



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

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN C+ (LEAN MANAGEMENT)  
DURANTE EL RAMP UP DEL PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
ESCORIAS, DIVISIÓN EL TENIENTE DE CODELCO**

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

**MATÍAS NICOLÁS ÁLVAREZ ÓRDENES**

**PROFESOR GUÍA  
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
GERARDO DÍAZ RODENAS  
ENRIQUE SILVA RAMOS**

**SANTIAGO DE CHILE  
2022**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO**  
**DE:** Magíster en Gestión y Dirección de Empresas  
**POR:** Matías Nicolás Álvarez Ordenes.  
**FECHA:** 2022  
**PROFESOR GUÍA:** Enrique Jofré R.

## **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN C+ (LEAN MANAGEMENT) DURANTE EL RAMP UP DEL PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE ESCORIAS, DIVISIÓN EL TENIENTE DE CODELCO**

El objetivo de este trabajo de tesis es el de detallar la metodología de implementación del Sistema de Gestión de Excelencia Operacional de Codelco, llamado C+, durante el ramp up del Proyecto Planta de Tratamiento de Escorias de Convertidor Teniente y estudiar su impacto en las metas y aspiraciones definidas para este proceso. Es importante mencionar que, para asegurar buenos resultados en rentabilidad, calidad, seguridad y sostenibilidad, muchas empresas en todo el mundo, y también en nuestro país, han adoptado y adaptado sistemas de gestión de excelencia operacional basados en modelos o metodologías lean-Kaizen, de ahí el interés de compartir casos de éxitos, para poder ser replicado en otras áreas y poder extender su impacto.

La metodología utilizada consta de cuatro etapas: diagnóstico, diseño, implementación y sostenibilidad. El modelo metodológico consideró un trabajo en conjunto entre la dirección de excelencia operacional y la unidad operativa de la planta de tratamiento de escorias, y contó con el acompañamiento de un agente de cambio (ingeniero de excelencia operacional) como garante de la metodología.

Durante la implementación existieron varios elementos de éxito, que apalancaron los buenos resultados obtenidos por el equipo, tales como el involucramiento de la alta gerencia y la supervisión del área. Que fuera un equipo nuevo de personas, diverso, joven y con experiencia en procesos, que partieron desde el día uno con el Sistema C+. Además, el contar con un agente de cambio exclusivo durante todo el proceso también fue clave para alcanzar los resultados obtenidos.

Mediante la implementación se logra una nueva forma de trabajar, basada en el aprendizaje, la estandarización, trabajo en equipo y empoderamiento de todos los trabajadores y trabajadoras, alcanzando los resultados esperados en los principales indicadores productivos, tales como: seguridad (cero accidentes), OEE (eficiencia global de los equipos, de 52,2% a un 78,7%) y tiempo de ramp up de 6 meses. Así como también resultados indirectos tales como la obtención de un alto puntaje en “salud organizacional” del equipo, medido a través de la encuesta de “Índice de Transformación de Codelco (ITC)”.

Desde mi punto de vista esta implementación es un caso de éxito, debido a los resultados alcanzados y los reconocimientos que sigue teniendo este equipo tanto dentro como fuera de Codelco. Espero que este trabajo sirva de guía a futuras implementaciones de sistemas de excelencia operacional y en particular, que el sistema de gestión C+ logre penetrar a todos los procesos dentro de la corporación, tanto operativos como de staff.

## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo de tesis, a mi familia, mi tesoro más grande. Son ustedes los que me mueven día a día a ser mejor.

Para ustedes, Katherine, Renato y Santino, los amo.

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. METODOLOGÍA.....	3
1.4. MARCO CONCEPTUAL.....	6
1.4.1. LEAN MANUFACTURING.....	6
1.4.2. DESPERDICIOS (MUDA) SEGÚN LA FILOSOFÍA LEAN.....	7
1.4.3. HERRAMIENTAS DE LEAN MANAGAMENT.....	8
2. CONTEXTO ESTRATÉGICO.....	10
2.1. PLAN ESTRATÉGICO Y TRANSFORMACIONAL DE CODELCO.....	10
2.2. ESTRATEGIA DIVISIÓN EL TENIENTE.....	13
2.3. VALOR ESTRATÉGICO DEL PROYECTO.....	15
3. DESCRIPCIÓN PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO DE ESCORIAS.....	16
3.1. TRANSPORTE, MANEJO, CHANCADO Y ACOPIO DE ESCORIA.....	16
3.2. MOLIENDA.....	16
3.2.1. MOLIENDA PRIMARIA.....	16
3.2.2. MOLIENDA SECUNDARIA Y BATERÍA DE HIDROCICLONES.....	17
3.3. FLOTACIÓN.....	18
3.4. MANEJO DE CONCENTRADO.....	19
3.5. MANEJO DE RELAVES.....	21
4. BENCHMARK EXCELENCIA OPERACIONAL.....	22
4.1. EXCELENCIA OPERACIONAL EN LA INDUSTRIA MINERA CHILENA.....	22
4.2. EXCELENCIA OPERACIONAL EN CODELCO.....	25
5. IMPLEMENTACIÓN MODELO DE GESTIÓN LEAN (C+).....	29
5.1. DIAGNÓSTICO.....	31
5.2. DISEÑO.....	33
5.3. IMPLEMENTACIÓN.....	37
6. EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	47

