, el Programa Maestro se separa en fases o conjuntos de actividades que pueden tener en común una proximidad espacial o temporal, interdependencia entre sí o uso de similares recursos.
- Planificación Intermedia: su principal meta es controlar la adecuada coordinación entre los distintos insumos que necesita una actividad para ser ejecutada, tales como planos de diseño, materiales, equipos, personas, permisos, entre otros. De esta forma, permite detallar y actualizar el presupuesto y programa, visualizando por adelantado (con un horizonte de 5 o 6 semanas) los recursos necesarios para la ejecución de las distintas actividades y asegurando su disponibilidad en cantidad y oportunidad, como así también evidenciando restricciones y brindando la oportunidad de generar planes para solventarlas.
- Planificación Semanal: tal como su nombre indica, es el nivel de planificación de las actividades próximas a ejecutarse y presenta el mayor nivel de detalle. Debe

ser desarrollada por las personas que estarán directamente a cargo de la ejecución de trabajos, tales como capataces, jefes de turno, supervisores, entre otros.

La confiabilidad de la planificación se mide periódicamente a través de la métrica denominada Porcentaje de Plan Completado (PPC), que no es más que el cociente entre el número de actividades ejecutadas y el número de actividades programadas para un período de tiempo específico. Este indicador, junto con el análisis de las restricciones que impidieron la ejecución de la totalidad de actividades programadas, son elementos básicos que permiten mejorar la aplicación de las herramientas y verificar la adherencia de los distintos integrantes del equipo al cumplimiento de sus compromisos.

6.4.2. Diseño con meta de valor (Target Value Design)

Este enfoque de gestión de proyectos surge en Estados Unidos entre los años 2005 y 2007, consistiendo en identificar lo que genera valor para el cliente y orientar a los equipos de ingeniería del proyecto para diseñar el producto o servicio según ese lineamiento (costos, plazo, características específicas, etc.). Dicho de otra forma, consiste en diseñar invirtiendo el método tradicional: en lugar de estimar costos y constructibilidad, entre otros elementos, a partir de un diseño detallado, el producto o servicio se diseña para cumplir una meta de costo, plazo y/o constructibilidad predefinidos.

Con el objetivo del cliente claramente establecido, las partes interesadas participan colaborativamente desde las etapas iniciales de diseño.

6.4.3. Contratos Relacionales

En la búsqueda de estrategias que permitan aumentar los niveles de cooperación entre los distintos entes participantes del desarrollo de un proyecto, a mediados de los años 60 surgió una corriente que impulsaba el desarrollo de un nuevo modelo contractual que fomentara la colaboración entre las partes mediante la celebración de acuerdos contractuales flexibles en que se compartieran los riesgos y beneficios. De esta forma, surgen los Contratos Relacionales como una alternativa a los tradicionales Contratos Transaccionales en que se definen términos y condiciones para el intercambio de bienes y servicios entre un mandante y un ejecutor (transacciones). Esto no quiere decir que los contratos de tipo transaccional sean necesariamente negativos, sino que existe un ámbito de aplicación, especialmente en proyectos de construcción de gran envergadura y que pueden enfrentar diversos cambios durante largos períodos de ejecución, en que un tipo de relación de mayor nivel de colaboración y flexibilidad puede incrementar los beneficios para mandante y ejecutor.

Atributo	Contrato Transaccional	Contrato Relacional
Horizonte de tiempo	Corto plazo	Medio a largo plazo
Tipo de relación	Conflictiva, estilo ganar-perder	Colaborativa, tipo ganar-ganar
Foco	Precio, multa por incumplimiento	Uso de tecnología, innovación de procesos
Distribución de riesgos y ganancias	Riesgos para el ejecutor, ganancias para el mandante	Riesgos y ganancias compartidas
Comunicaciones	Reuniones para revisión de cumplimientos	Comunicación regular, coordinación
Resolución de conflictos	Reactiva, dinámica de conflicto-solución	Evita conflictos proactivamente
Distribución de costos y beneficios	Mandante se beneficia de ahorro de costos, ejecutores esconden los ahorros	Premios y riesgos compartidos, enfoque ganar-ganar
Esfuerzos de mejoramiento conjunto	Poco o nulo	Mejoramiento conjunto impulsado por enfoque ganar-ganar

Tabla 6.4.3-1 Comparación principales características Contratos Transaccionales y Contractuales

6.4.4. Sala de control del proyecto

Parte importante del Sistema de Producción Toyota, el espacio físico denominado *Obeya* (Habitación Grande o Habitación de Guerra) corresponde al lugar donde se reúnen todas las partes implicadas en el desarrollo de procesos o productos para facilitar la comunicación entre ellas y una rápida toma de decisiones. Esta habitación o sala es en sí misma un método de gestión cuyo objetivo es eliminar las barreras generadas por la separación espacial y temporal de las partes involucradas en la ejecución de un proyecto y fomentar el trabajo en equipo para acelerar la revisión de diversas etapas de planificación, gestión de interferencias, abastecimiento de insumos, resolución de problemas, entre otros.

Con el paso del tiempo, el concepto de Sala de Control y las interacciones que ocurren en ella cuando se reúne el equipo de proyecto ha evolucionado a la denominada Gestión Visual de Proyectos, definida como un método que enfoca a la organización hacia la consecución de los objetivos del proyecto apoyado en el despliegue de diferentes soportes y elementos visuales en los que se despliega el estatus de las diversas actividades que lo componen.

No existe un modelo de sala de control estándar o predefinido, ya que se diseña por y para el equipo involucrado y debe adaptarse a la naturaleza y necesidades de cada proyecto. No obstante lo anterior, existen algunos elementos comunes a todas ellas:

- Sección de seguridad, con información de indicadores, incidentes relevantes, planes de mejoramiento, entre otros.
- Sección de desempeño, que contiene información relativa al cumplimiento de hitos del proyecto, presupuesto, etc.
- Sección de planificación, que contiene información relativa a calendarios de actividades, lista de acciones pendientes, calendario de entrega de suministros, etc.

6.5. Resolución de problemas

Parte integrante del abanico de herramientas de mejora asociadas a metodologías de excelencia operacional, los mecanismos de resolución de problemas juegan un rol fundamental. De hecho, en general se podría señalar que los mecanismos y técnicas revisados en los puntos anteriores buscan visibilizar las diferentes problemáticas que afectan las actividades del proyecto, manifestándose como interferencias, desperdicios u otro tipo de ineficiencias que terminan por incrementar el costo y/o poner en riesgo el cumplimiento de los hitos del proyecto.

La idea de desarrollar metodologías estandarizadas de resolución de problemas es evitar la tentación de intentar resolverlos mediante un enfoque intuitivo que, sin necesariamente conducir a una solución errónea, puede hacer perder de vista oportunidades para lograr soluciones más integrales; la trampa está en saltar directamente a la solución sin hacerse cargo de las causas de fondo, dejarnos llevar por prejuicios o, incluso, sin entender completamente el problema real. Por otro lado, la filosofía *Lean* invita a incorporar en la cultura organizacional del equipo el hecho de que la resolución de problemas no acaba cuando se implementa una solución; el último paso es validar la eficacia de la solución implementada y generar el aprendizaje en el resto de la organización.

El Método de Resolución de Problemas A3 nace para sistematizar la totalidad del proceso, asegurando una adecuada definición del problema y análisis de sus causas base, e incorporando la idea de que la mejor alternativa para encontrar una solución es la implicación de las personas y el trabajo conjunto del equipo, en detrimento de soluciones rápidas basadas en la intuición de unas pocas personas. Se basa en la estrategia de mejora continua denominada Ciclo de Deming, también conocida como Círculo PDCA (del inglés *Plan-Do-Check-Act*, que significa Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) y debe su nombre al tamaño de hoja de papel A3 (29,7 cm x 42 cm). Una de las ideas centrales del método es que cualquier problema, por complejo que sea, puede resumirse en el formato de una hoja de este tamaño obligando al equipo de trabajo a ser conciso y extraer lo realmente relevante para describir el problema y la solución. Es así como el método conlleva una forma de pensar y actuar, el denominado Pensamiento A3.

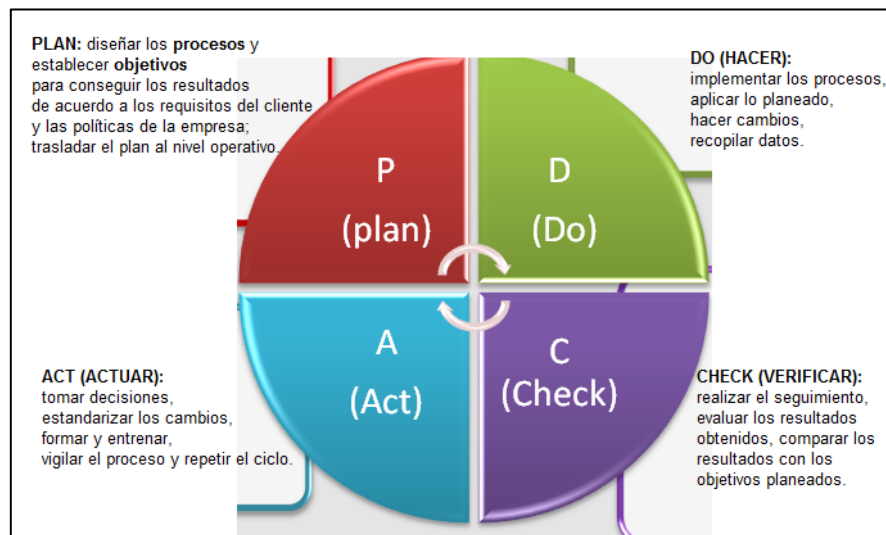


Ilustración 6.5-1 Diagrama esquemático del Ciclo de Deming

Las ideas principales que representan el Pensamiento A3 se pueden expresar en los siguientes conceptos:

- Partiendo de la idea de que todas las personas son potenciales “solucionadores de problemas”, siempre se debe buscar el diálogo al interior de los equipos.
- Una buena parte de la respuesta a los problemas está en el *Gemba*, que es una palabra de origen japonés que significa “lugar donde ocurre la acción”. Es decir, las respuestas están en el mismo lugar donde se desarrolla el proceso productivo, ya sea una línea de ensamblaje en el caso de una fábrica o el área de trabajo en una construcción. De esta forma, el fondo de la frase “Ir al *Gemba*” es tener una visión completa de lo que sucede en terreno, brindando la oportunidad de observar y escuchar a las personas que allí se desempeñan.
- No se debe saltar precipitadamente a la propuesta de una solución, ya que puede ser superficial y no hacerse cargo de la causa raíz de la problemática.

De esta forma, la herramienta A3 se sustenta en los siguientes elementos base:

- Es un proceso de pensamiento lógico basado en el Ciclo PDCA y orientado a la búsqueda de causas raíces.
- Busca la objetividad.
- Conseguir resultados utilizando procesos excelentes.
- Síntesis, foco en lo relevante y visualización.
- Alineación entre los interesados.
- Coherencia y consistencia a través de la organización.
- Visión global de las acciones a implementar.

Si bien no existe un formato único de la herramienta A3, todas las implementaciones tienen al menos los siguientes elementos:

- Antecedentes o definición del problema: sección que identifica el problema y entrega un contexto para mayor claridad del equipo.
- Situación actual: presenta una visión general del proceso y detalla el problema mediante indicadores.
- Objetivo de mejora: establece los objetivos concretos de mejora, mediante una métrica que permita apreciar objetivamente la eficacia de la solución implementada. Habitualmente se utiliza la técnica SMART (denominada así por sus siglas en inglés *Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Timelined*) para definir los objetivos de mejora.
 - *Specific* (Específico): el objetivo debe ser específico, eliminando ambigüedades que generan confusión y dan pie a diferentes interpretaciones al interior del equipo.
 - *Measurable* (Medible): el objetivo debe ser capaz de ser cuantificado y medido, de otra forma no es posible determinar si luego de la implementación de la solución se está en una condición distinta a la original.
 - *Achievable* (Alcanzable): el objetivo debe ser realista y capaz de producirse dentro del período de duración de la iniciativa de mejora.
 - *Relevant* (Relevante): el objetivo debe ser relevante para la organización.

- *Timelined* (Tiempo definido): el objetivo debe tener una línea de tiempo claramente establecida para ser logrado, de modo de incentivar el esfuerzo de la organización para llevarlo a cabo.
- Análisis causal: corresponde a uno de los elementos de mayor relevancia. Si las causas no están claramente establecidas, la solución propuesta podría ser errónea o superficial. Dependiendo de la situación particular, se pueden utilizar diferentes herramientas para desarrollar un análisis causal de calidad, tales como:
 - Lluvia de ideas: también conocida como tormenta de ideas, es una herramienta de trabajo grupal que propicia el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. Parte de la base de que la búsqueda de ideas en un proceso grupal resulta ser más efectivo que lo producido por personas trabajando de forma independiente.
 - Diagrama de Ishikawa: también conocido como diagrama causa-efecto o diagrama de espina de pescado debido a la forma de su representación gráfica, consiste en una figura compuesta por una línea central horizontal cuyo extremo representa el problema a analizar. Las ramas que convergen a la línea central representan las diversas variables que intervienen en el proceso revisado, generando una visualización simple de las relaciones causa-efecto entre ellas. El mecanismo para encontrar las causas consiste en considerar el problema y formular la pregunta “por qué” hasta que se llegue a identificar una causa raíz o hasta que se hayan agotado las opciones en cada rama.

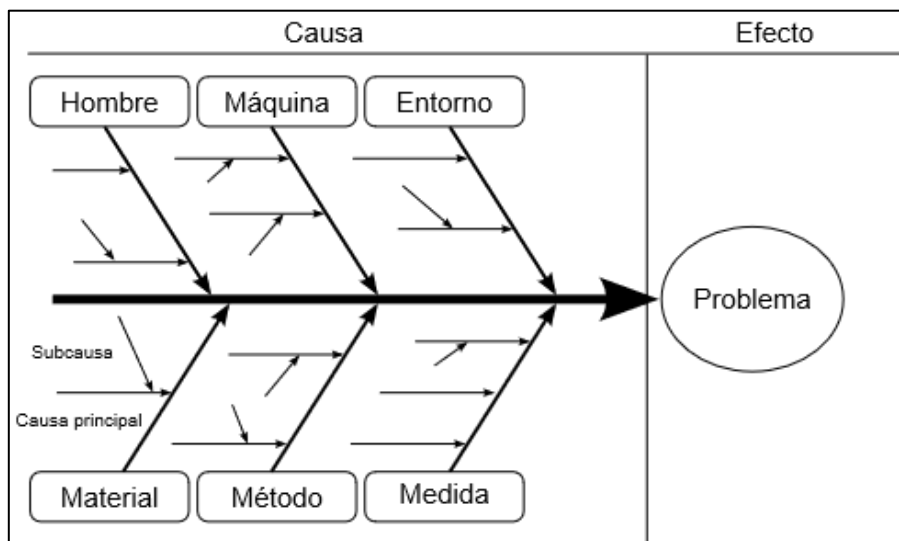


Ilustración 6.5-2 Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

- Árbol de falla: es un tipo de análisis de falla descendente, en el que un estado no deseado de un sistema es analizado para determinar los eventos raíz que lo desencadenan.
- Metodología de los 5 por qué: es una técnica consistente en realizar preguntas iterativas para indagar en relaciones de causalidad basales en un problema particular. De esta forma, se repite la pregunta “¿por qué?” y cada respuesta es la base de la siguiente pregunta.

Empíricamente se ha observado que en la gran mayoría de los casos basta cinco iteraciones para llegar a una causa raíz concreta.

- Acciones de mejora: una vez definidas las causas básicas del problema, la siguiente etapa consiste en definir planes de acción para eliminar o minimizar el impacto de cada una de las causas raíces identificadas. En esta etapa es importante priorizar los planes de acción mediante una revisión del impacto en el resultado versus el esfuerzo necesario para ejecutar el plan.
- Planes de acción: los planes definidos deben contar con acciones bien detalladas, un único responsable a cargo de cada plan, fecha de inicio y término de la implementación y el resultado esperado.
- Seguimiento de resultados: se deben especificar indicadores adecuados que permitan verificar que las medidas y planes adoptados tienen un efecto positivo y cumplen los objetivos definidos. En un esquema similar al del Ciclo de Deming, si los resultados no son los esperados se debe investigar las posibles causas y redefinir las acciones correspondientes.

7. Incorporación de metodologías de Lean Management en Proyecto Recursos Norte

Las obras actualmente en ejecución en el Proyecto Recursos Norte son parte de la etapa denominada Obras de Acceso Área Inicial, cuya finalidad es:

- Habilitar infraestructura que facilitará el inicio de la etapa de ejecución inversional del Proyecto (instalaciones de faena, espacios para la habilitación de talleres de mantenimiento de equipos, circuitos de ventilación, sistemas de manejo de marinas de desarrollo, entre otros).
- Habilitar servicios que darán soporte a las actividades comprendidas en la etapa inversional del Proyecto (centros de distribución de energía eléctrica, sistemas de abastecimiento y drenaje de agua, entre otros).
- Realizar desarrollos horizontales correspondientes a accesos y galerías correspondientes a los cuatro niveles que compondrán la mina Recursos Norte (niveles de hundimiento, producción, transporte intermedio y ventilación).

