

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN MANAGEMENT PARA
PALAS, CARGADORES FRONTALES Y CAEX EN LA SUPERINTENDENCIA
DE MANTENIMIENTO MINA DE CODELCO CHILE – DIVISIÓN
RADOMIRO TOMIC**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero en Ejecución
MECÁNICA DE PROCESO Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Leandro Ernesto Román Morán

Profesor Guía

Ing. Félix Pizarro Martínez

2017

DEDICATORIA

Quiero agradecer a todos quienes hicieron esto posible.

Mi familia por el apoyo brindado.

Mis amigos por las horas de estudio y vacile

Y a mi compañera de vida Jennipher, por estar siempre conmigo durante este proceso.

RESUMEN

KEYWORD: IMPLEMENTACIÓN, LEAN MANAGEMENT, C+, SISTEMA DE GESTIÓN, CAEX, MANTENIMIENTO MINA, CODELCO, RADOMIRO TOMIC.

En el presente trabajo se detallará a través de cada capítulo los pasos seguidos para la implementación del sistema de gestión Lean Management en la superintendencia de mantenimiento mina de Codelco Chile en la división Radomiro Tomic. También se mostrarán las actividades realizadas y el impacto que estas tienen sobre los indicadores que miden el desempeño de la división.

- En el capítulo I se dan a conocer los antecedentes generales de la empresa en que se desarrollará este trabajo. Conoceremos su historia, misión, visión y su estructura jerárquica. También conoceremos los procesos productivos y su producto final. Además de lo anterior, se darán a conocer antecedentes de la superintendencia de mantenimiento mina y su forma de gestionar el mantenimiento, que es donde se centrará este trabajo.
- En el capítulo II se describe en qué consiste el sistema de gestión Lean Management, exponiendo los principios en que se basa y su nacimiento. También se presenta el pensamiento y la aplicabilidad del sistema de gestión en la minería, finalizando el capítulo con las herramientas que posee el sistema de gestión Lean Management y su adaptación a la corporación de Codelco.
- En el desarrollo del capítulo III, se realiza la implementación del sistema de gestión Lean Management, en la superintendencia de mantenimiento mina, explicando las etapas de esta implementación y las tareas realizadas por las áreas de la división Radomiro Tomic, en especial las tareas asignadas a la superintendencia de mantenimiento mina en base a las herramientas que entrega el sistema de gestión.
- Finalizando este trabajo, en el capítulo IV se exponen los resultados productivos y económicos de los trabajos realizados en base al sistema de gestión implementado en las áreas y el impacto de estas sobre los indicadores de desempeño de la división Radomiro Tomic.

INDICE

RESUMEN

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECIFICOS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

- 1.1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMRPESA
- 1.2. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES DE LA EMPRESA
 - 1.2.1. Misión
 - 1.2.2. Visión
 - 1.2.3. Valores de la empresa
- 1.3. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA EMPRESA
- 1.4. PROCESOS PRODUCTIVOS DE DRT
 - 1.4.1. Proceso de perforación y tronadura
 - 1.4.2. Carguío y transporte de minerales
 - 1.4.3. Chancado primario de minerales oxidados y sulfurados
 - 1.4.4. Envío de minerales sulfurados a división Chuquicamata
 - 1.4.5. Chancado secundario y terciario de minerales oxidados
 - 1.4.6. Proceso de apilamiento y lixiviación del mineral
 - 1.4.7. Proceso de extracción por solventes
 - 1.4.8. Proceso de electroobtención
- 1.5. SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA
 - 1.5.1. Flotas y equipos de la superintendencia de mantenimiento mina
 - 1.5.2. Contrato de mantenimiento y reparación MARC
 - 1.5.3. Alcances del contrato Marc
 - 1.5.4. Estructura de costos, ventajas y desventajas del contrato Marc
 - 1.5.5. Contratos de servicios Marco
- 1.6. CONTRATOS DE LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA
 - 1.6.1. Medición del desempeño de los contratos
 - 1.6.2. Contrato Marc de palas eléctricas Joy Global

- 1.6.3 Contrato Marc de cargadores frontales Joy Global
- 1.6.4 Contrato Marc de camiones de extracción Liebherr
- 1.6.5 Contrato Marc de camiones de extracción y pala hidráulica Komatsu
- 1.6.6 Contrato Marc de perforadoras eléctricas Atlas Copco
- 1.7. ESTADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL
- 1.7.1. Producción de cobre al primer trimestre 2016
- 1.7.2. Tipos de costos
- 1.7.3. Resultados costos directos y costo neto a cátodos primer trimestre 2016
- 1.7.4. Precios de productos en primer trimestre 2016
- 1.7.5. Resultados Codelco al primer trimestre 2016

CAPÍTULO 2: SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

- 2.1. HISTORIA Y NACIMIENTO DE LA FILOSOFÍA LEAN MANAGEMENT
- 2.2. PRINCIPIOS DEL SITEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT
 - 2.2.1. Valor
 - 2.2.2. Cadena de valor
 - 2.2.3. Flujo
 - 2.2.4. Tirar
 - 2.2.5. Perfección
- 2.3. PÉRDIDA O DESPERDICIO
 - 2.3.1. Defectos
 - 2.3.2. Sobreproducción
 - 2.3.3. Inventario
 - 2.3.4. Procesos
 - 2.3.5. Traslados
 - 2.3.6. Transporte
 - 2.3.7. Esperas
 - 2.3.8. Satisfacción del cliente
 - 2.3.9. Subutilización del personal
- 2.4. SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT ADAPTADO A LA CORPORACIÓN CODELCO C+
 - 2.4.1. Principios Lean C+
 - 2.4.2. Definición de desperdicio Lean C+
 - 2.4.3. Sistema de gestión Lean C+
- 2.5. HERRAMIENTAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN C+
 - 2.5.1. Diálogos de desempeño
 - 2.5.2. Resolución de problemas

- 2.5.3. Estándares, roles y agendas
- 2.5.4. Matriz de habilidades
- 2.5.5. Feedback y Coaching
- 2.5.6. Confinación de proceso
- 2.5.7. Análisis SMED

CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT EN LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA

3.1. ETAPAS DE IMPLEMENTANCIÓN

- 3.1.1. Etapa de inicio
- 3.1.2. Etapa de diagnóstico
- 3.1.3. Etapa del diseño del estado futuro
- 3.1.4. Etapa de implementación

3.2. DIAGNÓSTICO

- 3.2.1. Eficiencia global de los equipos (OEE)
- 3.2.2. Fuente de información JIG SAW
- 3.2.3. Cálculo del OEE actual de los equipos de la superintendencia de mantenimiento mina

3.3. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LOS EQUIPOS DE LA DRT

- 3.3.1. Cálculo de capacidad máxima de la flota de perforadoras de la DRT
- 3.3.2. Cálculo de capacidad máxima de la flota de CAEX de la DRT
- 3.3.3. Cálculo de la capacidad máxima de la flota de carguío de la DRT

3.4. DISEÑO DEL ESTADO FUTURO

- 3.4.1. Aspiración de la flota de perforadoras de la DRT
- 3.4.2. Aspiración de la flota de equipos de carguío de la DRT
- 3.4.3. Aspiración de la flota de equipos de transporte de la DRT

3.5. IMPLEMENTACIÓN

- 3.5.1. Diálogos de desempeño de la SMM
- 3.5.2. Resolución de problemas de la SMM

CAPITULO 4: IMPACTOS Y MEJORAS DE LA IMPELMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

4.1. RESULTADOS RDP DE FACTOR DE CARGA

- 4.1.1. Habilitación de romana para pesaje
- 4.1.2. Plan de mantenimiento de PLM de CAEX
- 4.1.3. Estándar de factor de carga

- 4.1.4. Resultados en factor de carga
- 4.2. RESULTADOS DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS
 - 4.2.1. Compra de aros de neumáticos
 - 4.2.2. Comité de neumáticos
 - 4.2.3. Resultados de gestión de neumáticos
- 4.3. RESULTADOS RDP DE RENDIMIENTO DE PALAS
 - 4.3.1. Instalación de lanzas y conos traseros en palas de cable
 - 4.3.2. Estándar de aculatamiento en pala para carguío con dos CAEX
 - 4.3.3. Mejora en espejo lateral
 - 4.3.4. Resultados RDP de rendimiento de palas
- 4.4. RESULTADOS CODELCO PRIMER SEMESTRE 2016
 - 4.4.1. Producción de cobre al primer semestre 2016
 - 4.4.2. Resultados costo directo C1
 - 4.4.3. Resultados costo neto a catados (C3)
 - 4.4.4. Resultado en precios de productos
 - 4.4.5. Producción y costos por división al primer semestre 2016
 - 4.4.6. Resultados CODELCO a primer semestre 2016

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

ANEXO B: TABLEROS COMPLEMENTARIOS DE DIALOGO DE DESEMPEÑO
DE LA SMM

ANEXO C: ESQUEMA Y PLANO DE LANZAS PARA ACULATADO POR
AMBOS LADOS DE LA PALA

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Ubicación geográfica de la DRT y correa Overland
- Figura 1-2. Organigrama de la DRT
- Figura 1-3. Organigrama de la gerencia de operaciones de la DRT
- Figura 1-4. Organigrama de la superintendencia de mantenimiento mina
- Figura 1-5. Distribución del proceso de la DRT
- Figura 1-6. Pala eléctrica P&H modelo 4100 XPC
- Figura 1-7. Cargador frontal Letorneau modelo L 2350
- Figura 1-8. Camión de extracción Liebherr modelo T 2828 C
- Figura 1-9. Camión de extracción Komatsu modelo 930 E – 4SE
- Figura 1-10. Pala hidráulica Komatsu modelo PC 8000
- Figura 1-11. Perforadora Atlas Copco modelo PitViper
- Figura 1-12. Composición de costo directo y costo neto a cátodos
- Figura 2-1. Distribución correcta de las actividades en los trabajos
- Figura 2-2. Ejemplo de actividades en el trabajo
- Figura 2-3. Subsistemas de Lean C+
- Figura 2-4. Línea de tiempo de implementación de herramientas Lean C+
- Figura 3-1. Método de medición del OEE
- Figura 3-2. Tablero de diálogo de desempeño diario de la SMM
- Figura 3-3. Tablero de diálogo de desempeño semanal de la SMM
- Figura 3-4. Capacitación en sistema de gestión Lean a empresa LiebherrT
- Figura 3-5. Estructura de alza tolva de la DRT
- Figura 3-6. Armado de neumáticos anterior a la llegada del CAEX
- Figura 4-1. CAEX Komatsu 824 pasando por romana de pesaje
- Figura 4-2. Estándar de factor de carga
- Figura 4-3. Antes y después de aplicada la mejora de factor de carga
- Figura 4-4. Pala de cable con lanzas y conos traseros instalados
- Figura 4-5. Estándar de aculatamiento en pala para carguío con dos CAEX
- Figura 4-6. Mejora en espejo lateral CAEX 830 Komatsu

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Equipos y flotas de carguío y transporte de la SMM
Tabla 1-2.	Equipos y flotas de perforadoras y equipos de apoyo de la SMM
Tabla 1-3.	Matriz de riesgos CODELCO versus proveedor en contratos MARC
Tabla 2-1.	Comparación entre principios Shingo y principios C+
Tabla 3-1.	Disponibilidad 2015 de la flota de CAEX Komatsu
Tabla 3-2.	Disponibilidad 2015 de la flota de CAEX Liebherr
Tabla 3-3.	Disponibilidad 2015 de la flota de CAEX de la DRT
Tabla 3-4.	Disponibilidad 2015 de la flota de palas de la DRT
Tabla 3-5.	Disponibilidad 2015 de la flota de cargadores frontales de la DRT
Tabla 3-6.	Disponibilidad 2015 de la flota de perforadoras de la DRT
Tabla 3-7.	Datos de perforadoras para cálculo de la capacidad máxima
Tabla 3-8.	Capacidad máxima de carguío de los CAEX de la DRT
Tabla 3-9.	Distancia media de la mina RT y velocidades máximas de los CAEX
Tabla 3-10.	Tiempos del proceso de carguío de CAEX y tiempo total de transporte
Tabla 3-11.	Capacidad máxima de carga de palas y cargadores frontales de la DRT
Tabla 3-12.	Tiempos de carguío
Tabla 3-13.	Distribución del tiempo para el cambio de neumáticos de CAEX 843
Tabla 4-1.	Producción y costos por divisiones de CODELCO a primer semestre 2016

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1.	Comparación de producción de cobre entre el primer trimestre 2015 a igual periodo 2015
Gráfico 1-2.	Evolución de costos directos entre 2012 y primer trimestre 2016
Gráfico 1-3.	Evolución del tipo de cambio de la moneda americana
Gráfico 1-4.	Evolución de costo neto a cátodos entre marzo 2015 a marzo 2016
Gráfico 1-5.	Evolución del precio del cobre y molibdeno desde 2011 a 2016
Gráfico 1-6.	Comparación de EBITDA entre marzo 2015 a igual periodo de 2016
Gráfico 1-7.	Comparación de excedentes de marzo de 2015 a igual periodo 2016
Gráfico 3-1.	OEE 2015 de los CAEX de la DRT
Gráfico 3-2.	OEE 2015 de la flota de carguío de la DRT
Gráfico 3-3.	OEE 2015 de la flota de perforadoras de la DRT

- Gráfico 3-4. OEE del estado futuro de la flota de perforadoras de la DRT
- Gráfico 3-5. OEE del estado futuro de la flota de equipos de carguío de la DRT
- Gráfico 3-6. OEE del estado futuro de la flota de CAEX de la DRT
- Gráfico 4-1. Evolución de factor de carga en CAEX Komatsu entre febrero a julio 2016
- Gráfico 4-2. Evolución de factor de carga en CAEX Liebherr entre febrero a julio 2016
- Gráfico 4-3. Evolución de factor de carga promedio de los CAEX de la DRT
- Gráfico 4-4. Horas de detención de CAEX por imprevisto de neumáticos
- Gráfico 4-5. Horas totales de detención de CAEX por neumáticos
- Gráfico 4-6. Evolución de disponibilidad de los CAEX de la DRT
- Gráfico 4-7. Evolución del rendimiento de las palas eléctricas de la DRT
- Gráfico 4-8. Evolución del movimiento total mina entre marzo a agosto 2016
- Gráfico 4-9. Producción de cobre al primer semestre 2016 e igual periodo 2015
- Gráfico 4-10. Evolución de costos C1 entre 2011 a 2016
- Gráfico 4-11. Evolución de costo C3 entre 2011 a 2016
- Gráfico 4-12. Evolución del precio de cobre y molibdeno entre 2011 a 2016
- Gráfico 4-13. Precio nominal del cobre en c/lb de enero a agosto 2016
- Gráfico 4-14. Costo C1 por divisiones de CODELCO a primer semestre 2016
- Gráfico 4-15. Costo C3 por divisiones de CODELCO a primer semestre 2016
- Gráfico 4-16. EBITDA enero a julio de 2015 e igual periodo 2016
- Gráfico 4-17. Excedentes generados por CODELCO en primer semestre 2016

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

C+:	Sistema de gestión Lean Management adaptado a Codelco
C1	Costo directo
C3	Costo neto a cátodos
CAEX:	Camión de extracción
CODELCO	Corporación nacional del cobre
DRT:	División Radomiro Tomic
EBITDA	
GETS	Elementos de desgaste (Ground Exchange tolos)
ICMO	Índice de costos de mano de obra.
IPC	Índice de precios al consumidor
KPI	Indicadores claves de desempeño (Key performance indicator)
MARC:	Contrato de mantenimiento y reparación
MO	Mano de obra.
OEE	Eficiencia global de los equipos
PLM	Pesometro de los CAEX (Payload Meter)
PPI	Índice de precios de productos)
SMM:	Superintendencia de mantenimiento mina

INTRODUCCIÓN

La corporación nacional de cobre, CODELCO, es la empresa estatal chilena productora de cobre más grande del mundo, extrayendo aproximadamente el 37 por ciento del cobre que se encuentra en Chile entre sus 8 divisiones a lo largo del país, concentrado sus operaciones en el lado norte de Chile. Actualmente CODELCO está viviendo la peor crisis de su historia, debido a factores de mercado internacional y factores internos. Para enfrentar esta crisis, CODELCO creó una agenda de productividad y costos, siendo el primer ítem de esta agenda alcanzar la excelencia operacional a través de la implementación del sistema de gestión Lean Management.

El presente trabajo tiene como objetivo implementar el sistema de gestión Lean Management en la división Radomiro Tomic de CODELCO, específicamente en la superintendencia de mantenimiento mina. En él se presentan las bases necesarias para el uso de las herramientas de este sistema de gestión, detallando paso a paso las actividades realizadas durante la implementación y el impacto que estas tienen sobre los indicadores de desempeño de la división Radomiro Tomic en el área mina.

Este trabajo surge a partir de la necesidad de mejoramiento que debe tener hoy en día la industria minera para sostener su proceso, específicamente en el rubro del cobre, debido a cinco factores que han causado esta crisis en Codelco, siendo la más relevante de estas la baja de precio del metal rojo y del molibdeno, que son los principales productos que CODELCO exporta hacia el exterior. El precio del cobre ha presentado una baja significativa durante el año 2015 y lo que va de este año 2016, provocando que se acerque cada vez más a los costos de producción, lo que no permite generar excedentes para el país, lo cual es el principal objetivo de la corporación nacional del cobre.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo de título es implementar el sistema de gestión Lean Management en la superintendencia de mantenimiento mina de la división Radomiro Tomic de CODELCO Chile, específicamente en el área de equipos de carguío y transporte de minerales.

Esta implementación tiene por objetivo instaurar una nueva forma de trabajo que permita a todas las áreas de la división hablar un lenguaje común en base al sistema de gestión Lean Management y que permitirá eliminar desperdicios en los procesos y aumentar los indicadores de desempeño en el área mina.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar el estado actual del área mina y sus brechas a través de diagnóstico de la situación actual.
2. Identificar y entregar las herramientas más apropiadas del sistema de gestión Lean Management en el área mina, específicamente en la superintendencia de mantenimiento mina.
3. Implementar las herramientas del sistema de gestión Lean en el área mina, específicamente en la superintendencia de mantenimiento mina.
4. Analizar los impactos que ha tenido el sistema de gestión Lean Management en los indicadores de desempeño del área mina antes y después de la implementación.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y SITUACIÓN ACTUAL
DE LA EMPRESA

1. ANTECEDENTES GENERALES Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

1.1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA

Codelco, la corporación nacional de cobre, es una empresa estatal chilena y la productora de cobre más grande del mundo, la cual extrae aproximadamente el 37% de las reservas de este mineral en Chile. Codelco centra sus operaciones en 8 divisiones a lo largo del país entre la zona norte, donde se concentran la mayor cantidad de yacimientos, la zona centro y zona sur. Entre las operaciones que posee en Codelco Norte se encuentra la división Radomiro Tomic, en donde se centrará este trabajo de título.

A 3.000 metros sobre el nivel de mar, en la provincia del Loa y a 40 kilómetros de la ciudad de Calama en la región de Antofagasta, centra sus operaciones la división Radomiro Tomic de Codelco. Recibe este nombre en homenaje al político y diplomático nacional Radomiro Tomic Romero, quien fue un importante personaje en el proceso de “chilenización” de cobre durante el mandato del presidente Salvador Allende durante el año 1964.

Radomiro Tomic es un yacimiento de minerales oxidados y sulfurados de cobre, el cual se explota a rajo abierto, con reservas que abordan las 1.800 toneladas y de una ley promedio de 0,5% de pureza.

Radomiro Tomic es conocida como el ex proyecto Chuquicamata norte, la cual es su la división aledaña a él y que correspondía a la extensión de dicha división, pero que, al terminar los estudios de pre factibilidad, se decidió crear una división aparte y es la que actualmente alimenta con aproximadamente el 30% de los minerales sulfurados que son procesados por la división Chuquicamata.

La división Radomiro Tomic es la segunda división más productiva de Codelco, produciendo alrededor de 315.000 toneladas métricas de cobre fino, ofreciendo como producto final cátodos de cobre electroobtenidos, las cuales son exportadas en formas de planchas de un metro de largo por un metro de ancho y de un 99,9% de pureza.

En la figura 1-1 se muestra la ubicación geográfica de la división Radomiro Tomic y la ubicación de la correa Overland.



Fuente: www.codelco.com

Figura 1-1. Ubicación geográfica de la DRT y su correa overland

1.2. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES DE LA EMPRESA

1.2.1. Misión

La misión de Codelco es “desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado. Codelco llevará a cabo su misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación creativa y el conocimiento de las personas en permanente desarrollo.

1.2.2. Visión

“En el año 2020 CODELCO será un gran conglomerado humano que ha construido un modelo empresarial con excelentes servicios para sus asociados y el grupo familiar, rescatando los valores fundamentales de la cooperación

Su mayor fortaleza es la integración de sus estamentos y un alto desarrollo humano alcanzado. Su acción se basa en principios de transparencia, democracia, solidaridad, integración, participación y eficiencia.

La formación en cultura cooperativa de sus asociados y la consolidación económica empresarial son los puntos de referencia para lograr una mayor unidad, identidad, confianza y compromisos de los asociados.”

1.2.3. Valores de la empresa

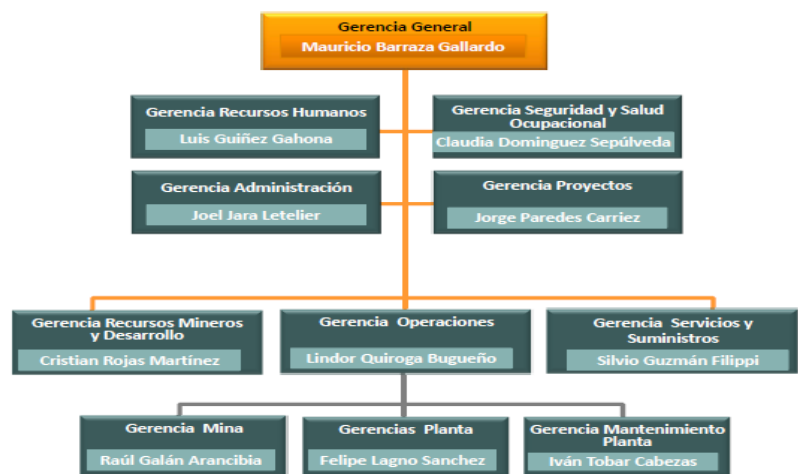
Los valores de la corporación CODELCO son los siguientes:

- El respeto a la vida y la integridad de las personas
- La responsabilidad y el compromiso
- La competencia de las personas
- El trabajo en equipo
- La excelencia en el trabajo
- La innovación
- El desarrollo sustentable

1.3. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA EMPRESA

La estructura jerárquica de la división Radomiro Tomic de Codelco se encuentra constituida por diez gerencias.

En la figura 1-2se muestra la distribución jerárquica de DRT.

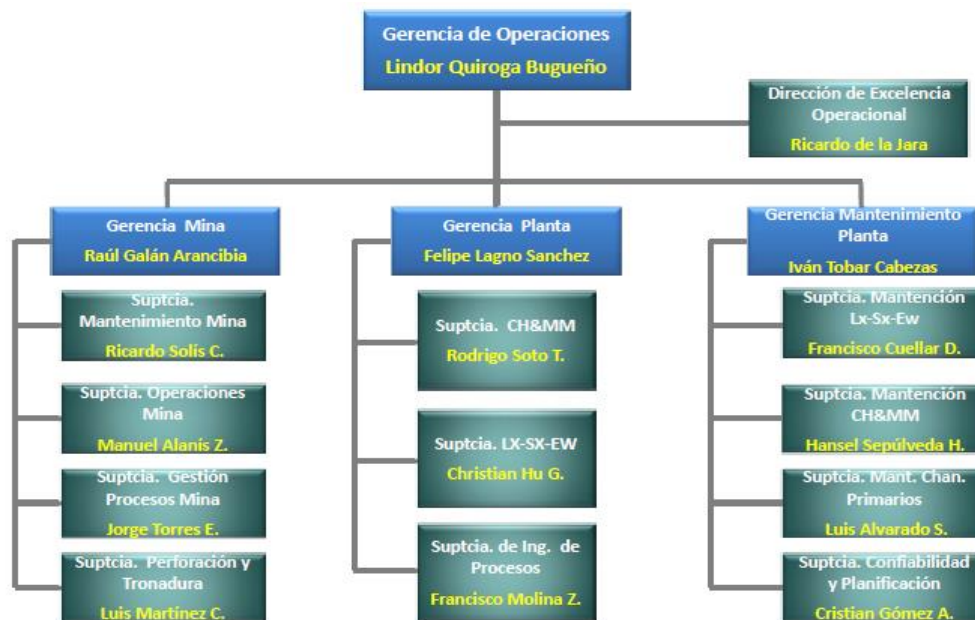


Fuente: www.codelco.comInforme de gestión 2015 de DRT

Figura 1-2. Organigrama de la DRT

Dentro de las diez gerencias que componen la DRT, la gerencia de operaciones es la de mayor tamaño y personal, debido a que está constituida de tres subgerencias, entre las que se distribuyen todos los procesos productivos.

En la figura 1-3 se muestra el organigrama de la gerencia de operaciones de DRT, evidenciando las tres subgerencias que la componen y sus once superintendencias más el área de excelencia operacional



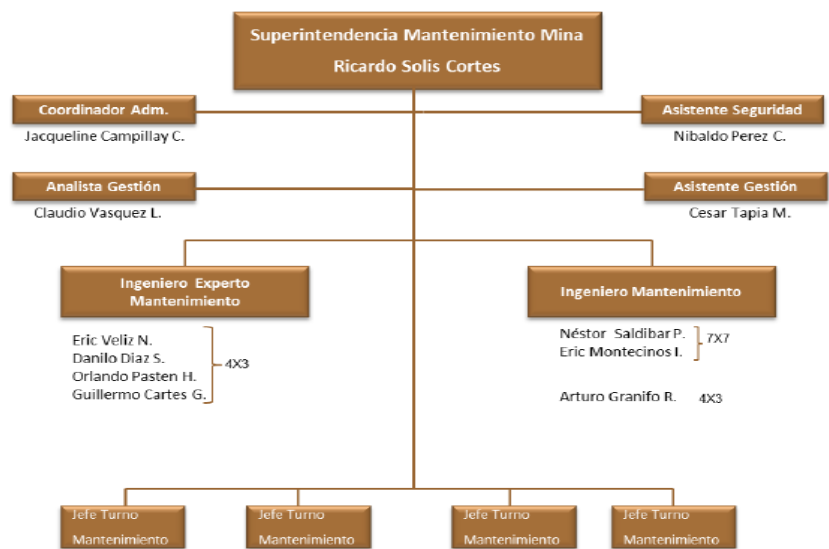
Fuente: www.codelco.com Informe de gestión 2015 de DRT

Figura 1-3. Organigrama de la gerencia de operaciones de DRT

Dentro de las tres subgerencias que componen la gerencia de operaciones se encuentra la gerencia mina, la cual es la encargada de todos los procesos que involucran la extracción de los minerales, acarreo y transporte, hasta su chancado primario. La gerencia mina está compuesta de cuatro superintendencias, entre ellas la superintendencia de mantenimiento mina que es donde se enfocará este trabajo. Si bien dentro de la gerencia de operaciones existe una subgerencia de mantenimiento planta, esta sólo abarca los procesos de mantenimiento del tratamiento del mineral una vez ya pasado el proceso de chancado primario.

La superintendencia de mantenimiento mina es la encargada de supervisar y gestionar los contratos de empresas colaboradoras, quienes tienen comprometido el mantenimiento directo de los equipos, así como también la dotación de personal y los indicadores de desempeño del mantenimiento.

En la figura 1-4 se muestra el organigrama de la superintendencia de mantenimiento mina



Fuente: Informe de gestión de SMM

Figura 1-4. Organigrama de la superintendencia de mantenimiento mina

1.4. PROCESOS PRODUCTIVOS DE DRT

El producto final que se obtiene en los procesos de DRT, son cátodos de cobre obtenidos a partir de minerales oxidados. Para obtener los cátodos de cobre, el mineral pasa por un gran número de proceso desde que es extraído del macizo rocoso, hasta llegar a formar final.

Los procesos de la DRT son los siguientes:

- Proceso de perforación y tronadura.
- Carguío y transporte de minerales.
- Chancado primario de óxidos y sulfuros.
- Envío de minerales sulfurados a división Chuquicamata.
- Chancado secundario y terciario de minerales oxidados.
- Proceso de apilamiento y lixiviación del mineral.
- Proceso de extracción por solventes.
- Proceso de electroobtención.

1.4.1. Proceso de perforación y tronadura

El proceso de perforación y tronadura, también llamado voladura de rocas, es la primera operación que se realiza dentro del proceso para fragmentar la roca y extraer así

los minerales presentes en ella. El proceso consiste en la perforación de pozos que varían entre 15 a 17 metros de profundidad, realizados por máquinas perforadoras de barras con rodillos diamantados en su extremo inferior las cuales son de modelo DML, Smart Rock y Pit Viper dentro de la DRT, todas de marca Atlas Copco, con la finalidad de poder depositar una cantidad de explosivo en dichas perforaciones.

La cantidad de de pozos perforados está definida por el cálculo previo de las mayas de perforación, y que es directamente proporcional a la cantidad de material removido desde la superficie, como también a la granulometría, densidad y esponjosidad del material, entre otras características.

1.4.2. Carguío y transporte de minerales

Una vez que el proceso de perforación y tronadura está finalizado, el material removido está listo para ser llevado al siguiente proceso el cual es su chancado, para esto, el mineral es transportado desde la base de la mina por camiones de extracción de gran tamaño con capacidad entre 290 a 350 toneladas de modelos Komatsu y Liebherr respectivamente.