7. RESULTADOS DIRECTOS.....	49
8. RESULTADOS INDIRECTOS .....	55
9. CONCLUSIÓN.....	60
BIBLIOGRAFÍA .....	62

## INDICE DE ILUSTRACIONES.

Figura 1: Fases de la metodología de Implementación del Sistema de Gestión C+ (elaboración propia) .....	3
Figura 2: Tiempos (aproximados) de duración de cada fase de implementación.....	4
Figura 3: Actividades a realizar en cada una de las fases de la implementación C+ .....	5
Figura 4: Desafíos de Codelco en webinar #CodelcoInnovacionAbierta (Elaboración propia) .....	10
Figura 5: Diez Principios Lean, agrupados en tres dimensiones, Según el Modelo Shingo (Fuente: Memoria Anual de Codelco, Año 2020) .....	12
Figura 6: Proyección de niveles de producción y la contribución de los proyectos estructurales (Fuente: Presentación de Octavio Araneda, Presidente ejecutivo de Codelco: “La Transformación de Codelco”. Mayo 27 del 2021) .....	12
Figura 7: Producción de cobre fino (mina) de las Divisiones de Codelco. Año 2020 (Elaboración propia) .....	13
Figura 8: Cinco objetivos estratégicos definidos por la División el Teniente para lograr los objetivos transformacionales de la corporación (Fuente: Presentación interna “Estrategia DET”. Año 2021.....	13
Figura 9: Diagrama de Flujo de Chancado y Acopio de Escorias. ....	16
Figura 10: Diagrama de flujos Global de Molienda.....	17
Figura 11: Diagrama de Flujos área de Flotación.....	18
Figura 12: Diagrama de flujo Espesador de Concentrado.....	20
Figura 13: Diagrama de Flujo área de Filtrado de Concentrados.....	20
Figura 14: Diagrama de Flujos del área manejo de relaves. ....	21
Figura 15: Principios Fundamentales en los que se basa BOS (Elaboración propia) ....	23
Figura 16: Desglose del Sistema BOS, en Propósitos y Prácticas (Fuente: BOS- BHP)	23
Figura 17: Principios del Modelo Operativo Integrado de QB (Elaboración Propia) .....	24
Figura 18: Principios del Modelo Operativo de AMSA (Elaboración Propia) .....	25
Figura 19: Disciplinas de acción de la Excelencia Operacional en CODELCO (Fuente: CODELCO) .....	25

Figura 20: Cuatro disciplinas que componen el Sistema de Gestión C+ (Fuente: CODELCO) .....	26
Figura 21: Definición de las principales prácticas y herramientas del Sistema de Gestión C+.....	27
Figura 22: Modelo de Pirámide Invertida del C+, basado en el enfoque Lean (Fuente: CODELCO) .....	28
Figura 23: Extracto del Organigrama DET y la Interacción entre la GFUN y la DEO (Elaboración Propia).....	29
Figura 24: Organigrama Unidad Planta Tratamiento de Escorias (Elaboración Propia).....	30
Figura 25: Roadmap de la Implementación C+ en la Planta de Tratamiento de Escorias (Elaboración Propia).....	30
Figura 26: KPI de Proceso, Promesa del Proyecto (Elaboración Propia).....	32
Figura 27: Aspiración a alcanzar durante el Ramp Up de la Planta Tratamiento de Escorias.....	32
Figura 28: Tablero de KPI para el Dialogo de Desempeño del Jefe de Turno .....	33
Figura 29: Tablero de KPI de Producción PTE, Revisado en los Diálogos de Desempeño del JdT. ....	34
Figura 30: Diseño del PIT Puesta en Marcha y Operación PTE y sus principales palancas. ....	35
Figura 31: Estándar del Dialogo de Desempeño.....	35
Figura 32: Tablero de Compromisos utilizado durante los DdD. ....	36
Figura 33: Diseño de Agenda C+ (fuente: Dirección de Excelencia Operacional, DET) .....	37
Figura 34: Refuerzo de capacitación al Equipo de Operaciones PTE sobre Sistema de Gestión C+ (año 2020). ....	38
Figura 35: Calendario de Capacitaciones Sistema de Gestión C+ a los Operadores PTE (Elaboración Propia).....	38
Figura 36: Asignación de áreas de limpieza entre los 4 grupos de trabajo de Operaciones. ....	39
Figura 37: Jornadas de Orden y Aseo en la PTE. Parte de la Gestión Visual de la Implementación Lean.....	39
Figura 38: Diálogos de Desempeño realizados en la PTE. ....	40
Figura 39: Ejemplo del Gráfico OEE de la Planta Tratamiento de Escorias.....	42

Figura 40: Ejemplo puntual del Gráfico de Pareto de detenciones Planta. ....	43
Figura 41: Extracto del Sistema SAP. Visualización de avisos de mantenimiento. ....	44
Figura 42: Lámina resumen A3 de “Presentación del Problema” en un RdP. ....	45
Figura 43: Ejemplo de Estándar Operacional PTE (Partida y detención Molino SAG – Operación ruido).....	46
Figura 44: Disciplinas C+ y prácticas evaluadas en la Matriz de Madurez de la Implementación.....	48
Figura 45: Gráfico de Madurez en la implementación de prácticas C+. ....	48
Figura 46: Antes y después de la Gestión visual área de chancado y acopio.....	51
Figura 47: Antes y después de la Gestión visual área de Molienda. ....	52
Figura 48: Antes y después de la Gestión Visual área de Flotación .....	52
Figura 49: Antes y después de la Gestión visual en Sala de Control PTE (uso de cubrecalzado).....	53
Figura 50: Procesamiento de Escorias en la PTE durante el Ramp Up. ....	53
Figura 51: Evolución de la Utilización efectiva de la Planta (Coeficiente de marcha) durante el Ramp Up. ....	54
Figura 52: Porcentajes de tiempo utilizados en Mantenimientos No programados durante el Ramp Up. ....	54
Figura 53: Porcentajes de tiempo utilizados en Mantenimientos No programados durante el Ramp Up. ....	54
Figura 54: Operadores de la Planta de Tratamiento de Escorias (PTE) realizando aseo y limpiezas dentro de la planta (registro personal).....	56
Figura 55: Resultados de la Encuesta ITC año 2020, de la Unidad Planta de Tratamiento de Escorias, perteneciente a la Gerencia Fundición de la División El Teniente. ....	58