La estrategia definida para la realización de estas obras consistió en efectuar una licitación pública para ser adjudicada a sólo una empresa constructora que se hiciera cargo de la totalidad del alcance. Este se puede resumir en los siguientes puntos:

- 4.500 m de desarrollo horizontal distribuidos en los cuatro niveles que conforman la mina Recursos Norte. Incluye los desarrollos horizontales asociados a instalaciones de faenas y sectores para futuros talleres de mantenimiento de equipos, junto con una rampa de 400 m de longitud que conecta los niveles de producción y de transporte intermedio.
- Habilitación de tres subestaciones eléctricas con capacidad de 1 MVA cada una.
- Habilitación de 3 piques de traspaso de marinas.
- Desarrollo de 4 chimeneas de ventilación.

La licitación se llevó a cabo entre los meses de enero y septiembre de 2016. El contrato inició sus actividades formalmente en el mes de diciembre de 2016, con una duración de

15 meses y por un monto total de \$27.746.862.358. La empresa constructora adjudicada definió realizar los desarrollos verticales (chimeneas y piques) y las habilitaciones eléctricas (montaje de subestaciones eléctricas, tendido de cables, entre otros) con el apoyo de dos empresas especializadas en la ejecución de las actividades mencionadas bajo la figura de subcontrato.

Para supervisar y apoyar la ejecución de estas actividades, el Proyecto cuenta con un servicio de Inspección Técnica de Obras (ITO) cuyas principales funciones, de acuerdo a la definición inicial del servicio, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Aseguramiento de ejecución de actividades de acuerdo a lineamientos de seguridad, ambiente y calidad definidos por División El Teniente.
- Recepción de obras ejecutadas por la empresa constructora, una vez confirmada la ejecución de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción y fortificación respectivos.
- Validar, en los casos en que corresponda, reclamos de la empresa constructora en cuanto a interferencias de cualquier tipo que afecten el normal desarrollo de las actividades contempladas en el contrato.

7.1. Diagnóstico de la metodología de ejecución de actividades

Desde el inicio de actividades del contrato a mediados de diciembre de 2016 y hasta fines de enero de 2017 la empresa adjudicada completó la habilitación de su instalación de faena interior mina, iniciando en paralelo el tendido de servicios (energía, agua, ventilación, drenaje) hacia los sectores donde se desarrollarían las actividades propiamente tales. Aunque el programa de ejecución de obras consideraba que desde el inicio las actividades abarcaban los cuatro niveles que conforman la mina, se definió que la cantidad de obras a ejecutar en cada uno de ellos no justificaba la habilitación de instalaciones de faena en cada nivel, por lo que sólo se acondicionó una instalación en el nivel de producción desde la cual se coordinarían las actividades en los cuatro niveles.

Desde fines del mes de diciembre de 2016 comenzó formalmente la ejecución de obras, en una primera etapa concentradas en la ejecución de desarrollos horizontales. Aunque la actividad desarrollada entre enero y abril permitió avanzar en los distintos frentes de trabajo, no se cumplió con lo establecido en el programa de obras del contrato haciendo necesaria una revisión más profunda respecto de las causas que estaban motivando el desempeño por debajo de lo esperado.

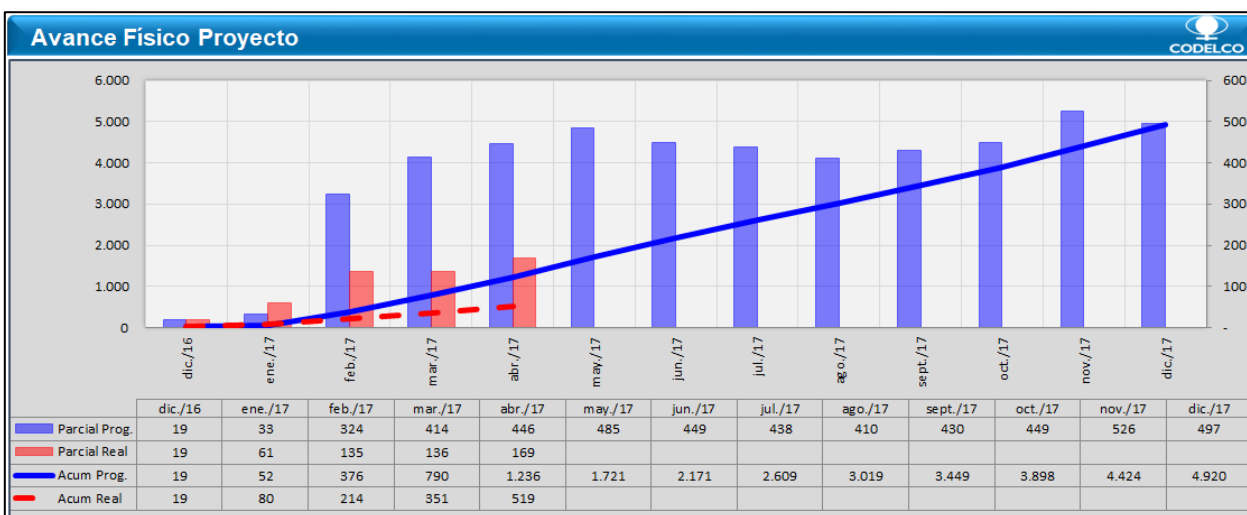


Ilustración 7.1-1 Evolución de avance físico del proyecto entre diciembre 2016 y abril 2017

La Ilustración 7.1-1 permite apreciar los bajos rendimientos logrados por el contrato en sus primeros meses de operación, los que se traducían en que al 30 de abril de 2017 el avance real de metros desarrollados respecto de lo programado correspondía a un 42%.

Sin dejar de considerar dificultades iniciales típicas de la partida de un contrato de ejecución de obras, tales como acreditación de personal o llegada de equipos a faena, la revisión de causas de la problemática hizo evidente la existencia de debilidades sistemáticas, las cuales se pueden resumir en los siguientes aspectos:

7.1.1. Planificación de las actividades a inicio de turno

La metodología utilizada por la empresa constructora para planificar las actividades a ejecutar durante el transcurso del turno se puede resumir de la siguiente forma:

- De acuerdo al organigrama presentado en la Ilustración 7.1.1-1, la empresa constructora inicialmente definió contar con 1 Jefe de Turno y 1 Jefe de Nivel en cada uno de los turnos de trabajo para coordinar el desarrollo de las actividades en los cuatro niveles que conforman la mina. Al inicio de cada turno, el Jefe de Turno distribuye sus recursos humanos y equipos a partir del estatus de trabajos y equipos que le informó el Jefe de Turno que se desempeñó en el turno anterior.

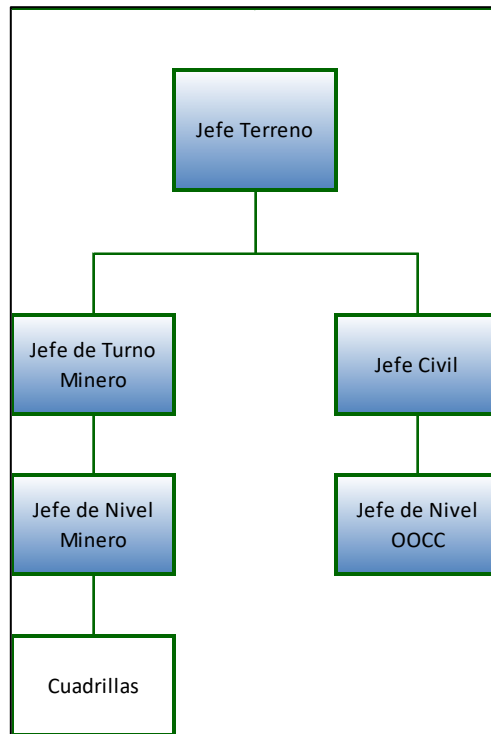


Ilustración 7.1.1-1 Organigrama área ejecutora de trabajos de empresa constructora.

- La planificación de actividades del turno se realiza en pizarras ubicadas en un sector de los pasillos que dan acceso a las oficinas de la Instalación de Faenas.
- Para realizar la distribución de los recursos disponibles, el Jefe de Turno junto a su Jefe de Nivel toman como referencia los rendimientos de equipos y cuadrillas que su experiencia les señala como razonable.
- Sólo se programan las actividades del contrato principal. No hay una interacción clara con los supervisores a cargo de las actividades ejecutadas por las empresas subcontratadas.
- De existir equipos fuera de servicio desde el turno anterior, simplemente no se consideran para la programación de actividades. Sólo se les asigna una actividad en cuanto el área de Mantenimiento los entrega operativos.
- La programación de actividades se informa a los trabajadores en la reunión de inicio del turno.
- Finalizada la reunión de inicio de turno, los trabajadores se distribuyen para reunir sus herramientas y equipos necesarios para la ejecución de las distintas actividades.

A pesar de que en términos generales la secuencia descrita corresponde a lo esperable en cuanto a metodología de planificación, una revisión de detalle revela una gran cantidad de falencias. En primer lugar, pronto se hizo evidente que no era suficiente 1 Jefe de Turno y 1 Jefe de Nivel para tener claridad del estatus de las actividades desarrolladas durante su turno en los 4 niveles, lo que condicionaba negativamente la entrega de información para la planificación del turno siguiente. Como consecuencia, en la mayoría de las ocasiones las actividades programadas para el inicio de turno se veían afectadas al no encontrarse las frentes de trabajo y/o los equipos necesarios para ejecutarlas en

las condiciones que se habían informado. A modo de ejemplo, se observó que habitualmente uno o más equipos no estaban estacionados donde indicaba el reporte de fin del turno anterior, generando pérdidas de tiempo al inicio del turno siguiente debido a la necesidad de buscar los equipos. Otro ejemplo es que en el reporte de fin de turno anterior se indicaba que el ciclo de desarrollo horizontal se encontraba en una determinada etapa, y al llegar el turno entrante a realizar la siguiente actividad del ciclo se encontraba con que aún restaba trabajo de la etapa anterior, teniendo que redestinar recursos sobre la marcha. Con sólo estos dos ejemplos se puede dimensionar la magnitud de las pérdidas de tiempo generadas por el deficiente traspaso de información entre turnos, haciendo que una buena parte de las actividades programadas para iniciar el turno se vieran afectadas.

En segundo lugar, el hecho de realizar la planificación del turno en los sectores de pasillos de acceso a la Instalación de Faenas no propiciaba la generación de un ambiente adecuado debido a que, por su condición de pasillo, existe constante tráfico de personas que interrumpían el diálogo de planificación y, en definitiva, la actividad se realizaba de forma apresurada y superficial. A modo de ejemplo, no se consideraban las actividades a ejecutar por los subcontratos durante el desarrollo del turno, de modo que estos quedaban supeditados a una posible coordinación posterior para el tendido de cables eléctricos o posicionamiento de equipos de desarrollo vertical dependiendo de que estas actividades no interfirieran con las obras del contrato principal, en lugar de acomodar los trabajos de acuerdo a una secuencia programada que minimizara interferencias.

Un tercer problema observado fue que, para efectos de programación de actividades a desarrollar, el Jefe de Turno definía una serie de frentes de trabajo a cubrir que superaban la capacidad de ejecución de los recursos del turno, con el objetivo de brindar desde el inicio alternativas para que las cuadrillas de trabajo pudieran decidir dónde desempeñarse. Esta forma de planificar no permitía asignar equipos específicos para cada actividad, como así tampoco posibilitaba una secuencia horaria de ejecución de actividades.

En esta etapa de planificación del turno no tenía participación formal el área de mantenimiento, dependiendo de cada Jefe de Turno el consultar estatus de equipos y considerar en su programación los posibles horarios de salida de los equipos que partían el turno en condición fuera de servicio.

Por último, tampoco se consideraba las condiciones de entorno o interferencias que pudieran afectar las actividades a desarrollar por la empresa constructora, siendo este un punto muy trascendente al tratarse de un proyecto *brownfield*. Entre estas se pueden mencionar aislaciones post tronadura, disponibilidad de rutas de marinas, ejecución de trabajos en áreas aledañas desarrollados por otras organizaciones, entre otros. Es así como se observó en no pocas ocasiones que se programaban actividades que luego no podían desarrollarse porque el área de ejecución estaba confinada o las rutas de marinas no estaban disponibles debido a la ejecución de otras actividades.

De los párrafos anteriores se puede desprender la debilidad de la etapa de programación de actividades del turno, como así también las tremendas ineficiencias que se producían. El resultado final era un inicio de turno sumamente lento, con constantes reasignaciones

de equipos y cuadrillas de trabajo que impactaban negativamente la productividad del contrato.

7.1.2. Control del desarrollo de actividades durante el transcurso del turno

Una vez iniciado el turno, el control de lo que sucedía en cada una de las frentes de trabajo se reducía a recorridos aleatorios por parte del Jefe de Turno y Jefe de Nivel. El objetivo de estos recorridos consistía en verificar presencialmente el estado de avance de las actividades programadas, gestionando las interferencias en caso de existir (gestión de envío de insumos para fortificación, coordinación con el área de mantenimiento en el caso de equipos fuera de servicio, entre varios otros).

Siendo el recorrido presencial una actividad necesaria para visualizar diversas situaciones y verificar las condiciones de desarrollo de los trabajos, en ningún caso resultaba suficiente para tomar acciones rápidas que minimizaran las pérdidas de tiempo por esperas generadas por todo tipo de interferencias. De esta forma, diversas situaciones que no eran detectadas rápidamente por la supervisión tales como coordinaciones con el área de Mantenimiento para atención de equipos en terreno, demoras por llegada de insumos para desarrollar las labores, requerimiento de equipos de apoyo, entre otros, quedaban a merced de la gestión que pudieran o quisieran realizar los mismos trabajadores afectados. Normalmente estas gestiones se efectuaban lentamente, empeorando la situación el hecho de que no hubiera un ente centralizado que contara con la totalidad de la información que permitiera definir prioridades y acelerar las coordinaciones necesarias.

7.1.3. Eficiencia en la ejecución de las actividades asociadas al proceso de desarrollo horizontal

Ante la falta de control del desarrollo de actividades explicitado en el capítulo anterior, y partiendo de la base de que la planificación tenía diversas oportunidades de mejora que hacían plantearse la pregunta respecto del potencial de incremento de productividad que pudiera existir en la ejecución misma de las actividades, se determinó la necesidad de evaluar la manera en que se desarrollaban las actividades en los turnos. Para ello, se comenzó por definir una referencia que permitiera plantear una línea base de comparación.

Como se comentó en capítulos anteriores, la etapa de obras tempranas del proyecto Recursos Norte se enfocaba principalmente en la ejecución de desarrollos horizontales para habilitar diversas facilidades de cara al inicio de la etapa inversional del proyecto, incluyendo espacios para instalaciones de faena, talleres de mantenimiento, accesos, entre otros. El desarrollo horizontal es una actividad de construcción de minas subterráneas que resulta ser un ejemplo de proceso cíclico, ya que para cada disparo o tronadura de avance se repiten las actividades y la secuencia en que se realizan. En la Ilustración 7.1.3-1 se presenta una versión resumida del ciclo de desarrollo minero horizontal.

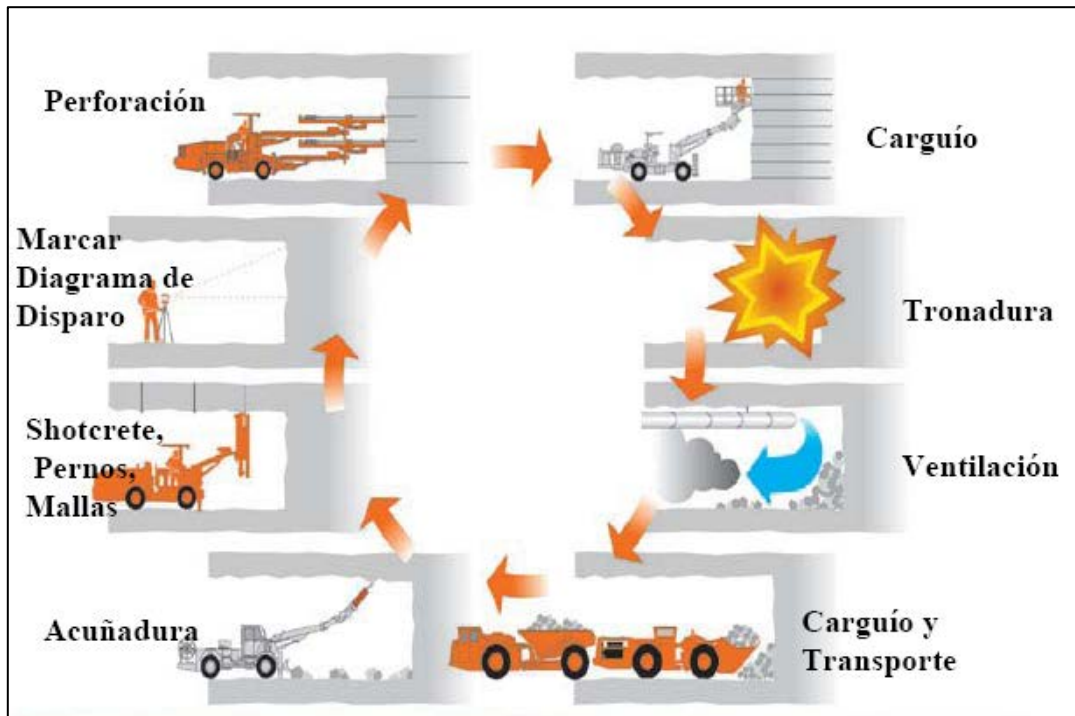


Ilustración 7.1.3-1 Secuencia resumida de desarrollo horizontal en minería subterránea.