El carguío de los camiones de extracción se realiza mediante palas eléctricas de cable con capacidad de 73 yardas cubicas en sus baldes. Además de las palas eléctricas, la DRT cuenta con cargadores frontales de capacidad de 53 yardas cubicas de modelos Letorneau, para el apoyo en el carguío de los CAEX cuando las palas eléctricas fallan. El proceso de carguío y transporte finaliza cuando el material extraído es depositado en los chancadores primarios.

Por otra parte, para apoyar el traslado de minerales, la DRT cuenta con equipos de mantención de caminos, camiones regadores y equipos de movimiento de tierra, los cuales tienen la tarea de asegurar el óptimo estado de las ramplas y caminos.

1.4.3. Chancado primario de minerales oxidados y sulfurados

Los yacimientos de mineral de cobre pueden encontrarse en forma de óxidos o sulfuros. La forma natural del cobre es en forma de sulfuro y se encuentran en lo más profundo de los macizos rocosos. Por otra parte, el óxido de cobre es el mineral que se encuentra más en la superficie y que por acción constante del oxígeno se produce la oxidación de los sulfuros. Cabe mencionar que ambos tipos de mineral de cobre, poseen procesos distintos para separar el cobre de los demás minerales y obtener así el cobre en su forma más pura.

Luego de que el material removido es cargado y transportado, este comienza el proceso de chancado, el cual consiste en la disminución del tamaño de las rocas y que adquieran un tamaño de máximo 8 pulgadas de diámetro para facilitar el proceso siguiente.

1.4.4. Envío de minerales sulfurados a división Chuquicamata

Como se mencionó antes, los minerales sulfurados poseen distintas propiedades químicas físicas y mecánicas distintas a los minerales oxidados, por ende, el proceso de separación del cobre con los demás minerales presentes en la roca es distinto para cada tipo. En el caso de los minerales sulfurados, el proceso de separación del cobre con los demás minerales es a través del proceso de molienda, flotación del cobre, prensado y filtrado del concentrado para finalizar con procesos piro metalúrgicos en donde se refina y funde el cobre. Como resultado final se obtienen ánodos de cobre.

En la DRT, la mayor concentración de sus minerales se encuentra en estado de oxidación, por lo que no cuenta con una planta concentradora para minerales sulfurados. Los minerales sulfurados que se extraen en la DRT son chancados y posteriormente enviados a la división Chuquicamata a través de una correa overland de 8 kilómetros de largo, en donde se reduce aún más su tamaño para luego ser procesados.

1.4.5. Chancado secundario y terciario de minerales oxidados

Una vez que los minerales oxidados pasan por el chancado primario, estos son enviados a chancar aún más para obtener una granulometría más reducida y facilitar los procesos siguientes. En el chancado secundario el mineral se reduce hasta 3 pulgadas de diámetro y luego enviados por correas transportadoras al terciario en donde su granulometría alcanza un tamaño final de 1 de pulgada. Durante el paso de los minerales por las correas transportadoras, estos son rociados por una mezcla de agua con ácido sulfúrico, que facilita la extracción del mineral en el proceso siguiente.

1.4.6. Proceso de apilamiento y lixiviación del mineral

Una vez que el material es reducido al tamaño deseado, este es llevado hacia el puente apilador mediante correas transportadoras. Al mismo tiempo que es transportado, el material es rociado por una mezcla de agua con ácido sulfúrico para comenzar el proceso de lixiviación del mineral desde una etapa temprana. El puente apilador consiste en una máquina de gran tamaño que va depositando el material ordenadamente formando pilas o

camas de rocas y que poseen un largo de 1250 metros de largo, por 383 metros de ancho y de entre 8 a 10 metros de alto, dependiendo de la esponjosidad del mineral.

Cuando las pilas ya están formadas, en su superficie superior se instalan redes de regadío por goteo y aspersores para comenzar el proceso de lixiviación. La lixiviación es el proceso en donde ocurre la disolución total o parcial de un sólido con el objetivo de arrastrar el mineral contenido en él. Una vez instaladas las redes de regadío, se rocía otra vez la solución de agua con ácido sulfúrico durante 75 días. Bajo las pilas de lixiviación se instalan previamente membranas impermeables sobre la cual se dispone un sistema de drenes que permite recoger la solución que se filtra a través del material. El producto final de la lixiviación es el sulfato de cobre (CuSO_4) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominado PLS, que son llevadas a diversos estanques para luego continuar con el proceso de extracción por solventes dentro de la planta electrolítica más grande de Chile.

Por otra parte, el material restante del proceso de lixiviación es retirado por una máquina de gran tamaño llamada “roto pala” y transportado a un botadero de ripios donde se almacenan las rocas residuales

1.4.7. Proceso de extracción por solventes

El PLS es llevado a una planta de extracción por solventes, donde su objetivo es limpiar de impurezas y concentrarlo pasando de 9 gpl a 45 gpl mediante un proceso de extracción iónica. Para lograr los 45 gpl, se mezcla una solución de parafina y resinas orgánicas con el PLS proveniente de la lixiviación. La resina cumple la función de capturar los iones de cobre en forma selectiva para obtener un sub compuesto denominado resina-cobre. Este compuesto es tratado de forma independiente con una solución de ácido, el que provoca la descarga del cobre desde la resina hacia el electrolito.

1.4.8. Proceso de electroobtención

Este es el Este es el último proceso para la obtención de cátodos de cobre y consiste en llevar a celdas rectangulares de electroobtención la solución de 45 gpl. Las celdas poseen en su interior y sumergida en la solución, unas placas metálicas de acero inoxidable de 1 metro cuadrado de superficie.

Las placas funcionan como ánodos y cátodos y están conectadas entre sí de manera de formar un circuito por el que se hace circular una corriente eléctrica de manera continua y de baja intensidad la que entra por el ánodo y sale por los cátodos. Este proceso dura alrededor de seis a siete días se observa como el cobre se adhiere a las dos caras de

En la figura 1-5 se muestra la distribución de las operaciones y procesos de la DRT.

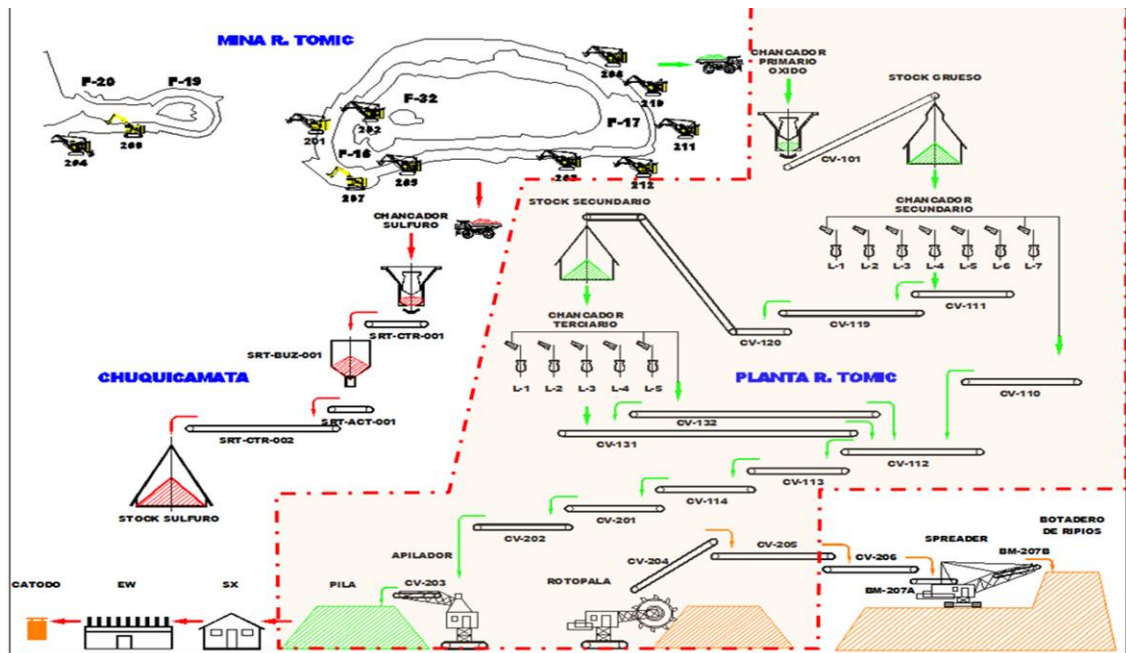


Figura 1-5. Distribución de los procesos de la DRT

1.5. SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA

La superintendencia de mantenimiento mina de la DRT, es la encargada de administrar los recursos humanos, materiales, equipos y contratos asociados a ella para asegurar la continuidad operativa de la mina. La SMM está compuesta de un total de 21 personas de personal propio, de las cuales solo se encuentran trabajando en ella 20. De estas 20 personas, solo 13 trabajan en los turnos, ya que los jefes de turno de mantenimiento trabajan por turnos rotativos. A pesar de su poca dotación de personal, la SMM tiene encargado la mantención no sólo de todo el sistema de alimentación eléctrica de la mina, sino también el mantenimiento de todos los equipos desde los procesos de perforación, carguío, transporte y de los equipos de apoyo.

1.5.1. Flotas y equipos de la superintendencia de mantenimiento mina

Entre los equipos de carguío y transporte, la SMM debe gestionar el mantenimiento de aproximadamente 105 equipos, más alrededor de 50 equipos que son usados entre los procesos de perforación y equipos de apoyo.

En las siguientes tablas 1-1 y 1-2 se evidencias los equipos y las flotas de la SMM.

Tabla 1-1. Equipos y flotas de carguío y transporte de la SMM

	Tipo	N° Equipo	Marca	Modelo	Capacidad
Camiones	Camión Eléctrico	9 (818 - 826)	Komatsu	930 E3	330 Ton
	Camión Eléctrico	6 (828 - 833)	Komatsu	930 E3	330 Ton
	Camión Eléctrico	11 (G120 - G130)	Komatsu	930 E3	330 Ton
	Camión Eléctrico	4 (RT2 - RT5)	Komatsu	930 E3	330 Ton
	Camión Eléctrico	18 (901 - 918)	Komatsu	930 E-S4	330 Ton
	Camión Eléctrico	16 (919 - 934)	Komatsu	930 E-S4	330 Ton
	Camión Eléctrico	16 (840 - 857)	Liebherr	T 282 B	400 Ton
	Camión Eléctrico	11 (858 - 870)	Liebherr	T 282 B	400 Ton
Carguío	Pala Eléctrica	2	P&H	4100 A	53 yd3
	Pala Eléctrica	3	P&H	4100 XPB	73 yd3
	Pala Eléctrica	3	P&H	4100 XPC -AC	74 yd3
	Pala Eléctrica	1	O&K	RH –200	36 yd3
	Pala Hidráulica	1	Komatsu	PC – 8000	55 yd3
	Pala Eléctrica	1	Caterpillar	6060 BH	45 yd3
	Cargador Frontal	2	Le Tourneau	L - 1850	31 yd3
	Cargador Frontal	2	Le Tourneau	L - 2350	53 yd3

Fuente: Elaboración propia, basada en datos de informe de gestión SMM

Tabla 1-2. Equipos y flotas de perforación y equipos de apoyo de la SMM

	Tipo	N° Equipo	Marca	Modelo	Capacidad
Perforadoras	Perforadoras	7	Atlas Copco	PitViper 351E	9" - 14 "
	Perforadoras	2	Atlas Copco	DML	7" - 12 "
	Perforadoras	3	Atlas Copco	Smart Roc	110 mm
Equipos de apoyo	Bulldozer	12	Caterpillar	D 11T	45 yd3
	Moto Niveladora	3	Caterpillar	24 H/M	24 ft
	Moto Niveladora	4	Caterpillar	16M	16 ft
	Wheeldozer	5	Caterpillar	854 k	33 - 58 yd3
	Wheeldozer	3	Caterpillar	824 k	6 - 21 yd3
	Camión Regador	6	Caterpillar	777 WTF	75 m3
	Excavadoras	2	Caterpillar	385 CL	6 yd3
	Excavadoras	2	Caterpillar	345 DL	2,8 yd3
	Cargador Frontal	2	Caterpillar	988 H	8,2 yd3

Fuente: Elaboración propia, basada en datos de informe de gestión SMM

1.5.2. Contrato de mantenimiento y reparación MARC

El contrato de mantenimiento y reparación, MARC, se caracteriza por externalizar todas las actividades del mantenimiento y reparación de componentes en los equipos de la DRT. En el caso de la DRT, las reparaciones que considera mayoritariamente el contrato son reparaciones estructurales, reparaciones del ámbito eléctrico, para el caso de las palas eléctricas de cable, reparaciones y reemplazo de elementos de desgaste. También contempla el personal de mano de obra, herramientas para las reparaciones y todos los insumos necesarios para esta. Cabe mencionar que estas

reparaciones se consideran tanto como en el mantenimiento programado, de acuerdo a las pautas que ellos mismos entregan, como también en el mantenimiento de imprevistos.

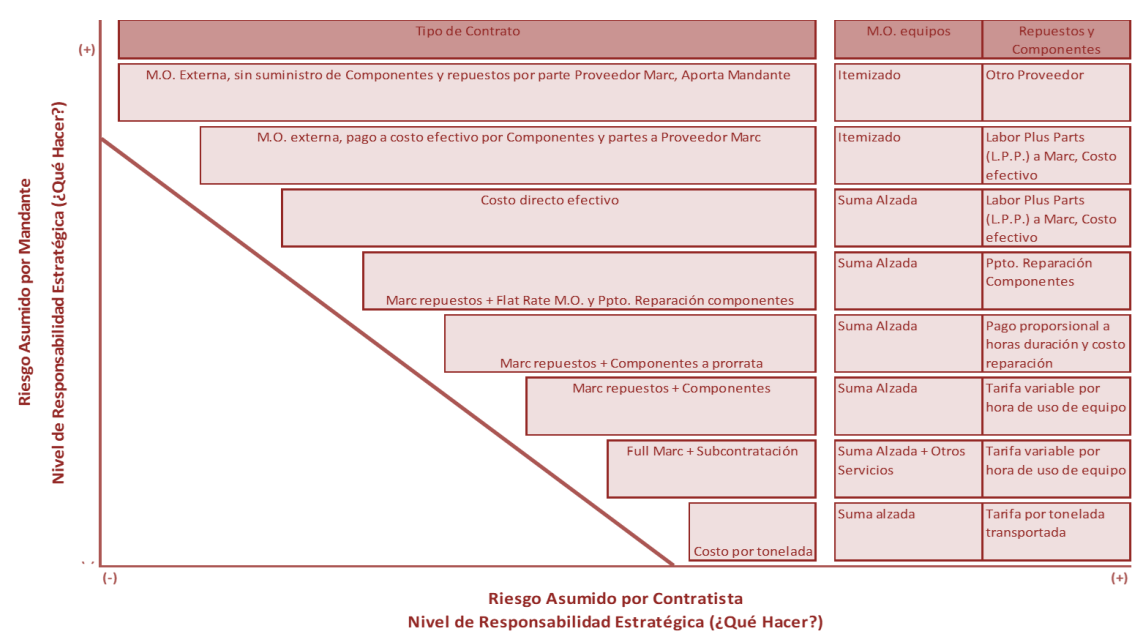
Por otra parte, considera un pago en función de las horas totales que el equipo estuvo disponible en el mes, excluyendo solo los tiempos cuando el equipo estuvo fuera por mantenimiento programado.

Si bien están incluidos los repuestos que se necesiten para los equipos, no están incluidos los insumos ni algunas reparaciones específicas, como es el caso de los elementos de lubricación, neumáticos para el caso de los equipos de transporte y equipos de movimiento de tierra, reparaciones de cabinas u aire acondicionado, entre otras.

Aunque son las empresas terceras las que están a cargo del mantenimiento programado cada cierto número de horas, Codelco tiene la facultad de cambiar u modificar los intervalos de mantenimiento o cambio de componentes, pero a su vez, la empresa contratista no está obligada acatar dicha modificación, no sin que esto signifique una modificación a las tarifas originales del contrato.

En la tabla 1.3 se muestra la matriz de riesgos que asume Codelco, en comparación con los riegos que asume el proveedor del servicio.

Tabla 1-3. Matriz de riesgos de Codelco versus proveedor en contrato Marc



Fuente: Presentación de contratos Marc de la SMM

1.5.3. Alcances del contrato Marc

El servicio del contrato de mantención integral tipo Marc lleva a cabo todas las actividades de mantenimiento del tipo mecánico y eléctrico. También el prestador del servicio debe contemplar los siguientes puntos:

- Mano de obra directa e indirecta
- Repuestos y componentes nuevos o reparados
- Insumos, herramientas, equipos e instalaciones

Si bien los servicios del contrato abarcan casi en su totalidad la mantención de los equipos, hay una serie de exclusiones que no están dentro de la tarifa de cobro. Los más destacados son el petróleo, lubricación, aceros, tolvas y neumáticos cuando corresponda.

1.5.4. Estructura de costos, ventajas y desventajas del contrato Marc

Las tarifas y cobros del servicio prestado por las empresas colaboradoras a DRT, se dividen en tres factores principales, que se muestran a continuación:

- Costos fijos: Principales actividades del contrato que, como la mano de obra, equipos, instalaciones, etc. Este costo tiene un reajuste monetario en pesos y dólares según sea la economía actual.
- Costos variables: Costos de repuestos y componentes por vida útil del equipo que, al igual que el costo anterior, varía según el precio del dólar y por tramos de tiempo. También incluye un costo por riesgos
- Costos fuera de Marc: Los costos fuera de Marc son los costos que se originan por accidentes operacionales y las eluciones antes mencionadas.

Ventajas del contrato Marc:

- Fuerza laboral propia acotada
- Traspaso del riesgo en rendimiento
- Ausencia de inventarios y logística
- Flexibilidad para crecer/decrecer

Desventajas del contrato Marc:

- Pérdida del conocimiento interno de los equipos (Knowhow).
- Rendimientos no necesariamente superiores.
- Dificultado para controlar los costos a l y la calidad del mantenimiento.
- Dificultad para controlar la calidad del mantenimiento

1.5.5. Contratos de servicios Marco

El contrato de servicios Marco es un tipo de contrato realizado cuando los servicios u operaciones a realizar son similares y frecuentes. En el contrato tipo Marco, se contrata mano de obra (suma alzada o precios unitarios, con equipamiento de soporte), con aporte de todos los repuestos y componentes por la empresa mandante.

1.6. **CONTRATOS DE LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA**

La SMM cuenta con distintos contratos que abarcan el mantenimiento de los equipos que trabajan, como también otros servicios complementarios a estos o que se encuentran fuera de los contratos Marc. Los contratos que posee la SMM son los siguientes:

- Contrato Marc de palas eléctricas - Joy Global
- Contrato Marc de Cargadores frontales - Joy Global
- Contrato Marc de CAEX Liebherr -
- Contrato Marc de CAEX y pala hidráulica - Komatsu
- Contrato Marc de perforadoras - Atlas Copco
- Contrato Marc de equipos de apoyo - Cat Finning
- Contrato Marco mantenimiento de neumáticos – Otraco
- Contrato Marco de servicios eléctricos – Broad Spectrum
- Contrato Marco de reparación de tolvas Martinic

1.6.1. Medición del desempeño de los contratos

El desempeño y el cumplimiento de los contratos, al igual que la mayoría de los procesos internos y externos de la DRT, se miden a través de KPI's (Key performance

indicator), conocidos también como indicadores clave o medidor de desempeño o rendimiento.

Los KPI son medidas financieras o no financieras utilizadas para cuantificar el cumplimiento de los objetivos o de un servicio. En este caso reflejan el rendimiento de una organización y normalmente se recogen en su plan estratégico, como es el caso de Codelco ya que se fijan KPI y metas en toda la corporación.

1.6.2. Contrato Marc de palas eléctricas Joy Global

El mantenimiento integral de palas eléctricas P&H lo posee la empresa Joy Global, el cual tiene una vigencia de 76 meses desde el 28 de agosto de 2011 hasta el 28 de febrero de 2022 y cuenta con una dotación de personal de 109 personas.

Este contrato tiene a cargo el mantenimiento de 8 palas, posee tasas fijas por componentes asicados a MO, tarifas variables asociadas a materiales, repuestos y componentes de suministros de GET's y reparación de baldes y cables de levante

En la figura 1-6 se muestra una pala modelo 4100 XPC en operación.



Fuente: www.codelco.com. Memoria Codelco 2015

Figura 1-6. Pala eléctrica P&H modelo 4100 XPC

1.6.2.1. Reajustabilidad y KPI's del contrato de palas eléctricas

El reajuste de las tarifas del contrato de palas eléctricas P&H, en el caso de la mano de obra se medirá mediante la variación que presente el IPC. Los costos variables se reajustarán semestralmente de acuerdo a la variación que presente el PPI y los elementos de desgaste se reajustarán por la variación de precios de la canasta de repuestos y la variación del PPI.

Los KPI que rigen el contrato de palas eléctricas son los siguientes:

- Disponibilidad física
- Tiempo medio entre falla (MTBF)
- Tiempo medio para reparar (MTTR)
- Gestión del mantenimiento (Adherencia al plan de mantenimiento)

1.6.3 Contrato Marc de cargadores frontales Joy Global

El mantenimiento integral de los cargadores frontales Letorneau, al igual que las palas eléctricas, los tiene la empresa Joy Global, el cual tiene una vigencia de 58 meses desde septiembre de 2009 hasta agosto de 2020 y posee una dotación de 51 personas.

Este contrato tiene a su cargo 4 cargadores frontales, posee tasas fijas asociada a MO, tasa variable asociada a materiales, repuestos y componentes, suministro de GET's (por consumo) y tarifa por reparación de baldes.

En la figura 1-7 se muestra un cargador frontal modelo 2350 en operación, cargando un CAEX.



Fuente: www.codelco.com. Memoria Codelco 2015

Figura 1-7. Cargador Frontal Letorneau modelo L2350

1.6.3.1. Reajustabilidad y KPI's del contrato de cargadores frontales

La Reajustabilidad de este contrato es por mano de obra, mediante IPC, y en costos variables mediante PPI. También presenta una tarifa de reparación de baldes que se reajusta por un polinomio compuesto por la mano de obra y los valores de insumos.

Los KPI del contrato de cargadores frontales Joy Global son:

- Disponibilidad Física
- Tiempo medio entre falla (MTBF)
- Tiempo medio para reparar (MTTR)
- Gestión del mantenimiento (Adherencia al plan de mantenimiento)

1.6.4. Contrato Marc de camiones de extracción Liebherr

El mantenimiento integral de camiones de extracción Liebherr lo posee la empresa del mismo nombre. Tiene una vigencia de 110 meses, desde mayo de 2012 hasta abril de 2022 y cuenta con una dotación aproximada de 130 personas.

Este contrato posee 27 Caex entre los modelos T 282 B y T 282 C, tienen una componente variable asociada a materiales, repuestos y una fija asociada a M.O. Posee 3 Caex de respaldo y excluye lubricantes, grasas. Tolvas, neumáticos y motor Diesel.

En la figura 1-8 se muestra en operación un Caex Liebherr modelo T 282 C.



Fuente: www.flickr.com/Codelco

Figura 1-8. Camión de extracción Liebherr modelo T 282 C

1.6.4.1. Reajustabilidad y KPI de contrato de camiones de extracción Liebherr

Este contrato posee costos fijos de mano de obra que se reajustan semestralmente con la variación positiva que presente el IPC, adicionalmente se reajusta en forma anual el diferencial positivo entre la variación del ICMO y del IPC. El costo variable se reajusta anualmente con la variación positiva que presente el PPI.

Los KPI del contrato de camiones de extracción Liebherr son los siguientes:

- Disponibilidad física
- Cambio de componentes
- Dotación comprometida
- Equipos de apoyo

1.6.5. Contrato Marc de camiones de extracción y pala hidráulica Komatsu

El contrato de mantenimiento integral de Caex Komatsu y la pala hidráulica PC 8000 lo posee la empresa del mismo nombre Komatsu Chile. Este contrato tiene una vigencia de 23 meses, desde noviembre de 2007 hasta agosto de 2017 para el caso de los Caex y 57 meses desde agosto de 2010 a julio de 2017 para el caso de la pala hidráulica. Cuenta con una dotación de aproximadamente 210 personas, con un total de 66 Caex hidráulica.

Para el contrato de Caex Komatsu, los costos se dividen en componentes variables asociados a materiales, repuestos y amortización de componentes y en costos fijos que se asocian a MO y equipos de apoyo. Cuenta con un Caex de respaldo y excluye lubricantes grasas, tolvas y neumáticos.

Por otra parte, el contrato de pala hidráulica Komatsu tiene componentes variables asociadas a materiales, repuestos y otra fija asociada a MO y equipos de apoyo, al igual que en los Caex, excluye los elementos de lubricación como aceites

En las figuras 1-9 y 1-10, se muestran los equipos que son parte de los contratos que posee Komatsu, un Caex Komatsu 930E-4SE (súper especial) y una pala hidráulica PC 800 Komatsu.



Fuente: www.flickr.com/Codelco

Figura 1-9. Camión de extracción Komatsu modelo 930E-4SE



Fuente: www.flickr.com/Codelco

Figura 1-10. Pala hidráulica Komatsu modelo PC 8000

1.6.5.1. Reajustabilidad y KPI's de contrato de camiones de extracción y pala hidráulica Komatsu

Los Caex Komatsu presentan en su contrato un costo fijo por mano de obra que se realiza semestralmente por la variación del ICMO. La tarifa de repuestos y componentes (costos variables) se reajusta anualmente, el factor para reajustarlo es el promedio simple de la variación de la canasta de repuestos definida, esta debe ser igual o inferior a la variación del PPI.

En el caso del contrato de la pala hidráulica el costo fijo se refleja en la mano de obra y se reajusta semestralmente por un polinomio entre la variación del ICMO y el IPC. Por otra parte, los costos variables se reajustan anualmente por el promedio simple de la variación que se presente la canasta de repuestos, esta variación no podrá exceder la variación entre el PPI.

Los KPI del contrato de Caex y pala hidráulica son los mismos y son los siguientes:

- Disponibilidad física
- Tiempo medio entre falla (MTBF)
- Tiempo medio para reparar (MTTR)
- Precisión del servicio.
- Dotación comprometida

1.6.6. Contrato Marc de perforadoras eléctricas Atlas Copco

El contrato de mantenimiento integral de las perforadoras AtlasCopco en DRT, lo posee la empresa del mismo nombre y quien también es el fabricante. Su duración es de 78 meses a partir de enero de 2012 hasta abril de 2022. Posee una dotación aproximada de 54 personas y tiene a su cargo la mantención de 12 equipos entre los modelos PitViper, DML y Smart Roc.

Este servicio, al igual que los demás contratos posee costos fijos asociados a MO y costos variables asociados a materiales, repuestos y componentes. Excluye lubricantes y reparaciones estructurales, como también la mantención de todos los sistemas eléctricos que alimenten a las perforadoras, que incluyen los cables de alta tensión (6000 V), distribución y cambio de cables y el cambio y mantenimiento de las herramientas perforadoras, las cuales están a cargo del contrato que lleva la empresa Drilco Tolls, encargado al área de la superintendencia de perforación y tronadura de la gerencia mina.

En la figura 1-11 que se muestra a continuación, se muestra una perforadora modelo PitViper del fabricante Atlas Copco.



Fuente: www.flickr.com/Codelco

Figura 1-11. Perforadora Atlas Copco modelo PitViper

1.6.6.1. Reajustabilidad y KPI's de contrato de perforadoras Atlas Copco

La reajustabilidad para este contrato por parte de los costos fijos se refiere a mano de obra, que se reajusta semestralmente por la variación del ICMO. Las tarifas de repuestos y componentes, costos variables del contrato se reajustan semestralmente con la variación del PPI.

Los KPI de este contrato son los siguientes:

- Dotación comprometida
- Equipos de apoyo
- Componentes y repuestos
- Estrategias de mantenimiento
- Disponibilidad.

1.7. ESTADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Codelco vive hoy la peor crisis en sus más de cuatro décadas de historia tras la caída del precio del cobre, sumada a su alto nivel de endeudamiento, entre otros factores que son los que han llevado a Codelco a esta compleja situación

El estado actual de Codelco se explica por cinco pilares fundamentales, que sin duda no son los únicos sino, los que más afectan a la corporación.

El primero de ellos, y el cual afecta a toda la industria minera, es la baja en el precio del cobre en un 32 % en dos años, de 311,3 centavos de dólar por libra (c/lb) promedio en 2014, bajó a 211,9 c/lb el primer trimestre de este año. Por cada 100 dólares que Codelco recibía en 2014, hoy en día solo recauda 68 dólares.

La segunda y no menos importante razón por la que origina esta crisis, es la baja capitalización de Codelco en los últimos 10 años. Codelco ha reinvertido sólo US\$ 4 mil 400 millones, un 10% de sus utilidades. En tanto que el promedio de la industria alcanza a reinvertir el 39% de sus utilidades. La principal razón de esto, se explica por la razón de que Codelco entrega gran parte de sus excedentes al país por ser una empresa estatal, lo que no deja reinvertir en sus procesos.

La tercera razón es el alza en sus costos de operación. Entre 1985 y 2006 los costos directos de Codelco lograban un promedio de 60,95 c/lb, pero en 2012 se empinan a 163,5 c/lb promedio, esto quiere decir que el costo ha aumentado casi el doble en 10 años.