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES GENERALES

Vivimos en tiempos de constantes cambios, y nunca esos cambios fueron tan rápidos. Hasta antes del estallido social vivido en nuestro país el 18 de octubre de 2019, Chile gozaba de un prestigio a nivel internacional por los avances en su estabilidad como país, en los ámbitos político, social y económico. Cinco meses después nos golpea una crisis sanitaria mundial. La pandemia del Covid-19 cambió la forma en la que vivimos, trabajamos, estudiamos, y muchas cosas más, acelerando los procesos de transformación tecnológica dentro de las compañías, con implementaciones a velocidades que superan cualquier política estratégica anterior. Pese a estos cambios y asuntos que invadieron las discusiones del último año, nuestro país y en particular la minería sigue afrontando desafíos que ponen en jaque su posición comparativa y competitiva dentro del mercado de la producción de cobre, estos son: la baja productividad, las leyes decrecientes de mineral, los depósitos cada vez más profundos, los minerales cada vez más complejos, el cambio climático y la escasez hídrica, las normativas ambientales cada vez más exigentes y el escrutinio social más allá de las regulaciones.

Para afrontar los retos y oportunidades que hoy día nos impone la economía global, las compañías de clase mundial que han demostrado lograr un grado de sustentabilidad y de sobrevivencia en sus diferentes mercados locales y globales, han aplicado e internalizado modelos de Gestión de Excelencia [1].

Existe un paradigma de *adoptar y adaptar*, en las implementaciones de sistemas de gestión [1], ya que hay cierto consenso en que aplicar modelos foráneos “al pie de la letra” no resulta perdurable. Estas “recetas” se disipan con el tiempo, se pierden y no son transferidas ni internalizadas como prácticas arraigadas por las personas ni la organización. Por lo anterior es importante (una vez adoptado el modelo) adaptarlo, para hacer propio ese conocimiento externo, e internalizarlo con la experiencia, creencias, comportamientos y conocimiento interno que cada compañía posee [1].

El año 2015 Codelco inicia un proceso de Transformación con el nacimiento del Sistema de Gestión de Excelencia Operacional C+, el cual es una adaptación (a la realidad y cultura de Codelco) de la metodología Lean Management [2]. A nivel mundial, las evidencias muestran que las empresas que han logrado desarrollar e implementar su propio modelo de excelencia, basados en Lean-Kaizen, logran la sustentabilidad y el éxito organizacional [1].

Con el Sistema de Gestión C+ se busca impulsar la transformación cultural necesaria en Codelco, a través del empoderamiento de las personas y el diseño de palancas de gestión, para así elevar el desempeño del negocio.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

El objetivo de este trabajo de tesis es el de detallar la metodología de implementación del Sistema de Gestión de Excelencia Operacional de Codelco, llamado C+, durante el ramp up del Proyecto Planta de Tratamiento de Escorias de Convertidor Teniente y estudiar su impacto en las metas y aspiraciones definidas para este proceso.

### **1.2.2. Objetivos Específico**

- Medir las mejoras en los indicadores claves de desempeño (resultados directos) previamente definidos en la fase de implementación, debido a la ejecución de prácticas del Sistema de Gestión C+.
- Identificar cambios en las prácticas y estándares de operación en la Planta de Tratamiento de Escorias.
- Identificar si existieron mejoras en otras dimensiones (resultados indirectos), debido a la implementación del Sistema de Gestión.
- Identificar factores que apalancaron o facilitaron la implementación.

### 1.3. METODOLOGÍA

A continuación, se detalla la metodología utilizada en esta implementación del Sistema de Gestión C+ (Lean Management) durante el ramp up del proyecto Planta de Tratamiento de Escorias.

La metodología de implementación corresponde a un proceso estándar definido y establecido por la Gerencia Corporativa de Excelencia Operación de Codelco y que se replica en cada una de las implementaciones llevadas a cabo por las Direcciones de Excelencia Operacional de cada división, denominado: “Caso nota 5 (CN5)”.

#### Fases de la metodología de Implementación



Figura 1: Fases de la metodología de Implementación del Sistema de Gestión C+ (elaboración propia)

El primer punto de cualquier implementación, o etapa previa a las fases de la metodología de implementación presentada en el recuadro de arriba, corresponde a la definición del área a intervenir y posteriormente a la definición del equipo implementador.

El área a intervenir es un proceso llevado a cabo por cada división, y en particular en la división El Teniente es una decisión que se toma a nivel ejecutivo, por la Gerencia de Operaciones (a la cual pertenece la Dirección de Excelencia Operacional) y la aprobación del Gerente General. Los criterios utilizados para definir un área de intervención o implementación C+ son los siguientes:

- Área o proceso definido como “cuello de botella” en el ejercicio Indicadores y Metas o Full Potencial (ver Figura 19)
- Área o proceso con desviaciones sostenidas de algún indicador clave del negocio y levantadas a alto nivel organizacional

Este proceso es parte de la planificación anual de la Dirección de Excelencia Operacional y se va actualizando de manera semestral, tomando en cuenta los resultados del negocio divisional y las áreas que han finalizado su proceso de implementación.

Una vez definida el área donde se realizará la implementación del sistema de gestión C+ se procede a conformar el equipo implementador, quienes son los responsables de llevar a cabo las actividades establecidas en cada una de las fases (Figura 1).