A continuación se realiza una breve descripción de cada etapa del ciclo de desarrollo horizontal:

- **Marcar diagrama de disparo (también denominado quemada o tronadura):** consiste en marcar en la frente de la galería a desarrollar el diagrama de perforación de los tiros que posteriormente serán cargados con explosivos para realizar la tronadura o disparo. Esta actividad se realiza con apoyo de topografía de terreno para asegurar el adecuado direccionamiento de la galería.
- **Perforación:** mediante un jumbo de desarrollo horizontal se realizan las perforaciones en la frente de la galería a desarrollar.
- **Carguío:** consiste en insertar explosivos en las perforaciones realizadas en la frente de la galería. Gran parte de esta actividad se realiza desde el canastillo de un equipo manipulador telescópico para alcanzar los tiros superiores perforados en la frente.
- **Tronadura:** cargados los tiros con explosivos y conectados mediante guías, se realiza la tronadura. La ejecución de una tronadura implica la aislación de la zona aledaña a la galería, previo a la ejecución misma del disparo para evitar los efectos de la onda expansiva, y posterior para permitir la adecuada evacuación de los gases generados por la detonación del explosivo.
- **Ventilación:** previo al reingreso de personal a la galería en que se realizó la tronadura, se debe asegurar que los gases generados durante la detonación evacuaron de tal forma que su concentración esté por debajo de los límites establecidos en la legislación vigente.
- **Carguío y transporte:** la roca fragmentada producto de la realización del disparo debe ser retirada mediante equipos mecanizados, normalmente LHD.

- Acuñaadura: consiste en desprender desde el techo de la zona de galería recién tronada las rocas que puedan estar sueltas, de modo que no representen un riesgo durante la ejecución de las actividades posteriores.
- Shotcrete, pernos, malla: son los tres elementos que conforman la fortificación del nuevo tramo de galería. Luego de realizar la perforación del patrón de fortificación, se insertan pernos de fortificación y el espacio anular resultante entre el perno y la perforación se rellena con lechada (mezcla de cemento, arena fina y agua) que se deja fraguar por un período aproximado de tres horas. A continuación se instala malla de fortificación, sustentada en los pernos, para finalmente aplicar una capa de *shotcrete* de 7 cm de espesor. Efectuada esta etapa el nuevo tramo de galería está completo y el ciclo de desarrollo horizontal comienza nuevamente para un nuevo tramo de galería.

El esquema presentado en la Ilustración anterior permite hacerse una idea general del ciclo de desarrollo horizontal. Sin embargo, existe una serie de actividades adicionales a las señaladas y que tienen un impacto relevante en la duración del ciclo completo para una frente. Estas se pueden apreciar en la Ilustración 7.1.3-2.

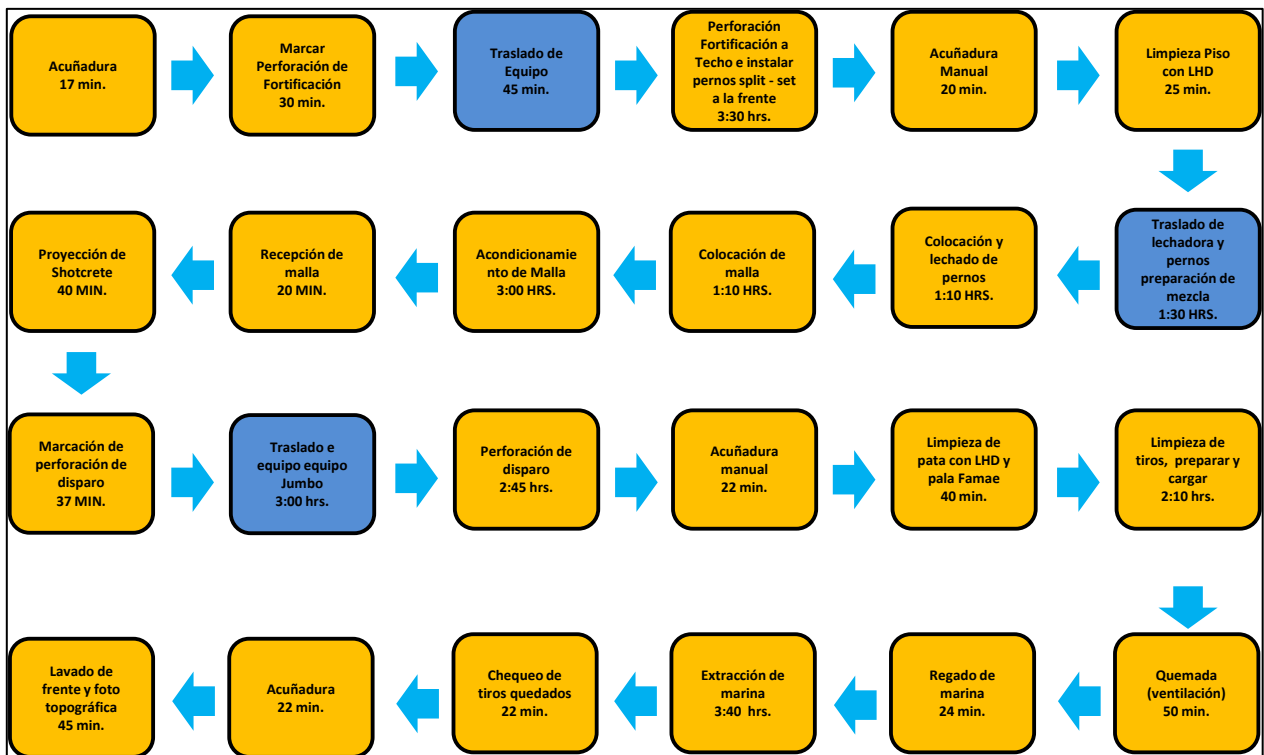


Ilustración 7.1.3-2 Secuencia de detalle de desarrollo horizontal en minería subterránea.

Algunas de las actividades adicionales respecto de la secuencia resumida son:

- Traslado de equipos: hace referencia a los traslados de los diferentes equipos que intervienen en la ejecución del ciclo de desarrollo, ya sea desde taller de mantenimiento, lugar de estacionamiento o desde otra frente de trabajo.
- Limpieza piso: se refiere al retiro de rocas caídas debido a la actividad de acuñaadura o restos de mineral fragmentado producto de la quemada (marina).

- Preparación de mezcla (lechada): corresponde a la actividad de preparación de la lechada para ser usada en la instalación de pernos de fortificación.
- Acondicionamiento de malla: una vez que la malla de fortificación ha sido afianzada en los pernos, se ajusta para quedar a 5 cm del macizo rocoso, tal como está definido en el esquema de fortificación de División El Teniente.
- Limpieza de tiros: previo al carguío de tiros con explosivos, los tiros se revisan para eliminar restos de rocas.
- Regado de marina y chequeo de tiros quedados: una vez efectuada la tronadura y evacuados los gases, la marina se riega para eliminar polvo y descubrir posibles tiros quedados (tiros en los que el explosivo no detonó).
- Lavado de frente y foto topográfica: la frente de galería aún sin fortificar se lava para retirar el polvo que pudiera haberse acumulado y se realiza la toma de un set de fotografías georreferenciadas que luego conforman una imagen tridimensional de la frente para uso en mapeos y análisis geológicos.

Como se puede desprender de la Ilustración anterior, el ciclo de desarrollo horizontal consta de por lo menos 20 pasos que deben ser realizados en serie hasta el inicio del ciclo siguiente. Más aún, a pesar del detalle adicional que entrega la Ilustración 7.1.3-2, es posible desagregar el ciclo de desarrollo en una mayor cantidad de actividades; entre ellas se puede mencionar preparación de lechada para instalación de pernos de fortificación, transporte de equipo cargador de explosivo, instalación de cintas de confinamiento, confección de documentos previos al inicio de actividades tales como Análisis de Riesgos de Tarea y Lista de Chequeo de Estado de Equipos, entre otras. La verificación del grado de eficiencia en la ejecución de cada uno de los pasos indicados y de la coordinación para minimizar los tiempos de espera entre cada etapa resulta fundamental para detectar la existencia de oportunidades de mejora en la actividad global.

Por otro lado, las actividades del ciclo se pueden dividir en dos grandes grupos: las asociadas a la ejecución de una actividad propiamente tal (en color amarillo) y las que tienen un carácter logístico ligado a la llegada de equipos y materiales a las frentes de trabajo (en color azul). Esta separación permite revisar en detalle dos aspectos del ciclo cuyo potencial de optimización depende de distintas palancas de gestión.

En base a definiciones efectuadas por División El Teniente, los contratos de obras de desarrollo minas operan en un sistema de dos turnos por día, cada uno de 10.6 horas de duración. La distribución teórica de tiempos de un turno se presenta en la Tabla 7.1.3-1.

Item	Actividad	Tiempo (Horas)
1	Jornada Disponible Turno 1	10,6
2	Tiempo No Efectivo de Trabajo	5,1
2.1	Traslado :Barrio Cívico – Instalación de Faenas	0,50
2.2	Instalación de Faenas – Inicio T°(Charla/Nombradas/Materiales/Herr	0,50
2.3	Traslado :Instalación de Faenas – Postura	0,25
2.4	Traslado :Postura - Casino	0,35
2.5	Casino	1,00
2.6	Traslado :Casino – Postura	0,35
2.7	Traslado :Postura – Instalación de Faenas	0,25
2.8	Instalación de Faenas – Fin T°(Entrega novedades/devolución Herra	0,10
2.9	TrasladoInstalación de Faenas – Barrio Cívico	0,50
2.10	Interferencia por Reducción Secundaria y destranque de piques	0,05
2.11	Interferencia por Quemadas cambio turno	0,03
2.12	Interferencia por Polvorazos	0,13
2.13	Interferencia por Eventos Sísmicos e hidrofracturamiento	0,11
2.14	Interferencia por Simulacros de Incendio	0,01
2.15	Interferencia por Cierre Parcial o Total de Accesos	0,21
2.16	Interferencia con otros Contratistas y Operaciones de Codelco	0,76
2.17	Otros	
3	Total Efectivo de Trabajo Turno 1	5,5

Tabla 7.1.3-1 Distribución típica de tiempos en turno contrato obras de desarrollo mina

Es así como de las 10,6 horas de turno disponibles, 5,5 horas corresponden al denominado Tiempo Efectivo de Trabajo. Las restantes 5,1 horas de Tiempo No Efectivo de Trabajo corresponden a los tiempos asociados a traslados de personal entre paradero de buses interior mina y la Instalación de Faenas, traslados a casino y colación, y un promedio de tiempos asociados a diferentes interferencias propias del desarrollo de un proyecto tipo *brownfield*. Es durante las 5,5 horas de Tiempo Efectivo de cada turno que se desarrollan las diversas actividades que conforman el ciclo de desarrollo horizontal.

Un primer punto que salta a la vista corresponde a la poca cantidad relativa de horas efectivas respecto del total disponible en el día, totalizando 11 horas correspondientes a un 46%. En buena medida esto se debe a la cantidad de horas inutilizadas a propósito de las limitaciones impuestas por el esquema horario de ingreso y salida de vehículos de la mina subterránea, resultando que de entrada se desaprovechan 7,5 horas entre el fin de Turno 2 y el Inicio de Turno 1. Este elemento no está incorporado en el alcance del presente trabajo, sin embargo es relevante destacarlo de cara a la formulación de recomendaciones para las etapas posteriores de mejoramiento de los esquemas de desarrollo de minas subterráneas en División El Teniente.

En cuanto al análisis de la eficiencia de uso de las horas denominadas Tiempo Efectivo de Trabajo, se dispone de antecedentes que indican que existen importantes oportunidades de mejora. Entre ellos se puede mencionar un estudio realizado por la

consultora *Porsche Consulting*, el cual identificó la presencia de los principales tipos de desperdicio en la ejecución de desarrollo de minas subterráneas en División El Teniente.



Ilustración 7.1.3-3 Identificación de los tipos de desperdicio definidos en el *Toyota Production System* en actividades de desarrollo de mina subterránea División El Teniente.

Adicionalmente, el estudio incluyó un Análisis de Agregación de Valor en la ejecución de algunas etapas del ciclo de desarrollo minero, de modo de disponer de un orden de magnitud respecto de la forma en que se ocupaban las horas efectivas de trabajo. El resultado se puede apreciar en la Ilustración 7.1.3-4.

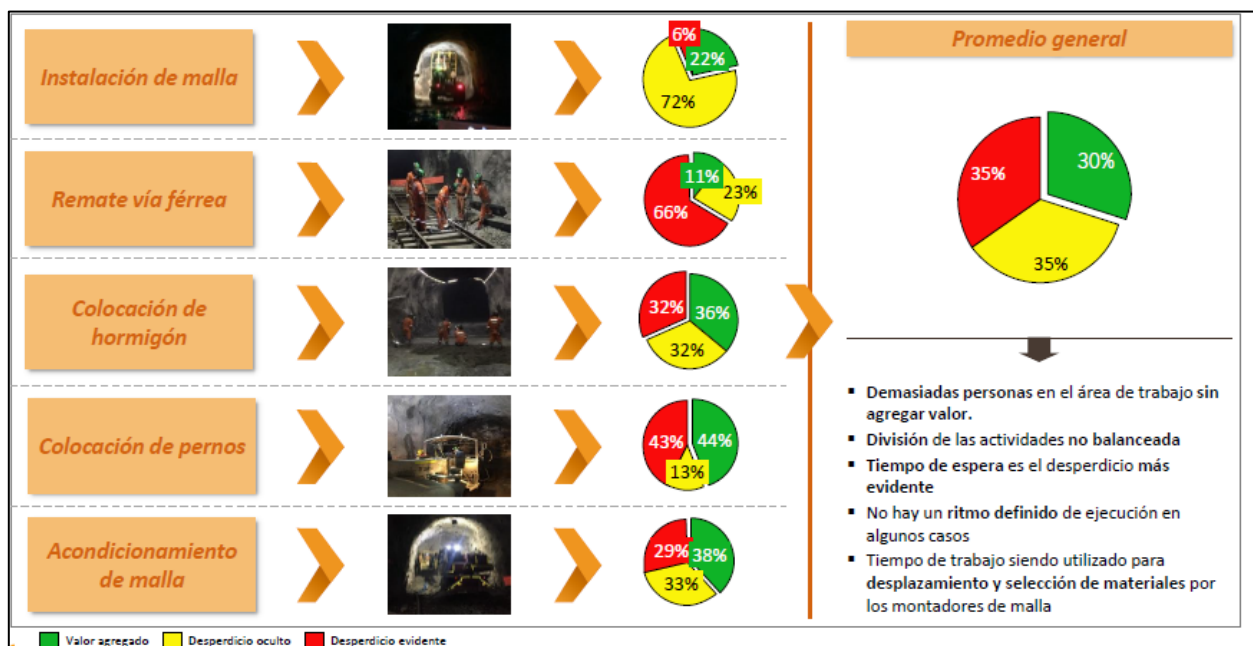


Ilustración 7.1.3-4 Resultados de análisis de agregación de valor en interior mina realizado por *Porsche Consulting*.

De las Ilustraciones anteriores se pueden desprender interesantes conclusiones:

- Desde el punto de vista de los tipos de desperdicio definidos en las metodologías de *Lean Management*, las actividades de desarrollo horizontal tienen un camino que recorrer aún para llegar a ser una cadena de producción optimizada.
- La ejecución de las diferentes actividades ligadas al ciclo de desarrollo horizontal presentan la totalidad de los desperdicios definidos en las metodologías de excelencia operacional. Especialmente relevantes son los efectos de retrabajo y un deficiente esquema de transporte de material hacia las frentes de trabajo, generando tiempos de espera de equipos y personas.
- Lo anterior se ve reflejado en la distribución de tiempos presentados en la Ilustración 7.1.3-4. Resulta muy llamativo el hecho de que, en promedio, el 35% del tiempo corresponda al tipo Desperdicio Evidente. Por el contrario, sólo el 30% del tiempo corresponde al tipo Valor Agregado, evidenciándose el amplio margen de mejora disponible.
- En particular, la actividad de colocación de pernos de fortificación presenta un 43% de tiempo de Desperdicio Evidente.
- En promedio, el 35% del tiempo corresponde a Desperdicio Oculto. Aunque este tipo de tiempo incluye acciones necesarias para la ejecución de la actividad, tales como recolección de herramientas e insumos, traslado a la frente de trabajo, entre otros, es altamente probable que existan alternativas para optimizar los tiempos de preparación.