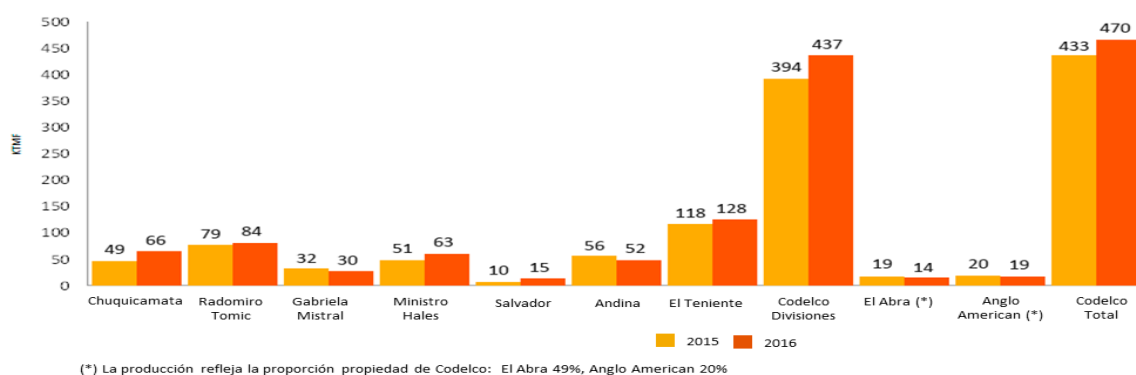
El alto endeudamiento de Codelco hoy en día también es una causa que complica su salida de la situación actual. Dada la baja inversión, Codelco tuvo que endeudarse para pagar sus proyectos estructurales actuales. Desde 2004 a 2016, la corporación pasó de una deuda de casi US\$ 4 mil millones a aproximadamente US\$ 14.000 millones. La deuda asciende a un monto tan elevado debido al gran número de proyectos de alta inversión, como es el caso de Chuquicamata subterránea, el nuevo nivel mina de El Teniente, el rajo Inca de división El Salvador, el proyecto Andina 244 y la planta desalinizadora para el distrito Codelco norte que es parte de la nueva planta concentradora de sulfuros de la división Radomiro Tomic

La baja productividad es la última de las primeras 5 y más potentes razones que llevan a Codelco a vivir esta crisis, y se debe a la baja productividad de sus trabajadores. El tiempo laboral efectivo por trabajador de Codelco se estima en un 45% versus un 65% de las mejores prácticas de la industria minera.

1.7.1. Producción de cobre al primer trimestre 2016

La producción de cobre este primer trimestre 2016 ha marcado un hito importante para Codelco, ya que en este periodo la producción fue en base a la ley de mineral más baja de cobre en la historia de Codelco. Aun así, la corporación aumentó su producción de cobre propio en un 11% en relación a igual periodo del año 2015 y un 6% sobre lo comprometido en su agenda de productividad y costos del año 2015.

En el gráfico 1-1 se muestra la producción de cobre entre el primer trimestre 2015 e igual periodo de 2016 de Codelco, Anglo American y minera el Abra.



Fuente: www.codelco.com. Resultados Codelco 2016

Gráfico 1-1. Comparación de producción de cobre al primer trimestre 2015 con igual periodo 2016

1.7.2. Tipos de costos

Antes de comprender los resultados de Codelco en relación a los costos, debemos entender cómo se componen la clasificación de costos por los que se rigen en la gran minería, que son principalmente los costos directos y el costo neto a cátodos.

1.7.2.1. Costo directo (C1)

El costo directo, llamado C1, es un costo compuesto de seis factores, los cuales son el costo de extracción, el costo de tratamiento del mineral, el costo de fletes, los costos de fundición y refinación, costos de administración y costos por subproductos. Normalmente el costo C1 es usado para comparar la gestión de la industria minera a corto plazo.

1.7.2.2. Costo neto a cátodos (C3)

El costo C3, o costo neto a cátodos, se refiere a los costos asociados a la economía de mediano a largo plazo de las operaciones mineras. El costo neto a cátodos se compone de los factores de depreciación y amortización, costos indirectos y costos financieros netos, además de todos los otros costos mencionados en el costo directo (C1).

En la figura 1-12 se muestra una imagen comparativa que ejemplifica los costos directos y el costo neto a cátodos.



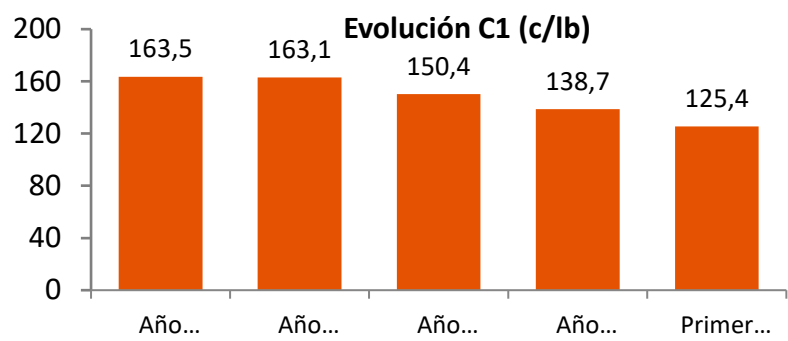
Fuente: www.cochilco.cl. Observatorio de costos en la industria minera del cobre

Figura 1-12. Composición de costo directo y costo neto a cátodos

1.7.3. Resultados costos directos y costo neto a cátodos primer trimestre 2016

Al primer trimestre 2016 y a pesar de la baja ley de cobre y el complejo escenario que se vive por el precio del mismo, Codelco redujo sus costos directos 8% respecto a igual periodo de 2015 y un 7% más sobre lo comprometido en su agenda de productividad y costos de 2015.

En el grafico 1-2 que se muestra continuación se muestra la evolución del costo directo en Codelco, desde el año 2012, hasta el primer trimestre 2016 en centavos por libra (c/lb).

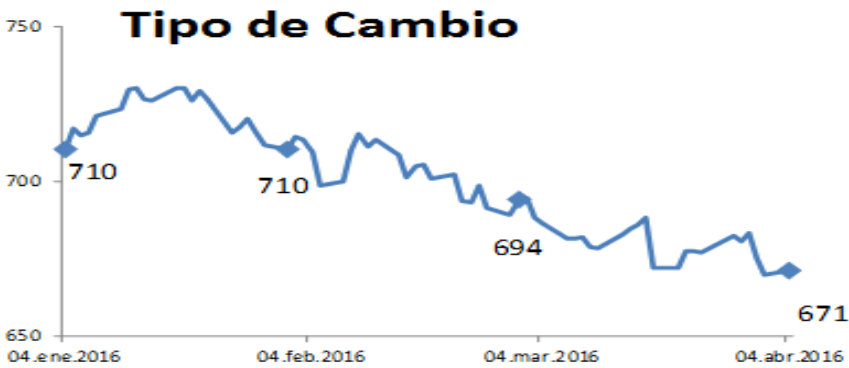


Fuente: www.codelco.com. Resultados primer trimestre 2016

Gráfico 1-2. Evolución de costo directo entre 2012 y primer trimestre 2016

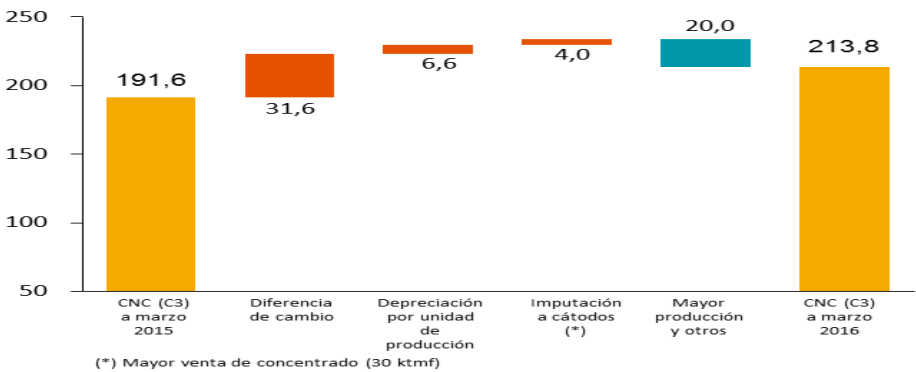
El costo neto a cátodos de cobre producidos registro un alza del 12% que se explica principalmente por una caída temporal del tipo de cambio de la moneda americana que afectó las provisiones contables de cierre de faenas mineras. Estos efectos son contables y temporales y no se tratan de alzas en los costos de operación.

En los gráficos 1-3 y 1-4 se muestra la evolución del dólar en 2016 y la evolución de en el costo neto a cátodos desde marzo 2015 a marzo 2016.



Fuente: www.codelco.com. Resultados primer trimestre 2016

Gráfico 1-3. Evolución del tipo de cambio en la moneda americana



Fuente: www.codelco.com. Resultados primer trimestre 2016

Gráfico 1-4. Evolución del costo neto a cátodos entre marzo 2015 a marzo 2016

1.7.4. Precios de productos en primer trimestre 2016

Aún con el aumento del 11% en la producción de cobre con la más baja ley de cobre en la historia de Codelco y con el 8% en la reducción de los costos directos respecto a igual periodo del año 2015 el escenario no es favorable para la corporación ya que, el precio del cobre y el molibdeno el principal sub producto de Codelco, han registrado bajas significativas desde hace 3 años. Sólo en el primer trimestre 2016 el precio del metal rojo tuvo una baja de un 20% respecto a igual periodo del año 2015. Por otra parte, el precio

del molibdeno, el cual está presente en los minerales de cobre sulfurado, presentó una baja de un 37% en comparación a igual periodo de 2015.

En el grafico 1-5 que se muestra a continuación se presenta la caída de los precios del cobre y molibdeno, respectivamente, a partir del año 2011 hasta el primer trimestre de 2016.

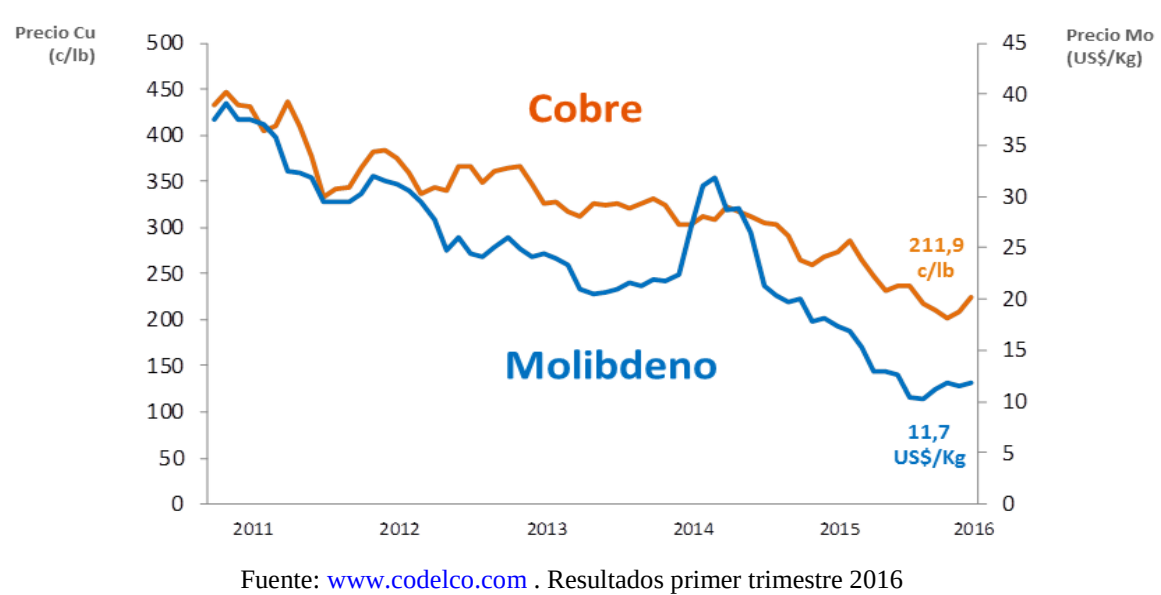


Gráfico 1-5. Evolución de precios de cobre y molibdeno entre 2011 y 2016

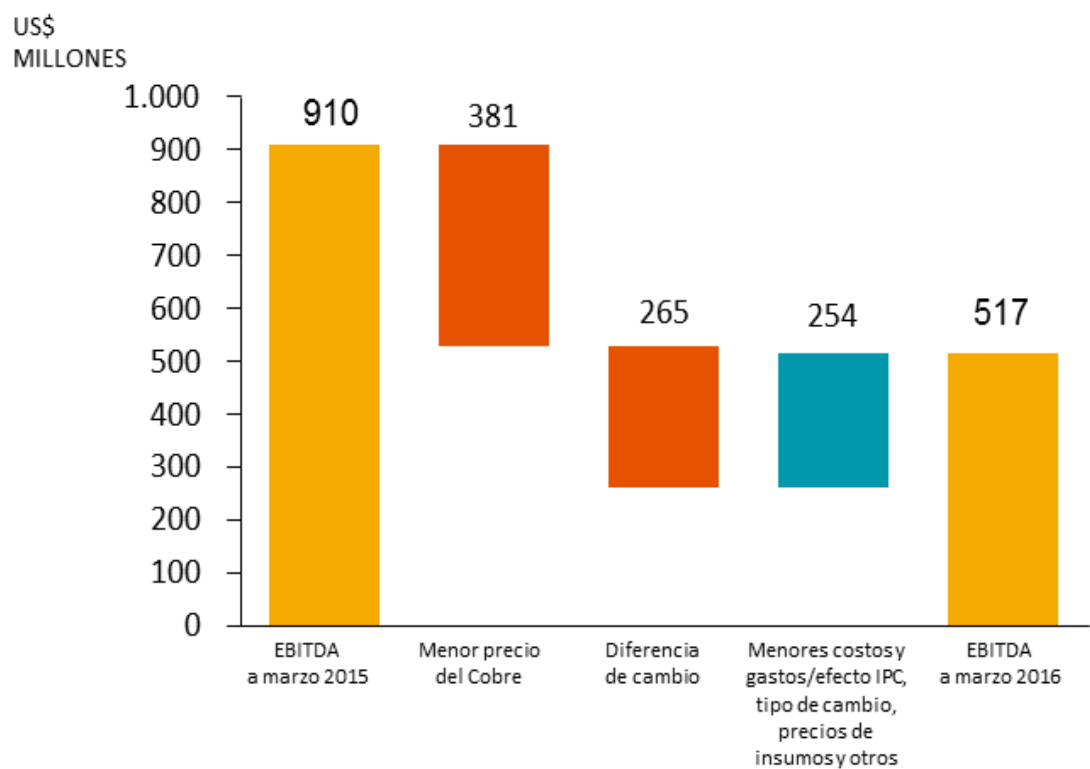
1.7.5. Resultados Codelco al primer trimestre 2016

Antes de analizar los resultados obtenidos por Codelco este primer trimestre 2016, debemos conocer algunos términos que se manifestarán en este, que se explican a continuación:

- **Royalty Minero** El royalty minero, es un monto monetario que deben pagar las empresas que agotan un recurso no renovable dentro de un país. Más que un impuesto, es un derecho de explotación y se debe pagar al estado del país en cuestión.
- **La ley reservada del cobre:** Esta ley, creada por el estado chileno, dictamina que se debe destinar un porcentaje de los ingresos de la venta de cobre para el financiamiento de materiales y armamento para las fuerzas armadas.

- EBITDA: El Ebitda cuantifica los ingresos monetarios antes de intereses, depreciaciones, amortizaciones e impuestos, o, dicho de otro modo, el beneficio de explotación calculado antes de la proyección de los gastos financieros.

Este primer trimestre de 2016, Codelco obtuvo un EBITDA de US\$ 517 millones, debido a la drástica caída del precio del cobre y el molibdeno y también por la diferencia de cambio del dólar, lo que originó mermas por US\$ 646 millones en el EBITDA, un 71%. A continuación, en el gráfico 1-6, se muestra la comparación del EBITDA a marzo de 2016 en comparación con el EBITDA de igual periodo de 2015.

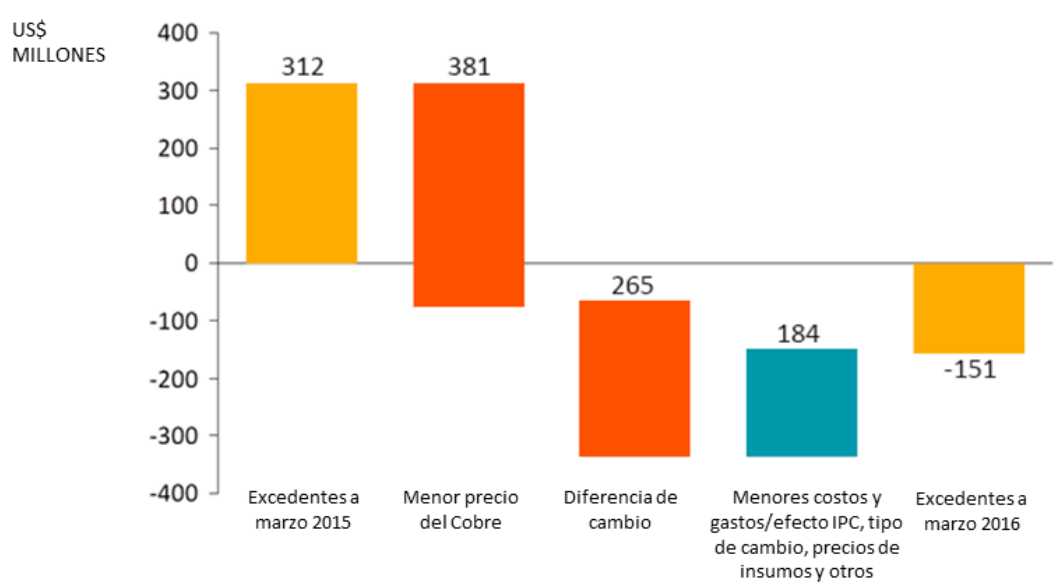


Fuente: www.codelco.com. Resultados primer semestre 2016

Gráfico 1-6. Comparación de EBITDA de marzo 2015 a igual periodo 2016

A pesar del aumento en la producción y la baja de los costos directos este primer trimestre 2016, por consecuencia del menor precio del cobre y la diferencia en el cambio del dólar, Codelco registró excedentes por US\$ 151 millones (ver anexo 2). Sin embargo, logró aportar al estado un total de US\$ 223 millones, lo que se explica por el royalty y la ley reservada del cobre.

En el gráfico 1-7 que se encuentra a continuación, se muestran los excedentes de la corporación a marzo de 2015 y los excedentes a igual periodo de 2016, evidenciando el impacto que tienen los factores de menor precio del cobre, la diferencia de cambio en la moneda americana (el dólar), los menos costos y efecto IPC tipo de cambio con los precios de insumos y otros



Fuente: www.codelco.com. Resultados primer trimestre 2016

Gráfico 1-7. Comparación de excedentes de marzo de 2015 a igual periodo 2016

A pesar de las nuevas condiciones de mercado, Codelco proyecta cumplir los excedentes comprometidos para este año 2016, cercanos a los US\$ 300 millones y aportes al estado por US\$ 832 millones, cumpliendo al mismo tiempo con el desarrollo de sus proyectos con la salud financiera del país. Para esto, Codelco generó una nueva agenda de productividad y costos para este 2016.

Para bajar costos y elevar productividad, la agenda se basa en intensificar y profundizar algunas actividades, las cuales son las siguientes:

Intensificar:

- Gestión de insumos
- Renegociación de contratos y eliminar los prescindibles
- Reducción de flota de camionetas
- Reducción de viajes
- Optimización de oficinas, entre otras.

Profundizar:

- La excelencia operacional (Sistema de gestión Lean Management)
- Mantenimiento proactivo
- Servicios de terceros competitivos
- Compras Low Cost
- Gestión de activos

CAPÍTULO 2: SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

2. SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

2.1. HISTORIA Y NACIMIENTO DE LA FILOSOFÍA LEAN MANAGEMENT

En la época del XVIII, la producción de las industrias en especial la automotriz estaba caracterizada por poseer un sistema de producción artesanal, el cual era realizado completamente a mano y sin la ayuda de alguna maquinaria en especial, lo que hacía que cada pieza creada fuera distinta a todas las demás.

Durante el final del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, la industria artesanal sufre un drástico cambio con la llegada de la revolución industrial, la cual se caracterizó por el cambio de la producción artesanal de trabajo manual, por lo que la industria llamo “la manufactura”, la cual consiste en una producción basada en trabajo realizado por maquinarias y a una mayor velocidad, esto impulsado por la no capacidad del sistema artesanal de cubrir las demandas existentes del mercado en esa época.

Con la llegada de la revolución industrial, su segunda etapa implico la incorporación de nuevos sistemas de producción que asegurarán una mayor rapidez en la manufactura de productos, así como reducción de costos y mayor eficiencia. Así fue como en el año 1913 la industria automotriz Ford, basándose en los estudios realizados por Frederic W. Taylor, introduce un nuevo sistema de producción llamado producción en masa, la cual se caracterizó por la introducción de cintas de ensamblajes móviles. En este tipo de producción, también llamada producción en serie, la máquina pasa a ser el pilar principal de la producción, reemplazando al obrero y artesano.

A la mitad del siglo XX, comenzaron a ocurrir los primeros problemas de la producción en serie, ya que se vio afectada por el estado de la situación financiera mundial y las nuevas necesidades del consumidor. Es allí donde la empresa japonesa, Toyota, crea un método de gestión de la producción que hiciera frente a las nuevas demandas del mercado. Dicho método fue creado por tres personas; el ingeniero japonés Taiichi Ohno, el fundador de Toyota, Sakichi Toyoda y su hijo Kiichiro.

Este nuevo sistema fue llamado producción “*lean*” o producción esbelta, cuya principal idea es eliminar las pérdidas para aumentar la eficacia del proceso de fabricación, principalmente, eliminando el excesivo uso de recursos para la producción y el exceso de producción, lo cual era la base del sistema de producción norteamericano que estaba confiado en la producción a gran escala como reflejo de eficacia de los procesos.

Desde ese entonces han nacido muchas versiones de producción Lean, como lo son el Lean manufacturing, Lean Thinking o Lean Maintenance, pero todas basadas en el sistema original creado por la empresa Japonesa Toyota.

En resumen, Lean management es una filosofía de trabajo que busca eliminar las existencias en la fabricación de productos. (Mondem, 1993).

2.2. PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

El pensamiento Lean se basa en 5 principios fundamentales que explican su manera de operar. A continuación, se explica cada uno de ellos.

2.2.1. Valor

El primer punto de los principios de la filosofía Lean es especificar correctamente el valor de los productos y que según el pensamiento lean, está definido por los clientes, no por las empresas ya que es él quien crea la necesidad que a su vez el producto debe satisfacer. Si no es bien definido el concepto de valor, puede ser un problema crítico, ya que, si no satisface correctamente las necesidades establecidas.

2.2.2. Cadena de valor

La filosofía Lean, en su segundo principio, habla sobre identificar de forma clara la cadena de valor, la cual es la aglomeración de actividades necesarias para la creación de un producto o servicio y que clasifica las actividades en diferentes aspectos. Se debe identificar de manera clara las actividades que agregan valor directamente al producto, las actividades incidentales que, si bien no agregan un valor directo al producto, son necesarias para su creación y deben minimizarse lo máximo posible y, por último, eliminar las actividades que se identifiquen como desperdicios.

2.2.3. Flujo

Este punto se refiere a la creación de un flujo continuo del proceso, de un paso a otro que siga añadiendo al otro, desde la obtención de materiales para la creación del producto, hasta la entrega del mismo al consumidor final, sin interrupciones.

2.2.4. Tirar

El cuarto punto de los principios de la filosofía Lean se refiere a acceder a que el cliente haga uso del servicio siempre que lo necesite, es decir, que sea una producción basada directamente a necesidad de cliente y no en estadísticas ni estimaciones a largo plazo.

2.2.5. Perfección

El quinto punto de los principios del sistema Lean es la perfección, la cual no se refiere a la perfección en sí de la creación de los productos. La filosofía Lean al hablar de perfección se inclina hacia gestionar hasta la perfección los cuatro puntos anteriores y que, de forma continua, vaya disminuyendo la cantidad de etapas o tiempo necesarios para que los productos o servicios lleguen al cliente.

2.3. **PÉRDIDA O DESPERDICIO**

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de la filosofía Lean es eliminar las existencias innecesarias en la fabricación de producto. Estas existencias innecesarias se pueden catalogar entre pérdidas o desperdicios, la cuales se definen como cualquier actividad humana que utiliza recursos pero que no crea valor (Womack & Jones, 1996). Según el pensamiento Lean, existen 9 tipos de desperdicios en los cuales se debe focalizar los esfuerzos para eliminarlos o reducirlos. A continuación se exponen los tipos de desperdicios.

2.3.1. Defectos

Las pérdidas por defectos hacen alusión a los productos mal terminados, defectos en la línea de fabricación o ensamblaje, mano de obra o también de embalaje. Todo lo anterior genera un reproceso de los productos en el caso de corregir los defectos o un desperdicio si el producto es irreparable. Ambos casos se consideran desperdicio y deben ser eliminados.

2.3.2. Sobreproducción

Hablamos de pérdidas por sobreproducción cuando se produce un determinado producto, valga la redundancia, en exceso y más de lo que el mercado demanda, lo que genera gastos de insumos innecesarios, inventarios y mala utilización de las materias primas.

2.3.3. Inventario

Las pérdidas por inventario se reflejan cuando las empresas mantienen en su poder materiales o productos que no generan ningún valor, por ejemplo: lotes de productos sin terminar, productos finales sin entregar al cliente, o también la posesión excesiva de materia prima.

2.3.4. Procesos

Las pérdidas que se generan por procesos corresponden a toda actividad o proceso innecesario en la fabricación de un producto, por lo general son actividades de finalización de los productos para agregar mayor valor en la calidad del producto pero que no son solicitadas o necesarias para el cliente.

2.3.5. Traslados

Cuando los trabajadores realizan movimientos físicos que no son parte del proceso de fabricación de los productos y retrasa el tiempo normal de fabricación de los mismos, hablamos de pérdidas por traslados.

2.3.6. Transporte

Según la filosofía Lean, hablamos de pérdidas por transporte de refiere al movimiento innecesario de materiales o productos que no son parte del proceso productivo, como por ejemplo el sub almacenamiento de productos o materiales o materiales en tránsito.

2.3.7. Esperas

Las pérdidas por esperas están directamente ligadas a la planificación de las tareas y ocurren cuando los trabajadores deben esperar por una determinada máquina para realizar los procesos, la espera de materia prima, espera de repuestos y que entorpecen en normal flujo de la cadena de valor de los productos. También se consideran pérdidas por espera el tiempo perdido por la espera de ordenes por parte de las jefaturas y esperas por especificaciones del cliente.

2.3.8. Satisfacción del cliente

Se considera pérdida por satisfacción del cliente a toda producción que no cumpla con las expectativas y necesidades del cliente. Generalmente esta pérdida está orientada al diseño de los productos en sus fases tempranas.

2.3.9. Subutilización del personal

Hablamos de pérdidas por subutilización del personal a la mala distribución de los mismos a la hora de ejecutar las actividades que generan valor añadido para el producto, como también la no utilización de todo el personal disponible o exceso de personal.

2.4. **SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT ADAPTADO A LA CORPORACIÓN CODELCO C+**

El sistema de gestión Lean Management ha sido implantado por una gran variedad de empresas de distintos rubros, efectuándose con éxito como es el caso de Soquimich, (SQM), LanTam, entre otras. Si bien, el sistema de gestión Lean es en base a una filosofía de trabajo y todas las empresas se rigen por las mismas herramientas y principios, cada empresa adecua esta metodología según sea su rubro, valores, principios o proceso, y Codelco no es la excepción a esto, por lo que el sistema de gestión Lean en la corporación se reconocer con el logo C+.

Lean C+, en la corporación Codelco, se define como un sistema de gestión que busca mejorar nuestros procesos mediante el trabajo sistematizado entre distintos niveles de la organización, está basado en principios, herramientas y buenas prácticas

operacionales que permitirán fortalecer la comunicación efectiva para identificar y gestionar las oportunidades de mejora en sus proceso y al mismo tiempo, enfrentado tres grandes inhibidores del desempeño; la inflexibilidad, la variabilidad y el desperdicio.

2.4.1. Principios Lean C+

El sistema de gestión Lean presenta principios en cuanto a el método de trabajo y en los focos a los cuales se debe enfocar, dichos principios están basados en los principios Shingo, quien fue un ingeniero japonés, quien lideró el proceso de transformación de Toyota y que, gracias a eso, hoy en día podemos contar con Lean. Al mismo tiempo, la corporación Codelco tiene valores y principios, los cuales están mezclados con los principios Shingo en que se basa el sistema de gestión Lean

En la tabla 2-1 se muestra una comparación entre los principios Shingo y su adaptación a la corporación Codelco.