Por lo general, en una intervención o implementación estándar el equipo implementador está conformado por los siguientes integrantes:

- **Sponsors:** Son ejecutivos de alta dirección que darán soporte y apoyo durante el proceso de implementación, asegurando que ésta se lleve a cabo en los tiempos establecidos, destrabando y desbloqueando aquellos impedimentos que dificulten los avances, dado que se encuentra fuera del alcance de los líderes de la implementación. Por lo general los sponsors corresponden al director de Excelencia Operacional y al Gerente de fase o de área respectiva.
- **Líder de implementación:** corresponde al Superintendente del área a intervenir. En la lógica del empoderamiento del equipo quien recibe la intervención, es clave que el líder de la implementación sea un miembro de liderazgo del área, siendo role model para el equipo y quien reporta los avances de la implementación en las distintas instancias de seguimiento.
- **Agente de Cambio C+:** Ingeniero perteneciente a la Dirección de Excelencia operacional, es el encargado de convocar y liderar reuniones del equipo de trabajo, realizando seguimiento de los Planes de Implementación Tácticos (PIT). Tiene competencias avanzadas en herramientas Lean y C+, dando soporte a los miembros del equipo. Además, posee un perfil técnico (es decir que posea conocimientos del proceso productivo) y posee habilidades tales como: capacidad de comunicación, resolutivo, actitud positiva, motivador, capacidad de iniciativa y orientación a objetivos.
- **Equipo de Trabajo:** conformado por todos los miembros del área a intervenir. En general, y dada la estructura organizacional de la división, está conformada por jefes de Unidad, ingenieros, jefes de turno, operadores expertos (sala de control) y operadores (terreno).

Una vez definida el área y el equipo implementador se inicia el proceso y las distintas fases de implementación (Figura 1). Los tiempos definidos para cada una de las fases de implementación son los siguientes:



Figura 2: Tiempos (aproximados) de duración de cada fase de implementación.

A continuación, se presentan las principales actividades a realizar en cada una de las fases de la implementación:



Figura 3: Actividades a realizar en cada una de las fases de la implementación C+

Toda implementación lean (o C+ en nuestro caso) debe ser acompañada de una plan comunicacional [12]. Este plan es reconocido en la literatura como un factor importante a la hora de lograr una implementación exitosa. Por lo anterior, antes de iniciar la primera fase de la implementación se realiza una reunión de *kick-off* con todos los integrantes del equipo, incluida la alta dirección de la división, tales como los sponsors, el gerente de operaciones y el gerente general. El compromiso de alta dirección es considerado un factor vital para lograr una implementación exitosa [12].

Durante la implementación, en cada una de sus fases, es importante la coconstrucción de cada una de las actividades señaladas en la figura 3, entre la dirección de excelencia operacional y el área a intervenir. Por lo anterior, durante todo el proceso de cuenta con una Agente de Cambio C+ inserto en el equipo.

## 1.4. MARCO CONCEPTUAL

### 1.4.1. LEAN MANUFACTURING

El término “Lean” o “producción lean” se acuñó por primera vez el año 1988 en el artículo de J. F. Krafcik titulado “El triunfo del sistema de producción Lean” y se utilizó como una analogía entre las empresas que buscaban sistemáticamente reducir desperdicios y la reducción de grasa necesaria para llevar a una persona a convertirse cada vez más “esbelta”. Sin embargo, el libro “La máquina que cambió al mundo”, de James Womac y Daniel Jones es señalado como el responsable de la popularización del término “Lean”, el cual es frecuentemente utilizado en todas partes para clasificar a cualquier aproximación de producción que este inspirada en el Sistema de Producción de Toyota (o TPS por sus siglas en inglés) [3]. A su vez, el TPS es un sistema de producción nacido en Japón en los años 50 (post segunda guerra mundial) en las fábricas de la empresa Toyota y desarrollado por el señor Taiichi Ohno (en esa época gerente de planta). Pero no fue hasta el año 1977 cuando se refirió por primera vez al TPS en una revista científica en inglés en el artículo “Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect for human system” [3].

En síntesis, se puede decir que el Lean Manufacturing es un sistema de mejoramiento, basado en el trabajo en equipo y el aprovechamiento del talento humano, que busca reducir continuamente el tiempo entre la llegada de la orden de un cliente y su entrega, al menor costo y la más alta calidad, mediante la eliminación de desperdicios (actividades que no agregan valor), la reducción de la variabilidad de los procesos, y la construcción de un flujo flexible halado por el cliente [4].

En el libro Lean Thinking de James Womac y Daniel Jones se definen los cinco pasos o principios que caracterizan al lean manufacturing [5]. Estos principios son [6]:

1. **Valor (Value Orientation):** Como foco la mira debe centrarse en los procesos que agregan valor al cliente para lo cual es preciso saber quién es el cliente, de donde proviene (interna o externamente), reconociendo sus exigencias, necesidades, expectativas y requerimientos de modo tal que los procesos permitan incorporar los mismos.
2. **Cadena de Valor (Value Streaming):** Este principio busca observar los procesos en su conjunto desde la perspectiva del cliente, tomando en cuenta cada uno de los procesos que conforman el sistema productivo (esto es, la fábrica) como si fueran clientes del proceso anterior y a su vez proveedores del proceso siguiente (cual eslabones de una cadena), con vistas a minimizar la intervención del eslabón cuando no eliminar aquellos eslabones que simplemente no agregan valor.
3. **Flujo de Valor:** El afán de lograr continuidad en los procesos se alimenta de la idea de reducir o eliminar, en la medida de lo posible, la manufactura de bienes por lotes de manera de alcanzar un movimiento continuo en el proceso productivo, sin detenciones, logrando eliminar desperdicios en los procesos o parte de estos y que constituyen cuellos de botella.