Un análisis interno realizado por el equipo de construcción del Proyecto confirmó los aspectos mencionados anteriormente, adicionando los siguientes elementos a considerar:

- En general, una vez que las cuadrillas de trabajo inician una actividad del ciclo, los tiempos de ejecución son iguales o incluso menores a los propuestos por la empresa constructora en su plan de trabajo. Sin embargo, el tiempo total del ciclo de desarrollo horizontal es mayor que el propuesto por la empresa constructora, debido en su mayor parte al impacto causado por las actividades de Acuñaadura y Limpieza de Piso, Extracción de Marinas y Proyección de Shotcrete. Las primeras dos actividades dependen de la disponibilidad de equipos LHD, mientras que la tercera depende de la disponibilidad del equipo proyector de shotcrete (comúnmente denominado Roboshot). La Tabla 7.1.3-2 presenta estos antecedentes:

Actividad	Tiempo Real	Tiempo Programado	Desviación
Ventilación	0:30 hrs	0:30 hrs	-
Extracción Marina	2:00 hrs	1:00 hrs	+1:00 hrs
Acuñadora y limpieza de piso	2:50 hrs	1:40 hrs	+1:10 hrs
Geología y topografía	2:50 hrs	2:20 hrs	+0:30 hrs
Perforación, fortificación y Split Set	3:00 hrs	3:20 hrs	-0:20 hrs
Lechado	3:30 hrs	3:20 hrs	+0:10 hrs
Instalación malla	1:30 hrs	2:10 hrs	-0:40 hrs
Acondicionamiento de malla	2:40 hrs	2:10 hrs	+0:30 hrs
Proyección de shotcrete	2:00 hrs	1:00 hrs	+1:00 hrs
Perforación avance	3:00 hrs	3:50 hrs	-0:50 hrs
Carga y Tronadura	2:50 hrs	2:45 hrs	-0:05 hrs
Total tiempo ciclo minero	26:40 hrs	24:05 hrs	+2:35 hrs

Tabla 7.1.3-2 Tiempos de ejecución de actividades del ciclo minero (real v/s programado).

- Revisando las actividades en detalle, se observó a nivel general una amplia variedad de tipos de interferencias: pisos con restos de marina o acuñadura no retirados completamente en la etapa anterior retrasando el inicio de etapas siguientes, falta de insumos en la frente de trabajo durante el desarrollo de la actividad, descoordinación en la entrega de equipos (entre turnos y también durante el desarrollo de un turno), inadecuado retiro de restos de elementos de fortificación, baja disponibilidad de flota de equipos principales del contrato, entre otros.

Los antecedentes expuestos permiten concluir que existe un amplio espacio de mejora. En primer lugar, a partir del hecho de que los tiempos de ciclo propuestos por la empresa constructora son similares a los verificados en mediciones de terreno, y que en las mismas mediciones de terreno se hizo evidente a) la existencia de diversos tipos de desperdicio durante el desarrollo de las actividades y b) una mejorable distribución de tipos de tiempo (Valor Agregado, Desperdicio Oculto, Desperdicio Evidente), se puede concluir que la empresa constructora programa sus tiempos de ciclo en base a una productividad histórica, sin revisar en detalle las alternativas disponibles para mejorar el rendimiento en la ejecución de las actividades del contrato.

En segundo lugar, la ejecución de actividades propiamente tal exhibe una amplia gama de desperdicios asociados a interferencias, gestión de logística de insumos y equipos, coordinaciones entre actividades, entre otros.

Por último, los párrafos anteriores dejan en evidencia que la empresa constructora no tiene entre sus prioridades, ya sea debido a la priorización de otros aspectos o por desconocimiento, aprovechar el potencial de mejora que puede lograr en la ejecución de sus actividades. Esta mejora no sólo brindaría beneficios al ejecutor mediante la optimización del uso de sus recursos, sino que para División El Teniente podría ser una

de las palancas que permitiera asegurar el cumplimiento de hitos de los proyectos mineros incluidos en el Plan de Desarrollo Alternativo.

7.1.4. Nivel de conocimiento de metodologías de excelencia operacional en la empresa constructora

Resumiendo a partir de lo expuesto en el capítulo 7.1.3, lo observado tanto en entrevistas con supervisores y trabajadores de la empresa constructora como en el desarrollo habitual de sus actividades permite establecer que el nivel de conocimiento y manejo de metodologías de excelencia operacional es bajo. En general, la línea de supervisión conoce algunas metodologías o conceptos tales como Último Planificador, Calidad Total, o Excelencia Operacional, pero en ningún caso se apreció una aplicación práctica de estos conceptos que permitiera esperar mejoras en los rendimientos de los equipos de trabajo o la minimización sistemática de las interferencias que afectan el desarrollo de las actividades.

Un aspecto específico que demuestra la no aplicación de metodologías de excelencia operacional es la actividad de mantenimiento de equipos, principalmente asociada a la mantención de los equipos principales que intervienen en un proceso de desarrollo de mina subterránea (jumbos de desarrollo y equipos LHD). El equipo de mantención de la empresa constructora disponía de una completa base de datos incluyendo parámetros de funcionamiento de los equipos, fallas recurrentes por equipo y como flota total, un análisis preliminar que permitía discernir entre detenciones de equipos generadas por fallas de componentes y por uso inadecuado por parte de los operadores, entre otros aspectos; sin embargo, esta información sólo se utilizaba para fines estadísticos. Es decir, la empresa constructora contaba con una fuente de información que a todas luces permitía realizar análisis de mayor detalle que permitieran generar planes de acción para mitigar las causas de indisponibilidad de equipos, pero ya sea por falta de conocimiento o de sistematización del uso de las herramientas y metodologías de excelencia operacional, no se tomaba este camino y las causas de indisponibilidad continuaban repitiéndose.

En el caso de la ejecución de las tareas, y tal como se planteó en capítulos anteriores, el espacio de mejora es amplio ya que ni siquiera se contaba con mediciones formales que permitieran señalar si el trabajo se estaba haciendo o no de acuerdo a lo que la empresa entendía como rendimiento normal. Desde la etapa de planificación hasta la ejecución misma de las actividades, y sin existir un control constante del desarrollo de las actividades del turno, el concepto imperante podría resumirse en la frase “se hace lo que se puede” ya que no se consideraba el desarrollo de planes de acción que permitieran mejorar algún aspecto de la ejecución de las actividades.

7.2. Aplicación de metodologías de Excelencia Operacional

Los resultados de la etapa de diagnóstico del desarrollo de las actividades del contrato dejaron en evidencia el amplio campo disponible para la aplicación de metodologías de excelencia operacional que permitan incrementar los rendimientos de las actividades ejecutadas durante el desarrollo del proyecto. De esta forma, se definió aplicar una selección de herramientas definidas en las metodologías de *Lean Management* de modo

de crear una cultura organizacional orientada a la mejora continua que permitiera dar un paso adelante en la forma en que se conciben las actividades de construcción de mina subterránea en División El Teniente.

7.2.1. Involucramiento del equipo de construcción del Proyecto Recursos Norte y del equipo directivo de la empresa constructora

La base de una implementación exitosa de este tipo de metodologías es el entendimiento al interior del equipo de trabajo, e idealmente también de la organización completa, de que la Excelencia Operacional o Gestión *Lean* no es sólo un conjunto de herramientas y técnicas de análisis, sino que se sustenta en una organización que tenga siempre por meta la mejora continua. Pero para que la mejora continua sea un objetivo realmente alcanzable, la organización debe perder el temor a visibilizar los problemas, ya que ninguna técnica de resolución de problemas tendrá resultados positivos si primero no se visibilizan las situaciones que impiden lograr mejores rendimientos. Y una de las formas más efectivas de visibilizar problemas es observando directamente la ejecución de los procesos que dan forma al producto o servicio, en el *Gemba* o “lugar donde ocurre la acción”.

Dado lo expresado en el párrafo anterior, es necesario el impulso y apoyo del equipo de supervisores y directivo de una empresa para que la organización en su totalidad abrace estos conceptos y los transformen en una realidad palpable. Si un cambio organizacional de estas características no es un paso sencillo al interior de una compañía o equipo, es más complejo aún en el caso de la ejecución de un proyecto donde existe un mandante y un ejecutor, dada la tendencia del ejecutor de no visibilizar sus problemas ante el temor de que esa información sea utilizada por el mandante para la aplicación de multas u otro tipo de penalizaciones.

Aunque los contratos celebrados en Chile entre un mandante y un ejecutor son en su gran mayoría del tipo transaccional, incluyendo los que efectúa División El Teniente con sus empresas proveedoras de servicios y ejecución de obras, durante la totalidad del proceso de implementación de las metodologías de excelencia operacional en el proyecto Recursos Norte se mantuvo un fluido contacto con el nivel directivo y de supervisión de la empresa constructora con el fin de asegurar su apoyo durante el desarrollo del proceso, evidenciando las ventajas que tanto ejecutor y mandante podrían percibir incorporando conceptos de los contratos de tipo relacional. De esta forma, desde el Directorio y Gerencia General de la empresa constructora se brindaron lineamientos de apoyo a la implementación de metodologías de Excelencia Operacional, entendiendo que aunque no estaban consideradas en las bases contractuales podían significar una mejora sustantiva de resultados tanto para la constructora como para DET.

En el contexto de la implementación de metodologías de Excelencia Operacional en DET (metodología denominada C+), el involucramiento del equipo de construcción del Proyecto fue completo desde el inicio del proceso. División El Teniente es parte del esfuerzo corporativo de aumento de productividad y reducción de costos denominado Agenda 2020 de Codelco, cuyos ejes estratégicos son:

- Eje Estratégico 1: Excelencia Operacional *Lean Management*

- Eje Estratégico 2: Desarrollándonos hacia un mantenimiento proactivo
- Eje Estratégico 3: Servicios de terceros de alta competitividad
- Eje Estratégico 4: Gestión de adquisiciones *low cost*
- Eje Estratégico 5: Sinergias y buenas prácticas
- Eje Estratégico 6: Gestión de activos
- Eje Estratégico 7: Innovación y tecnología aplicada
- Eje Estratégico 8: Capital de trabajo

Los Ejes Estratégicos 1 y 3 están directamente relacionados con la implementación de metodologías de Excelencia Operacional en proyectos de desarrollo de minas mediante servicios de terceros, lo que garantiza el apoyo del estamento directivo de DET hacia sus equipos de supervisores.

7.2.2. Estandarización de reunión de generación de Programa de Obras Diario (POD)

De modo de solventar o minimizar los problemas de planificación de actividades, se definió un estándar de planificación a desarrollar diariamente. La definición del estándar tiene por objetivo formalizar una hora, lugar y duración de la reunión de planificación de actividades, considerando además una lista de temas a tratar y de participantes de modo que se asegure el desarrollo de una planificación que involucre la totalidad de las variables necesarias. La estandarización de la reunión de planificación se plasmó en un documento denominado Agenda POD (Ilustración 7.2.2-1).

Agenda POD – Proyecto Recursos Norte


Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisar cumplimiento del turno anterior y planificación diaria de actividades para lograr el cumplimiento disparos. Enfocándose en el análisis de brechas de cumplimiento y las acciones futuras. ▪ Aumentar la confiabilidad de la programación en base al Sistema Último Planificador 																			
Agenda	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">1. Cumplimiento PPC turno anterior</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">2. Análisis de Causas de No cumplimiento</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">3. Estado de equipos principales</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">4. Estado de Marinas y Piques de traspaso</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">5. Revisión de Restricciones</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">6. Planificación del turno</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">7. Programación próximas 48 hrs.</td><td style="text-align: right; padding: 2px 5px;">5 min</td></tr> </table>	1. Cumplimiento PPC turno anterior	5 min	2. Análisis de Causas de No cumplimiento	5 min	3. Estado de equipos principales	5 min	4. Estado de Marinas y Piques de traspaso	5 min	5. Revisión de Restricciones	5 min	6. Planificación del turno	5 min	7. Programación próximas 48 hrs.	5 min	Participantes Recurrentes				
1. Cumplimiento PPC turno anterior	5 min																			
2. Análisis de Causas de No cumplimiento	5 min																			
3. Estado de equipos principales	5 min																			
4. Estado de Marinas y Piques de traspaso	5 min																			
5. Revisión de Restricciones	5 min																			
6. Planificación del turno	5 min																			
7. Programación próximas 48 hrs.	5 min																			
Indicadores Operativos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilidad de Equipos, Dotación, Baldadas de marina, cumplimiento de disparos 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Adm Contrato (*)</td><td style="padding: 2px 5px;">Constructora</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jefe Maquinaria</td><td style="padding: 2px 5px;">Constructora</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jefe de Turno</td><td style="padding: 2px 5px;">Constructora</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jefe de Terreno</td><td style="padding: 2px 5px;">Constructora</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jefe ITO</td><td style="padding: 2px 5px;">Inspección</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">ITO Senior</td><td style="padding: 2px 5px;">Inspección</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Ing. Especialista Elec.</td><td style="padding: 2px 5px;">GPRO</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Ing. Especialista Min.</td><td style="padding: 2px 5px;">GPRO</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jefe de Construcción (*)</td><td style="padding: 2px 5px;">GPRO</td></tr> </table>	Adm Contrato (*)	Constructora	Jefe Maquinaria	Constructora	Jefe de Turno	Constructora	Jefe de Terreno	Constructora	Jefe ITO	Inspección	ITO Senior	Inspección	Ing. Especialista Elec.	GPRO	Ing. Especialista Min.	GPRO	Jefe de Construcción (*)	GPRO
Adm Contrato (*)	Constructora																			
Jefe Maquinaria	Constructora																			
Jefe de Turno	Constructora																			
Jefe de Terreno	Constructora																			
Jefe ITO	Inspección																			
ITO Senior	Inspección																			
Ing. Especialista Elec.	GPRO																			
Ing. Especialista Min.	GPRO																			
Jefe de Construcción (*)	GPRO																			
Indicadores de Gestión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PPC (Porcentaje del Plan Completo) ▪ PLR (Porcentaje de Liberación de Restricciones dentro del plazo) 																			
Horario y Ubicación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cada Turno ▪ 9:15 am / 18:00 pm ▪ II.FF GPRO Sub6 																			

Ilustración 7.2.2-1 Agenda POD Proyecto Recursos Norte

La Agenda POD está definida por los siguientes elementos:

- Cumplimiento PPC turno anterior: se revisa el cumplimiento del programa planificado para el turno anterior en términos de porcentaje de actividades ejecutadas y cumplimiento de meta de disparos.
- Análisis de causas de no cumplimiento: en caso de no cumplimiento de alguna actividad, se revisan preliminarmente las causas. Existe una instancia posterior de análisis causal de detalle que no se efectúa en esta reunión de modo de mantener el foco en la programación de actividades del turno.
- Estado de equipos: se revisa la disponibilidad de equipos para realizar las actividades del turno. Además, se coordina la salida de taller de equipos que se encuentran en mantención, el ingreso de los que les corresponda mantenimiento programado y las prioridades en caso de equipos fuera de servicio en terreno.
- Estado de marinas y piques de traspaso: en un proyecto principalmente enfocado al desarrollo de nuevas galerías, la disponibilidad de rutas que permitan transportar las marinas resultantes de las quemadas hacia los piques de traspaso asignados para el Proyecto resulta absolutamente fundamental. Al ser un proyecto que se desarrolla en un entorno en que opera una mina en producción, existen diversas interferencias que pueden alterar la disponibilidad de rutas entre turnos, o incluso dentro de un mismo turno. De esta forma, la coordinación de disponibilidad de rutas y piques para vaciado de marinas se realiza turno a turno en conjunto con el área de producción del sector aledaño al Proyecto Recursos Norte.



Ilustración 7.2.2-2 Revisión de disponibilidad de rutas de marinas durante realización de reunión POD

- Revisión de restricciones: las actividades que se desarrollan en el entorno del área de ejecución del Proyecto Recursos Norte pueden generar interferencias que es necesario coordinar de modo de minimizar o eliminar su impacto. Entre ellas se puede señalar aislaciones de sectores por eventos sísmicos relevantes y tronaduras de producción, posicionamiento de equipos para fracturamiento hidráulico, actividades de otros proyectos en ejecución en las inmediaciones, cortes de agua y/o energía eléctrica programados por mantenimiento, entre otros.
- Planificación del turno: teniendo en cuenta la información resumida en los puntos anteriores, se realiza la programación de actividades del turno indicando lugar de ejecución de la actividad, recursos asignados y horario estimado de inicio y fin de la actividad. Mediante un despliegue gráfico se observan de forma rápida las

posibles incongruencias de planificación, junto con actividades que dependan de pasos previos para poder ser ejecutadas. Como se puede observar en la Ilustración 7.2.2-3, para cada una de las frentes de trabajo que serán cubiertas durante el transcurso del turno se programan las actividades del ciclo de desarrollo minero correspondientes, asignando además la hora de inicio y término de las mismas. Posteriormente, esta misma planilla se utilizará para efectuar el control del desarrollo del turno.