Tabla 2-1. Comparación de principios shingo y principios Lean C+

Principios Shingo	Principios Lean C+
Crear valor para el cliente	Crear valor para todos los chilenos
Crear una constancia del propósito	Perseguir y alcanzar objetivos con perseverancia, energía y sentido de urgencia
Pensar sistemáticamente	Pensar en el resultado global, evitando los silos
Enfocarse en los procesos	Foco en el análisis del proceso
Fluir y tirar valor	Fomentar la plena capacidad y flujo continuo de la cadena de valor
Asegurar la calidad desde el inicio	Todos hacemos el trabajo bien a la primera
Buscar la perfección	Buscar continuamente mayores desafíos
Pensar científicamente	Ocupar toda nuestra capacidad de análisis en los procesos.
Respetar a todos los individuos	Dar y exigir respeto, asumiendo derechos y deberes
Liderar con Humildad	Liderar con apertura y capacidad de escucha

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Lean C+

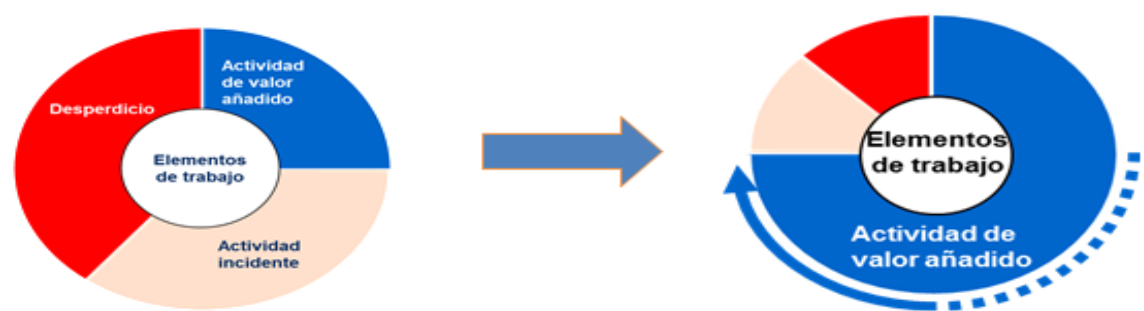
2.4.2. Definición de desperdicio Lean C+

El sistema de gestión Lean, C+, en Codelco busca eliminar los desperdicios y maximizar la proporción de valor añadido en las actividades. A continuación, se definen las tres actividades que componen el valor total del tiempo que toma realizar las actividades, las cuales son:

- Actividad de valor añadido: Se refiere al trabajo que aumenta directamente el valor del producto desde el punto de vista del cliente. Es por lo que el cliente está dispuesto a pagar
- Actividad incidental: Actividad que no añade valor al cliente o producto pero que es necesaria para ejecutar el trabajo.
- Desperdicio: Se define como desperdicio a todo trabajo o actividad que no agrega valor al producto o cliente desde ningún punto de vista.

El sistema de gestión Lean C+, apunta directamente a la correcta distribución de estas actividades en el trabajo minimizando las actividades incidentales, eliminando en su totalidad los desperdicios y así aumentar el valor añadido.

A continuación, en la figura 2-1 y 2-3 se ejemplifica la distribución de las actividades en un trabajo y un ejemplo gráfico de las definiciones mencionadas.



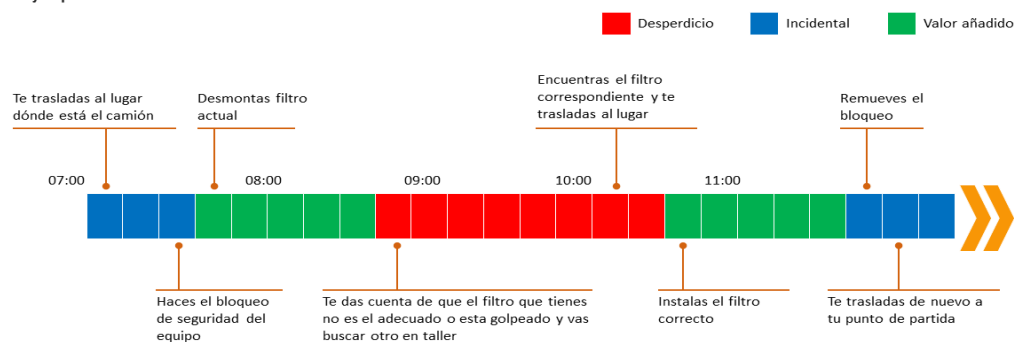
Fuente: Capacitación empresa McKinsey

Figura 2-1. Distribución correcta de las actividades en los trabajos

Ejemplo



Ejemplo: Cambio de Filtro a camión con falla en terreno



Fuente: Elaboración dato en base capacitación McKinsey

Figura 2-2. Ejemplo de actividades de un trabajo

2.4.3. Sistema de gestión Lean C+

El sistema de gestión Lean C+ es la adaptación del sistema original a la corporación Codelco. C+ está compuesto por cuatro subsistemas de gestión, quienes apuntan a la mejora continua de los procesos. Cada uno de estos subsistemas está compuesto por diferentes herramientas que ayudan a que una empresa se adapte a esta forma de trabajo.

A continuación, en la figura 2-3 se muestran los cuatro sub sistemas de gestión que componen el sistema de gestión C+.



Fuente: Capacitación empresa McKinsey

Figura 2-3. Subsistemas de Lean C+

2.4.3.1. Objetivo común

El subsistema de gestión de objetivo común, corresponde a la primera etapa de la implementación del sistema de gestión C+, en donde se establecen metas y objetivos que estén alineados con la estrategia de la organización. En esta etapa se definen aspiraciones que sean ambiciosas pero alcanzables, debe ser concedida y conocida por todas las áreas y personas de la organización. Se declara un objetivo común o aspiración para la corporación, pero internamente se debe tener una aspiración interna en cada área.

2.5.3.2. Mejora continua

El subsistema de gestión de mejora continua, busca la resolución de los problemas de forma efectiva, generando un motor eficiente de resolución enfocado en la causa raíz de los problemas en las áreas de trabajo y en todos los niveles jerárquicos involucrados. También busca asignar correctamente los recursos disponibles para llegar a la causa de los problemas más complejos.

2.4.1.3. Proceso eficientes

El subsistema de procesos eficientes busca aumentar la cantidad de valor añadido a las actividades realizadas y se orienta a satisfacer las necesidades de los clientes de manera interna y externa, rigiéndose por el principio de que, toda actividad que se realice o recurso que se invierta debe crear valor para el cliente o proceso. El entendimiento de los procesos permite mejorarlos de manera sistemática y fomentar la creación de estándares de trabajos. Este sub sistema se enfoca en dos principios fundamentales de C+, crear valor para todos los chilenos y tener foco en el análisis del proceso.

2.4.3.4. Desarrollo de personas

El desarrollo de personas es un subsistema del sistema de gestión Lean C+ que busca generar las condiciones necesarias para que cada integrante de la corporación pueda desarrollar su máximo potencial dentro de las labores de su trabajo y en base a eso asignar tareas que sean acorde a sus habilidades y características personales.

2.5. HERRAMIENTAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN C+

Cada subsistema de gestión de Lean C+ posee herramientas que le ayudan a alcanzar sus propósitos y objetivos. Estas herramientas se van implementando en la organización a medida que avanza en el tiempo por cada nivel de organizacional, comenzando por la línea de gerentes y superintendentes. De este modo se asegura que sean ellos quienes capaciten a los integrantes que siguen en los puestos inferiores.

En la figura 2-4 se muestran los cuatro sistemas de gestión de la metodología Lean y sus herramientas a medida que avanza la implementación.

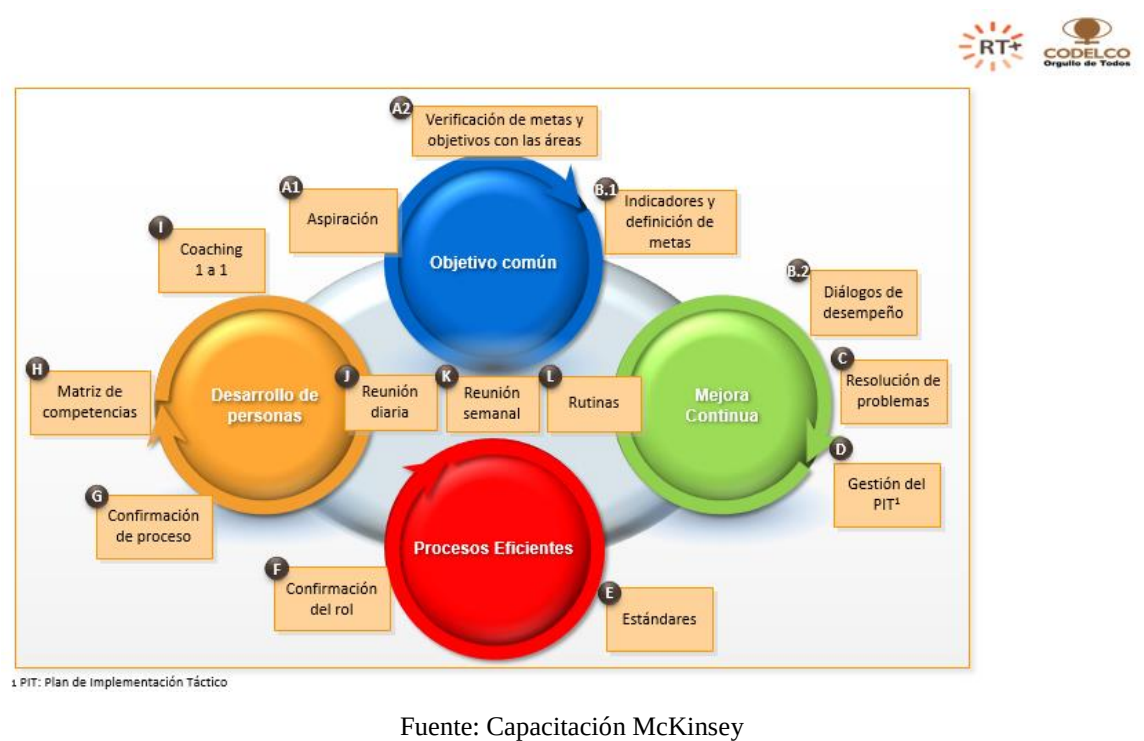


Figura 2-4. Herramientas de los sistemas de gestión Lean

La gran mayoría de las herramientas Lean antes descritas, pertenecen a los denominados KanBan dentro de esta metodología. KanBan es una palabra japonesa que viene a significar cartel o panel, elemento clave en el método productivo empelando por Toyota, en donde se hace alusión al nacimiento del sistema Lean Management. Hay dos objetivos que rigen este método productivo: por un lado, lograr un producto de calidad, al obligar a cada fase del proyecto a finalizar su tarea correctamente, y acabar con el caos, saturación o cuello de botella que puede darse en una fase del proyecto en condiciones normales en las que prima la rapidez por encima de la calidad del producto.

Durante la implementación, los KanBan se encuentran presentes en dos de las herramientas Lean más usadas, la cuales son los diálogos de desempeño y la generación de estándares y también tienen participación en las resoluciones de problemas.

2.5.1. Diálogos de desempeño

Los diálogos de desempeño son conversaciones formales, estructuradas y rutinarias entre dos niveles organizacionales contiguos, que pueden desarrollarse de manera diaria o semanal. Son usados por todos los niveles de la organización, desde nivel gerente – superintendente, hasta nivel ingeniero de producción – operadores.

El dialogo de desempeño es usado por los líderes para informar al equipo sobre su el desempeño del área y también para entender la causa raíz de las desviaciones y tomar decisiones correctivas. Los trabajadores plantean problemas observado en terreno e ideas de mejora. De esta forma los diálogos permiten enfocar los esfuerzos en acercarse a la aspiración y objetivo común del área y delegar responsabilidades a la persona más adecuada para realizar una tarea específica.

Estos diálogos requieren de un tablero visual que resuma los elementos claves a analizar en el dialogo de desempeño, además de un momento dedicado al día o semana, según corresponda, y el compromiso de todos los participantes del dialogo.

El dialogo de desempeño no busca ser una sesión a la defensiva en donde se busque responsable de las brechas, es más bien una sesión de trabajo productiva dirigida a identificar y resolver problemas, dedicando un tiempo exclusivo a revisar los KPI más relevantes y formular opiniones siempre teniendo foco en los indicadores que muestran brechas relacionadas con las metas.

2.5.2. Resolución de problemas

La resolución de problemas es una sesión dirigida a resolver problemas complejos que no pueden ser resueltos en el dialogo de desempeño. Es una metodología basada en la estructura de los ocho pasos del PDCA, donde las soluciones se basan en la causa raíz y que perduren en el tiempo, involucrando a todos afectados, sean de una o más áreas de trabajo. (Ver formato gráfico en anexo 1)

La estructura de la resolución de problemas es la siguiente:

- Identificación del problema
- Descripciones u observaciones y objetivos de la RDP
- Lluvia de ideas

- Diagrama de Ishikawa
- Los 5 porqués
- Soluciones a la causa raíz
- Matriz de impacto-esfuerzo de las soluciones
- Plan de trabajo, seguimiento del impacto y estandarización.

2.5.3. Estándares, roles y agendas

Los estándares son un documento oficial que codifica el proceso en un lenguaje común para la gente que lo utilizará y que busca asegurar una ejecución consistente, ajustada los estándares de la corporación.

Los trabajadores deben ejecutar los estándares, leerlos frecuentemente y actualizarlos según los cambios en la operación. Los líderes deben utilizar los estándares para realizar confirmación de proceso y capacitar tanto a los nuevos trabajadores como aquellos que no saben ejecutar los estándares.

Por otra parte, es importante que cada persona de la organización tenga bien definido y pleno conocimiento de cuál es su rol dentro de su área, y que no malgaste su tiempo en actividades que signifiquen desperdicios o, que la persona no sea la idónea para desarrollar dicha actividad.

Las agendas ayudan a cumplir de gorma predecible y eficiente todas las actividades que están dentro del rol de una persona, ayudando a seguir una estructura y centrando a la persona en las actividades más relevantes, importantes y que agreguen valor.

2.5.4. Matriz de habilidades

La matriz de habilidades busca la compatibilidad entre el trabajo o cargo disponible con el profesional que lo ocupará, procurando que este alineados y que este cumpla con las competencias y el perfil necesario, de esta forma se asegura que la persona que ocupe el puesto de trabajo se a la más acorde.

Físicamente, es una tabla que muestra el dominio del profesional en las áreas y competencias que se buscan para el cargo.

2.5.5. Feedback y Coaching

El feedback es una herramienta muy utilizada en todas las áreas que involucran equipos de trabajo multidisciplinarios, y consiste en una opinión sobre otra persona o un

grupo de trabajo. El feedback puede darse en cualquier orden jerárquico, ya sea de jefe a trabajos o de un trabajador a otro equipo de trabajo.

Es muy útil para ayudar al desempeño de los equipos de trabajo, ya que es una buena forma de fomentar la comunicación entre el equipo de trabajo y con eso su desempeño. Es importante saber dar un buen feedback, que explique el impacto del comportamiento y proporcione sugerencias accionables, ya que, si no se realiza en el momento correcto o frente a las personas correctas, se puede transformar en una instancia negativa. Por otra parte, también se debe saber recibir un buen feedback aceptarlo como una oportunidad de mejora y buscando entender las problemáticas y así avanzar a la mejora continua no sólo de los procesos, sino también de las personas mismas.

El Coaching es una herramienta en el que el coach asiste a otra persona, el coachee, en la visualización de objetivos comunes y metas, ayudándolo a alcanzar su máximo potencial y guiándolo durante el desarrollo.

Esta herramienta permite también entablar relaciones de confianza y compromiso con los objetivos, ayudando a visualizar de mejor manera los objetivos comunes de los equipos de trabajo.

2.5.6. Confinación de proceso

La confinación de proceso es un método estandarizado para que los líderes, tanto gerentes, como superintendentes o jefes de área, verifiquen que un proceso está funcionando conforme a sus objetivos, e identifiquen y corrijan las causas raíz de las posibles desviaciones. Una confinación de proceso es una observación objetiva y una descripción de cómo se aplican los estándares.

La confirmación de proceso se realiza en el lugar de trabajo. Los líderes comprueban personalmente si los trabajadores están realizando los procesos en línea con los objetivos fijados en la aspiración, analizando con un checklist de condiciones a cumplir el desempeño de los trabajadores.

El principal objetivo de la confirmación de proceso es asegurar la consistencia de la ejecución de las tareas operativas, para detectar y/o corregir desviaciones de los estándares creados, como también para identificar las mejores prácticas que no se observen antes de crear los estándares y así incluirlas. También busca detectar y documentar brechas en las capacidades de las personas usando las matrices de competencia y así apoyar los planes de desarrollo individual mediante Coaching uno a uno.

2.5.7. Análisis SMED

SMED es una herramienta de mejora continua que forma parte de la metodológica Lean, y persigue reducir el tiempo de cambio de referencia en máquinas de entornos productivos, buscando pasar las actividades externas a internas y viceversa para reducir el tiempo de cambio y aumentar la confiabilidad del proceso. También busca aumentar la capacidad de producción focalizando los esfuerzos en el tiempo que la máquina está disponible para producir.

La herramienta SMED cuenta con tres pasos para hacer el cambio de los tiempos, los cuales se mencionan a continuación:

- La separación de fases de trabajo en internas o externas
- Reducción de los tiempos de preparación internos con mejoras de procesos
- La reducción de los tiempos de preparación internos y externos con mejoras de procesos.

**CAPITULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN
MANAGEMENT EN LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA**

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT EN LA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO MINA

3.1. ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema de gestión Lean en la superintendencia de mantenimiento mina al igual que en todas las demás áreas de la gerencia mina donde se implementará, cuenta como todo proceso, con un inicio, un desarrollo y un final. A continuación, se mencionarán las etapas de esta implementación;

- Inicio
- Diagnóstico
- Diseño del estado futuro
- Implementación
- Post Ola de implementación

3.1.1. Etapa de inicio

La etapa de inicio es la primera etapa de la implementación, en donde mediante un análisis y proceso de selección se escoge a profesionales de las distintas áreas de la gerencia mina para cumplir el rol de agentes de cambio. Los agentes de cambio son los encargados de liderar esta transformación por parte de la corporación Codelco en conjunto con el equipo de la empresa consultora Mckinsey. El perfil para la selección de los agentes de cambio es el un profesional que cuente con un vasto conocimiento de los procesos y operaciones del área mina, como también con las habilidades blandas necesarias para liderar este proceso como liderazgo, trabajo en equipo, empatía, buenas relaciones interpersonales con las áreas y una alta capacidad de análisis, ya que serán ellos los encargados de transformar culturalmente la organización.

Luego de la selección de los agentes de cambio, estos son capacitados en el sistema de gestión Lean, sus principios y herramientas, y se asignará uno o dos agentes de cambio por área para que a su vez ellos capaciten a los líderes del área asignada.

3.1.2. Etapas de diagnóstico

Luego de la selección de los agentes de cambio y de su asignación a cada área, se pasa a la etapa de diagnóstico que consiste en que el agente de cambio en conjunto con el equipo Lean realiza el diagnóstico de la situación actual del área. En esta etapa los profesionales de cada área aportan con la información de sus procesos, equipos, etc. También se realizan los cálculos de la capacidad máxima que poseen los equipos o procesos dependiendo de la capacidad máxima de diseño que posean, para así contrastar el estado actual de los procesos o equipos con su máxima capacidad teórica y fijar una línea base desde donde comenzar a trabajar.

El rol del agente de cambio en esta etapa es capacitar a las áreas en el sistema de gestión y las herramientas Lean, mientras la organización se compromete, aprende y apoya esta etapa.

3.1.3. Etapas del diseño del estado futuro

Una vez finalizada la etapa de diagnóstico y teniendo ya el estudio de la situación actual y capacidad de diseño de los equipos y la mina en general, se pasa a la etapa del diseño del estado futuro. Al contrastar los dos estudios realizados en la etapa anterior, se pueden evidenciar las brechas, áreas o equipos más críticos y que presentan una mayor diferencia entre su rendimiento actual y su capacidad de diseño para así, generar planes de acción a través de las herramientas Lean.

Teniendo una visión de donde se encuentra hoy la mina y su real capacidad de diseño, se confecciona el diseño del estado futuro donde todas las áreas en conjunto, se fijan una meta y objetivo común a mediano y largo plazo, priorizando las actividades que tengan un alto impacto en indicadores del OEE y un bajo esfuerzo, los llamados Quick Wins. También es en esta etapa donde se diseñan los tableros para los diálogos de desempeño de cada área, los cuales tienen directa incidencia sobre los indicadores (KPI's) que afectan o disminuyen el rendimiento de los equipos y que ayudarán a elevar sus OEE. Paralelamente, se estudia y analiza cuáles serán las principales resoluciones de problemas (RDP) que se realizarán en conjunto entre áreas y que permitan ayudar a elevar los indicadores.

Lo relevante de esta etapa en particular, es que es la organización quien pasa a liderar el proceso de transformación Lean en conjunto con sus áreas, mientras los agentes de cambio apoyan y dan direccionamiento de los pasos a seguir.

3.1.4. Etapas de implementación

Es la etapa donde las áreas comienzan a trabajar y utilizar las herramientas Lean. Se inicia con la capacitación por parte del agente de cambio a su área asignada, instruyéndolos e iniciando los diálogos de desempeño, las resoluciones de problemas y prestando apoyo. Todas las áreas dan inicio a los diálogos en forma paralela y participan de la resolución de problemas que se realiza a nivel mina y que involucra a todas las áreas. A raíz de las problemáticas y planes levantados de los diálogos y las RDP's, se confeccionan estándares y también se realizan paralelamente capacitaciones y difusiones a todas las áreas y niveles, incluyendo operadores, terceros, etc.

En esta etapa, quien sigue liderando la transformación y el cambio cultural, es la primera línea junto con los líderes. Los agentes de cambio apoyan y dirigen las herramientas en el inicio, pero a medida que avanza el proceso, se van retirando hasta que su participación es innecesaria.

3.2. DIAGNÓSTICO

A continuación, se realizará el estudio de la línea base en donde se encuentran hoy en día los equipos de la superintendencia de mantenimiento mina, a través de sus principales indicadores de desempeño, y el cálculo de la capacidad máxima de diseño que poseen, pero antes se señalará el método que se utilizará para medir ambos ámbitos y la base de la fuente de información.

3.2.1. Eficiencia global de los equipos (OEE)

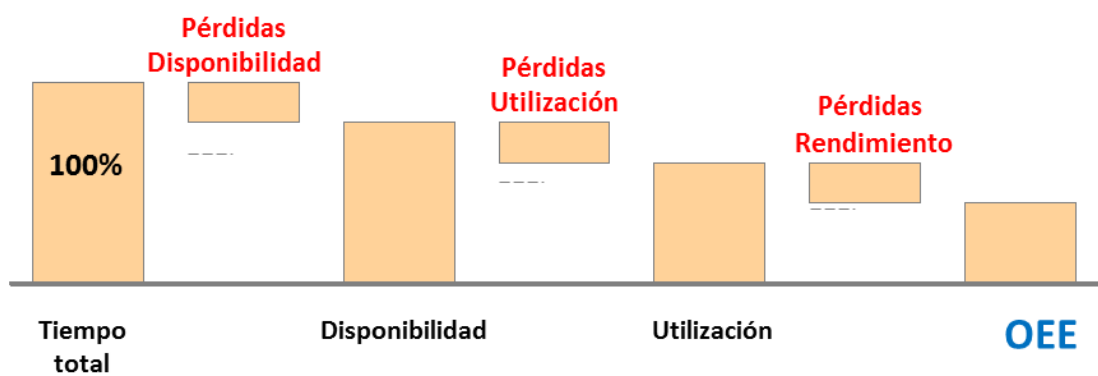
El diagnóstico en cada área se realiza mediante el levantamiento de la capacidad de diseño de los procesos o equipos y se contrasta con la capacidad actual que esta entregando el mismo. Para esto se debe utilizar un indicador que pueda relacionar la producción real obtenida y la producción máxima teórica, por lo que se usará el método de la eficiencia general de los equipos OEE (Overall Equipment Efficiency).

El OEE de un equipo logra medir en un solo número los tres parámetros que inciden sobre la producción en las industrias: disponibilidad, utilización y rendimiento y así saber las pérdidas que se originan para saber de dónde se encuentra la pérdida más grande. A continuación, se definen los tres indicadores que mide el OEE:

- Disponibilidad: La disponibilidad se asocia una pérdida de cierto tiempo cuando los equipos se encuentran detenido y no disponibles, ya sea por detenciones no programadas (mantenimiento correctivo por falla) o detenciones programadas debido a mantenimientos correctivos, predictivos o sintomáticos planificados.
- Utilización: Las pérdidas por utilización se define como la pérdida que se genera cuando el equipo está disponible pero no esta siendo utilizado, esto debido a factores oepracionales como no tener operador (reserva) o exceso de equipos.
- Rendimiento: Las pérdidas por rendimiento se manifiestan cuando el equipo esta disponible y también se encuentra en estado de utilizado, pero el equipo no logra su capacidad total, como por ejemplo llenar el balde de una pala a la mitad de su capacidad.

La evaluación de la calidad del proceso basado en el metodo del OEE ha sido implementada en una gran variedad de industrial de modo satisfactorio, ya que los ratios del OEE ayudan a la identificación sistemáticamente de los potenciales de optimización de los principales indicadores productivos.

A continuación, en la figura 3-1 se muestra el metodo de medición del OEE.



Fuente: capacitación McKinsey

Figura 3-1. Método de medición del OEE

3.2.2. Fuente de información JIG SAW

La plataforma Jig Saw es un servicio que brinda la empresa Leica Geosystems, antes conocida como Wild Heerbugg, compañía suiza que produce diversos productos y sistema para agrimensura y geomántica. En DRT JigSaw es quien entrega la base de datos relacionado con los estados de los equipos, así como también datos de producción, carguío y transporte. Esta plataforma es de vital importancia, ya que es de ella donde salen todos los datos de los procesos, y con ellos se realizará el diagnostico de los equipos.

3.2.3. Cálculo del OEE actual de los equipos de la superintendencia de mantenimiento mina

A continuación, se entrega información sobre las disponibilidades del año 2015 completo de los equipos, tanto por tipos de equipos, como por flota de la superintendencia de mantenimiento mina (sólo la dotación propia ya que no se incluirán los equipos de respaldo de las empresas). Esta información será sacada de la base de datos del sistema JigSaw que posee hoy en día la división Radomiro Tomic.

3.2.3.1. Disponibilidades y OEE 2015 de las flotas de camiones de extracción en DRT

En las tablas 3-1, 3-2 y 3-3, respectivamente, se exhiben las disponibilidades detalladas de la flota de Caex Komatsu, Liebherr y su total como flota de camiones que asciende a una perdida en disponibilidad del 23.55% entre ambas.

Tabla 3-1. Disponibilidad de 2015 de la flota de CAEX Komatsu

FLOTAS KOMATSU (KOM930E , KOM930EN, KOM930ER,KOM930E-4SE)									
FLOTA KOMATSU	HORAS							Total	Disp %
	Efectivo	Mantención	Mecánica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl		
Kom.930E (11)	7316.08	1374.58	3930.97	2923.51	52.19	1835.61	16.36	20691	71.0
Kom.930E-4SE (34)	163866.93	7590.32	20113.78	3983.57	894.64	6448.07	392.69	250137	84.9
Kom.930EN (9)	45833.41	3427.27	8428.07	3157.67	297.54	2384.96	141.28	78708	77.3
Kom.930ER (21)	109629.97	7255.46	18205.58	7501.07	766.89	4570.31	650.50	183655	78.8
TOTALES (75)	326646.40	19647.63	50678.40	17565.83	2011.27	15238.96	1200.83	533192	78

Fuente: Base de datos JigSaw de DRT

Tabla 3-2. Disponibilidad de 2015 de la flota de CAEX Liebherr

FLOTA LIEBHERR P1 (Lieb-T282B, Lieb-T282C,Lieb-T282C1,Lieb-T282C1)									
FLOTA LIEBHERR	HORAS								Disp %
	Efectivo	Mantención	Mecánica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl	Total	
Lieb-T282B (16)	72657.31	3673.52	18770.34	7696.88	875.14	8180.44	460.10	139912	72.6
Lieb-T282C1 (11)	56116.03	2585.12	10634.76	4288.91	523.65	3375.93	308.25	96190	77.1
TOTALES (27)	128773.34	6258.64	29405.10	11985.79	1398.79	11556.37	768.36	236102	74.9

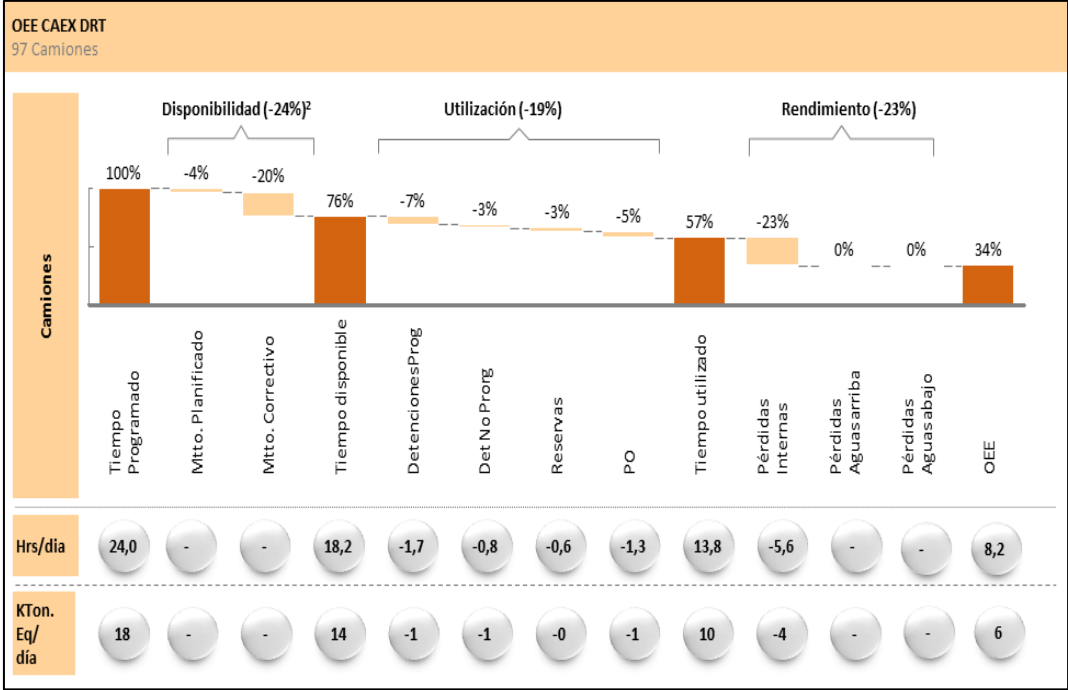
Fuente: Base de datos JigSaw de DRT

Tabla 3-3. Disponibilidad de 2015 de la flota total de CAEX en DRT

TOTALES FLOTA PROPIA (KOMATSU - LIEBHERR)									
FLOTA PROPIA	HORAS								Disp %
	Efectivo	Mantención	Mecánica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl	Total	
TOTALES (102)	455419.74	25906.27	80083.50	29551.63	3410.06	26795.33	1969.19	769294	76.45

Fuente: Base de datos JigSaw de DRT

A continuación, en el gráfico 3-1, se presenta el OEE actual de los Caex de DRT, considerando las pérdidas por disponibilidad, utilización y rendimiento. Si bien este trabajo se centra en la superintendencia de mantenimiento, quienes están a cargo de entregar la mayor disponibilidad posible de los equipos, para este trabajo se considera el OEE, el cual involucra otros indicadores globales, entre los que forma parte la disponibilidad.



Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Grafico 3-1. OEE 2015 de los CAEX de la DRT

3.2.3.2. Disponibilidades y OEE 2015 de flota de palas y cargadores en DRT

En las tablas 3-4 y 3-5, se evidencia las disponibilidades detalladas de la flota de las palas eléctricas e hidráulicas de DRT y también de sus cargadores frontales mostrando su total como flotas que asciende a una pérdida en disponibilidad del 23.8% en ese mes

Tabla 3-4. Disponibilidad 2015 de la flota de palas de DRT

FLOTA	HORAS							Total	Disp %
	Efectivo	Mantención	Mecanica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl		
CAT 6060-BH (1)	357.92	57.33	106.90	2.84	0.08	9.05	10.53	1327	85.8
KOM PC-8000 (1)	2823.60	1240.10	1758.25	259.68	25.96	10.00	1.68	8732	62.3
O&K RH-200 (1)	2444.73	1051.04	1285.63	56.61	188.24	221.70	17.23	8727	67.7
PH4100XPA (3)	8847.57	1757.39	2654.85	2688.83	1.08	336.72	185.01	25662	70.3
PH4100XPB (3)	9881.10	1613.76	1828.63	1253.43	1.63	205.26	212.18	26228	80.5

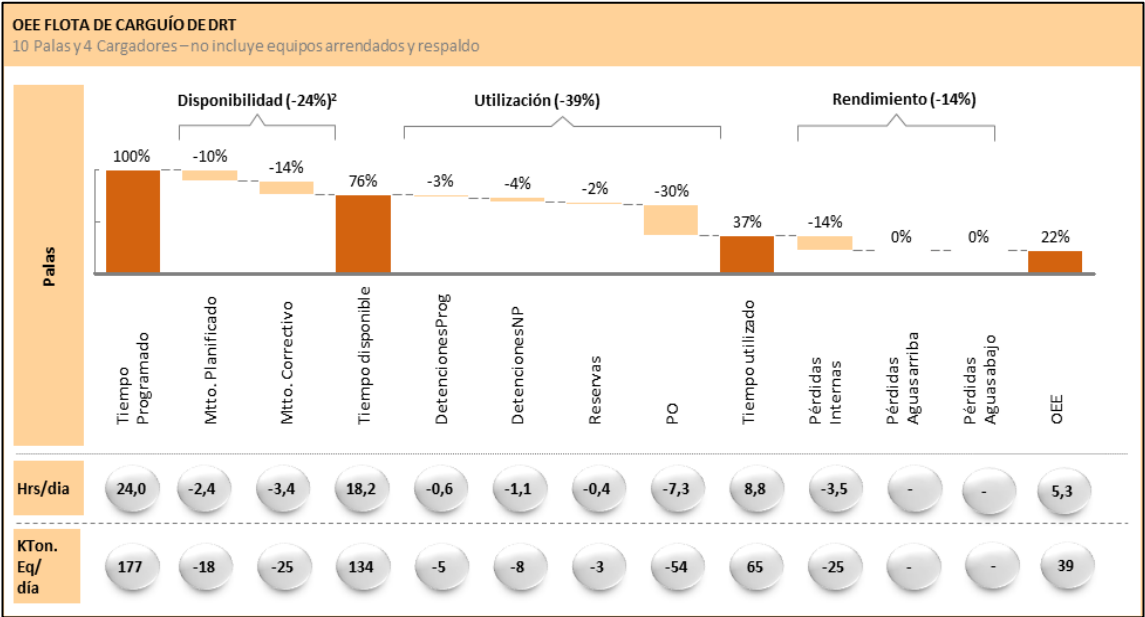
Fuente: Datos JigSaw de la DRT

Tabla 3-5. Disponibilidad de 2015 de la flota de cargadores de DRT

FLOTAS CARGADORES P1 LE TOURNEAU L'1850 - L'2350									
HORAS									
FLOTA	Efectivo	Mantencción	Mecanica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl	Total	Disp
CF-ELEC-L1400 (1)				295.28		445.25		744	00.5
CF-ELEC-L1850B (2)	3916.89	2149.52	4940.52	349.07	95.79	203.67	10.64	17496	55.7
CF-ELEC-L2350 (2)	4995.17	890.65	4011.16	405.61	64.03	282.22	1.60	17491	67.7
TOTALES (5)	8912.06	3040.17	8951.68	1049.95	159.82	931.14	12.24	35731	60.4

Fuente: Base de datos JigSaw de DRT

A continuación, en el grafico 3-2, se puede observar los OEE de la flota de carguío de DRT, que está compuesta por palas y cargadores frontales.



Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Grafico 3-2. OEE 2015 de la flota de carguío de la DRT

3.2.3.3. Disponibilidades y OEE 2015 de flota de perforadoras en DRT

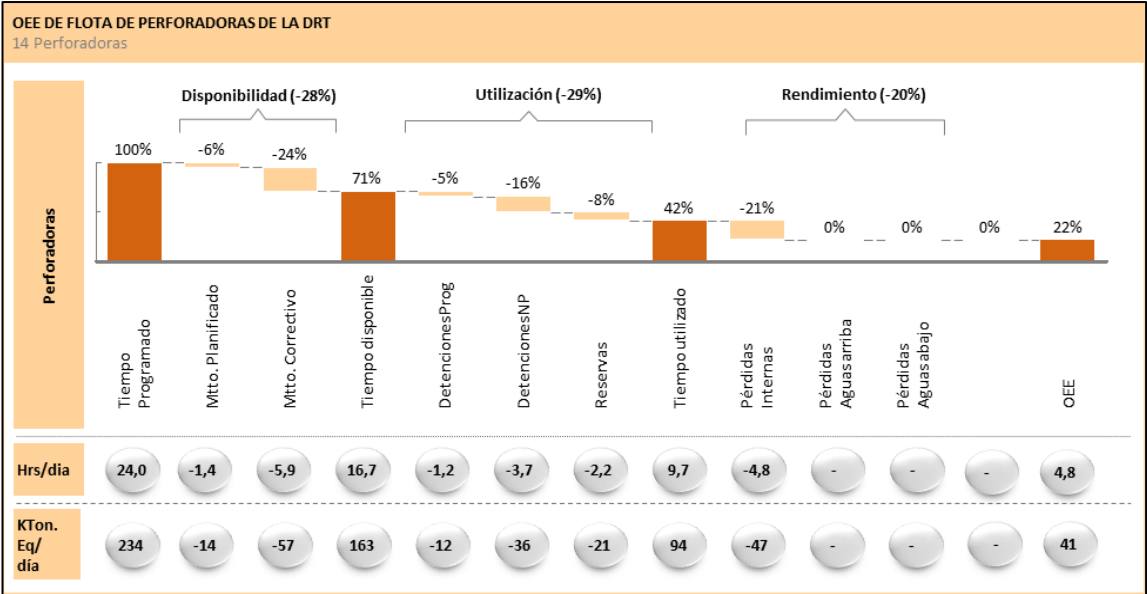
En las tablas 3-6, se puede apreciar las disponibilidades detalladas de la flota de perforadoras de la DRT, entre los periodos de marzo de 2015 a 2016

Tabla 3-6. Disponibilidad 2015 de la flota de perforadoras de DRT

PERFORADORAS P1									
FLOTA	HORAS							Total	Disp
	Efectivo	Mantenición	Mecanica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl		
PITVIPERFL1 (4)	14019.28	3158.26	7218.02	310.62	72.64	176.56	324.90	34857	67.7
DML (2)	7919.44	919.42	3416.43	20.04	0.01	74.28	27.15	17476	74.5
PITVIPERFL2 (3)	12336.04	1309.62	4378.13	403.98	62.76	22.74	259.38	26222	73.5
ROC-L8.M25 (4)	11273.21	1049.44	10686.64	95.18	3.03	147.35	16.56	34200	64.9
SMART-ROC (1)	169.82		2.85					204	78.6
TOTALES (14)	45717.79	6436.74	25702.07	829.82	138.43	420.92	627.99	112958	71.84

Fuente: Base de datos JigSaw de ala DRT

En breve, en el grafico 3-3 se mostrará el OEE 2015 de la flota de perforadoras de la división Radomiro Tomic.



Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Gráfico 3-3. OEE 2015 de la flota de perforadoras de la DRT

3.3. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LOS EQUIPOS DE LA DRT

A continuación, se realizarán los cálculos de las capacidades máximas de los equipos según su diseño y datos del fabricante para las flotas de perforadoras, los equipos

de carguío que incluyen palas eléctricas, hidráulicas y cargadores frontales, y también para la flota de transporte que la componen los camiones de extracción Komatsu y Liebherr. Este cálculo se hará sólo en base a equipos propios de la DRT y no incluirá equipos arrendados o equipos de respaldo de las empresas.

3.3.1. Cálculo de capacidad máxima de la flota de perforadoras de la DRT

Para el cálculo de la capacidad máxima teórica de las perforadoras en DRT, se considerarán los equipos que se encuentran operativos. La capacidad de diseño se calculará en base al número de perforadoras, la capacidad de diseño de las mallas de tronado, el rendimiento de las perforadoras y el largo de los pozos perforados.

En la tabla 3-7, se puede observar los datos bases para el cálculo de la capacidad máxima de las perforadoras, basado en manuales del fabricante.

Tabla 3-7. Datos para cálculo de capacidad máxima teórica de las perforadoras.

Equipos	Unidad (un)	Malla (m2)	Largo Pozo (m)	Densidad (ton/m3)	Rendimiento Diseño (m/hr)	Horas día (hrs)
Rock	4	30	15	2,3	55	24
DML	2	72	17	2,3	52	24
PitViper	7	121	17	2,0	58	24

Fuente: Información de manuales de fabricante Atlas Copco

Para saber la real capacidad de las perforadoras, se debe calcular el valor del tonelaje total tronado en un día que se mide en toneladas métricas al día (tm/día), para lo cual su fórmula es la siguiente:

$$\frac{Tm}{Día1} = N^{\circ} \text{ perfos} * \text{maya de tronado} * \text{densidad} * \text{Largo de pozos} * N^{\circ} \text{ pozos al día}$$

De los datos dados en la tabla 3-7, se puede sacar la gran mayoría de los datos para el cálculo de las toneladas métricas tronadas al día, faltando solo el cálculo de número de pozos al día, que viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Nº pozos al día} = \frac{\text{Rendimiento} * \text{Horas del día}}{\text{Largo de pozos}}$$

Reemplazando los valores de la tabla 3-7, en la fórmula 3-2 se calculará el número de pozos perforados al día., comenzando por las perforadoras Rock

$$\text{Nº pozos al día perforadros Roc} = \frac{55 \left(\frac{m}{hrs} \right) * 24 \text{ hrs}}{15 \text{ m}} = 88 \text{ Pozos al día}$$

$$\text{Nº pozos al día perforadros DML} = \frac{52 \left(\frac{m}{hrs} \right) * 24 \text{ hrs}}{17 \text{ m}} = 73,4 \text{ Pozos al día}$$

$$\text{Nº pozos al día perforadros Pit Viper} = \frac{58 \left(\frac{m}{hrs} \right) * 24 \text{ hrs}}{17 \text{ m}} = 81,8 \text{ Pozos al día}$$

Ahora que se tiene el número de pozos al día de cada modelo de perforadora, se calculará la cantidad de toneladas métricas por día de cada modelo comenzando por las perforadoras Smart Roc

$$\frac{Tm}{Día} \text{ Roc} = 4 * 30 (m^2) * 2,3 \left(\frac{ton}{m^3} \right) * 15 (m) * 88 = 367.356 \text{ Tonal día}$$

$$\frac{Tm}{Día} \text{ DML} = 2 * 72 (m^2) * 2,3 \left(\frac{ton}{m^3} \right) * 17 (m) * 73,4 = 414.773 \text{ Tonal día}$$

$$\frac{Tm}{Día} \text{ Pit Viper} = 7 * 121 (m^2) * 2,0 \left(\frac{ton}{m^3} \right) * 17 (m) * 81,8 = 2.355.676 \text{ Ton al día}$$

Por lo tanto, la máxima capacidad de la flota de perforadoras de la DRT será la suma de todas las perforadoras y sus modelos que se realiza a continuación.

$$\frac{Tm}{Día} \text{ Totales} = 367.356 \text{ Ton} + 414.773 \text{ Ton} + 2.355.676 \text{ Ton} = 3.137.805 \text{ Ton al día}$$

3.3.2. Cálculo de capacidad máxima de la flota de CAEX de la DRT

Para el cálculo de la capacidad máxima de los camiones de extracción, se deben considerar no sólo factores de diseño de los mismos, sino también factores operacionales que debieron ser tomados en terreno, ya que, el tiempo de carguío de los Caex, así como el de operación de ellos, es un factor humano y que puede variar según la persona o los procedimientos de trabajo.

Cabe mencionar, que al igual que en el caso de las perforadoras, estos cálculos se realizarán en base a unos ideales, donde las pérdidas por disponibilidad, utilización y/o rendimiento tienden a cero.

En la siguiente tabla 3-8, se exhiben los datos de capacidad de carga de los Caex Komatsu y Liebherr

Tabla 3-8. Capacidad máxima de carga de los CAEX Komatsu y Liebherr

	Liebherr	Komatsu
Número de Caex	30	65
Toneladas métricas	360	303
Factor llenado	98,0%	98,0%
Toneladas métricas	353	297

Fuente: Elaboración propia con datos de informe de gestión de la SMM

3.3.2.1. Tiempo de ciclo

Para continuar con el cálculo de la capacidad máxima de los equipos de transporte de la DRT, se presentarán los datos para el cálculo del tiempo que tarda un Caex, cualquiera sea su marca, en transportarse desde la pala o el cargador frontal, al chancado y viceversa, desde el chancado hacia la pala o el cargador. Se darán a conocer los datos de distancia media que posee hoy la estructura de la mina, sus velocidades máximas que pueden alcanzar por tramo, ya sea en subida, bajada o en plano.

En la tabla 3-9, que se encuentra a continuación, se mostrarán las distancias promedio y la velocidad máxima por tramo, para efectos del cálculo del tiempo.

Tabla 3-9. Datos de distancia media de la mina y velocidad máxima de los Caex

Tramo	Ítems	Km	Velocidad máxima permitida
Subiendo Cargado	ida	2,7	15,0
Horizontal Cargado	ida	2,5	50,0
Bajando Cargado	ida	0,0	20,0
Subiendo Vacío	Regreso	0,0	40,0
Horizontal Vacío	Regreso	2,7	60,0
Bajando Vacío	Regreso	2,5	35,0

Fuente: Elaboración propia con datos de fabricante y data de geología

Cabe mencionar, que los tramos en que el Caex baja cargado y sube vacío, están en cero debido a que, por el diseño de la mina, los Caex no tienen la oportunidad de realizar esos tramos en esas condiciones, ya que desde la pala suben al chancado desde el fondo mina, por lo que regresan vacíos y viceversa.

Para continuar, con los datos obtenidos de la tabla 3-9, se calculará el tiempo que demoran los CAEX en los tramos descrito en la tabla. Teniendo los datos de distancia y velocidad se puede calcular el tiempo a través de la siguiente formula:

$$T = \frac{D}{V}$$

Ahora se efectuarán los cálculos de los tramos descritos en la tabla 3-9.

$$Tiempo\ subiendo\ cargado = \frac{2,7\ km}{15\ km/hr} = 0,18\ Hrs$$

$$Tiempo\ en\ horizontal\ cargado = \frac{2,5\ km}{50\ km/hr} = 0,05\ Hrs$$

$$Tiempo\ en\ horizontal\ vacío = \frac{2,7\ km}{60\ km/hr} = 0,05\ Hrs$$

$$Tiempo\ bajando\ vacío = \frac{2,5\ km}{35\ \frac{km}{hr}} = 0,07\ Hrs$$

Por lo tanto, el tiempo total de ciclo será la suma de todo esto tiempos, que se realizará a continuación:

$$\begin{aligned}
 Tiempo\ total\ de\ ciclo &= 0,18\ Hrs + 0,05\ Hrs + 0,05\ hrs + 0,07\ hrs \\
 &= \mathbf{0,35\ hrs\ o\ 21\ minutos}
 \end{aligned}$$

3.3.2.2. Tiempo de carguío y tiempo total del proceso de transporte

Los cálculos de tiempo de carguío se reflejarán en la siguiente tabla 3-10, la cual tiene incluida los tiempos de carga, descarga, aculatamiento y acomodo de los Caex en los distintos equipos de carguío que posee la DRT. Estos tiempos fueron tomados en terreno, para lo cual se consideró el mejor tiempo realizado por operadores de la DRT.

Tabla 3-10. Tiempos del proceso de carguío de los Caex y tiempo total del proceso de transporte

Actividad	Unidad	Palas eléctricas promedio	Palas Hidráulicas promedio	Cargador frontal promedio	Tiempo promedio total
Tiempo Descarga	Minutos	1	1	1	1
Tiempo Carga	Minutos	2,3	3,6	4,3	3,4
Tiempo Aculatamiento	Minutos	0,5	0,5	0,5	0,5
Tiempo Acomodo	Minutos	0,35	0,35	0,35	0,4
Tiempo Interferencia	Minutos	0	0	0	0,0
Tiempo Espera	Minutos	0	0	0	0,0
Tiempo Demoras Prog.	Minutos	0	0	0	0,0
Tiempo Total Carguío	Minutos	4,15	5,46	6,15	5,3
Total tiempo de ciclo	Minutos	20,8	20,8	20,8	20,8
Total Tiempo Ciclo y Tiempo Carguío	Minutos	24,9	26,3	26,9	26,0

Fuente: Elaboración propia con data tomada en terreno de la DRT

De la tabla 3-10, se puede concluir que el tiempo total promedio del proceso de transporte de la DRT es de 26 minutos en condiciones ideales, sin interferencias, perdidas por disponibilidad, utilización y/o rendimiento. El dato siguiente será de gran utilidad para calcular las vueltas por día que puede dar un Caex, lo cual se realiza en la siguiente fórmula:

$$\text{Número de vueltas en un día} = \frac{\text{Total minutos del día}}{\text{Total minutos del ciclo de transporte}}$$

Reemplazando en la formula anterior, se obtiene que:

$$\text{Número de vueltas en un día} = \frac{1440 \text{ min}}{26 \text{ min}} = \mathbf{55,3 \text{ vueltas al día}}$$

Una vez obtenido el número de vueltas que puede dar un Caex en la mina de la DRT, se puede estimar la capacidad de transporte que poseen los Caex. A continuación, se realizará el cálculo de las toneladas/día que pueden transportar los Caex de la flota Liebherr, a través de la siguiente formula:

$$\text{Ton. trans. día f. Liebherr} = N^{\circ} \text{ de caex} * \text{Vueltas al día} * \text{capacidad de carga}$$

Por lo tanto, las toneladas transportadas al día por la flota Liebherr es de;

$$\text{Ton. transportadas día f. Liebherr} = 30 * 55,3 * 360 \text{ ton} = 597.240 \text{ Ton al día}$$

Para efectos de cálculo de las toneladas/día que puede transportar la flota Komatsu, se utilizará la misma fórmula;

$$\text{Ton. transportadas día f. Komatsu} = 65 * 55,3 * 303 \text{ ton} = 1.089.133 \text{ Ton al día}$$

Para concluir el cálculo de la capacidad máxima teórica que pueden transportar los Caex de la DRT, se sumará las toneladas transportadas por ambas flotas

$$\text{Total toneladas día} = 597.240 \text{ Ton} + 1.089.133 \text{ Ton} = 1.686.373 \text{ Toneladas día}$$

3.3.3. Cálculo de la capacidad máxima de la flota de carguío de la DRT

Para el cálculo de la capacidad máxima de carguío, al igual que en el caso de los Caex, se considerarán los factores de diseño de las palas y los cargadores y también los factores operacionales, considerando los mejores tiempos tomados en terreno del factor humano al cargar los Caex. También para el caso del cálculo del carguío se considerarán condiciones ideales de trabajo, sin pérdidas ni interferencias.

A continuación, en la tabla 3-11, se muestran los datos de la capacidad de carga de las palas y cargadores de la DRT.

Tabla 3-11. Capacidad de carga de palas y cargadores de la DRT

Ítems	Palas Eléctricas			Palas Hidráulica s	Cargadore s Frontales
	4100 XPC	4100 XPB	4100 A		
Capacidad de carga en yd3	73,0	73,0	56,0	46,0	42,0
Capacidad de carga en m3	55,8	55,8	42,8	35,2	32,1
Capacidad de carga Ton Met.	107	107	82,1	67,4	61,5

Fuente: Elaboración propia con datos de informe de gestión de la SMM

Con los datos técnicos de la real capacidad de carguío de los equipos obtenidos de los fabricantes, ahora se dará a conocer los datos operacionales tomados en terreno con los factores de tiempo que tardan los operadores de palas y cargadores

En la tabla 3-12, se muestran los ítems a los que se les ha tomado el tiempo en el proceso de carguío.

Tabla 3-12. Tiempos de carguío

Ítems	Palas Eléctricas			Palas Hidráulicas	Cargadores Frontales
	4100 XPC	4100 XPB	4100 A		
Cantidad	3	3	2	2	4
Tiempo de Giro en min	0,24	0,27	0,28	0,28	0,35
Tiempo de Carga Balde en min	0,24	0,27	0,28	0,3	0,32
Tiempo de Descarga en min	0,08	0,09	0,09	0,1	0,14
Tiempo total de pase	0,56	0,63	0,65	0,68	0,81
Nº de Pases	3,3	3,3	4,3	5,3	5,3
Tiempo total de carguío en min	1,8	2,1	2,8	3,6	4,3

Fuente: Elaboración propia con datos de informe de gestión SMM

Una vez teniendo los datos técnicos y los datos de tiempos de los procesos de carguío, se puede proceder a calcular el número de Caex que se puede cargar al día y posteriormente calcular el rendimiento de la flota medido en toneladas métricas al día.

En breve, se procederá a realizar el cálculo del número de Caex que puede cargarse diariamente a través de la siguiente formula:

$$Caex\ cargados\ al\ día = \frac{Minutos\ del\ día}{Minutos\ totales\ de\ carguío} * número\ de\ palas$$

Para las palas los Caex cargados al día serán;

$$Caex \text{ cargados al día por } 4100 \text{ XPC} = \frac{1440 \text{ min}}{1,86 \text{ min}} * 3 = 2.326 \text{ Caex al día}$$

$$Caex \text{ cargados al día por } 4100 \text{ XPB} = \frac{1440 \text{ min}}{2,09 \text{ min}} * 3 = 2.068 \text{ Caex al día}$$

$$Caex \text{ cargados al día por } 4100 \text{ A} = \frac{1440 \text{ min}}{2,81 \text{ min}} * 2 = 1.026 \text{ Caex al día}$$

$$Caex \text{ cargados al día por palas Hidráulicas} = \frac{1440 \text{ min}}{3,61 \text{ min}} * 2 = 797 \text{ Caex al día}$$

Para el caso de los cargadores frontales, los Caex diarios cargados serán:

$$Caex \text{ cargados al día por C.F.} = \frac{1440 \text{ min}}{4,31 \text{ min}} * 4 = 1.337 \text{ Caex al día}$$

Para finalizar el cálculo de la capacidad máxima de diseño de los Caex, se calculará el rendimiento de los equipos de carguío, en toneladas métricas al día. Para esto se usará un factor de carga de los Caex de 321 Ton ya que es el promedio entre el factor de carga de los CAEX Komatsu y Liebherr y el porcentaje equivalente al número de Caex.

La fórmula para el cálculo del rendimiento será la siguiente:

$$Rendimiento \left(\frac{Ton}{día} \right) = \text{Factor de carga promedio} * N^{\circ} \text{Caex cargados al día}$$

Por lo tanto, el rendimiento será el siguiente:

$$Rendimiento \text{ palas } 4100 \text{ XPC} \left(\frac{Ton}{día} \right) = 321 * 2.326 = 746.646 \text{ Ton/día}$$

$$Rendimiento \text{ palas } 4100 \text{ XPB} \left(\frac{Ton}{día} \right) = 321 * 2.068 = 663.828 \text{ Ton/día}$$

$$Rendimiento \text{ palas } 4100 \text{ A} \left(\frac{Ton}{día} \right) = 321 * 1.026 = 329.346 \text{ Ton/día}$$

$$Rendimiento \text{ palas Hidráulicas} \left(\frac{Ton}{día} \right) = 321 * 797 = 255.837 \text{ Ton/día}$$

$$\text{Rendimiento C.F.} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right) = 321 * 1.337 = 429.177 \text{ Ton/día}$$

En conclusión, el rendimiento total que poseen los equipos de carguío de la DRT será la suma del rendimiento de cada flota. El rendimiento total será el siguiente;

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento total} &= 746.646 + 663.828 + 329.346 + 255.837 + 429.177 \\ &= 2.424.834 \text{ Ton/día} \end{aligned}$$

3.4. DISEÑO DEL ESTADO FUTURO

En la etapa de diseño del estado futuro se definición de un objetivo común como mina y que se acuerda entre todas las áreas en conjunto en un taller aspiracional.

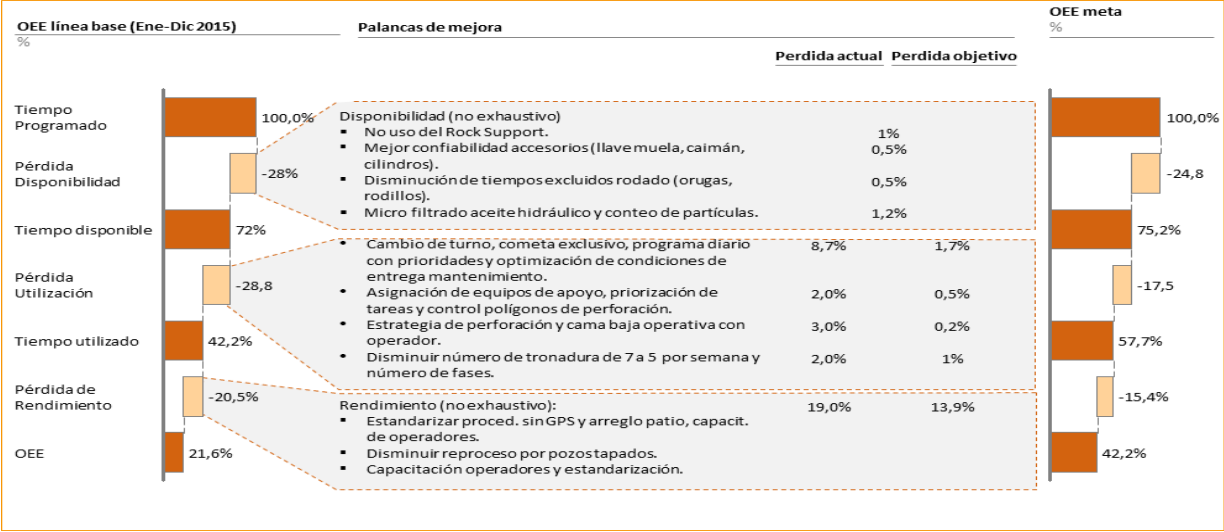
El taller aspiracional, consiste en una actividad extraordinaria, en donde se reúnen los líderes de todas las áreas que componen la mina, y cada área en particular se fija una meta interna para así, que ayudará al cumplimiento de del objetivo común.

3.4.1. Aspiración de la flota de perforadoras de la DRT

Como se mencionó anteriormente, todas las áreas contribuyen y se fijan metas para mejorar ya sea disponibilidad, utilización o rendimiento, y así aumentar el OEE

En el área de mantenimiento mina, la aspiración pretende aumentar el OEE actual de las perforadoras de la DRT en un 3,2% a través de cuatro palancas.

En el gráfico 3-4 se puede apreciar el OEE actual de las perforadoras de la DRT y el OEE futuro que se pretende alcanzar con las palancas propuestas por las distintas áreas, que pasa de un 22% a un 42%.