4. **Pull:** una vez logrado o alcanzado el flujo continuo de los procesos productivos en toda la cadena, a continuación, se atiende el denominado sistema de producción *Pull*. Esto es una forma de producción que obedece a la demanda presentada por el cliente cuyo objetivo es dar una respuesta rápida a la misma buscando evitar la sobreproducción y la acumulación de *stock* o inventario, los que demandan recursos y en el contexto de Lean Management importa atender contra el bajo costo.
5. **Perfección o Mejora Continua:** La metodología de gestión Lean Management se encuentra orientada hacia la perfección entendida no como la producción libre de defectos, sino que una forma de gestión que tiende a la entrega justo-a-tiempo de productos que cumplan las expectativas de los clientes, a un precio bajo o competitivo, y una calidad determinada. En suma, este principio tiende a la reducción o eliminación del *MUDA* o desperdicios, los que veremos más adelante.

#### 1.4.2. DESPERDICIOS (MUDA) SEGÚN LA FILOSOFÍA LEAN

Por lo general encontramos en la literatura entre 7 a 10 desperdicios Lean, sin embargo, en el artículo *A Lean Implementation Framework for the Mining Industry*, del autor José Arturo Garza-Reyes menciona ocho principales desperdicios en la industria minera. A continuación, se presentan los 8 desperdicios Lean en la Industria minera y sus formas de ocurrencia [7]:

1. **Sobreproducción:** Debido a la capacidad minera a superar el procesamiento de mineral. Producción continua con sistema *push* (de empuje).
2. **Tiempos de espera:** Se puede deber a varios factores, tales como: Falta de planificación de una tarea, condiciones de trabajo o ambientales inapropiadas (por ejemplo, pérdida de ventilación de gases o polvo), debido a no contar con herramientas o repuestos, debido a mantenimiento no programados, falta de materiales, etc.
3. **Transporte innecesario:** transporte ineficiente de equipos y/o personas debido a Layouts inadecuados, transporte de material desde Stockpiles, movimientos ineficientes desde que se extrae el mineral hasta alcanzar el producto final.
4. **Sobre o Incorrecto procesamiento:** Ejecución de tareas por un solo operador, en vez de operaciones en paralelo. Procesamiento incorrecto debido a detenciones o fallas de equipos. Procesar por sobre lo que el cliente está dispuesto a pagar.
5. **Inventarios Excesivos:** Una alta cantidad de repuestos y materiales inventariados, requieren de bodegas, supervisión, etc. Pérdida del costo de oportunidad de productos finales y/o materiales de la cadena productiva, inventariados en grandes espacios.
6. **Movimientos Innecesarios:** Se refiere a los movimientos realizados por los trabajadores que no aportan valor al cliente como, por ejemplo, la búsqueda de

materiales, de documentos, el desplazamiento de los trabajadores cuando un puesto de trabajo no fue bien diseñado, etc.

7. **Defectos:** Se debe a mala calidad de los materiales utilizados, fallas en los equipos, o rehacer tareas que no quedaron bien ejecutadas.
8. **Personas:** Accidentes, ausentismo, rotación, disponibilidad de personas calificadas, motivación, paralización, sabotaje, personal no calificado en labores calificadas o mal uso de personal calificado.

### 1.4.3. HERRAMIENTAS DE LEAN MANAGAMENT

Para poder lograr la aspiración de la filosofía Lean, existen variadas herramientas que es posible implementar y utilizar en nuestros procesos. A continuación, describiremos algunas de ellas:

1. **Gestión Visual y 5S:** Es una de las herramientas Lean más poderosas dentro de la Gestión de Operaciones mineras. Se centra en tener un espacio de trabajo, limpio, organizado y accesible. Las 5 “S” están asociadas a: sort (clasificar), set (ordenar), shine (limpiar), standardise (estandarizar) and sustain (sostener o mantener).
2. **Estandarización:** En el libro “Las Claves del éxito Toyota” Jeffrey Liker, señala que las actividades estandarizadas son los fundamentos para la mejora continua. Teniendo clara las metas y las actividades, se plasman en estándares que describen cómo se debe realizar la actividad. Es importante que los trabajadores participen activamente de la elaboración, revisión y actualización de los éstos, ya que así se fortalecerá el trabajo en equipo y mejorará la comunicación [8].
3. **Tableros de KPI’s:** Basados en los principios Lean de valor y desperdicios, el equipo debe definir cuales los sus indicares claves de desempeño (KPI). El Tablero de KPI despliega los indicadores y sus rangos de desempeño. La representación visual de los datos de desempeño productivo empoderará a los trabajadores a tomar decisiones a su nivel de responsabilidad.
4. **Resolución de Problemas:** Es una sesión de búsqueda de causas raíz y plan de acción (acciones correctivas), ante la desviación de algún kpi. Es importante que los trabajadores participen de esta actividad (reforzando su empoderamiento). Durante la Resolución de Problemas es habitual ocupar las siguientes herramientas, para la determinación de las causas raíz:
  - Lluvia de Ideas (Brain Storming)
  - Diagrama de Ishikawa (Espina de pescado)
  - Los 5 Por qué?

Una vez identificadas las causas raíz de la desviación, se debe definir una o más acciones correctivas, para que la desviación no vuelva a ocurrir. Los plazos de cierre de las acciones correctivas se definirán utilizando una matriz esfuerzo-impacto. Todas las acciones deben tener una fecha de cierre y un responsable.

5. **Diálogos de Desempeño:** Poderosa herramienta lean de empoderamiento de los trabajadores. Son reuniones periódicas en el cual se revisa el cumplimiento de los objetivos mediante el análisis de los KPI (en el tablero). En caso de tener kpi desviados sin una rápida o fácil explicación se puede agendar una sesión de Resolución de Problemas.
  
6. **Overall Equipment Efficiency (OEE):** Es una herramienta que permite medir y arrojar, en forma de porcentajes, la eficiencia productiva de las máquinas en función de su disponibilidad, eficiencia y calidad, midiendo también la correlación existente entre el tiempo que en principio debió haber demorado producir una unidad y el tiempo que realmente tomó.
  