PROGRAMACION			AVANCE						PRODUCTIVIDAD						GLOSARIO												
AVANCE ACTIVIDAD TURNO A-B			TRONADURA	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19	GLOSARIO													
				20 a 21	21 a 22	22 a 23	23 a 00	00 a 01	01 a 02	02 a 03	03 a 04	04 a 05	05 a 06	GLOSARIO													
C28N XC SLOT (UCL)	PROGRAMADO	H07				H	H	H																			
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
C25N SOC NORTE (UCL)	PROGRAMADO	H07					SH	SH																			
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
C29N SOC NORTE (NP)	PROGRAMADO	H07					L	L	L																		
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
FR RISES N Hhr C27 (NP)	PROGRAMADO	H07																									
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
RAMPA AC NP (AC)	PROGRAMADO	H07					E	S	P	E	R	A															
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
SOC SUR (AC)	PROGRAMADO	MAÑANA																									
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										
C29N XC SLOT (UCL)	PROGRAMADO	MAÑANA																									
	REAL																										
	EQUIPO	0,00%																									
	MOTIVO DE ATRASO																										

Ilustración 7.2.2-3 Ejemplo de planilla de programación de actividades finalizada la reunión POD

- Programación próximas 48 hrs: se revisan las actividades preliminarmente consideradas en las siguientes 48 horas, de modo de adelantar posibles interferencias o necesidades que deban ser gestionadas previo a la realización del POD del siguiente día.

Esta actividad incluye la planificación de habilitaciones eléctricas y desarrollos realizados por los subcontratos dependientes del contrato principal, de modo que la totalidad de obras que abarca la presente etapa del Proyecto es revisada en esta instancia de planificación. Por otra parte, el espacio físico en el que se lleva a cabo cuenta con los elementos necesarios para desarrollar la actividad con la suficiente profundidad y nivel de detalle (siguiente tópico).

Por último, están claramente definidos los participantes de la reunión. Su asistencia es necesaria para asegurar el cumplimiento de los objetivos de la reunión POD, ya que cada uno de ellos aporta con diferentes tipos de información que, en su conjunto, permiten planificar adecuadamente las actividades del turno.

7.2.3. Sala de control y controlador de actividades

Como se indicó anteriormente, la falta de un espacio dedicado a la ejecución de la reunión de planificación no ayudaba a la generación del ambiente adecuado para la realización de una planificación suficientemente detallada. El mismo concepto aplica al seguimiento de las actividades del turno.

Es así como se diseñó un espacio que pudiera cumplir con el objetivo de brindar las facilidades necesarias para la realización de la reunión POD y el seguimiento posterior de las actividades mediante un esquema de Sala de Control.

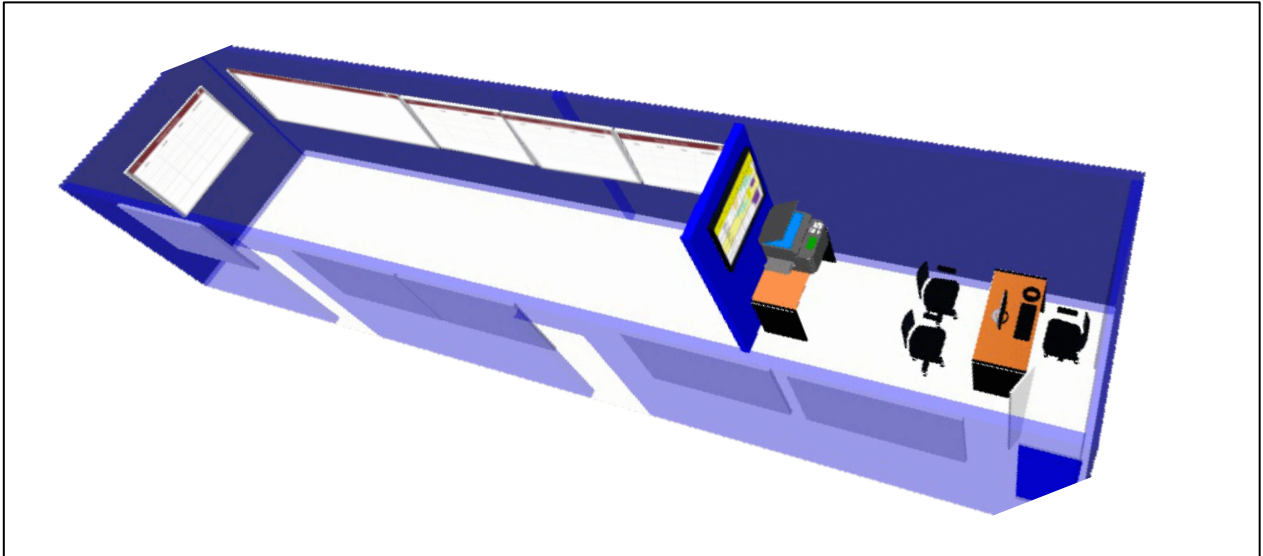


Ilustración 7.2.3-1 Esquema sala de reuniones POD/Sala de Control

Como se aprecia en la Ilustración 7.2.3-1, el espacio de mayores dimensiones está reservado para la realización de la reunión POD. Siguiendo los conceptos básicos de la sala *Obeya* del *Toyota Production System*, este espacio no dispone de sillas o mesas, de modo que la reunión de planificación se realice con los asistentes de pie generando un sentido de urgencia y agilidad. Cuenta además con una serie de pizarras y pantallas de información, permitiendo que los asistentes describan el estado de equipos, frentes de trabajo, actividades programadas y estado de cumplimiento de compromisos, entre otros elementos.

Para realizar el seguimiento del estado de ejecución de las actividades programadas durante el turno, se creó la función de Controlador de Actividades. Su responsabilidad principal es actualizar cada 30 minutos el estado de ejecución de las actividades programadas en cada frente de trabajo. Recibe la información mediante comunicación radial y/o telefónica desde terreno, mientras se evalúa la habilitación de un sistema inalámbrico de comunicaciones y transmisión de datos en el mediano plazo. Complementando la función de mantener actualizado el estado de avance de las actividades programadas, también tiene como responsabilidad el informar a la línea de supervisión la ocurrencia de desviaciones respecto del plan definido, de modo que se tomen acciones de contingencia que permitan minimizar el impacto redestinando equipos o cuadrillas de trabajo, dando aviso de equipos fuera de servicio al área de mantenimiento, etcétera.

El espacio del costado derecho de la Ilustración 7.2.3-1 está dedicado al control del desarrollo de actividades durante el turno. Cuenta con un escritorio y una pantalla de despliegue de información donde el Controlador de Actividades mantiene visible el estado

de desarrollo del turno, poniendo de manifiesto a la totalidad de la organización las necesidades que puedan ir surgiendo a medida que avanza cada actividad programada.

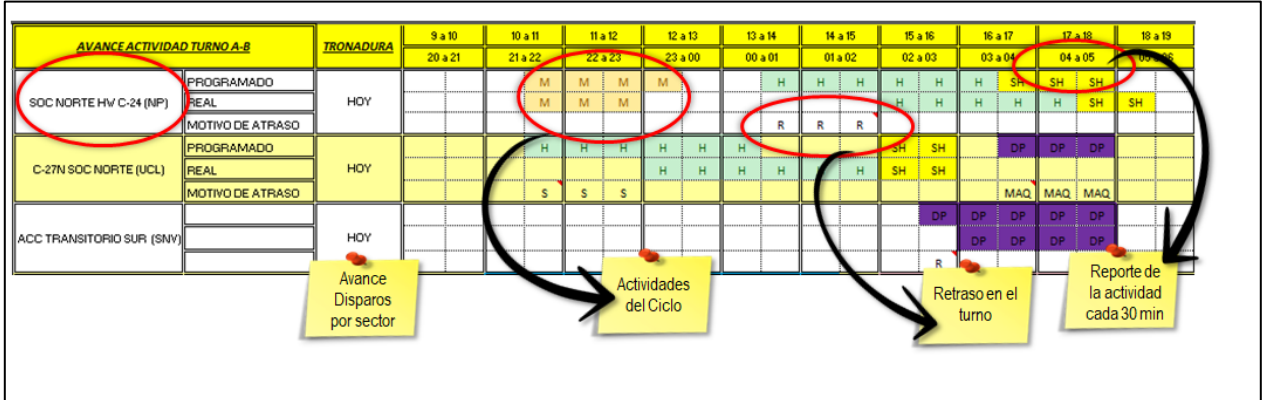


Ilustración 7.2.3-2 Ejemplo de seguimiento de actividades en frentes de trabajo mediante Controlador de Actividades

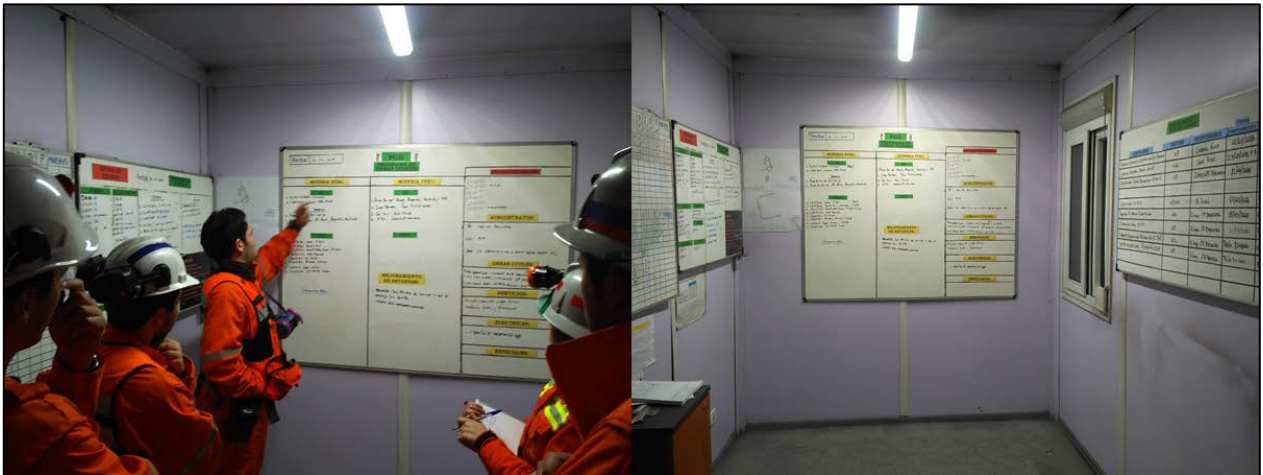


Ilustración 7.2.3-3 Pizarras de planificación de actividades de Sala de Control

7.2.4. Publicación de indicadores de rendimiento

El paso previo al desarrollo de metodologías de resolución de problemas es representar el proceso mediante indicadores cuantitativos que permitan contrastar la evolución del rendimiento de las actividades que lo conforman, denominados KPI (sigla del inglés *Key Performance Indicator*). Además, las metodologías de Excelencia Operacional indican que es relevante visibilizar esta información, de modo que la organización esté predispuesta a la participación en la búsqueda de mecanismos que permitan mejorar los resultados.

Durante el período de implementación de metodologías de Excelencia Operacional en el proyecto, se desarrollaron diversas alternativas y alcances de exhibición de rendimientos del proceso en general. Un primer nivel lo conforma la misma planilla de seguimiento de actividades del turno que completa el Controlador de Actividades, la cual se exhibe en todo momento a través de una pantalla en la Sala de Control.

AVANCE			PRODUCTIVIDAD										GLOSARIO		PROGRAMACION		
AVANCE ACTIVIDAD TURNO A - B			TRON	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19				
				20 a 21	21 a 22	22 a 23	23 a 00	00 a 01	01 a 02	02 a 03	03 a 04	04 a 05	05 a 06				
C30 N SOC NORTE (UCL)	ATRASO	PROGRAMADO	HOY	-	-	DP	DP	DP	DP	SH	SH	-	-	-	-	CYQ	CYQ
	30,00%	REAL	HOY	-	DP	DP	DP	DP	-	-	-	-	-	-	-	SH	SH
		% ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	10%	10%	-	-	-	-	10%	CYQ
		MOTIVO DE ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	MO	MO	-	-	-	-	R	-
SOC SUR HW C31 (UCL)	ATRASO	PROGRAMADO	HOY	-	-	H	H	H	H	DP	DP	DP	DP	SH	SH	-	-
	14,29%	REAL	HOY	-	-	H	H	H	H	-	-	-	-	-	-	-	CYQ
		% ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7%
		MOTIVO DE ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	7%	MAQ	-	-	-	-	R
C31 N SOC SUR (UCL)	ATRASO	PROGRAMADO	HOY	-	-	-	-	-	H	H	H	H	-	-	SH	SH	DP
	41,67%	REAL	HOY	-	-	-	-	M	H	H	H	-	-	-	-	-	DP
		% ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8%	8%
		MOTIVO DE ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R
SOC HW Iny (Acarreo)	ATRASO	PROGRAMADO	HOY	-	-	-	-	-	SH	SH	-	DP	DP	DP	DP	DP	-
	0,00%	REAL	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DP
		% ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DP
		MOTIVO DE ATRASO	HOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DP

Ilustración 7.2.4-1 Ejemplo de visualización de indicadores de productividad durante el desarrollo del turno

Un segundo nivel de visibilización corresponde al envío de un resumen semanal de KPI relevantes para la gestión de situaciones de mayor alcance que un turno determinado. En el ejemplo de la Ilustración 7.2.4-2 se aprecia un formato resumen de una semana, conteniendo información respecto de Porcentaje de Plan Completo por día, avances en términos de metros de desarrollo horizontal efectuados por nivel, un breve resumen de las principales causas de incumplimiento de actividades e indicadores de adherencia al cumplimiento de las metodologías de *Lean Management* establecidas, entre otros aspectos relevantes de controlar para asegurar la adecuada marcha de la ejecución del Proyecto.



Ilustración 7.2.4-2 Ejemplo de reporte ejecutivo resumen de una semana de actividad

7.2.5. Implementación de estándar de análisis causal de fallas de equipos

En capítulos anteriores se indicó que la gestión de mantenimiento de la empresa constructora no incluía el análisis de la extensa base de datos de que dispone para realizar diversos análisis, tales como revisión de fallas recurrentes o diagramas de Pareto, que permitieran desarrollar planes de acción que efectivamente apuntaran a eliminar o minimizar el efecto de las causas raíces de las fallas de equipos. Para solventar esta falencia se estableció un estándar de análisis de impacto de los principales tipos de fallas, tanto por frecuencia de ocurrencia como por impacto en términos de tiempo de reparación.

7.2.6. Implementación de estándar de análisis causal de pérdida de disparos

El principal resultado de la etapa de obras tempranas del Proyecto Recursos Norte es la cantidad de disparos o quemadas efectuadas cada día, ya que son los que permiten desarrollar las galerías que generarán los accesos e instalaciones necesarios para la ejecución de la posterior etapa inversional del Proyecto. Dada la importancia de este parámetro, se definió implementar un estándar para realizar análisis causal basado en la metodología de los 5 Por Qué para cada disparo perdido, es decir, que estaba programado y no se pudo efectuar. La Ilustración 7.2.6-1 muestra un análisis causal típico de disparo perdido.

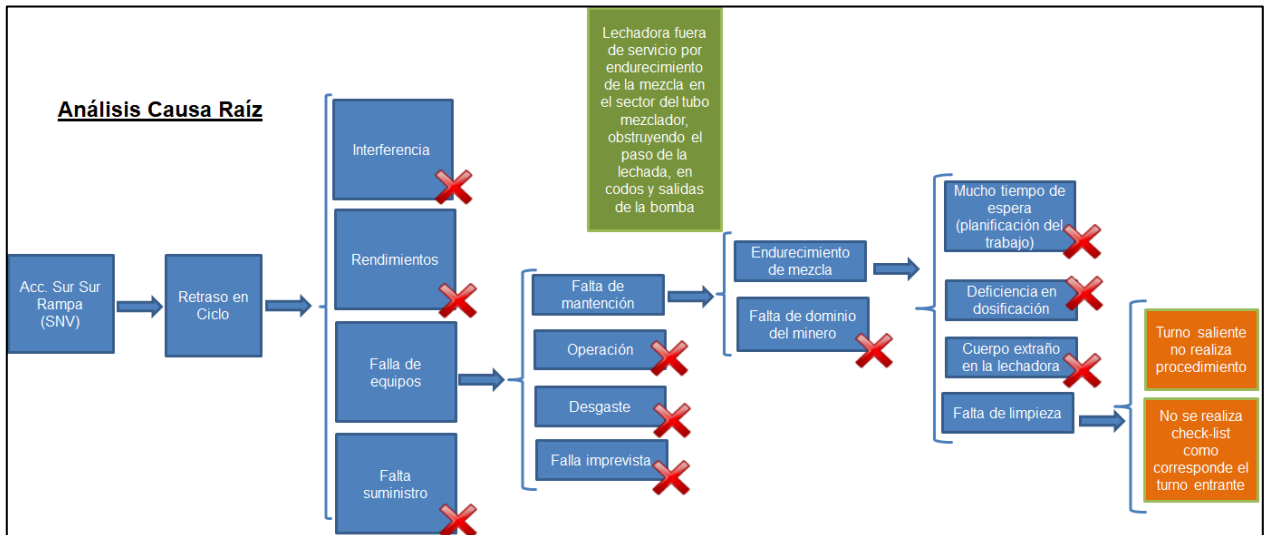


Ilustración 7.2.6-1 Ejemplo de formato de análisis causal de disparo perdido

En el ejemplo presentado, se perdió el disparo que estaba programado ejecutar en la frente de trabajo denominada Acceso Sur Sur debido a un retraso del ciclo de desarrollo, particularmente la etapa de lechado de pernos de fortificación. El retraso se produjo porque el equipo utilizado para inyectar la lechada en el espacio anular resultante entre la perforación y el perno de fortificación, denominado lechadora, no estaba operativo al momento de ser requerido debido a la obstrucción de las líneas de impulsión de lechada. El análisis causal permitió detectar dos situaciones anómalas que condujeron a la pérdida del disparo: a) el turno anterior no ejecutó procedimiento de limpieza de lechadora (el

cual tiene por objetivo evitar la presencia de restos de lechada que se endurezcan entorpeciendo la operación del equipo) y tampoco informó la condición al turno entrante, y b) el turno entrante programó el uso del equipo sin chequear previamente su condición.