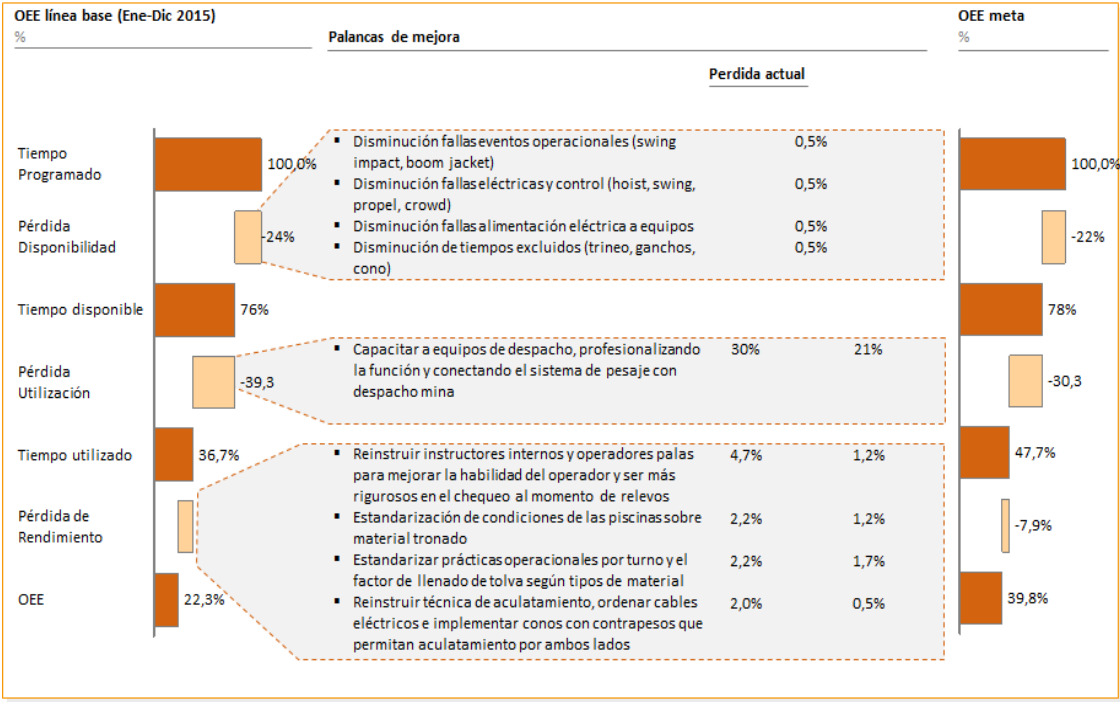
Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Gráfico 3-4. OEE del estado futuro de las perforadoras de la DRT

3.4.2. Aspiración de la flota de equipos de carguío de la DRT

Para el diseño del estado futuro de los equipos de carguío de la DRT al igual que en el caso anterior, se considerarán las propuestas de todas las áreas relacionadas con los indicadores que componen el OEE. En el caso del área de mantenimiento mina, se centrarán los esfuerzos en los equipos de palas, pretendiendo aumentar el OEE actual de los equipos de carguío en un 2%, pasando de un 24% a un 22% en pérdidas por utilización de los equipos.

A continuación, en el gráfico 3-5, se pueden observar las palancas propuestas por las áreas y el OEE actual versus el OEE del estado futuro que se pretende alcanzar, que va desde un 22% a un total de 40% aproximadamente, con un enfoque desde el área de mantenimiento mina en las fallas eléctricas de las palas.

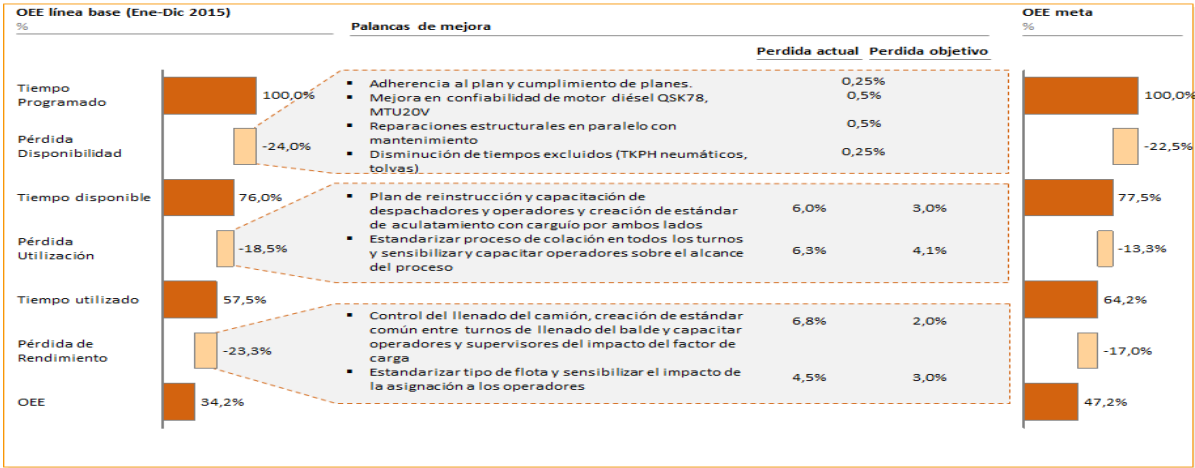


Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Gráfico 3-5. OEE del estado futuro de los equipos de carguío de la DRT

3.4.3. Aspiración de la flota de equipos de transporte de la DRT

Para el caso del estado futuro de los equipos de transporte de la DRT específicamente hablando de los camiones de extracción, se estima pasar de un OEE de 34,2% a 47,2%, que se muestra a continuación en el gráfico 3-6.



Fuente: Elaboración McKinsey con equipo Lean DRT con base de datos JigSaw

Gráfico 3-6. OEE del estado futuro de los equipos de transporte de la DRT.

3.5. IMPLEMENTACIÓN

La etapa de implementación sucede una vez capacitados los equipos de todas las áreas por los agentes de cambio. Consiste en llevar a cabo y ejecutar las herramientas del sistema de gestión Lean, comenzando por los diálogos de desempeño.

3.5.1. Diálogos de desempeño de la SMM

Como se mencionó anteriormente, los diálogos de desempeño requieren principalmente de un momento a la semana o al día por parte de los participantes, pero también de un tablero visual que muestre los principales KPI de la SMM.

En este caso, la SMM, los diálogos de desempeño se desarrollarán de manera diaria y semanal. En el caso del dialogo diario se tratará más de un dialogo informativo sobre el indicador de disponibilidad del día anterior y para revisar los requerimientos del día. El dialogo semanal será el dialogo donde se revisarán los KPI más relevantes, indicado brechas y adquiriendo compromisos para el siguiente dialogo

A continuación, en las figuras 3-2 y 3-3 respectivamente, se mostrarán los tableros de los diálogos de desempeño diario y semanal de la SMM.

Tablero de desempeño SMM – Ing. Experto

Fecha



FLOTAS	Disponibilidad
CAEX Komatsu RT	
CAEX Komatsu SE	
CAEX Liebherr 282B	
CAEX Liebherr 282C	
Flota CAEX	
Palas XPA	
Palas XPB	
Palas XPC	
Total Palas de Cables	
Palas Hidráulicas	
Cargadores 1850	
Cargadores 2350	
Total Cargadores	
Pit Viper	
DML	
Rock	
Total Perforadoras	
Bulldozers	
Motos	
Wheeldozers	
Aljibes	
Excavadoras	
Total Equipos de apoyo	

Tablero de compromisos diarios SMM

	QUE	QUIEN	CUANDO
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Requerimientos

Grúas

Cama Baja

Alza Tolvas

Fuente: Equipo Lean de la DRT

Figura 3-2. Tablero de dialogo de desempeño diario de la SMM

KPI's GLOBALES				KPI's ESPECIFICOS			
18 de Junio al 24 de Julio de 2016				18 de Junio al 24 de Julio de 2016			
Pala Cables	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: Mesl	Completio	Pala Cables	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
Pala IPA	88.9	65.0	95.2%	Pala IPA	1.5	1.0	66.7%
Pala IPB	65.5	71.0	92%	Pala IPB	3.0	1.0	33.3%
Pala IPC	78.4	65.0	107.5%	Pala IPC	1.5	1.0	62.5%
Total Jala Cable	71.4	72.3	101.5%	Total Jala Cable	2.1	1.5	71.4%
Cargadores	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: %	Completio	Cargadores	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
Cargadores 160	67.8	63.0	106.2%	Cargadores 160	8.9	5.0	56.2%
Cargadores 200	63.7	70.0	91%	Cargadores 200	4.1	5.0	122.0%
Total Cargadores	66.4	66.5	99%	Total Cargadores	6.5	6.0	92.3%
Pala Hóvilas	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: %	Completio	Pala Hóvilas	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
208				208	3.0	3.0	100.0%
280	75.2	57.0	131.2%	280	1.5	3.0	107.5%
Pala Hóvilas	75.2	57.0	131.2%	Pala Hóvilas	1.5	3.0	107.5%
Peladoras	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: %	Completio	Peladoras	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
Pil Viper	86.3	70.0	110.2%	Pil Viper	2.0	3.0	150.0%
DAL	84.6	77.0	109.2%	DAL	2.5	3.0	114.4%
Rock	75.7	60.0	111.2%	Rock	12.4	2.0	16.1%
Total Peladoras	81.9	73.9	110.2%	Total Peladoras	5.5	2.7	48.2%
CAEX	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: %	Completio	CAEX	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
CAEX Komatsu RT	78.4	79.1	101.6%	CAEX Komatsu RT	6.3	4.0	63.5%
CAEX Komatsu SE	86.0	79.1	108.7%	CAEX Komatsu SE	3.9	4.0	102.5%
CAEX Liebherr B	81.4	74.0	110%	CAEX Liebherr B	4.2	6.0	142.5%
CAEX Liebherr C	77.5	74.0	104.7%	CAEX Liebherr C	3.5	6.0	166.7%
Foca CAEX	82.8	79.1	103.2%	Foca CAEX	4.3	4.2	97.1%
Equipos de apgo	Dop Fisica Real: %	Dop Fisica Prog: %	Completio	Equipos de apgo	MTTR Real	MTTR Meta	% Compl
Buldozers	85.6	73.3	116.2%	Buldozers	10.0	12.0	120.0%
Motos	74.5	72.7	102.4%	Motos	31.6	33.0	104.4%
Volvozers	88.6	67.5	132.0%	Volvozers	5.5	14.0	250.0%
Apoges	77.2	70.0	99%	Apoges	7.7	11.0	142.9%
Foca Apogeo	81.7	72.9	112.2%	Foca Apogeo	13.1	15.8	126.0%

Fuente: Elaboración equipo Lean de la DRT

Figura 3-3. Tablero de dialogo de desempeño semanal de la SMM

Además de los tableros de KPI, también se cuenta con dos tableros que resume los compromisos semana a semana de los participantes y un tablero de evolución de metas que se muestran en el anexo 2.

De los diálogos de desempeño, se rescatan dos mejoras importantes mencionadas en ellos e implementadas por la SMM, las cuales son: la reposición y utilización del sistema de alza tolvas para realizar el cambio de las tolvas de los CAEX en un menor tiempo y así minimizar el uso de grúas. La segunda mejora importante extraída de los diálogos de desempeño, se refiere a la adquisición de más aros, posterior a un análisis SMED, para el armado de neumáticos de los CAEX y así agilizar el proceso de cambio de neumáticos.

3.5.1.1. Diálogos de desempeño de empresas colaboradoras

La implementación de los diálogos de desempeño y otras herramientas Lean, también se implementa a nivel de empresas colaboradoras, que en el caso de la superintendencia de mantenimiento mina son los contratos que administra. Al igual que en el caso de CODELCO, primero se debe capacitar al personal de las empresas para luego proceder al diseño de los tableros de desempeño para comenzar los DdD.

A continuación, en la figura 3-4, se muestra la capacitación en sistema de gestión Lean a la empresa del contrato Liebherr. (En el anexo 2 se adjuntan tableros)



Fuente: Fotografía propia tomada en dependencias de la DRT.

Figura 3-4. Capacitación en sistema de gestión Lean a empresa Liebherr

3.5.1.2. Mejora de alza tolvas

El sistema de alza tolvas consiste en una estructura ajustable de 4 columnas que son posicionadas para formar una zona de trabajo que permite el rápido montaje y desmontaje de una tolva. Esta operación se realiza con accionamiento, ya sea por control remoto inalámbrico o por el panel de control ubicado a un costado del equipo en uno de los pilares.

A continuación, en la figura 3-5, se muestra la estructura de alza tolvas de la DRT.



Fuente: Fotografía propia tomada en las dependencias de la DRT

Figura 3-5. Estructura de alza tolva de la DRT

3.5.1.3. Mejora de armado de neumáticos

La mejora de armado de neumáticos, se refiere al armado anterior de neumáticos a través de la compra de aros y otros elementos necesarios para armar neumáticos para que, de este modo, al llegar los CAEX a la loza de cambio de neumáticos, estos estén armados y listos para su instalación, reduciendo el tiempo de cambio o rotación de neumáticos de los CAEX y con eso aumentar la disponibilidad de los mismos.

En la figura 3-6, se evidencia el armado de neumáticos anterior a la llegada de un CAEX a la loza de cambio de neumáticos.



Fuente: Fotografía propia tomada en las dependencias de la DRT

Figura 3-6. Armado de neumáticos anterior a la llegada de un CAEX

Análisis SMED para cambio de neumáticos

Para comenzar el análisis SMED del cambio de neumáticos de los CAEX en la DRT, es necesario conocer los tipos de neumáticos que Codelco dispone, así como también sus características técnicas. La división Radomiro Tomic, cuenta con dos tipos de neumáticos para usarlos en sus CAEX de las distintas marcas, los cuales son de marca Bridgestone y Michelin.

Por parte de los neumáticos marca Bridgestone, la DRT utiliza las medias 53/80R63 para camiones Komatsu y 59/80R63 para los camiones Liebherr. Cabe mencionar que, en la DRT, los CAEX utilizan neumáticos del tipo 3A, la cual es una característica técnica de los neumáticos que hace mención a su alta resistencia a la temperatura.

Los neumáticos marca Michelin utilizados son del tipo 53/80R63 para camiones Komatsu del tipo E4, que hace alusión al TKPH (Toneladas Kilómetros por hora) que debe soportar el camión. Los neumáticos de esta marca, solo están montados en camiones de marca Komatsu, ya que no fabrican neumáticos para aros de dimensión 59, que son los que usa el camión marca Liebherr.

El análisis SMED comienza con la planificación de una visita a la empresa Otraco International, para realizar la grabación del cambio de neumáticos a un CAEX, la cual se ejecuta el día 29 de marzo de 2016 al CAEX 843, marca Liebherr por baja presión en la posición 5 de sus neumáticos.

A continuación, en la tabla 3-13 se muestra la distribución del tiempo de las tareas para realizar el cambio de neumático el día 29 de marzo.

Tabla 3-13. Distribución del tiempo para cambio de neumático de CAEX 843.

Hor a	Tarea	Observaciones	Tiempo [min]	Oportunidad de mejora
14:3 5	Llenado de ART, difusión de procedimiento y evaluación de ART		40	
15:1 5	Elevación de equipo	En paralelo se despresuriza el neumático a 10 psi.	5	
15:2 1	Llave de torque suelta las tuercas de sujeción		4,4	
	Llave de impacto termina de sacar las tuercas		4,5	

Tabla 3-13. Distribución del tiempo para cambio de neumático de CAEX 843.

Hor a	Tarea	Observaciones	Tiempo [min]	Oportunidad de mejora
	Mover equipo y herramientas		2	
	Apagar motor, poner cuñas, soltar 4 tuercas de seguridad		1	
	Sacar neumático en posición 3 y dejar en posición final.		1	
	Llave de torque suelta las tuercas de sujeción		6,5	
	Llave de impacto termina de sacar las tuercas		5	
	Se mueve el manipulador, se acerca apaga el motor y mecánicos sueltas las tuercas de seguridad		1,75	
15:5 5	Sacar neumático en posición 3 y dejar sobre plataforma en posición para desarmar.	Hay demora de 24 minutos en la extracción del neumático porque quedó una tuerca sin sacar	2 + 24	
	Mecánico desarma neumático para inversión (despresurización)		10	Este proceso se podría externalizar teniendo un neumático ya armado
16:3 2	Desarme de neumático		4,5	
	Armado de neumáticos		38	
	Posicionamiento del manipulador		2	
	Apagar motor, poner cuñas, soltar 4 tuercas de seguridad		2,25	
17:2 0	Instalar neumático pos. 5		2,75	
	Apagar motor, poner cuñas, apretar 4 tuercas de seguridad		2,25	
	Llave de impacto acerca tuercas a posición final		5,5	
	Llave de torque aprieta las tuercas de sujeción		8,5	
	Instalar neumático pos. 3		2	
	Apagar motor, poner cuñas y fijar 4 tuercas de seguridad		2	
	Llave de impacto acerca tuercas a posición final		5	
	Llave de torque aprieta las tuercas de sujeción		10	
18:1 0	Bajar camión a ras de suelo		3	

208,9 Minutos
3,48 Horas

Fuente: Elaboración propia con datos de análisis SMED

Según el diagnóstico SMED realizado, la principal palanca que retrasa el tiempo de cambio de neumáticos es que se realiza el armado de neumáticos una vez que el camión ha llegado a las instalaciones de Otraco y no antes. Se calcula que, si se tuviese el neumático armado una vez que llegue el camión, el tiempo de cambio de neumático disminuiría en 30 minutos, Esto significaría una reducción del 11% de tiempo por falla de neumático según Jigsaw y un 13,7% del tiempo total por falla de Otraco.

3.5.2. Resolución de problemas de la SMM

A lo largo de la implementación, la SMM ha participado en RDP's globales del área mina y ha tenido también RDP's internas como área. En breve, se presentan las RDP internas del área mantenimiento mina.

3.5.2.1. RDP de factor de carga

La resolución de problemas de Factor de Carga nace de la problemática que se vive en la DRT que afecta al carguío de los CAEX, los cuales están siendo cargados con toneladas que están por debajo de su máxima capacidad de diseño o carguío óptimo de estos, lo que provoca una pérdida importante en producción, ya que hoy en día, el promedio de carga de los CAEX Komatsu se encuentra en promedio en un valor de 267 toneladas entre ambas flotas, lo que significa una pérdida aproximada de al menos 40 toneladas por camión. A continuación, se describirán los pasos de la resolución de problemas de factor de carga.

El objetivo de esta resolución de problemas, es llevar el factor de carga a un rango que permita aumentar la producción diaria, sin sobrecargar los CAEX y que esto no afecte la vida útil de los mismos.

De la lluvia de ideas realizada, las principales causas que se desprenden, son la falta de un sistema de medición que informe el nivel de carga de los CAEX y que ayude a exponer la falta de carguío, ya que si bien, existe un panel lateral en los CAEX que informa las toneladas cargadas, no todos se encuentran bien calibrados. La otra causa principal es la no información o capacitación a los trabajadores sobre los niveles óptimos de carguío de los CAEX.

Para resolver dichos problemas, las principales soluciones son la instalación de una báscula o romana, que permita pesar los CAEX y saber las toneladas que transportan contrastando la información del panel del CAEX y la romana, así también como la densidad y el volumen de material que llevan. Para el problema de desinformación a los trabajadores, la solución se basa en crear un estándar de carguío que informe y de visión

a los operadores de palas y cargadores sobre el nivel óptimo al que deben cargar los equipos.

Este estándar tiene por objetivo ayudar a difundir los rangos óptimos de carguío de los CAEX de la DRT, enseñando cuantos pases debe realizar un equipo para completar el factor de llenado ideal y así maximizar la producción y no sobrecargar los equipos.

De la priorización de actividades, la principal actividad que se debe realizar es la habilitación de la romana, junto con el estándar de carguío y también un plan de mantenimiento para los paneles laterales de los CAEX.

3.5.2.2. RDP de rendimiento de palas

La resolución de problemas de rendimiento de palas tiene por objetivo aumentar el bajo rendimiento del carguío de las palas de cable de la DRT, ya que este factor influye directamente en la producción diaria de la mina.

Aunque este problema es más bien un factor operacional y no incide directamente sobre las actividades e indicadores de la SMM, de la lluvia de ideas sobre las causas que provocan el bajo rendimiento de las palas, es la imposibilidad de que los CAEX se aculaten a ambos lados de la pala para ser cargados, ya que en la DRT, por factores de seguridad, al momento de que la pala se encuentra en condiciones de carguío el CAEX éntrate solo se pre aculata a esta, lo que hace perder un tiempo aproximado de 1 minuto en el carguío, que si bien no es mucho el tiempo, este se eleva al considerar la cantidad de CAEX que posee la DRT y la cantidad cargados al día.

Para solución de este problema, se planteó la instalación de dos lanzas traseras en las palas de cable, las que den referencia a los operadores de CAEX del lugar exacto de posicionamiento y así no se corra el riesgo de impacto entre los CAEX y la pala.

De la priorización de actividades, entre las más relevantes se encuentra la instalación de las lanzas y conos traseros, en conjunto con un cambio de espejo retrovisor de los CAEX de las flotas más antiguas que faciliten el aculatamiento, todo esto es por parte del área de mantenimiento mina. Por parte del área de operaciones mina, la principal actividad es la de un plan de re instrucción y capacitación de operadores de los CAEX.

CAPITULO 4: IMPACTOS Y MEJORAS DE LA IMPELMENTACIÓN
DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

4. IMPACTOS Y MEJORAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN MANAGEMENT

4.1. RESULTADOS RDP DE FACTOR DE CARGA

La problemática de factor de carga, es un factor, valga la redundancia, muy delicado de abordar, ya que, si este no es acorde a las capacidades de diseño de los equipos, se pierde producción por cada CAEX o equipo de transporte de mineral mal cargado. Por otra parte, si los equipos de transporte de mineral son cargados de sobre manera o con una mala estivación de la carga, esta provoca no solo un daño estructural importante en los CAEX o equipos de transporte, sino también en otros factores como lo son daños en las tolvas o sobre temperatura de neumáticos, daños que, si se sopesan con el aumento de toneladas transportadas, no es rentable desde el punto de vista del mantenimiento y vida útil de los equipos. Es por esto que es de vital importancia capacitar y difundir en operadores el rango óptimo de carguío de los equipos.

4.1.1. Habilitación de romana para pesaje

La romana es un sistema que cuenta con una báscula de pesaje estática, en donde los CAEX, posterior a ser cargados, pueden ser pesados y medir una serie de indicadores claves para ayudar a levantar las problemáticas de factor de carga.

Para el pesaje de los CAEX, el procedimiento establece que una vez que la pala carga el CAEX, el área de despacho mina designará aleatoriamente el envío de los CAEX que deben dirigirse a romana antes de llegar a chancado o botaderos.

De la romana se desprende un archivo Excel, el cual posee la información sobre los CAEX pesados, la estimación de la carga en sus diferentes ejes, la carga total, la pala de donde viene, la densidad y el volumen del material y la diferencia porcentual que existe entre el pesaje de la romana con el panel lateral de los CAEX.

A continuación, en la figura 4-1, se muestra un CAEX Komatsu 824, modelo 930 E, pasando el eje delantero por la báscula de pesaje de la romana para posteriormente pasar por el escáner de lectura para la medición de la densidad y el cálculo del volumen del CAEX.



Fuente: Fotografía propia en dependencias de la DRT

Figura 4-1. CAEX Komatsu 824 pasando por romana de pesaje

4.1.2. Plan de mantenimiento de PLM de CAEX

Para solventar la correcta carga de los CAEX, el operador de los equipos de carguío debe tener una noción de cuál es la carga efectiva que se está cargando. Para ello, los CAEX cuentan con un panel lateral, como se mencionó anteriormente, el cual da directriz de cuanta es la carga aproximada que se está transportando.

Una de las mejoras implementadas para ayudar a la tarea anterior, fue la incorporación del mantenimiento de los PLM de los CAEX en las pautas de mantenimiento semanales, esto una vez que son pasador por romana para saber exactamente la desviación que existe entre el peso real y el marcado por el PLM.

4.1.3. Estándar de factor de carga

El estándar de factor de carga es una de las principales soluciones en base a la problemática de factor de carga, siendo priorizado por la matriz de esfuerzo-impacto de la RDP como bajo esfuerzo y alto impacto. Su principal objetivo es informar y difundir los rangos óptimos de carguío de los CAEX, informando en número de pases de balde con que los equipos alcanzan su capacidad óptima y también los rangos que están fuera del

A continuación, en la figura 4-2, se muestra el estándar de factor de carga difundido entre los operadores de equipos de carguío



ESTANDAR DE MATCH PALA-CAEX



CAEX KOMATSU 930-E & 930-SE (300 Toneladas Métricas)					
Subutilización	Permitido	Óptimo	Sobrecarga permisible 1 de cada 10 CAEX	Sobrecarga fuera del estándar Komatsu	
< 260	260-289	290-315	316-330	> 330	
CAEX LIEBHERR 282-B & 282-C (360 Toneladas Métricas)					
Subutilización	Permitido	Óptimo	Sobrecarga permisible 1 de cada 10 CAEX	Sobrecarga fuera de estándar Liebherr	
< 340	340-359	360-395	396-430	> 430	
Área	Objetivo del estándar		Responsable	Fecha Creación	Fecha Revisión
Gerencia Mina SOM	Guía para el correcto cargueo de CAEX, para dar cumplimiento a los factores de carga nominales de CAEX.		Aldo Jofre	Julio 2016	Julio 2016
Documentos adicionales	MODELO DE PALAS	N° INTERNO PALAS	CAEX-TOLVA	N° PASES PALAS	RENDIMIENTO ESPERADO
- Manual de Operación Pala 4100 XPC-C - Procedimiento de operación Palas - Procedimiento de operación CAEX	P&H	210	 TOLVA WE 8TECH 360 TM 221 M3 LIEBHERR	4	6.900 Ton/Hr.Efectiva
	4100 XPC-AC	211			
	75 yd3	214	 TOLVA WE 8TECH 300 TM 160 M3 KOMATSU	3	7.300 Ton/Hr.Efectiva
¿Quién ejecuta?	P&H	204	 TOLVA WE 8TECH 360 TM 221 M3 LIEBHERR	4	6.500 Ton/Hr.Efectiva
	4100 XPB	205			
	73 yd3	206	 TOLVA WE 8TECH 300 TM 160 M3 KOMATSU	3	6.800 Ton/Hr.Efectiva
¿Quién revisa estándar?	P&H	202	 TOLVA WE 8TECH 360 TM 221 M3 LIEBHERR	5	5.300 Ton/Hr.Efectiva
	4100 XPA				
	56 yd3	203	 TOLVA WE 8TECH 300 TM 160 M3 KOMATSU	4	5.400 Ton/Hr.Efectiva
¿Quién confirma estándar?	 L-2350 53 Yd3	714 715	LIEBHERR KOMATSU	5 4	4.100 4.200 Ton/Hr.Efectiva
	 L-1850 33 Yd3	708 710	KOMATSU	6	3.100 Ton/Hr.Efectiva

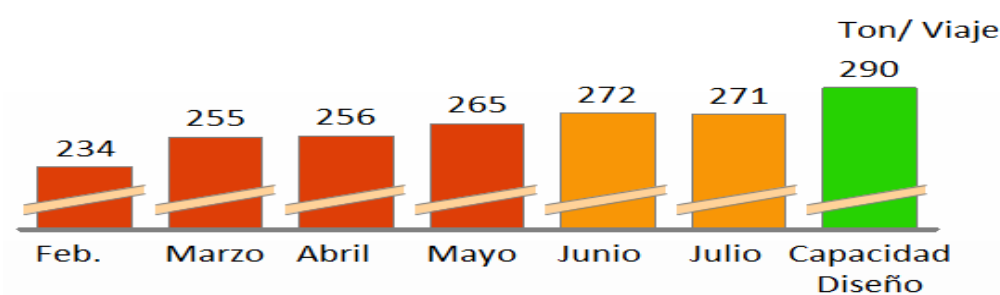
Figura 4-2. Estándar de factor de carga de la DRT

4.1.4. Resultados en factor de carga

Al comienzo de la implementación, el factor de carga promedio de los CAEX Komatsu y Liebherr se encontraba por el orden de las 267 Toneladas, lo que significativa una pérdida de 43 toneladas por CAEX en promedio

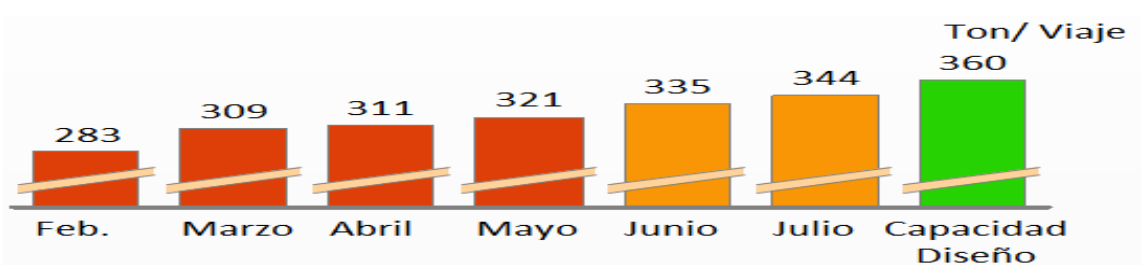
A través de los esfuerzos realizados por la instalación y puesta en marcha de la romana de pesaje, la calibración de pesómetros y el estándar de factor de carga, este ha logrado elevarse considerablemente, ya que al tener la referencia de un dato confiable como es el que entrega la romana, es posible re instruir a operadores de palas en el correcto uso y posicionamiento del balde, para lograr una estivación en la tolva del CAEX que le permita transportar la carga para la cual fue diseñado y así distribuir el peso de manera uniforme, evitando el sobrecalentamiento de los neumáticos delanteros.