7. **Mantenimiento Productivo Total (TPM):** Esta herramienta supone una conducta proactiva e involucrada de parte de los empleados que operan maquinaria de manera que sean los mismos quienes se encarguen de llevar a cabo las revisiones básicas de mantención, responsabilizando a los mismos no solo por el funcionamiento de la maquinaria en particular, sino que por lo que le cabe como eslabón en el proceso productivo.
  
8. **JKODA:** Es la herramienta que, mediante la automatización, permite el control y súper vigilancia de defectos e impide que productos que no cumplan con las expectativas de calidad y continúen en la cadena productiva.
  
9. **ANDON:** Es la herramienta con la que cuanta cada trabajador, independiente de su jerarquía, a advertir a quienes corresponda (o detener el proceso) en caso de detectar anomalías en el proceso productivo. En la actualidad esta herramienta se ha utilizado en el ámbito de la seguridad. A finales de los 90's algunas mineras iniciaron un programa de seguridad llamado "El Objetivo es Cero", el cual empoderaba a los empleados a no llevar a cabo una tarea si ellos consideraban que ésta era potencialmente insegura. El eslogan fue: "Si no es seguro, entonces no lo hago de esa manera" [7].

## 2. CONTEXTO ESTRATÉGICO

### 2.1. PLAN ESTRATEGICO Y TRANSFORMACIONAL DE CODELCO

Codelco, sigue siendo el productor de cobre más grande de Chile y juega un rol importante en el escenario mundial. El año 2020 Codelco representó el 30% de la producción nacional de cobre mina (con 1.727 ktmf, incluyendo su participación en Anglo American Sur y El Abra) y el 8% de la producción mundial [2].

En ese contexto, Codelco se ha propuesto, como objetivo Estratégico, convertirse en una de las compañías más productivas, rentables y sustentables. La empresa ha plasmado su **misión** de la siguiente manera:

*“Maximizar, en forma **competitiva y sustentable**, el **valor económico de CODELCO** y su **aporte al Estado** en el largo plazo, a través de la **explotación minera del cobre**”*

Para lograrlo, la empresa inició un profundo plan de transformación, lanzado a fines de 2019, que busca la excelencia en operaciones y en proyectos, la captura de valor de sus recursos y reservas, y un cambio cultural que impulsa nuevas formas de operar. El compromiso con el Estado de Chile fue generar US\$ 1.000 millones adicionales de excedentes a partir de 2021, sobre la base de los resultados 2018 (cuando se alcanzó US\$ 1.606 millones) y US\$ 400 millones más en 2020. Esto se sumará al ahorro proyectado de 20%, equivalentes a US\$ 8.000 millones, en el total de la cartera de inversiones que tiene planificada hasta 2028 [2]. Lo anterior permitirá a Codelco posicionarse en el segundo cuartil de costos, asegurando el financiamiento y desarrollo de los proyectos estructurales y manteniendo su aporte al país por los próximos 50 años.

La minería chilena y en particular Codelco, viven una época compleja en donde se han identificado los 6 desafíos más importantes que enfrenta la cuprífera estatal, estos son:



Figura 4: Desafíos de Codelco en webinar #CodelcoInnovacionAbierta (Elaboración propia)

Para hacer frente a los desafíos futuros y poder capturar el valor potencial, Codelco ha lanzado un Plan Estratégico que se sustenta sobre diez prioridades, estas son:



Como se logra visualizar de la Estrategia de Codelco, la Excelencia Operacional es la primera prioridad del plan de Transformación. El año 2020 Codelco concretaron los siguientes hitos en materia de Excelencia Operacional:

- Con el respaldo del presidente ejecutivo y el vicepresidente de Operaciones Centro Sur como sponsor de la excelencia operacional, se definió el *roadmap* para la Excelencia Operacional C+.
- Se aprueba una nueva estructura de la Excelencia Operacional, para enfrentar los desafíos 2021-2024, asociados a la Estrategia.
- Seis divisiones prepararon el Proceso de *Full Potential* para 2021, lo que permitirá respaldar la estrategia.

El *roadmap* se basará en el modelo Shingo, el que guiará la creación de una cultura sostenible y apoyará la excelencia operacional, sustentado en principios que se insertan en la Corporación para llevarla a obtener mejores resultados. El modelo Shingo se basa en 10 principios Lean que se agrupan en tres dimensiones: habilitadores culturales, mejora continua y alineamiento empresarial para la búsqueda de resultados de negocio, como se ve en la siguiente gráfica.