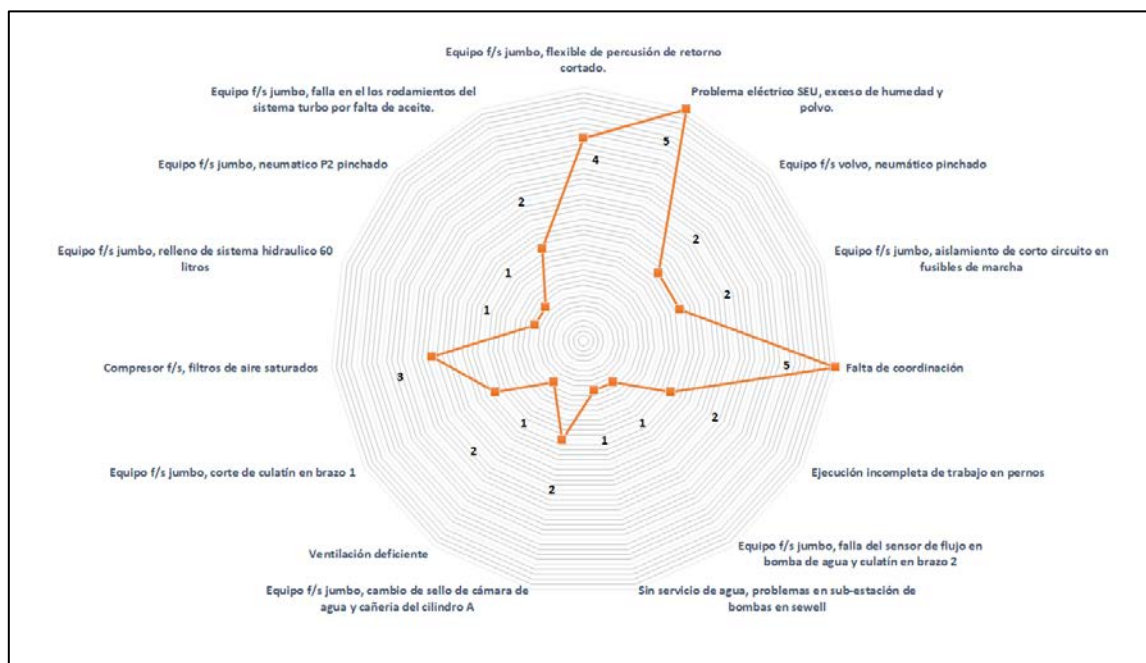


Ilustración 7.2.6-2 Agrupación de causas raíces por tipo para un período de tiempo específico

Los análisis causales hacen patente las palancas que pueden tener un efecto concreto en la obtención de mejoras de rendimiento y productividad. Sin embargo, el paso siguiente es definir los planes de acción que se harán cargo de controlar sus negativos efectos.

7.2.7. Implementación de metodología de resolución de problemas (RDP) y plan de implementación táctico (PIT)

Usando como base las definiciones de la metodología C+ de excelencia operacional de Codelco, se definió implementar un modelo de resolución de problemas (RDP) basado en el formato A3 descrito en capítulos anteriores para realizar análisis causales en un esquema sistematizado de las diversas situaciones que afectan en mayor o menor medida el desarrollo de las actividades del Proyecto. La Ilustración 7.2.7-1 muestra el formato estándar A3 adaptado a la metodología C+ de Codelco.

Resolución de Problemas			
Área o Proceso	Líder de la resolución de problemas	Fecha del Evento	Turno del Evento
1 Definición del Problema : Definir el problema e identificar estándares disponibles			
Definición del Problema		Estándares disponibles	
2 Desglose del Problema : Mostrar hechos específicos para detallar más el problema a resolver			
Hechos/Observaciones		Fotos o documentos de apoyo	
Tiempo estimado detención	Impacto en producción/costos		
3 Objetivo de la Resolución de Problemas : Definir el objetivo en términos específicos y medibles			
Objetivo (SMART) : Específico, Medible, Alcanzable, Relevante y con tiempo definido.			

Ilustración 7.2.7-1 Formato estándar A3 de resolución de problemas (RDP)

El proceso de definición del problema del formato A3 de Codelco incluye el uso de la metodología de Los 5 Por Qué para indagar en las causas raíces de la problemática analizada. El quinto nivel de Los 5 Por Qué asegura que, en la inmensa mayoría de los casos, se llegó efectivamente a un punto tal de profundidad del análisis que permite tener confianza en que la causa identificada corresponde a una causa raíz. Desde ese punto de vista, la definición e implementación de un plan de acción que ataque esa causa raíz tendrá un efecto real en la eliminación o minimización del impacto de la problemática.

Resolución de Problemas

6 **Desarrollo del plan de acción: Desarrollar las acciones para resolver las causas raíces**

Soluciones a causas raíces

A Causa raíz	Plan de acción

Matriz de priorización

Impacto

Alto			
Medio			
Bajo			
	Bajo	Medio	Alto

Esfuerzo

Prioridad I

Prioridad II

Prioridad III

Ilustración 7.2.7-2 Esquema de priorización de impacto de causa raíz y definición preliminar de plan de acción

Para cada plan de acción se define un plan de implementación táctico (PIT). El objetivo de definir un PIT es brindar la posibilidad de hacer un seguimiento objetivo a la realización del plan de acción, de modo de asegurar que se ejecute en los plazos definidos obteniendo los beneficios esperados.

Resolución de Problemas: PIT					
7 Seguimiento del plan de acción: Hacer seguimiento al plan de acción definido					
Seguimiento del plan de acción					
Puntos de revisión (Si/No)	Semana __	Semana __	Semana __	Semana __	
¿Se completaron todas las acciones?					
¿Se logró el KPI objetivo?					
Las acciones, ¿detienen el problema?					
¿Todas las personas involucradas han sido informadas/entrenadas?					
8 Estandarizar y compartir: Estandarizar y compartir las mejoras prácticas					
Estandarizar soluciones		¿Qué otros procesos podrían mejorar?			
Estándar a actualizar	Estado	Proceso	Cuándo	Quién	Estado

Ilustración 7.2.7-3 Formato de control de plan de implementación táctico (PIT)

7.2.8. Diálogo de desempeño gerencial

Con el objetivo de mantener en el tiempo el apoyo del estamento directivo de la empresa constructora y generar los apoyos necesarios en los casos en que existan problemáticas que requieran decisiones de alto nivel, se formalizó la realización de una reunión mensual denominada Diálogo de Desempeño Gerencial. En ella, la supervisión de la empresa constructora a cargo del contrato presenta el estatus de ejecución de obras del proyecto en cuanto a estadísticas de seguridad, cumplimiento de programa de obras y aspectos varios de desempeño. Durante el desarrollo de la reunión, los estamentos directivos de constructora y mandante entregan lineamientos y apoyos para lograr los objetivos definidos en el acuerdo contractual.

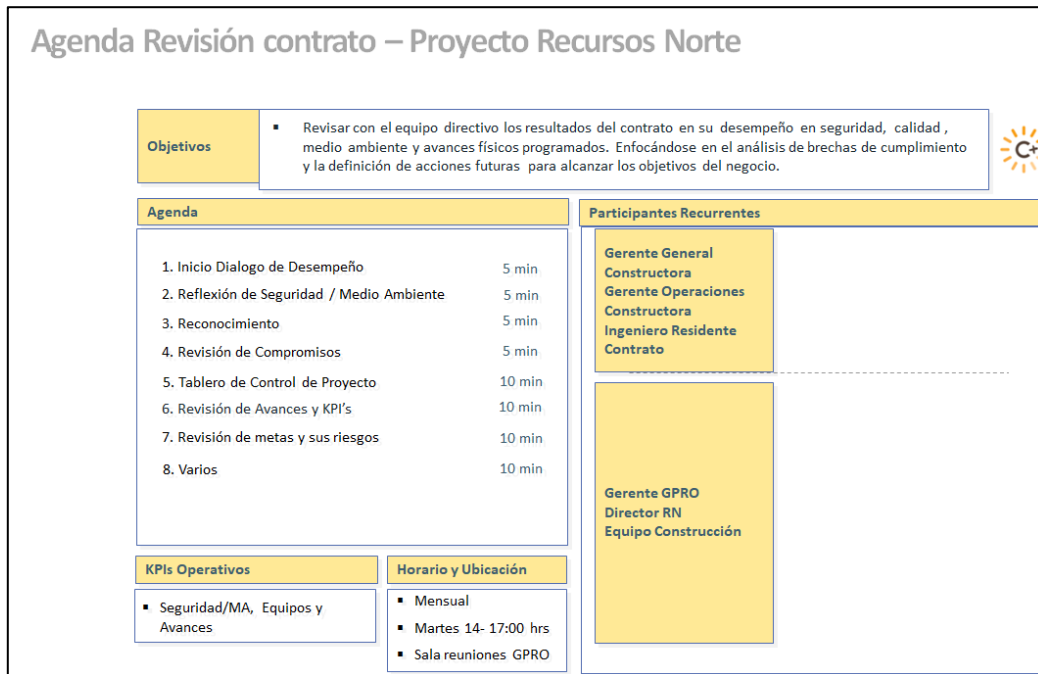


Ilustración 7.2.8-1 Agenda Diálogo de Desempeño Gerencial

8. Resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la etapa de implantación de metodologías de Excelencia Operacional en el Proyecto Recursos Norte. Estos resultados se pueden dividir en dos aspectos principales:

- Resultados asociados a mejoramiento de KPI de diferentes aspectos de la ejecución de obras. Estos tienen carácter de preliminar, ya que se están evaluando en paralelo al despliegue de metodologías de Excelencia Operacional, por lo que sus efectos definitivos se harán patentes en el mediano o largo plazo.
- Resultados asociados a la dinámica de despliegue de las metodologías en sí. Concretamente, corresponde a un análisis de la manera en que se dio en la práctica la implantación de las diversas metodologías, en cuanto a facilidades o dificultades encontradas, grado de aceptación por parte de los distintos entes involucrados en la construcción del Proyecto, entre otros aspectos.

8.1. Resultados asociados a diferentes KPI

Como se mencionó anteriormente, la principal actividad de la etapa de obras tempranas del Proyecto Recursos Norte corresponde al desarrollo de galerías, también denominada desarrollo horizontal. El parámetro de medición de los desarrollos horizontales es la cantidad de metros desarrollados por unidad de tiempo, o su análogo cantidad de disparos por unidad de tiempo. La evolución de este parámetro durante el período de despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional y *Lean Management* se presenta en las siguientes ilustraciones.

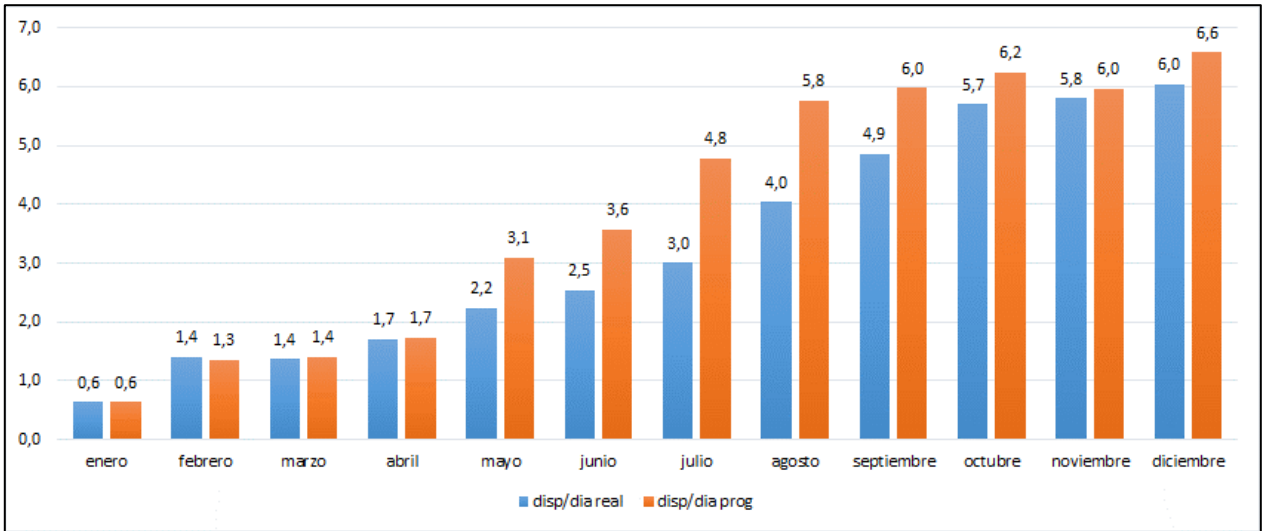


Ilustración 8.1-1 Evolución de disparos/día como promedio mensual

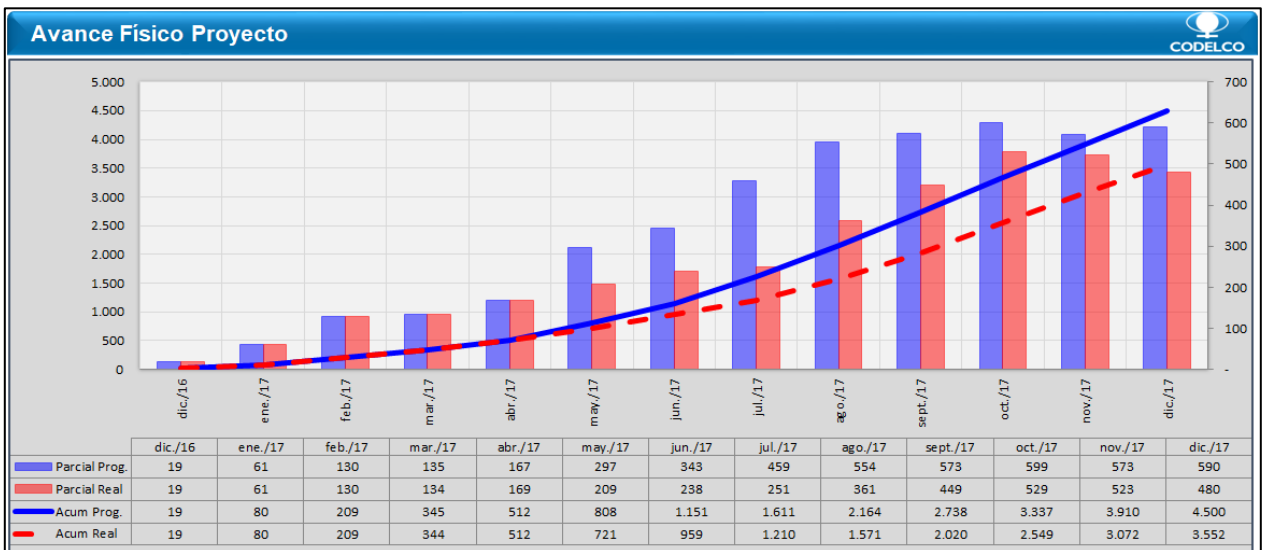


Ilustración 8.1-2 Evolución de metros de desarrollo horizontal

Un primer elemento a destacar es que en ambas ilustraciones no se aprecia el déficit de desarrollos horizontales destacado como problemática del inicio del contrato (Ilustración 7.1-1). Esto se debe a que a inicios de mayo de 2017, y en vista de los problemas que mostraba la ejecución del contrato entre diciembre de 2016 y abril de 2017, se efectuó un Cierre Parcial del contrato para hacer una especie de “borrón y cuenta nueva”. Esa instancia formal se aprovechó para acordar con la empresa constructora la necesidad de la incorporación de elementos de gestión distintos que permitieran elevar la productividad del contrato, sin necesariamente incluir más recursos si no que mediante el despliegue de conceptos de Excelencia Operacional que permitieran sistematizar la gestión de interferencias y cualquier otra problemática que afectara el desarrollo de las actividades.