A continuación, en el gráfico 4-1 y 4-2 respectivamente, se muestran las evoluciones de los factores de carga en los CAEX Komatsu y Liebherr entre los periodos de febrero a julio de 2016.



Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

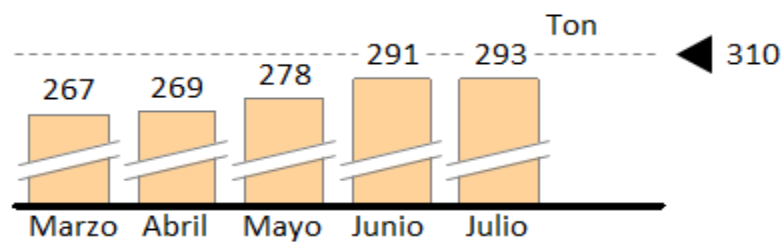
Grafico 4-1. Evolución del factor de carga de los CAEX Komatsu entre febrero a julio de 2016



Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Gráfico 4-2. Evolución de factor de carga de los CAEX Liebherr entre febrero a julio de 2016

En el gráfico 4-3 se muestra el factor de carga de ambas flotas de CAEX y la meta a alcanzar.



Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Gráfico 4-3. Evolución del factor de carga promedio por meses de amabas flotas de CAEX

El grafico anterior muestra la tendencia que ha tenido el factor de carga desde el mes de marzo, la cual es una tendencia positiva gracias a las mejoras implementadas, la cual se acerca cada vez más a la meta de 31 toneladas transportadas por viaje.

En la figura 4-3, se muestra la mejora gráfica del factor de carga en toneladas y estivación.



Fuente: Fotografía propia tomada en dependencias de la DRT

Figura 4-3 Antes y después de aplicada la mejora de factor de carga en CAEX

4.2. RESULTADOS DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS

La gestión de neumáticos es un punto de vital importancia dentro de la agenda de reducción de costos y producción, ya que su elevado valor y su criticidad lo hacen imprescindible para el funcionamiento de los CAEX y por lo tanto para el transporte de mineral. Las mejoras por parte de la gestión de neumáticos vienen acompañadas de tres puntos fundamentales, que son la compra de aros para el armado de neumáticos anterior a la llegada del CAEX, la creación de un comité de neumáticos y las mejoras presentes en el plan de mantenimiento de vías de la mina.

4.2.1. Compra de aros de neumáticos

La compra de nuevos aros para el previo armado de neumáticos a la llegada de los CAEX a la loza de cambio de neumáticos, ha tenido un impacto significativo en las horas de detención de los CAEX por mantenimiento programado y/o imprevisto de los mismos. La estrategia de armado previo de neumáticos contempla el armado de 6 neumáticos que deben estar listos para la entrada del turno siguiente, de este modo, el turno entrante ya cuenta con una dotación de neumáticos listos para ser rotados o instalados

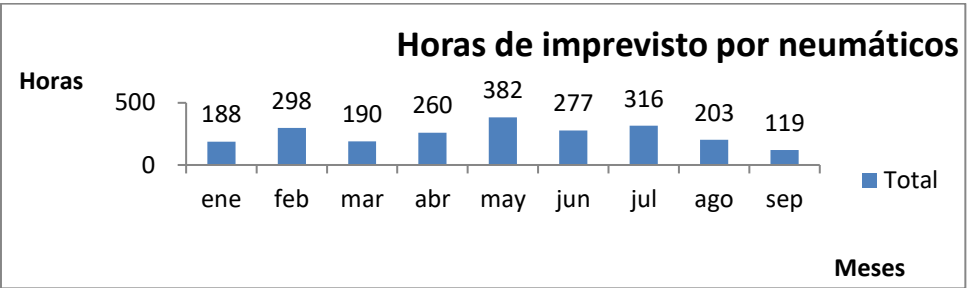
4.2.2. Comité de neumáticos

El comité de neumáticos es una instancia donde se reúnen todos los involucrados referentes al tema de neumáticos, tanto por parte del administrador de contrato CODELCO, los integrantes de operaciones mina responsables del mantenimiento de las vías y el administrador de contrato por parte de la empresa prestadora del servicio de cambio, rotación y mantenimiento de neumáticos Otraco, dentro de las dependencias de la DRT.

El objetivo de este comité es revisar los indicadores de desempeño de la gestión de neumáticos entre todas las áreas, exponiendo las brechas principales que afectan dicho desempeño o incidentes ocurridos durante la semana, para así resolver las brechas en conjunto entre las áreas de mantención mina y operaciones mina, quienes son los principales afectados ante esta problemática

4.2.3. Resultados de gestión de neumáticos

A continuación, se presentarán 3 gráficos, los cuales muestran los resultados obtenidos de la gestión y mejoras en el ámbito de neumáticos de los CAEX. En el gráfico 4-4 se muestran las horas de detención de CAEX por imprevisto de neumáticos debido a derrames en las vías u impactos.

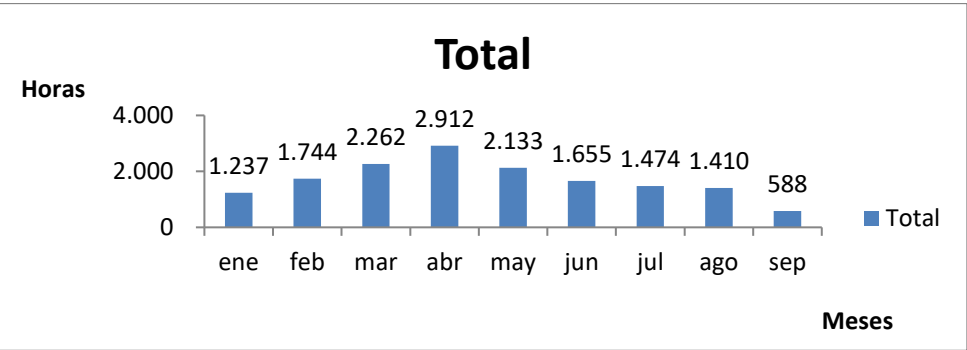


Fuente: Elaboración propia con base de datos Jig saw

Gráfico 4-4. Horas de detención de CAEX por imprevisto de neumáticos 2016

El grafico anterior, evidencia una clara tendencia a la baja de las horas de imprevisto por neumáticos a partir del mes de julio, que es el periodo donde se comienza el comité de neumáticos. Las mejoras en este contrato se comienzan a implementar a partir del mes de mayo, que es desde donde comienza a bajar la variabilidad en las horas por imprevisto.

En el gráfico 4-5, se puede observar las horas totales de detención de los CAEX por eventos en los neumáticos, considerando eventos de imprevisto y mantenimiento programado de los mismos en lo que va de este año 2016.



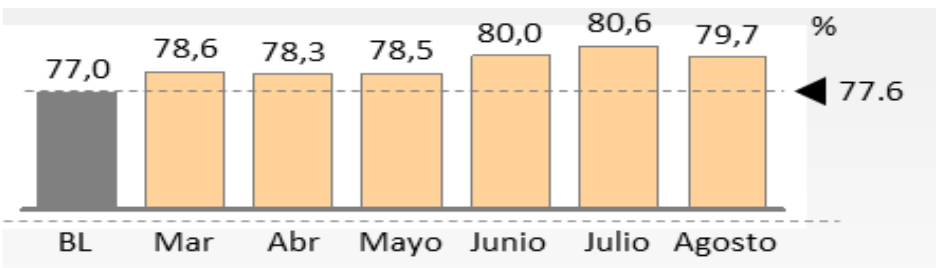
Fuente: Elaboración propia con base de datos JigSaw

Gráfico 4-5. Horas totales de detección de CAEX por neumáticos el año 2016

En el gráfico 4-5, que muestra el total de horas por detención de neumáticos, es más clara aun la tendencia la baja reduciendo las horas desde 2038 horas en promedio del primer cuatrimestre del año, a 1668 horas en promedio del segundo cuatrimestre, una baja considerable de casi un 20%, lo que demuestra el impacto que han tenido las mejoras a partir del armado de neumáticos anterior a la llegada de los CAEX, en conjunto con la mejor mantención de caminos y la mejor coordinación gracias la interacción de las áreas involucradas en el comité de neumáticos, lo que permite aumentar las horas de disponibilidad de CAEX y por tanto, mayor utilización de los mismo, o bien aumentar las horas de mantenimiento programado sin sacrificar la disponibilidad.

La disminución en las horas de indisponibilidad de neumáticos en los CAEX, ha favorecido notoriamente la disponibilidad de los mismos en casi un 3%, el cual es un factor importante en el aumento de extracción diaria de la mina.

En breve, en el gráfico 4-6 se muestra la evolución de las horas de disponibilidad de los CAEX en la DRT.



Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Gráfico 4-6. Evolución de horas de disponibilidad de los CAEX de la DRT

4.3. **RESULTADOS RDP DE RENDIMIENTO DE PALAS**

A partir de la resolución de problemas de rendimiento de palas realizada en conjunto por las áreas de operaciones mina y mantenimiento mina, se desprenden un gran número de iniciativas para resolver esta problemática. Desde el área de operaciones mina, las principales tareas tratan de reinstrucciones y capacitaciones a los operadores de CAEX para que se encuentren en condiciones de realizar el aculatado por ambos lados de la pala, pero por ámbitos de seguridad, deben existir ciertas condiciones para la realización de esta actividad. Estas condiciones constan de tener un punto de referencia para el posicionamiento del CAEX al costado de la pala mientras estas se encuentran en proceso de carguío de otro CAEX.

4.3.1. Instalación de lanzas y conos traseros en palas de cable

Para posibilitar el carguío por ambos lados de la pala y los CAEX puedan acutarse, debe existir un punto de referencia para ellos que los ayude a posicionarse sin riesgos de colisión entre el CAEX y la pala. Para esto se han acondicionado dos lanzas en la parte posterior de la pala y colgando en sus extremos, dos conos que marcan y dan referencia al operador del CAEX del punto exacto que deben posicionar la tolva, el cual es el mismo punto en donde se posicionara el balde de la pala y es el mismo que marcan como referencia los conos. (Ver anexo C para estrategia de carguío y plano de lanzas)

A continuación, en la figura 4-4, se muestra una pala de cable con conos traseros instalados



Fuente: Fotografía propia tomada a pala de la DRT

Figura 4-4. Pala de cable con lanzas y conos traseros instalados

4.3.2. Estándar de aculatamiento en pala para carguío con dos CAEX

Además de la instalación de las lanzas y conos traseros para posibilitar el carguío por ambos lados de la pala, también se confeccionó un estándar de aculatamiento en palas para carguío con dos CAEX, el cual tiene por objetivo instruir a los operadores de CAEX sobre la forma correcta y más segura de realizar esta maniobra. El estándar cuenta con cuatro pasos para la instrucción del operador y apoyo gráfico para un mejor entendimiento de él.

En la figura 4-5, se muestra el estándar de aculatamiento en pala para el carguío con dos CAEX.

Estándar de Aculatamiento en Palas para Carguío con dos Caex.



Área	Objetivo del estándar		Responsable	Fecha creación	F. Revisión
Gerencia Mina	Confirmar el proceso de aculatamiento de Caex en Palas sin la presentación de balde		Aldo Jofré	Junio de 2016	-
Docs adicionales					
• Procedimiento de Operaciones Mina.	1	Ingreso o Llegada de Caex a Zona de Carguío en Pala.	Explicación 1. Al aproximarse a la pala, debe reducir gradualmente la velocidad del camión, de tal forma que al llegar a esta, pueda detenerse suavemente, observando las condiciones de acceso, obstáculos, equipos y/o personas. 2. Una vez que se sale el caex cargado Ingresar a la zona de preaculatamiento. (Ver Fig. 1)	Atención ⚠ ✓ No hacerlo aumenta el riesgo de pisar cable cola, Impacto de aéreos, Choque con la pala. ✓ No hacerlo aumenta la probabilidad de realizar maniobras adicionales.	Apoyo gráfico  FIG. 1
	2	Preaculatamiento del camion en la pala	(Aplique la regla de 123) (Ver Fig.2-3) 1. El operador procederá a preaculatar el Caex hasta que tenga los conos a la vista, a una distancia de 15 metros medidos desde el Caex a la Pala.	✓ Riesgo de impacto a Pala. ✓ Al instalarse para aculatar observar que no haya un camión cargando o un equipo de apoyo trabajando en el mismo lugar.	 FIG. 2
	3	aculatamiento del camion en la pala	2. Coloque el Caex en Posición listo para retroceder, en línea con la dirección de los conos. Inicie la marcha de retroceso con los conos a la vista hasta que llegue a la posición de detención para el carguío. 3. Si la anterior maniobra no se pudo concretar, espere nuevamente hasta que la pala muestre nuevamente los conos e intente la aproximación hasta la zona de carguío	✓ Riesgo de impacto a Pala ✓ Mal Posicionamiento. ✓ Reposicionamiento del caex ✓ Bajo rendimiento de equipos	 FIG. 3
	4	Detención del Caex en Punto de Carguío.	1. Cuando el operador visualice por la ventana izquierda y/o derecha la estructura de la pala, - quedando perpendicular al contrapeso- deberá detener el caex para esperar el Carguío. (Ver Fig. 4)	✓ No detener el Caex con el Impacto con material tronado. ✓ Daños a los neumáticos ✓ Mal posicionamiento Caex ✓ A mayor aproximación al talud del banco, es mayor productividad en la pala.	 FIG. 4
¿Quién ejecuta?					
• Operador Caex Mina.					
¿Quién confirma est.?					
• Raúl Galán A.					
Difusión					
• Se realizará difusión por charla R006.					

Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Figura 4-5. Estándar de aculatamiento en palas para carguío con dos CAEX

4.3.3. Mejora en espejo lateral

Además de las dos mejoras descritas anteriormente, para mejorar la visualización de los CAEX Komatsu modelo 930 E, los cuales corresponden a la flota antigua de CAEX que posee la DRT, se generó un plan de modificación del espejo lateral de estos para facilitar el retroceso y con ellos ayudar al aculatamiento por ambos lados. La modificación del espejo lateral de la flota antigua de CAEX corresponde a la instalación de espejos que posee la flota nueva de camiones Komatsu modelo 930 E-4SE, el cual tiene un mayor tamaño y acomoda más el retroceso a la hora de aculatarse.

La implementación de estos espejos estará completa aproximadamente a finales del presente año 2016, por motivos de falta de stock de los mismos en Chile, por lo que se debió exportar desde el extranjero el stock restante.

En la figura 4-6 que se presenta a continuación, se muestra la mejora en el cambio de espejo lateral realizada al CAEX Komatsu 930 E número 830.



Fuente: Fotografía propia tomada a equipo CAEX 830 de la DRT

Figura 4-6. Mejora en espejo lateral a CAEX 830

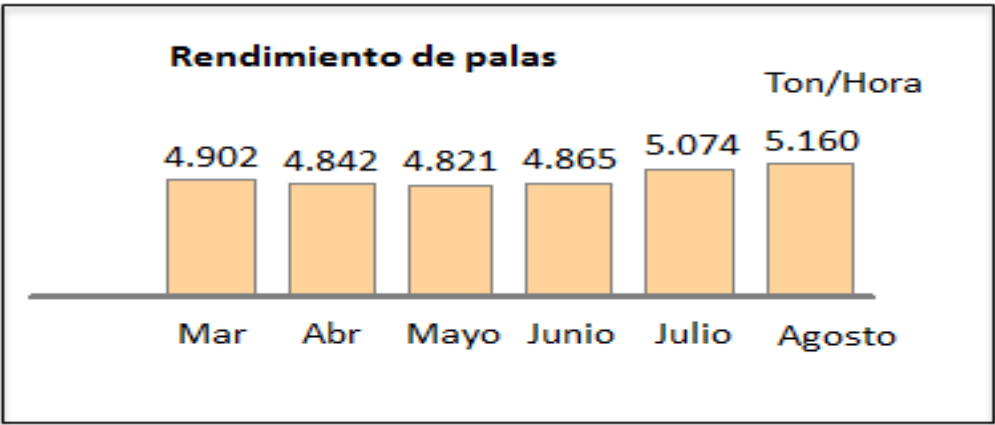
4.3.4. Resultados RDP de rendimiento de palas

De las mejoras implementadas por la resolución de problemas de rendimiento de palas, la mejora de espejos solo se ha llevado a cabo en 2 de 30 CAEX que están en el programa, esto debido al bajo stock de espejos que se encuentra en Chile, por lo que la empresa Komatsu, proveedora de ellos, ha tenido que importarlos desde el exterior a la división.

El estándar de aculatamiento en pala para carguío por ambos lados, ha presentado una aceptación aceptable por parte de los operadores de CAEX, dicho estándar se ha utilizado por el área de operaciones mina para la capacitación de los operadores que no posean experiencia en esta práctica, lo que ha facilitado su difusión.

Por parte de las lanzas y conos traseros para las palas eléctricas, estas se han instalado en 6 de 7 palas. Esta instalación comenzó con la primera pala en el mes de julio de 2016 y durante el primer mes de instalación de la instalación, el rendimiento de las palas se ha incrementado en estos dos meses que han estado a prueba estas lanzas.

A continuación, en el gráfico 4-7 se muestra la evolución del rendimiento de las palas eléctricas de la DRT hasta el mes de agosto.

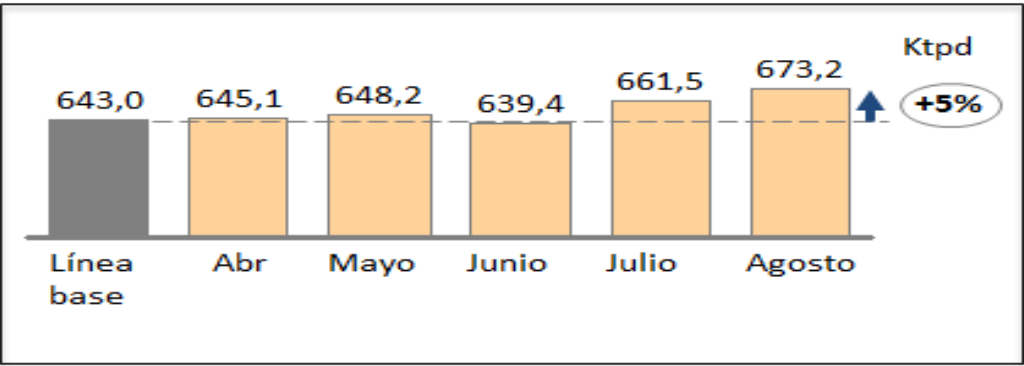


Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Gráfico 4-7. Evolución del rendimiento de las palas eléctricas de la DRT hasta agosto de 2016

Al mejorar el indicador de rendimiento en las palas de eléctricas de la DRT, esto también incide directamente sobre el movimiento total mina, el cual aumento en un 5% entre los meses de julio y agosto, aumento debido gracias a las mejoras en la capacitación de los operadores y las mejoras en lanzas, conos y los espejos instalados.

En el gráfico 4-8, se visualiza la evolución del movimiento total mina entre marzo y agosto de 2016.



Fuente: Elaboración McKinsey en conjunto con equipo Lean de la DRT

Gráfico 4-8. Evolución del movimiento total mina entre marzo a agosto de 2016

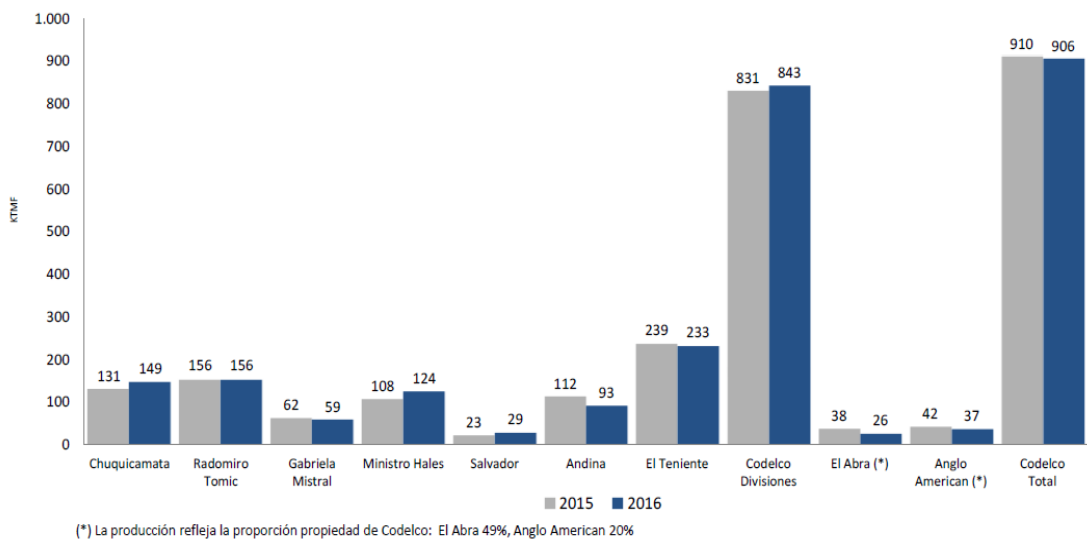
4.4. **RESULTADOS CODELCO PRIMER SEMESTRE 2016**

En el estado actual de la situación visto en el capítulo 1, se analizaron los resultados obtenidos hasta el periodo del primer trimestre 2016, que abarca desde enero a marzo de mismo año. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos al primer semestre 2016, es decir, el cambio desde el periodo del mes de marzo a agosto de 2016, el mismo tiempo en que se ha llevado a cabo la implementación Lean en las divisiones de Codelco.

4.4.1. **Producción de cobre al primer semestre 2016**

A pesar de haber registrado su menor ley de cobre en los últimos años, teniendo una baja del 15% desde 2011, CODELCO logró la mayor producción de su historia. El primer semestre 2016, las divisiones aumentaron 1,4% la producción de cobre en relación a igual periodo de 2015 y un 2% por sobre la meta comprometida

En el gráfico 4-9, se muestran las producciones de cobre por divisiones de CODELCO, Anglo American y minera El Abra, al primer semestre 2016 e igual periodo 2015.



Fuente: www.codelco.com. Resultados Codelco 2016

Gráfico 4-9. Producción de cobre al primer semestre 2016 e igual periodo 2015

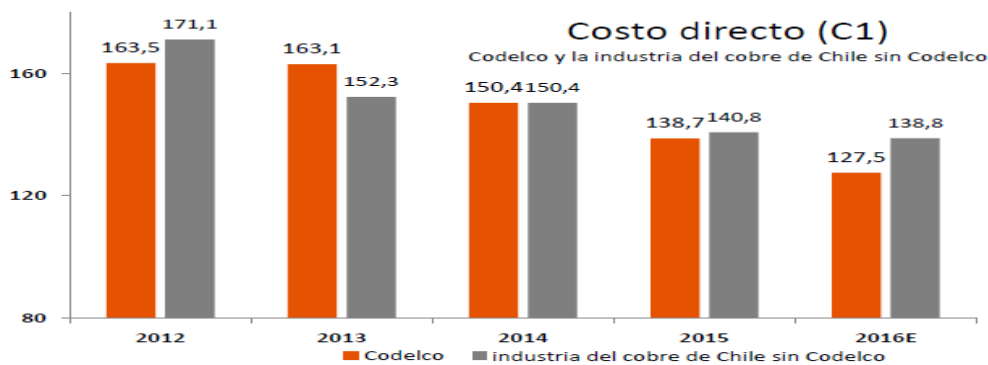
Para el caso de la DRT, esta ha logrado mantenerse en producción en comparación al año anterior, esto debido a la menor ley que presentan las reservas de

minerales oxidados y su incapacidad de procesar los minerales sulfurados, producción enviada a la división Chuquicamata.

4.4.2. Resultados costo directo C1

Al primer semestre de 2016 CODELCO redujo sus costos directos un 9% respecto a igual periodo de 2015, logrando superar la meta comprometida en un 7% más.

En el grafico 4-10, se muestra la evolución del costo directo (C1) desde 2012 al primer semestre 2016 entre CODELCO y la industrial del cobre en Chile sin CODELCO.



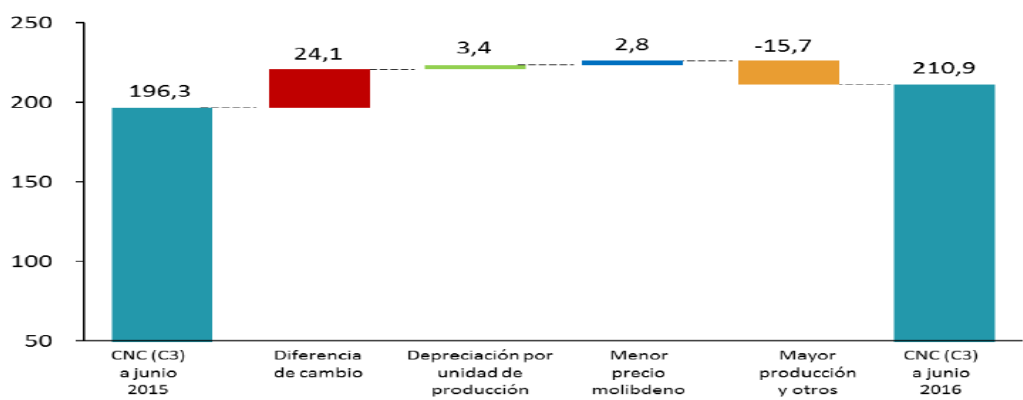
Fuente: www.codelco.com. Resultados Codelco 2016

Gráfico 4-10. Evolución del costo directo entre 2011 a 2016

4.4.3. Resultados costo neto a cátodos (C3)

Ya que la contabilidad de CODELCO es en dólares, este se afecta por la variación del tipo de cambio, este efecto es contable y disminuye en la medida que se valoriza el dólar. Tras la caída en el tipo de cambio de la moneda americana, el costo neto a cátodos sufrió un alza de 24,1 c/lb, la que fue compensada en 15,7 c/lb por la mayor producción y reducción de costos lograda, llegando a un total de 210,9 c/lb.

En el gráfico 4-11, se muestra la evolución del costo neto a cátodos (C3) entre los periodos de junio de 2015 a junio de 2016.



Fuente: www.codelco.com. Resultados CODELCO 2016

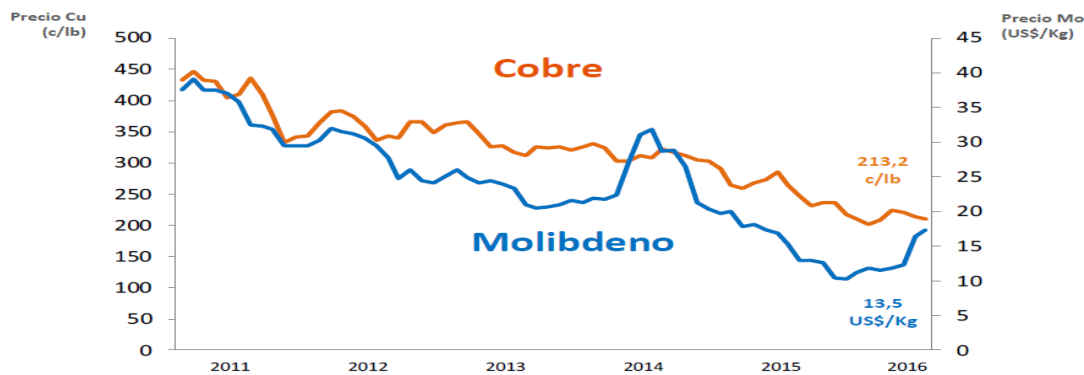
Gráfico 4-11. Evolución de costo neto a cátodos desde junio 2015 a junio 2016

4.4.4. Resultado en precios de productos

En lo que respecta al precio del metal rojo, en el primer semestre de 2016 el precio del cobre bajo un 21% respecto a igual periodo de 2015. Esto representa una caída del 55% desde 2011. Por otra parte, el precio del molibdeno tuvo una caída de un 23% en comparación a igual periodo de 2015. No obstante, este año ha tenido una recuperación del 54%.

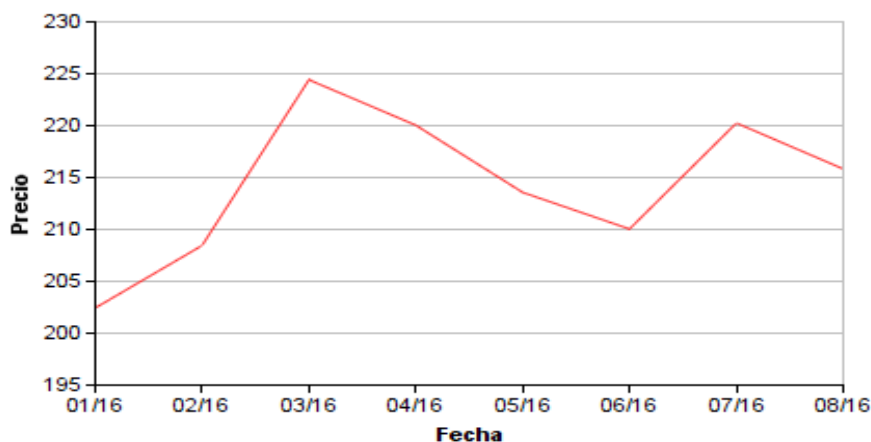
En lo que va de estos nueve meses del presente año 2016, el precio del cobre, que es el principal producto de CODELCO, ha experimentado una variabilidad considerable, pero siempre dentro de márgenes que varían entre los 205 a 220 c/lb.