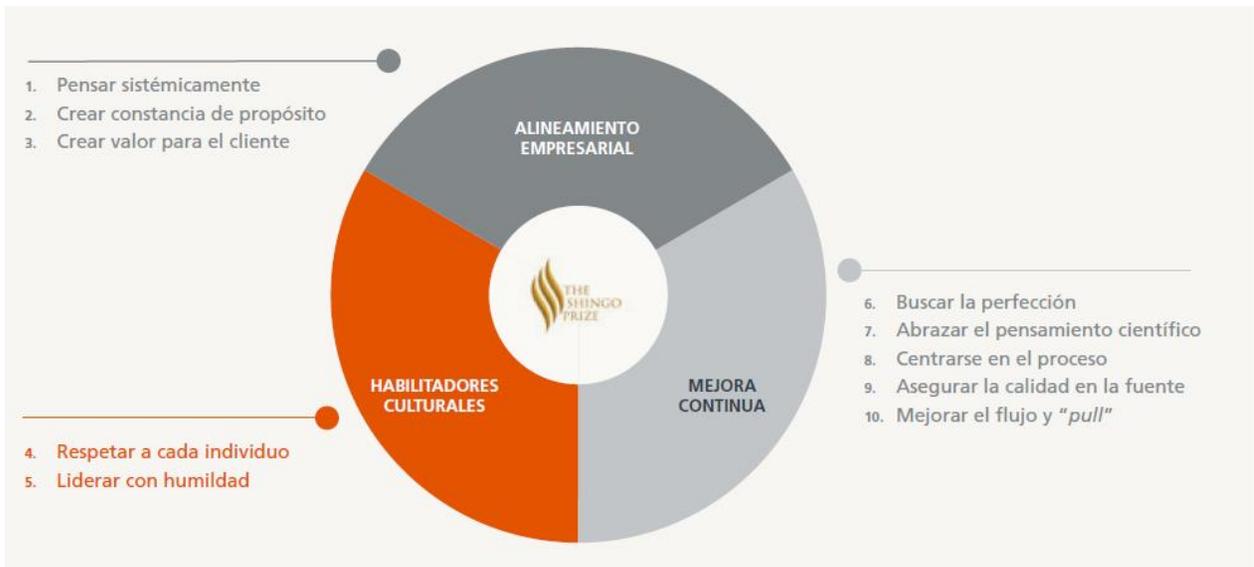


Figura 5: Diez Principios Lean, agrupados en tres dimensiones, Según el Modelo Shingo (Fuente: Memoria Anual de Codelco, Año 2020)

En la actualidad Codelco tiene en ejecución Proyectos Estructurales, que buscan dar sostenibilidad a los niveles productivos de la compañía, dada la tendencia a la baja en las leyes de mineral. La transformación de Codelco es vital para asegurar la correcta ejecución, puesta en marcha y posterior operación de cada uno de estos Proyectos:

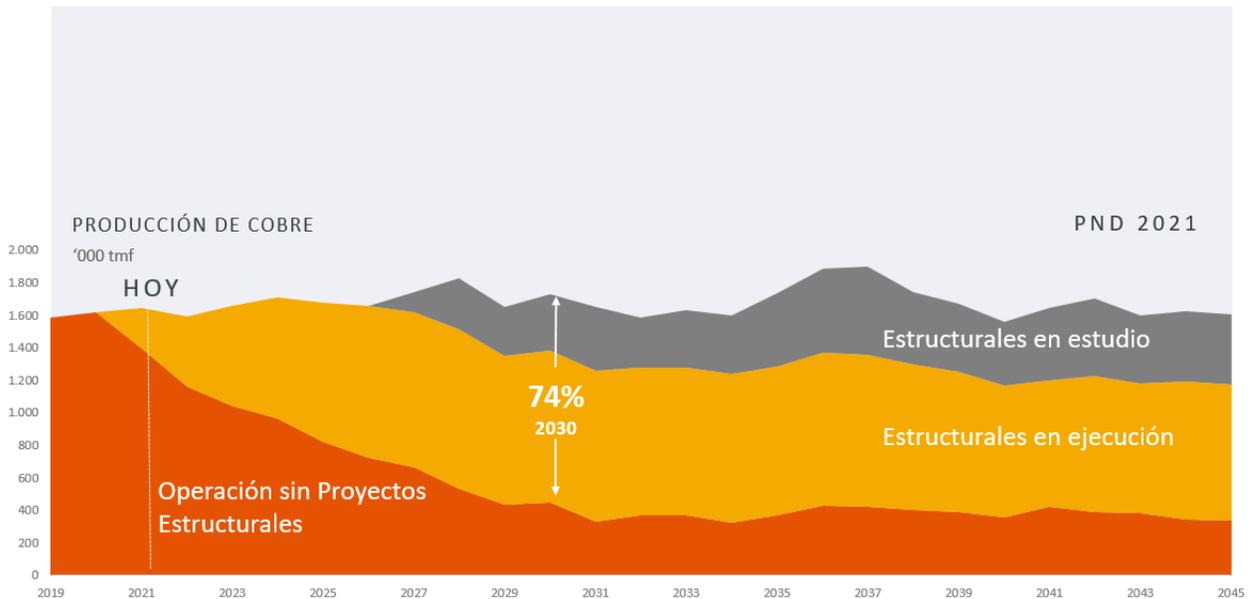


Figura 6: Proyección de niveles de producción y la contribución de los proyectos estructurales (Fuente: Presentación de Octavio Araneda, presidente ejecutivo de Codelco: "La Transformación de Codelco". Mayo 27 del 2021)

## 2.2. ESTRATEGIA DIVISIÓN EL TENIENTE

La División El Teniente (DET) es uno de los complejos minero-metalúrgico de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco), siendo además la mina subterránea más grande del mundo. Sus instalaciones principales se localizan en la Sexta Región de Chile, a 80 km al Sureste de la ciudad de Santiago y a 50 km al Este de la ciudad de Rancagua [9].

El año 2020 la División El Teniente alcanzó una producción de cobre fino mina de 443,2 ktmf lo que representó el mayor aporte (27,4%) dentro de todas las divisiones de Codelco [2].

PRODUCCION DE COBRE FINO, POR DIVISION.