La evolución de la cantidad de desarrollos horizontales presentada en las Ilustraciones 8.1-1 y 8.1-2 es evidente en cuanto a la mejora experimentada. En el lapso de siete meses, entre junio y diciembre de 2017, prácticamente se triplicó la cantidad metros

desarrollados por mes y lográndose revertir la situación de los primeros cinco meses de ejecución de obras. Si bien es cierto que durante el período de tiempo considerado no se dio un cumplimiento de 100% o más en algún mes específico, sí sentó las bases para asegurar la viabilidad tanto de la etapa de obras tempranas como de la inversional de Recursos Norte.

Este buen resultado global es fruto de la suma de una serie de aportes generados por distintos aspectos que se abordaron durante el período de implementación de metodologías de Excelencia Operacional considerado por este trabajo.

8.1.1. Gestión de Interferencias

La sistematización en la realización de la reunión POD y la puesta en marcha del cargo de Controlador de Actividades permitió empezar a gestionar las interferencias y coordinaciones necesarias de realizar de una forma diametralmente distinta a la manera en que se hacía anteriormente. El sólo hecho de visibilizar al equipo de construcción completo durante la reunión POD la existencia de una interferencia determinada propiciaba la gestación de ideas o alternativas para minimizar los impactos generados. Aunque existen decenas de ejemplos de coordinaciones que mejoraron su eficacia, a continuación se mencionarán algunas de las más relevantes:

- Gestión de rutas de marinas: siendo el desarrollo horizontal el núcleo de la etapa de obras tempranas del Proyecto Recursos Norte, el adecuado retiro de marinas en cuanto a cantidad y oportunidad resulta de tremenda relevancia al permitir que las frentes recientemente quemadas puedan iniciar un nuevo ciclo de desarrollo horizontal. Más aún, en el caso particular de Recursos Norte, las rutas de marinas se cruzan con las rutas de movimiento de equipos de producción del sector Reservas Norte. Al ser este sector una mina que se encuentra en etapa de crecimiento y producción, a diario debe existir la coordinación que permita asegurar la disponibilidad de al menos una ruta de tráfico de marinas y acceso a un pique de vaciado. Con anterioridad a la implementación de la reunión POD, no era extraño encontrar turnos en los que no se transportaban marinas debido simplemente a que recién luego de iniciado el turno los supervisores de la empresa constructora iniciaban los contactos con las áreas de producción para coordinar una ruta de marinas. A esa altura, las áreas de producción ya tenían destinados los equipos de producción y con el turno en curso se tornaba imposible buscar alternativas.

Resulta sorprendente el hecho de que una coordinación tan simple como la descrita pueda generar un efecto tan potente. Sin embargo, el aseguramiento diario y temprano de la disponibilidad de rutas y puntos de vaciado permitió progresivamente acelerar la disponibilidad de frentes limpias de marinas para reiniciar las actividades del ciclo de desarrollo, habilitando la ejecución de más quemadas por turno.

- Gestión de abastecimiento de *shotcrete*: insumo fundamental para habilitar la fortificación de una galería en desarrollo, la llegada de los camiones de transporte de *shotcrete* en el momento propicio a las frentes de trabajo es de vital importancia

para no enlentecer el resto de las actividades del ciclo de desarrollo. El modelo actualmente vigente de provisión de *shotcrete*, y hormigones en general, para todas las actividades de la mina subterránea que lo requieren consiste en una planta centralizada de producción de hormigones administrada por una empresa especialista del rubro. A pedido de cada empresa constructora o usuario, esta planta distribuye *shotcrete* mediante camiones *mixer* a todas las frentes de trabajo que lo requieren. De esta forma, la coordinación en los horarios de entrega de este insumo entre la empresa proveedora de hormigones y la constructora es relevante en la disminución de los tiempos de espera en las frentes de trabajo. Y, a la larga, la disminución de tiempos de espera permite liberar anticipadamente recursos que pueden dedicarse a la preparación de nuevas frentes de desarrollo.

Al disponer de información actualizada y centralizada por el Controlador de Actividades, los Jefes de Turno pueden rápidamente realizar las gestiones necesarias para asegurar el abastecimiento más oportuno posible de *shotcrete*. La Ilustración 8.1.1-1 permite apreciar la drástica disminución de tiempos de interferencia y/o espera asociados a la llegada tardía de *shotcrete* a las frentes de trabajo.

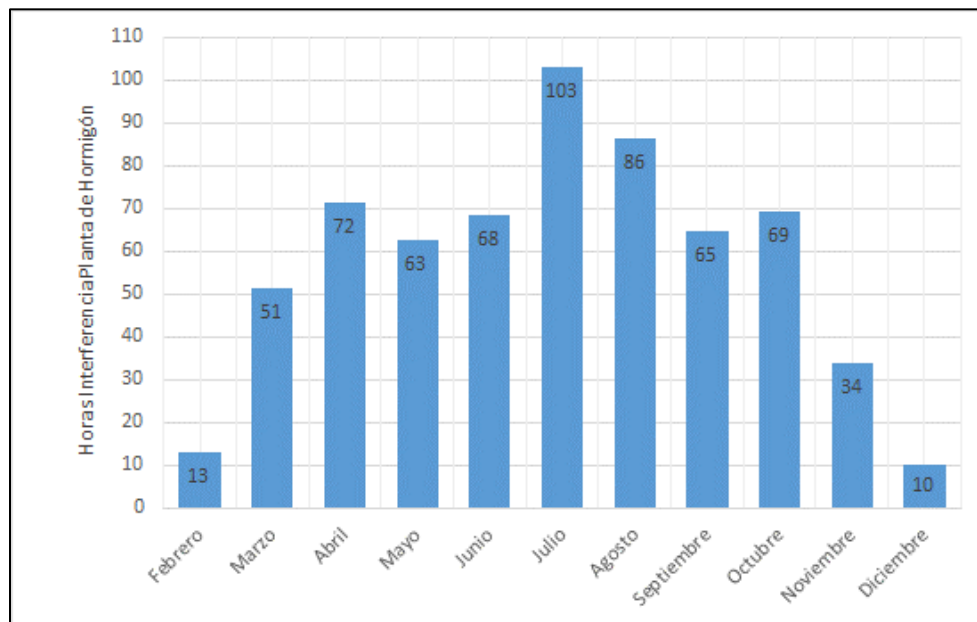


Ilustración 8.1.1-1 Evolución de horas de interferencia asociadas a falta de insumo *shotcrete*

En los primeros meses del contrato, las interferencias debidas a la falta de *shotcrete* no tenían un efecto relevante debido sencillamente al hecho de que se ejecutaban pocos disparos por día. Sin embargo, a medida que comenzaban a liberarse restricciones que permitieron elevar la cantidad de metros desarrollados diariamente, las interferencias asociadas a *shotcrete* comenzaron a hacerse más relevantes. Finalmente, el afinamiento de las coordinaciones realizadas y la estandarización de una comunicación fluida y constante con la empresa proveedora de hormigones permitieron que en la última parte del año las horas de trabajo perdidas por falta de *shotcrete* disminuyeron a niveles mínimos.

8.1.2. Análisis de disponibilidad de equipos

Los equipos principales de la actividad de desarrollo horizontal son los jumbos de perforación de desarrollo y los equipos LHD que realizan el retiro de marinas. Para la ejecución de los desarrollos asociados a la etapa de Obras Tempranas del Proyecto la empresa constructora optó por arrendar la totalidad de la flota de estos equipos, basada en las buenas experiencias que había tenido previamente. Sin embargo, y probablemente debido a la alta demanda por este tipo de equipos que experimenta el mercado desde la reactivación de la industria minera, los equipos que conformaron la flota principal del Proyecto Recursos Norte han tenido bajas disponibilidades durante la totalidad de la duración del contrato. Tan es así que, como se observa en la Ilustración 8.1.2-1, la empresa constructora no pudo cumplir con las disponibilidades comprometidas por contrato casi en ninguno de los meses durante los cuales se realizó el despliegue de las metodologías de *Lean Management*.

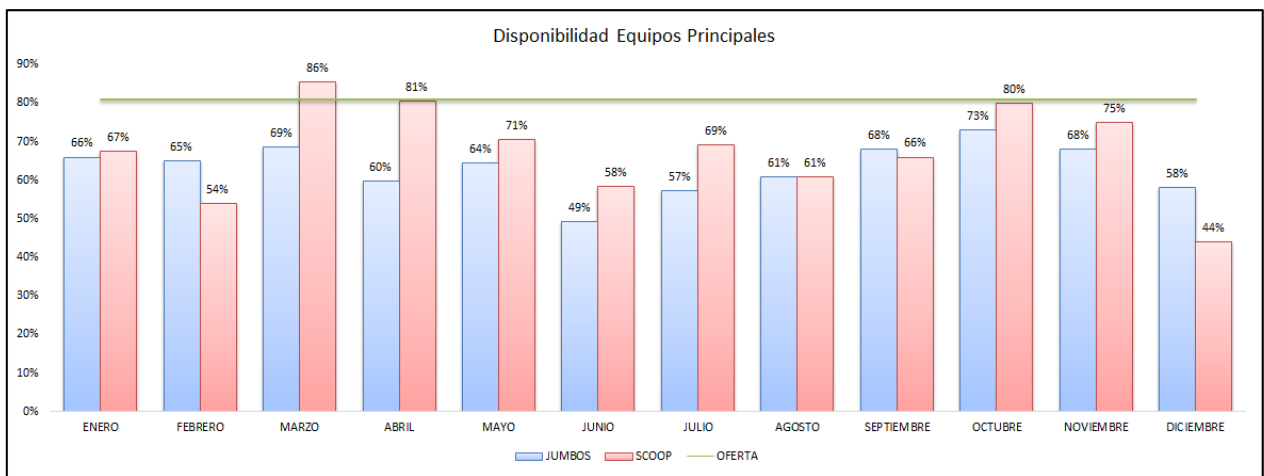


Ilustración 8.1.2-1 Disponibilidad de equipos principales, promedio mensual durante 2017

A pesar de la caída drástica del mes de diciembre, entre los meses de junio y octubre se observa un alza en la disponibilidad de jumbos y LHD. Esta subida de disponibilidad estuvo sustentada tanto en la sistematización de análisis causal de fallas, que permite hacer evaluaciones y tomar acciones respecto de fallas repetitivas y/o que generan altos tiempos de detención, como en la revisión de la logística de mantenimiento.

Como ejemplo de la sistematización de análisis causal y aplicación de técnicas de Resolución de Problemas, en la Ilustración 8.1.1-3 se puede observar el formato A3 correspondiente al análisis de la problemática de pérdida de disparos asociada a baja disponibilidad de equipos de perforación por rotura de mangueras hidráulicas denominadas “flexibles”. El análisis de detalle de esta sencilla falla, que es de rápida reparación pero de alta frecuencia de ocurrencia y demanda de personal de mantenimiento para atender el equipo dañado en las frentes de trabajo, fue realizado en conjunto con personal de ITO, y de mantenimiento y operaciones de la empresa constructora en un esfuerzo conjunto de aprendizaje y búsqueda de soluciones. El desarrollo de la metodología A3 arrojó iniciativas sorprendentes por su grado de sencillez y alto impacto en la disminución de los tiempos en que el equipo estaba fuera de servicio por la rotura de este elemento.

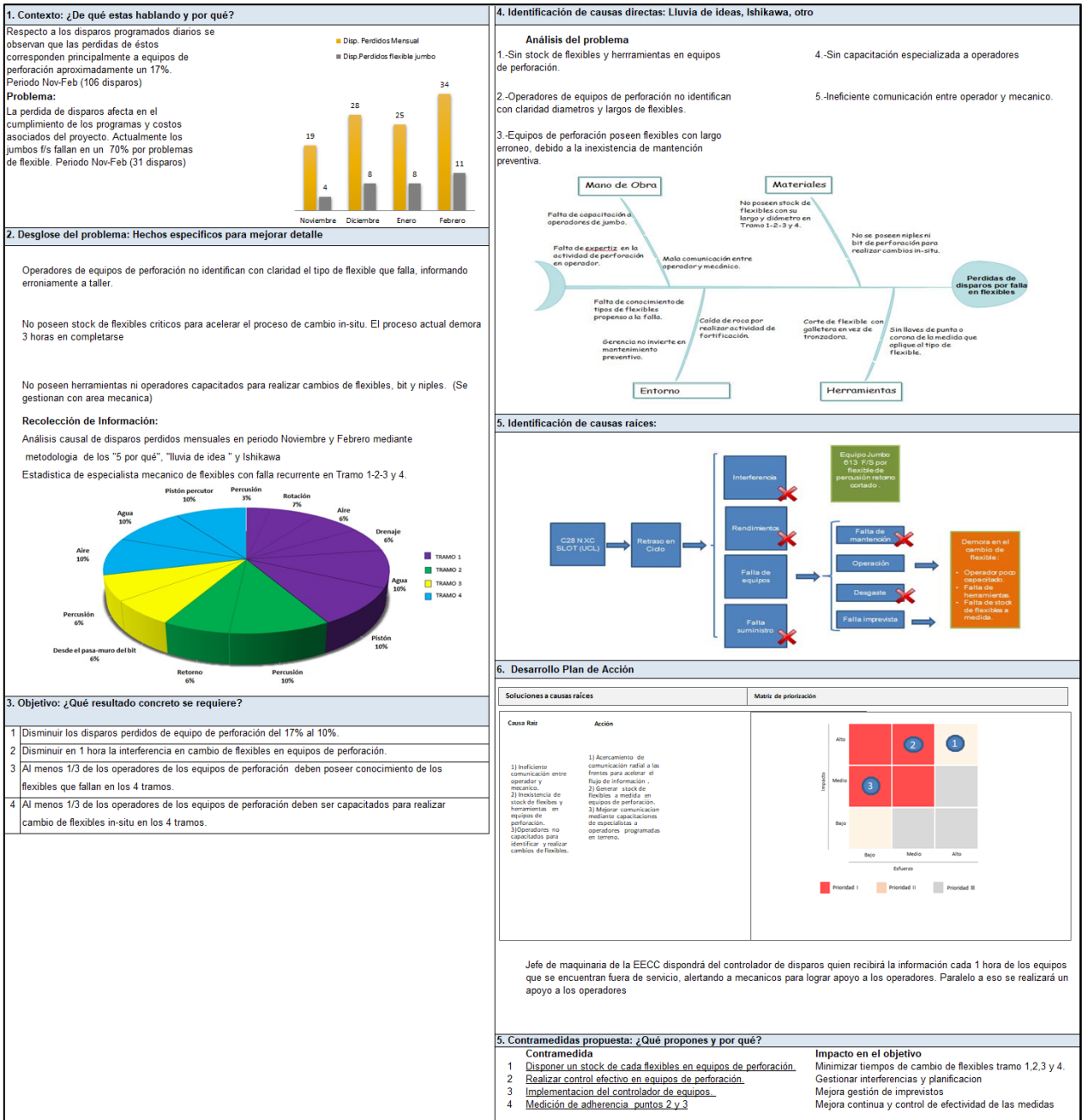


Ilustración 8.1.2-2 Formato A3 de Resolución de Problema Baja Disponibilidad de equipos de perforación por rotura de flexible

En cuanto a la revisión de la logística de mantenimiento, esta se enfocó en analizar desde cómo se estructuraba la distribución de trabajos del turno hasta la forma en que el equipo de mantenimiento de terreno coordinaba sus desplazamientos hacia las frentes de trabajo en que se requiriera su presencia. Aunque a la fecha se han realizado coordinaciones para acelerar los traslados, en general este es un punto que por plazo escapa al alcance de la presente tesis.

8.2. Resultados asociados a la dinámica de despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional

Junto con los resultados asociados a la mejora de KPI, es relevante revisar las experiencias y lecciones aprendidas en cuanto a la recepción que el despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional tuvo en los diferentes entes componentes del equipo de construcción del Proyecto. Después de todo, el éxito de este tipo de implementaciones depende en gran medida de que se logre generar un cambio organizacional tal que habilite el desarrollo de una cultura orientada a la mejora continua, que cambie la mentalidad de “si ha funcionado siempre, por qué cambiarlo” por una que no descansa en la comodidad de lo conocido, y que premie (y no castigue) la visibilización de los problemas porque ahí nace la oportunidad de mejoramiento.

Luego de la reunión de Cierre Parcial realizada en los primeros días de mayo de 2017 que tuvo el carácter de “nueva partida del contrato”, y mediante el impulso brindado por la línea directiva de la empresa constructora, comenzó el despliegue de las herramientas y metodologías en las distintas facetas y actividades incluidas en el contexto de las Obras Tempranas del Proyecto. Como se discutió anteriormente, la línea de supervisores de la empresa constructora tenía un bajo nivel de conocimiento, tanto a nivel teórico como práctico, de las diversas metodologías existentes. De esta forma, en una primera etapa fue necesario realizar una nivelación de conceptos para, al menos, desarrollar un lenguaje común que permitiera implementar las diversas metodologías con un entendimiento base compartido. Como sucede frecuentemente en este tipo de implementaciones, las primeras reacciones del equipo de supervisores de la empresa constructora fue del tipo “si el jefe lo dice...” o “hay que hacerlo porque el cliente lo solicita”, lo cual era esperable si además se tomaba en cuenta el hecho de que la mayoría de las empresas de desarrollo de minas subterráneas, y por ende sus equipos de personas, operan con esquemas similares en División El Teniente desde hace varios años.