A continuación, en los gráficos 4-12 y 4-13 respectivamente, se muestra la evolución del precio del cobre y molibdeno entre 2011 y lo que va del presente año 2016 y la evolución el precio del cobre en detalle este año 2016.



Fuente: www.codelco.com. Resultados CODELCO 2016

Gráfico 4-12. Evolución del precio del cobre y molibdeno entre 2011 a 2016



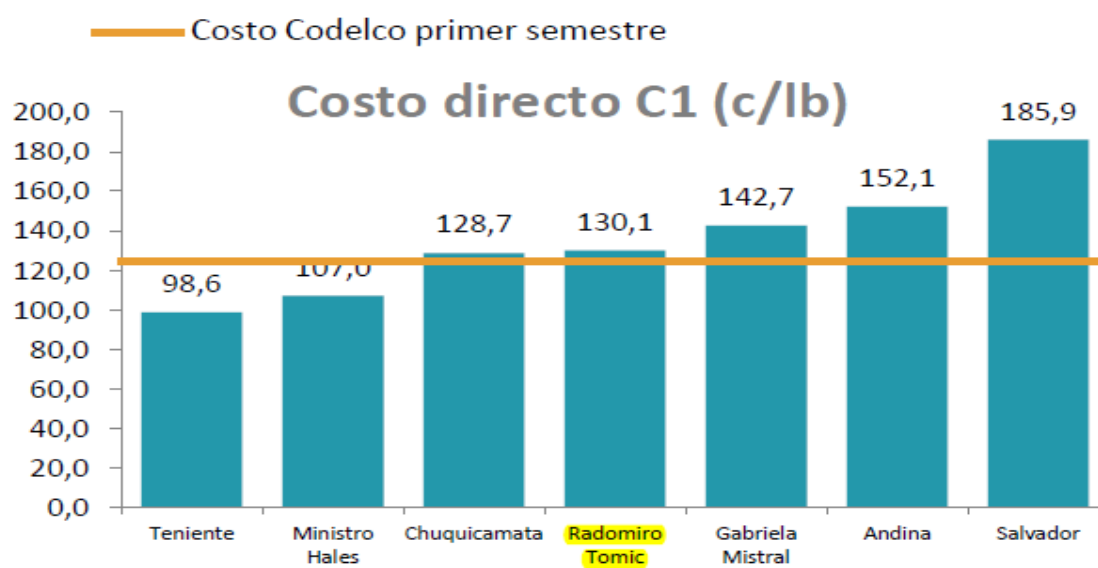
Fuente: Datos de www.cochilco.cl

Gráfico 4-13. Precio nominal del cobre (c/lb) de enero a agosto 2016

4.4.5. Producción y costos por división al primer semestre 2016

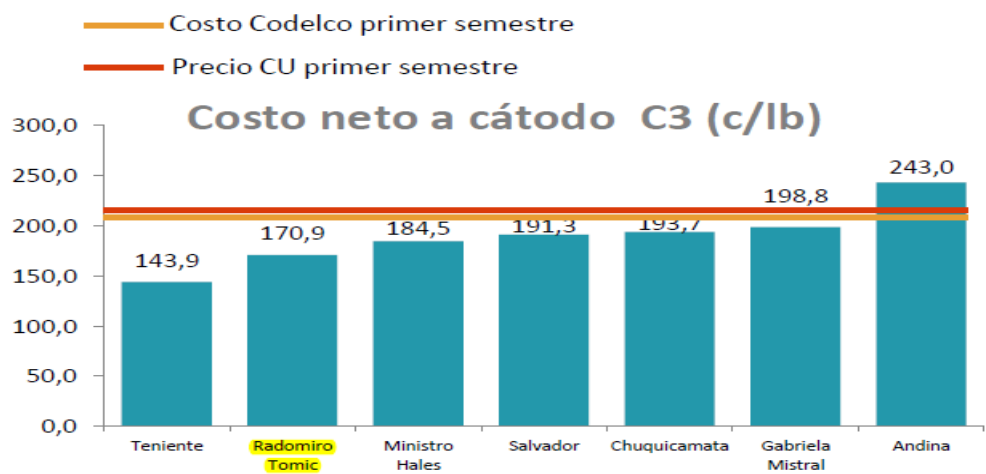
Si bien el costo directo (C1) para CODELCO es de 127,5 (c/lb), esto es en promedio para la corporación, ya que cada división tiene sus costos distintos.

En los gráficos 4-14 y 4-15 respectivamente, se muestran los costos directos y costo neto a cátodos por divisiones de Codelco.



Fuente: www.codelco.com. Resultados CODELCO 2016

Gráfico 4-14. Costo directo por divisiones de CODELCO a primer semestre 2016



Fuente: www.codelco.com. Resultados CODELCO 2016

Gráfico 4-15. Costo neto a cátodos por divisiones de CODELCO a primer semestre 2016

De los dos gráficos anteriores podemos ver que para el caso de los cotos directos la división Radomiro Tomic presenta un costo C1 de 130,1 c/lb de cobre, lo que está por sobre el promedio de las divisiones de CODELCO en 2,6 c/lb, sin embargo, aún se encuentra muy por debajo del mercado del cobre en Chile. Por parte de los costos neto a cátodos, la división Radomiro Tomic se posiciona en segundo lugar de las divisiones de CODELCO, siendo superada solo por la división El Teniente, que es quien presenta los costos directos y costos neto a cátodos más bajos de la corporación siendo la división más productiva.

Para modo de análisis, a continuación, en la tabla 4-1, se presenta una comparación entre costos y producción de CODELCO por divisiones.

Tabla 4-1. Producción y costos por devienes de CODELCO a primer semestre 2016

Divisiones	Producción (ktmf)	Costo C1 (c/lb)	Costo C3 (c/lb)
Chuquicamata	149	128,7	193,7
Radomiro Tomic	156	130,1	170,9
Ministro Hales	124	107,0	184,5
Gabriela Mistral	59	142,7	198,8
Salvador	29	185,9	191,3
Andina	93	152,1	243,0
Teniente	233	98,6	143,9
Codelco*	843	127,5	210,9

Incluye Casa Matriz, Ventanas, gastos financieros y diferencias de cambio.

Fuente: www.codelco.com Resultados Codelco 2016

En resumen, El teniente es la división más productiva y con costos más bajos de la corporación CODELCO. Al contrario de las divisiones El Salvador y Andina quienes registran los costos C1 y C3 más altos respectivamente.

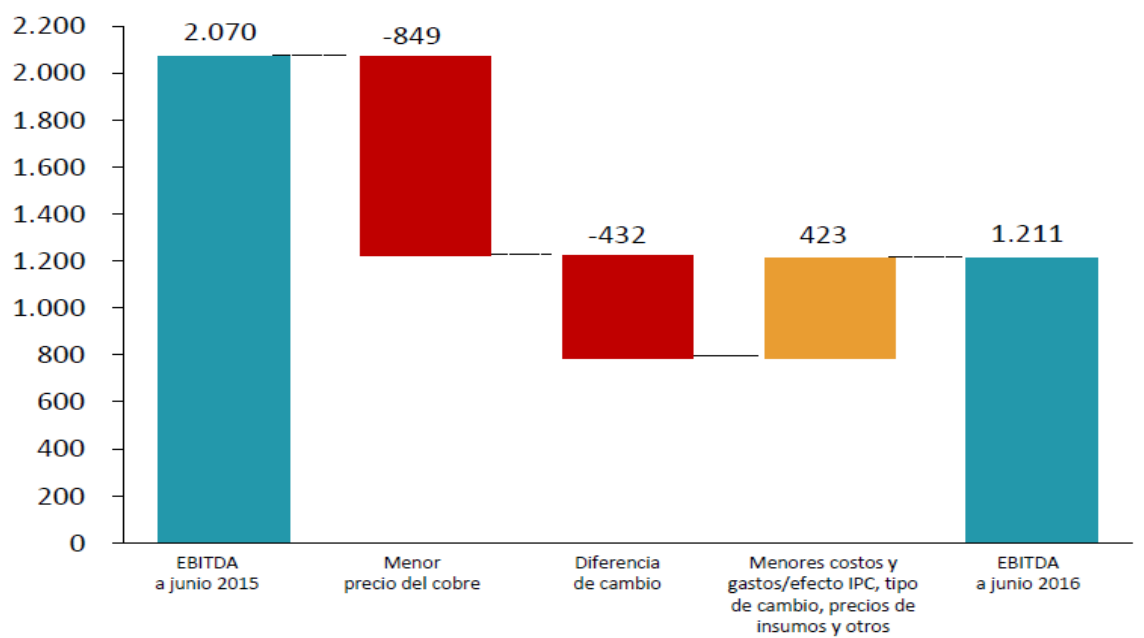
Por otra parte, la división Radomiro Tomic se encuentra entre el segundo y tercer lugar junto con la división Ministro Hales, siendo también una de las divisiones más productivas de CODELCO.

Pese a lo anterior, seis de las siete operaciones mineras de CODELCO tienen márgenes operacionales positivos al primer semestre 2016. Sin embargo, el promedio de los costos se ubica muy cercano al actual precio del cobre, por lo que es necesario seguir mejorando día a día.

4.4.6. Resultados CODELCO a primer semestre 2016

Aún con el escenario fluctuante del precio del cobre y los demás factores que afectan en negocio de cobre, CODELCO obtuvo un EBITDA de US\$ 1.211 millones al primer semestre 2016. La caída del cobre, sumado al efecto del tipo de cambio, impactó en US\$ 1.281 millones en relación a igual periodo del año 2015, lo que fue compensado por los US\$ 423 millones de menores costos que ha logrado la corporación.

A continuación, en el grafico 4-16, se muestra el EBITDA entre enero a junio de 2015 contrastado con el EBITDA de enero a junio 2016.

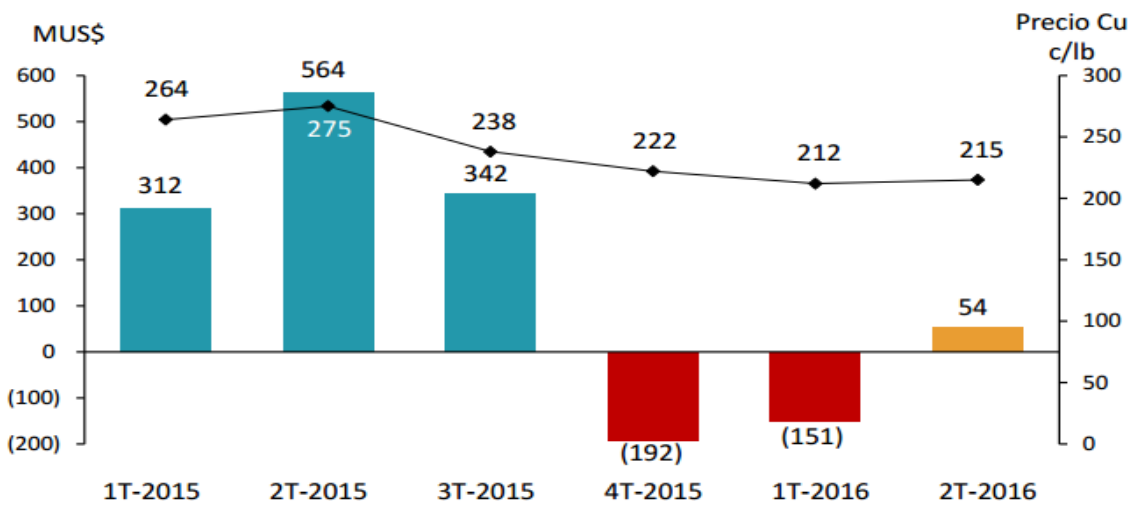


Fuente: www.codelco.com Resultados CODELCO primer semestre 2016

Gráfico 4-16. EBITDA entre Enero a Junio 2015 e igual periodo de 2016

En materia de excedentes, CODELCO generó excedentes por US\$ 54 millones en el segundo trimestre de 2016. Gracias al plan de reducción de costos y al alza de la producción y las ventas, se logró la generación de excedentes positivos y superando los últimos dos trimestres con excedentes negativos.

A continuación, se presenta el grafico 4-17, se muestran los excedentes generados por CODELCO al primer semestre de 2016.



Fuente: www.codelco.com Resultados CODELCO primer semestre 2016

Gráfico 4-17. Excedentes generados por CODELCO en el primer semestre 2016

A pesar de los excedentes positivos obtenidos por CODELCO este primer semestre 2016, el acumulado del primer trimestre fue de US\$ -151 millones, por lo que al contraponerse con los US\$ 54 millones obtenidos como excedentes, aún sigue estando con US\$ -97 millones.

A pesar de la baja en los costos directos (C1), el alza en el costo C3, que es quien marca los resultados de la compañía, en promedio alcanzó los 210,9 c/lb entre enero y junio de este año, una cifra que se ubica apenas por debajo del precio del cobre y de su promedio semestral de 213,2 c/lb, lo que deja apenas un margen de 3 centavos por cada libra de cátodo de cobre vendida. Es evidente lo complicado de la situación actual, sin embargo, en este poco tiempo se ha demostrado que se puede dar un giro a ella, por lo que es necesario seguir mejorando

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el fin de acercarse cada vez más a la excelencia operacional y expandir el conocimiento y uso de metodologías Lean en la corporación CODELCO, este trabajo ha desarrollado una implementación de metodologías Lean como un sistema de gestión en la superintendencia de mantenimiento mina de la división Radomiro Tomic.

Al término de la realización del diagnóstico del área mina, se hizo evidente el gran número de oportunidades de mejora que posee. La medición del diagnóstico a través de los indicadores del OEE, dejan a simple vista el poder concluir que las brechas más importantes no se encuentran dentro de la disponibilidad otorgada, más bien las mayores oportunidades de mejora están presentes en el área de operaciones mina, donde los indicadores de utilización y rendimiento presentan mayores brechas y una mayor fluctuabilidad, lo que no quiere decir que no se pueda mejorar en las demás áreas.

Desde el punto de vista de la implementación de las metodologías Lean en las distintas áreas de la mina y específicamente en la superintendencia de mantenimiento, se hace evidente la funcionalidad que esta tiene en los equipos de trabajo, demostrando que no solo se puede aplicar a proceso de manufactura que presentan condiciones más consecutivas, si no también presenta funcionalidad positiva en proceso más dinámicos y diversos como es la extracción de mineral a rajo abierto.

El realizar un cambio cultural es en extremo complejo, más en áreas o industrias que llevan años trabajando de la misma manera, por lo que en una implementación de esta magnitud, es vital la constancia y reforzamiento, por parte de los líderes a sus equipos de trabajo, de las herramientas y principios que entrega la metodología Lean, porque si bien, las áreas están en conocimiento y aplicación de ellas, se requiere tiempo para que la adaptación de estas, se haga su forma cotidiana de resolver los problemas. En definitiva, la implementación del sistema de gestión Lean está completa en el área mina, pero no por estar completo significa que esté terminado, las áreas deben seguir aplicando esta nueva forma de trabajo.

Al observar los resultados de las mejoras obtenidas desde los inicios de la implementación, es grato apreciar como los indicadores presentan mejoras, como lo es el caso del factor de carga, que desde el mes de marzo a agosto, ha presentado mejoras en más de un 9% en promedio, o como es el caso de la mejora en los tiempos de neumáticos, que de un promedio de 2038 horas en los primeros 4 meses del año, ha presentado una baja de aproximadamente un 20% en las horas de indisponibilidad en los CAEX por neumáticos, tiempo que es aprovechado en mayor uso de equipos o más y mejor mantenimiento de los mismos. Pero no tan solo en resultados específicos de la

superintendencia de mantenimiento mina se obtuvieron buenos resultados, la extracción total, el principal indicador del área mina, también ha presentado una tendencia al alza, se ha movido desde una línea base de 643 kilo toneladas por día, a un promedio de 667 entre los meses de julio y agosto, gracias a las mejoras implementadas por todas las áreas que componen la mina.

Por otra parte, durante el desarrollo de este trabajo, no se hacen comentarios ni referencias a los gastos y costos realizados durante la implementación, ya que, por políticas de Codelco, no es posible hacer públicos estos datos. Sin embargo, en los gráficos presentados en el capítulo cuatro sobre los resultados obtenidos por Codelco al primer semestre 2016, se hace evidente que los costos van en una tendencia a la baja, esto gracias al aporte de las distintas áreas y sus distintas iniciativas dentro de la implementación del sistema Lean.

Para finalizar, con todo lo anterior concluido y los resultados obtenidos desde inicios de la implementación, es posible concluir y destacar la eficiencia de las herramientas Lean en las operaciones del área mina que han manifestado una ayuda considerable a la hora de elevar los indicadores de desempeño, demostrando que no solo es posible de implementar en líneas de procesos consecutivas, si son que sus mejoras son adaptables a los distintos procesos que se presentan en las industrias. Sin embargo, estas mejoras pueden no ser sostenibles en el tiempo, no sin realizar el verdadero cambio cultural, ya que el principal obstáculo para realizarlo es la resistencia al cambio que poseen algunas organizaciones.

RECOMENDACIONES

Si bien, la división Radomiro Tomic ya se encuentra utilizando las herramientas de la metodología Lean, esto debe realizarse hasta que se produzca un cambio cultural en la división, que no solo sean herramientas usadas en una época crítica para la industria y en general para la corporación, si no que sean sostenibles en el tiempo. Para esto se requiere el total compromiso y dedicación de todas las personas de la organización, que quienes posean mayores conocimientos puedan ayudar a traspasarlos a los demás integrantes, ya que si bien un gran porcentaje de encuentra usando las metodologías Lean, no todos se convencer de la funcionalidad de estas, y eso solo se logra venciendo la resistencia al cambio, por lo que la principal recomendación es que la organización siga constantemente capacitándose a sí misma, hasta lograr el cambio cultural desde la base u operadores, que son las personas más prescindibles a la hora de considerar indicadores de extracción u operaciones dentro de la división.

Por parte de la superintendencia de mantenimiento mina, las recomendaciones van dirigidas hacia el mayor involucramiento de los contratos o terceros en las herramientas Lean. Si bien esto no depende de ellos, la implementación debe abarcar no

solo a personal propio, si no a todas las personas que integren la división, ya que ellos son los que realizan el mantenimiento directamente, o, dicho de otra forma, son los que cumplen el papel de los operadores en el caso de operaciones mina.

BIBLIOGRAFÍA

Yingling J. C., Detty, R. B., & Sottile Jr., J. (2000). Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry. Kentucky: Imperial college Press.

Womack, J., Jones, D., & Ross, D. (1990). The Machine that Changed the World. New York: Harper Trade.

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE - CODELCO. Proceso de óxidos. [en línea]. [Consulta: Septiembre de 2016]. Disponible en: https://www.codelcoeduca.cl/minisitios/vocaciones/paso_oxidados.asp

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE - CODELCO. Resultados CODELCO 2015. [en línea]. [Consulta: Septiembre de 2016]. Disponible en: https://www.codelco.com/resultados-ano-2015/prontus_codelco/2015-06-02/191956.html [Publicación del viernes 8 de julio de 2016]

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE - CODELCO. Resultados CODELCO 2016. [en línea]. [Consulta: Septiembre de 2016]. Disponible en: https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/tax/port/all/taxport_40_174__1.html

GOBIERNO DE CHILE – MINISTERIO DE MINERÍA. Información de costos y precios del cobre. [en línea]. [Consulta: Septiembre de 2016]. Disponible en: http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/tematico/productividad/Informe_caracterizacion_de_los_costos.pdf

ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS



Formato RDP

Definición y descripción del problema, y identificación del objetivo

Área o Proceso

Líder de la resolución de problemas

Fecha

Turno

1 Definición de Problema

2 Descripción u Observaciones

Fotos o documentos de apoyo

Tiempo Estimado de Detención

Impacto en Producción c/r a P0

3 Objetivo de la resolución de problemas

Formato RDP

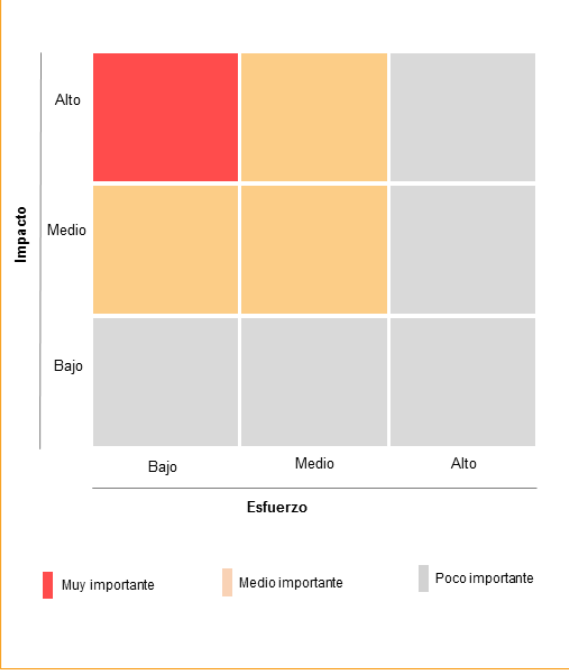
Priorización de soluciones



5 Soluciones a Causas (listamos las causas rices y soluciones)

Nº causa raíz	Letra solución	Solución

5 Matriz de Importancia Soluciones Encontradas



Formato RDP

Plan de trabajo, seguimiento del impacto y estandarización



Letra solución	6 Soluciones priorizadas	Entregables	Responsable	Fecha Entrega	7 Como verificamos el impacto? (KPI a medir)	Impacto verificado?	8 Estándar creado o modificado en el SGC

Formato RDP

DESEMPEÑO DE LA SMM

Tablero de desempeño: SMM

Nivel: SI



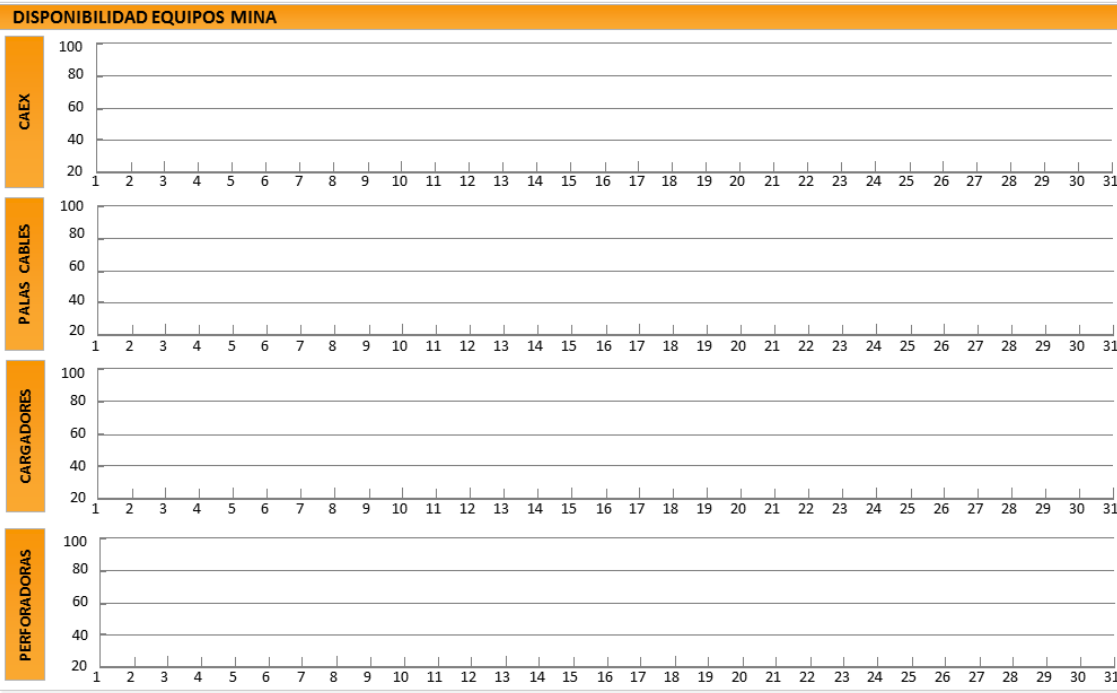
COMPROMISOS			
QUE?	COMO?	CUANDO?	QUIEN?
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
COMPROMISOS: Resolución de problemas			
1			
2			
3			

Tablero de compromisos de DDD de la SMM

Tablero de desempeño: SMM

Seguimiento de Metas

MES

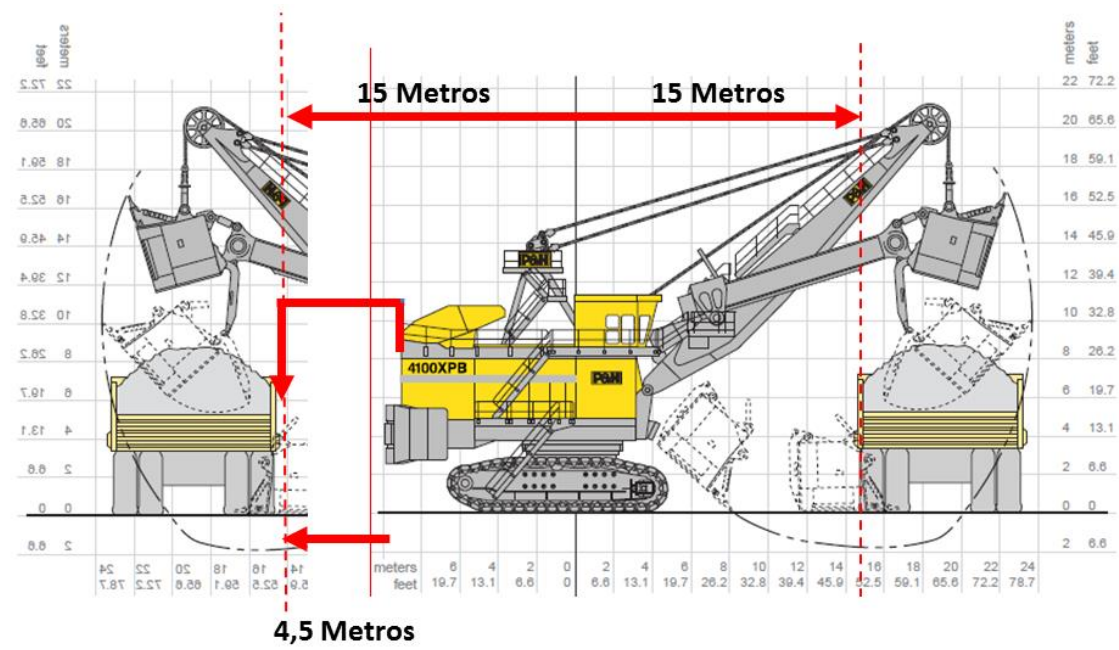


Tablero de seguimiento de disponibilidad SMM

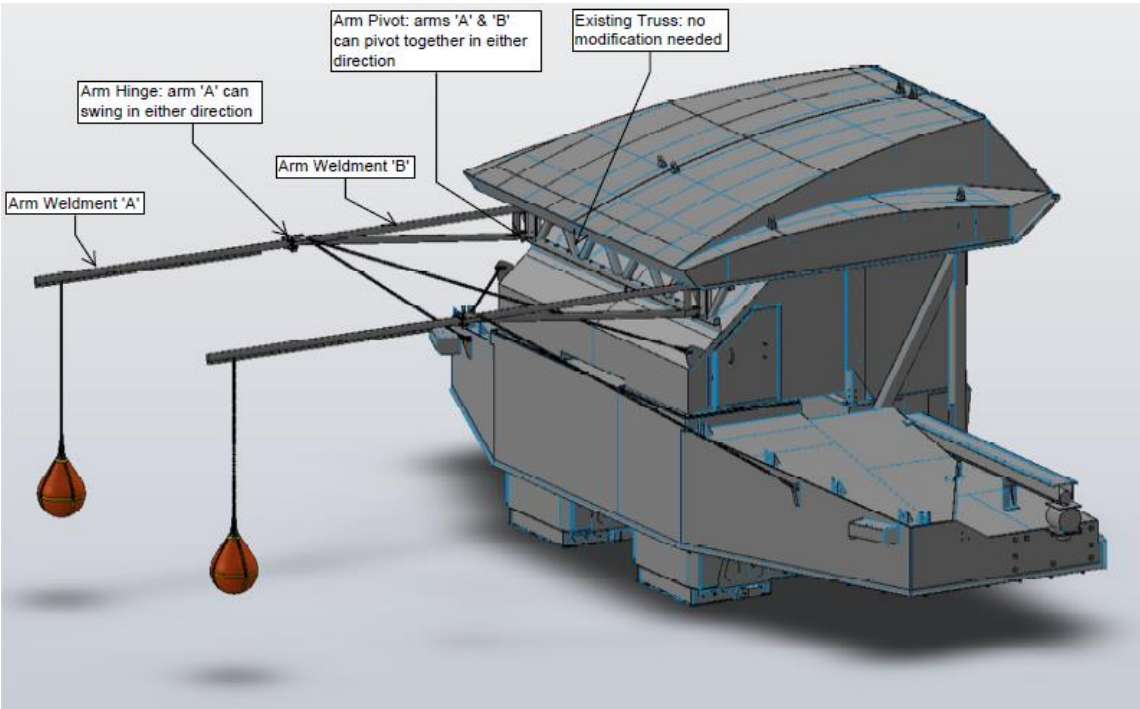


Dialogo de desempeño empresa colaboradora Joy Global Cargadores

**ANEXO C: ESQUEMA Y PLANO DE LANZAS PARA ACULATADO POR
AMBOS LADOS DE LA PALA**



Esquema de carguío por ambos lados



Plano de lanzas de aculatamiento