Dada esta situación, se optó por impulsar aplicaciones sencillas que mostraran rápidamente el potencial de mejora posible de lograr, de modo que fueran los mismos resultados, más que una sensación de imposición, los que hicieran nacer el interés del equipo humano de la empresa constructora por hacerse parte activa en la implementación del esquema de trabajo.

Uno de los aspectos que más costó instalar fue el rol del Controlador de Actividades. En una primera instancia, la supervisión lo encontraba redundante ya que, en su entendimiento, bastaba con la información que administraban los Jefes de Turno y Jefes de Nivel para realizar las coordinaciones necesarias para el buen desarrollo del turno. En una primera etapa, y a regañadientes, la empresa constructora le asignó al ayudante del Jefe de Turno la función de Controlador de Actividades. Obviamente esta figura no funcionó porque en la gran mayoría del turno la persona se dedicaba a realizar las actividades habituales de apoyo al Jefe de Turno (revisión de asistencia, revisión de licencias de operadores, mantención de archivo de respaldo de capacitaciones, entre otros) y no tenía una continuidad en la vigilancia de la evolución del turno. No obstante lo anterior, con el correr de las semanas el potencial de mejora de coordinaciones comenzó a hacerse patente incluso aunque el Controlador de Actividades no tenía dedicación

exclusiva. Esto era esperable ya que el concepto tras el Controlador de Actividades es que el Jefe de Turno pasa la mayor parte del turno en terreno supervisando la ejecución de trabajos, por lo que no puede tener el control total de lo que sucede en los sectores en que no está presente. Transcurridos algunos meses, hoy la figura del Controlador de Actividades desempeña un rol fundamental en la dinámica de coordinaciones del turno, siendo un cargo de dedicación exclusiva y desempeñado por profesionales que fueron contratados exclusivamente para ese fin.

El servicio de ITO también debió adaptarse, tanto a nivel de conceptos como en la forma misma en que se concebía sus responsabilidades. Manteniendo el concepto original de garante técnico de la ejecución de obras asegurando que se realicen de acuerdo a los estándares establecidos, se agregó un rol activo de coordinación y participación en la reunión POD, aportando por ejemplo información respecto de condición de puntos de vaciado de marinas, aislaciones por condición sísmica, o aportando información al Controlador de Actividades. En este caso, la incorporación de los conceptos de Excelencia Operacional y *Lean Management* fue más rápido debido al componente principalmente técnico del servicio.

La evolución de aceptación de las metodologías implementadas se monitoreó a partir del mes de julio de 2017 mediante el indicador de Adherencia. El objetivo fue verificar la adopción mediante la verificación de la realización de las actividades definidas, la asistencia de las personas definidas para el adecuado desarrollo de la reunión POD, entre otros aspectos. La Ilustración 8.2-1 evidencia la mejora en el desarrollo de las actividades desplegadas.

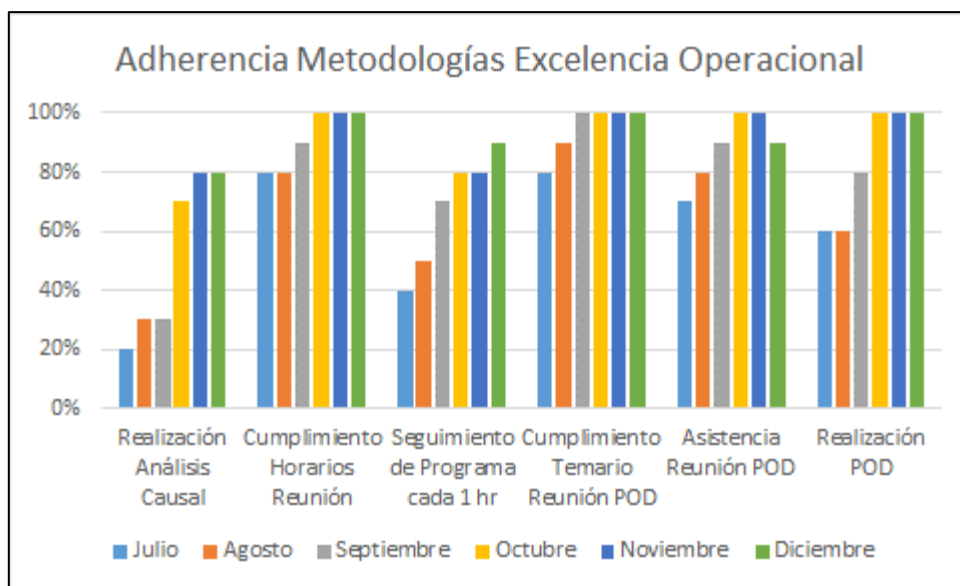


Ilustración 8.2-1 Evolución de adherencia a la ejecución de las metodologías de Excelencia Operacional

9. Conclusión

Desde mediados de la década de los 50, el *Toyota Production System* y sus posteriores evoluciones asociadas a las metodologías de *Lean Management* han encontrado espacios de aplicación en industrias y compañías de diversa índole y tamaño, usando los

conceptos básicos de eliminación de desperdicios y búsqueda de soluciones en terreno propuestos originalmente. En la actualidad existen diversas empresas consultoras que ofrecen la posibilidad de un esquema guiado de implementación de estas metodologías para cualquier compañía que lo estime necesario, cada una con foco en metodologías específicas que pueden hacerlas más aptas para ciertas aplicaciones. Otras compañías han optado por capacitar a grupos específicos de sus trabajadores para luego desarrollar sus propios modelos de aplicación, adaptados específicamente a sus necesidades u objetivos particulares. Sin embargo, todas las variantes de esquemas de Excelencia Operacional que se han aplicado durante los últimos 70 años tienen un punto en común: el éxito de sus implementaciones, medido en función del incremento de productividad, disminución de costos u otro indicador de mejora, depende en gran medida de que se genere en la organización un cambio cultural que propicie a) la búsqueda del mejoramiento continuo a partir del análisis sistemático de las problemáticas que se susciten en terreno y sus causas raíz, y b) un sentido de compromiso de parte de la organización para llevar a cabo los planes definidos para eliminar o minimizar la problemática.

Enfrentado a la problemática de tener que desarrollar proyectos mineros en plazos menores a los que ha logrado concretar a través de sus años de operación, División El Teniente se vio enfrentada a la obligación de encarar la construcción de estos proyectos mineros con una mirada diferente a la que ha aplicado hasta ahora. Es así como durante el desarrollo de las Obras Tempranas del Proyecto Recursos Norte se aplicaron diferentes metodologías de *Lean Management* y Excelencia Operacional que permitieran generar un vuelco en la forma en que hasta ahora se planificaban y ejecutaban las actividades de construcción de una mina subterránea.

Esta no es la primera ocasión en que División El Teniente aplica metodologías de Excelencia Operacional en sus procesos; sin embargo, la mayoría de las aplicaciones realizadas hasta ahora habían estado ligadas a las actividades de producción de mineral. Las mejoras observadas en la ejecución de las actividades del Proyecto con el transcurrir de los meses, evidenciadas en el aumento de la cantidad de disparos ejecutados por día, entre otros *KPI*, son evidencia inequívoca de que las metodologías de Excelencia Operacional también tienen un amplio campo de aplicación en los procesos asociados al desarrollo de minas subterráneas, como también quedó demostrado en una implementación previa en el Proyecto Pacífico Superior.

Una diferencia entre las aplicaciones previas en procesos asociados a la producción de mineral es que en estos sólo están involucrados operadores que son empleados de División El Teniente. Como el proyecto Recursos Norte es desarrollado mediante una empresa constructora privada, el proceso de despliegue de las metodologías de Excelencia Operacional tiene una capa adicional que cubrir asociada a la necesidad de convencer a los niveles directivos y de supervisión de la constructora acerca del potencial de mejora posible de lograr. Si no se logra un convencimiento real, es incluso posible que la implementación fracase al entenderse que no hay necesidad de cambiar al no producirse mejoras evidentes en los procesos. También existen otras barreras que vencer, tales como la tendencia de la empresa ejecutora a no transparentar la totalidad de sus ineficiencias porque pueden dar pie a multas u otras formas de penalización por parte del mandante. De esta forma, y aunque no esté formalizado explícitamente en un

vínculo contractual, sólo una relación de confianza mutua y apertura permitirá hacer visibles los distintos tipos de desperdicios que aparecen durante el desarrollo de una mina subterránea, brindando la oportunidad de desarrollar planes de acción que permitan minimizar su presencia o eliminarlos.

Aparte del lineamiento y apoyo brindado por el estamento directivo y de supervisión de la empresa constructora y el mandante, un elemento que resultó vital para lograr un interés verdadero de parte de supervisores y trabajadores de la empresa constructora por sacar partido de las ventajas que las metodologías podían ofrecer fue el hecho de partir con la implementación de dinámicas que rápidamente tenían el potencial de brindar mejoras concretas. Más allá de cualquier lineamiento superior, la mejor motivación se produce cuando las personas descubren por sí solas las ventajas que una metodología les puede otorgar.

De esta forma, cuando con el paso de las semanas se empezaron a observar los primeros beneficios concretos de la implementación, la etapa inicial de escepticismo caracterizada por frases tales como “hay que hacerlo porque lo dice el mandante” dio paso a un período en que se apreció un cambio más interno en el equipo de supervisores de la empresa constructora, evidenciado en ejemplos tales como la formalización y contratación de personas de un perfil específico para el puesto de Controlador de Actividades.

En el ámbito de los resultados, la cantidad de metros de desarrollo horizontal efectuados mensualmente, principal indicador de las actividades del contrato, experimentó una mejora sustantiva durante el período en que se afianzó el uso de las metodologías de Excelencia Operacional desplegadas. También mejoró la ejecución de actividades de apoyo y otras asociadas a los subcontratos del contrato principal. Estos hechos por sí solos indican que, independiente de las mejoras que puedan realizarse en siguientes iteraciones, la implementación efectuada durante la ejecución de la etapa de Obras Tempranas del Proyecto Recursos Norte tiene un efecto positivo que es recomendable aplicar en otros sectores y proyectos que también están construyendo minas subterráneas.

Entre las aplicaciones desarrolladas, resultó particularmente relevante la implementación de una Sala de Control que permita centralizar la información de lo que sucede en la totalidad de las frentes de trabajo durante el transcurso del turno. Tomando como base el programa de actividades generado al inicio de la jornada, que incluye tanto la secuencia de actividades a ejecutar como las coordinaciones necesarias para llevarlas a cabo, la Sala de Control jugó un rol fundamental al permitir monitorear el desarrollo del plan del turno y visualizar rápidamente las desviaciones que pudieran afectarlo, permitiendo definir acciones que minimizaran su impacto. Esta lógica de control de actividades en línea, que en otros procesos es algo común, no existía en el desarrollo y construcción de minas en División El Teniente, representando un cambio fundamental en la forma de planificar las diversas actividades y requiriendo un proceso de adaptación tanto de los supervisores de la empresa constructora como de la División que incluso consideró la creación de nuevos cargos y funciones.

Apoiando lo expuesto en el párrafo anterior en cuanto a la adaptación de los esquemas de trabajo, el Diálogo de Desempeño Gerencial resultó ser una instancia de gran

importancia, no sólo debido a la revisión de indicadores de desarrollo del proyecto y de vulnerabilidades, sino que también por transformarse en una oportunidad en que los equipos directivos de constructora y División El Teniente crearon lazos que permitieron avanzar en la revisión con espíritu constructivo de los diversos aspectos que impactaban el avance del proyecto. Visibilizar estos aspectos (ineficiencias, descoordinaciones, necesidades de diversa índole, entre otros) es la única forma de iniciar procesos de análisis que permitan solventarlos, y durante el desarrollo de esta implementación no fueron pocos los aspectos que fueron subsanados al ser analizados en esta instancia.

Un tercer aspecto destacable fue la implementación de metodologías estandarizadas de Resolución de Problemas, ya que evitan la tendencia de adelantar soluciones basadas en la experiencia adquirida y permiten hacer visibles aspectos de la problemática que normalmente se pasan por alto.

No obstante lo avanzado, existen elementos que pueden ser desarrollados con más profundidad. En particular, aún no se logra sistematizar completamente al interior de la organización el desarrollo de un análisis causal para cada evento de actividad planificada no completada. Los análisis causales y su análisis en términos de causas raíces repetitivas o de Pareto son una fuente inagotable de mejora continua al permitir elaborar planes específicos que permitan eliminar o minimizar el impacto de las causas raíces detectadas. Por ende, la organización debe internalizar el hecho de que el esfuerzo diario de realizar análisis causales se verá compensando con creces en el corto plazo si los planes de acción elaborados realmente se hacen cargo de las causas raíces de los problemas analizados.

Otro elemento que aún está en etapas tempranas de implementación es la sistematización de la planificación de actividades. Aunque el desarrollo de la reunión de Planificación de Obras Diaria es un primer paso en la optimización del uso de los recursos disponibles y manejo de vulnerabilidades, aún existen grandes espacios de mejora que se pueden explotar al implementar herramientas tales como la metodología *Last Planner* u otras similares. A su vez, la operación de la Sala de Control se beneficiará enormemente al contar desde las etapas iniciales del proyecto con una infraestructura de comunicaciones (radiales, datos/video) que permita obtener información desde las frentes de trabajo en tiempo real.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de este tipo de metodologías permite obtener mejoras significativas en los indicadores de resultados del proyecto sin incrementar necesariamente la cantidad de recursos involucrados en su desarrollo, a través de aumentos de productividad asociados a una mejor gestión general de recursos y de interferencias. En particular, la aplicación y resultados logrados en un proyecto de construcción de mina subterránea como lo es Recursos Norte permiten concluir que estas metodologías y sus futuras optimizaciones son directamente aplicables a los próximos proyectos de construcción de mina subterránea que emprenderá División El Teniente (Diamante y Andesita), como así también a proyectos de otras Divisiones o Vicepresidencias tales como Chuquicamata Subterráneo o Nuevo Nivel Mina, dado que esencialmente la actividad de construcción de minas subterráneas involucra las mismas actividades. Es así como el uso de este tipo enfoques es de gran relevancia en el cumplimiento de los planes de producción de División El Teniente y otras Divisiones,

siendo un pilar para asegurar e incluso adelantar la puesta en producción de las nuevas minas subterráneas respecto de su fecha planificada y contribuyendo directamente en la sostenibilidad de la Corporación durante los próximos años. En una segunda mirada, los aumentos de productividad logrados dejan abierta la opción de revisar las condiciones contractuales que habitualmente son utilizadas para la adjudicación de un contrato de construcción de mina subterránea, basadas en los parámetros históricos que no incluían las mejoras obtenidas mediante el uso intensivo de este tipo de enfoques.

10. Bibliografía

- Campero, M., Alarcón, L. 2015. Administración de Proyectos Civiles. 3ª ed. Ediciones UC.
- Gómez, M. 2015. Lean Manufacturing en español: cómo eliminar desperdicios e incrementar ganancias. Editorial Imagen.
- 2013. Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos. 5ª ed. Project Management Institute, Inc.
- Catamayo, J. 2017. Aplicación de Filosofía Lean en la Preparación Minera, Mina El Teniente Codelco Chile. Tesis de Magíster en Minería. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Miller, J. 2014. Creating Kaizen Culture for Excellence. En: 1ª CUMBRE INTERNACIONAL Kaizen Lean Chile 2014: 4 y 5 de noviembre de 2014. Santiago.
- De Luca, M. 2015. Plan de Ejecución del Proyecto Pacífico Superior Estandarizando Procesos Basados en la Filosofía Lean. Tesis de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Oliverio, P. 2014. ¿Qué es la Excelencia Operacional?. [en línea]< <http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Que-es-laexcelencia-operacional-Parte-1+97202>>
- Berenguer, J. 2015. ¿Qué es el modelo “Lean” o de producción ajustada?. [en línea]< <http://prevenblog.com/que-es-el-modelo-lean-o-de-produccion-ajustada/>>
- Kailean Consultores. Orígen del Sistema Lean. [en línea]< <http://kailean.es/el-metodo-lean/>>
- Wikipedia. Sistema de producción Toyota. [en línea]< https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_producci%C3%B3n_Toyota>
- Wikipedia. James P. Womack. [en línea]< https://en.wikipedia.org/wiki/James_P._Womack>
- Wikipedia. Lean Management. [en línea]< https://es.wikipedia.org/wiki/Lean_Management>
- Lean Construction Enterprise. ¿Qué es Lean Construction? [en línea]< <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>>
- Taboada, J. 2017. Planificación y Control de Proyectos. En: Formulación y control de proyectos. Santiago, Universidad de Chile, MBA Industria Minera.