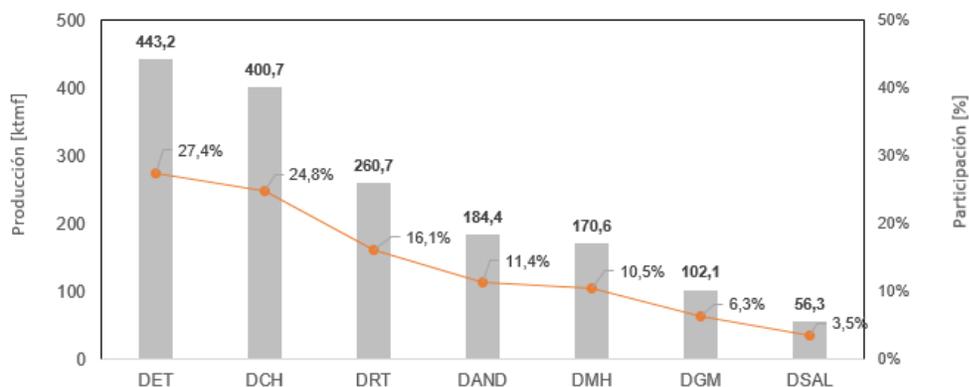


Figura 7: Producción de cobre fino (mina) de las Divisiones de Codelco. Año 2020 (Elaboración propia)

La División El Teniente ha definido cinco (5) objetivos estratégicos principales que son la guía para avanzar y concretar la transformación de la corporación:



Figura 8: Cinco objetivos estratégicos definidos por la División el Teniente para lograr los objetivos transformacionales de la corporación (Fuente: Presentación interna “Estrategia DET”. Año 2021)

Para lograr estos objetivos estratégicos se han desarrollados planes específicos denominados Plan de Implementación Tácticos o PIT y el avance, seguimiento y control de estos PIT's se realiza mediante un modelo de Gobernanza Estratégica basado en C+.

En la actualidad existen en la División El Teniente 31 PIT de los cuales 10 de ellos son considerados estratégicos dada su contribución al negocio. A continuación, se presenta el modelo de Gobernanza Estratégica:



### Equipo

Elabora un plan (PIT) con una carta Gantt, diseña la solución, implementa y ejecuta.



### Champions

Garante de la elaboración del PIT, con carta Gantt y responsables asociados, controla avances e identifica necesidades para la realización.



### Seguimiento PIT

**Presentación a Gerente General** de un PIT en particular donde se declara el aporte al negocio y se elevan las solicitudes para acelerar el desarrollo de las Palancas



### Gobernanza Estrategia

**Seguimiento PITs Estratégicos:**  
Enfocado en un seguimiento donde se levantan las desviaciones de los 10 PITs de mayor relevancia para el Negocio

Adicionalmente, y en paralelo al seguimiento PIT, los proyectos Andes Norte Nuevo Nivel Mina (NNM), Diamante y Andesita constituyen la Cartera de Proyectos Teniente, que reemplazó al proyecto original Nuevo Nivel Mina, lo que permitirá extender por 50 años

la operación divisional e iniciar la explotación del nivel Teniente 9, el más profundo respecto de los sectores que actualmente están en explotación.

En el año 2020 se alcanzó un avance acumulado de un 65% en Andes Norte NNM, 55% en las obras tempranas de Diamante y 65% en las de Andesita. Adicionalmente, y como parte del programa de financiamiento de la cartera de la corporación, se autorizaron los fondos para la ejecución de las obras de explotación de los proyectos Diamante y Andesita, completando, con esto, la autorización de la inversión para el plan de inversiones [2].

Otros proyectos de la división, de menor envergadura, pero no menor relevancia desde el punto de vista de la sustentabilidad son los Proyectos: Ampliación de la Capacidad del Embalse de relaves Carén y la **Planta de Tratamiento de Escorias** de la Fundición de Caletones.

### **2.3. VALOR ESTRATÉGICO DEL PROYECTO**

De los Proyectos mencionados en la sección anterior, ahora nos centraremos en el Proyecto Planta de Tratamiento de Escorias de Convertidor Teniente, el cual depende de la Gerencia Fundición (Fundición Caletones) de la División El Teniente de Codelco.

El valor estratégico de este proyecto radica en que la construcción y puesta en servicio de la Planta de Tratamiento de Escorias Convertidores Teniente, permite la continuidad operacional sustentable de la fundición Caletones, al procesar las escorias que dejaron de ingresar a hornos de limpieza, para dar cumplimiento a la emisión de arsénico según la normativa de emisiones DS 28, que entró en vigencia el 12 de diciembre 2018.

La Planta de Tratamiento de Escorias, inició su construcción en octubre de 2017 y la Puesta en Marcha inició en junio de 2019 con el precomisionamiento de los equipos y sistemas, para continuar con el comisionamiento, iniciado en noviembre de 2019, con el hito del primer “paso de carga”, seguido del ramp up de la Planta en marzo de 2020 y finalizar el proyecto completo en septiembre de 2020 [10]. Desde septiembre de 2020 a la fecha la Planta se encuentra en operación, con foco en la continuidad de marcha, reducir la ley de cobre en el relave y reducir los inventarios de escoria (CT e histórica HLE) de la fundición Caletones.

Dentro del Plan Estratégico de la Transformación de Codelco, una de las tareas es transformar la cultura y personalidades de los trabajadores hacia la excelencia operacional. Dicha tarea no es fácil, pues la corporación posee Divisiones con hasta 116 años de vida, como lo es la División El Teniente. Por lo anterior, cada nueva unidad operativa que se integra a Codelco es una nueva oportunidad de nacer bajo la mentalidad y comportamiento de la Excelencia Operacional.

Al ser uno de los proyectos más nuevos de la División El Teniente en entrar en operación, era crucial que la Planta de Tratamiento de Escorias partiera con Excelencia Operacional, de la mano del Sistema de Gestión C+, lo que agrega valor a la Estrategia Transformacional de la Corporación

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO DE ESCORIAS

#### 3.1. TRANSPORTE, MANEJO, CHANCADO Y ACOPIO DE ESCORIA

La escoria triturada en las canchas de enfriamiento es descargada en la tolva de recepción de escoria, la que alimenta a un alimentador de placas ("Apron Feeder"). Este alimentador de placas descarga sobre el chancador primario, tipo mandíbula, el que procesa la escoria hasta un P80 de 64 mm, la que es recibida por la correa transportadora hasta el acopio de almacenamiento. La siguiente figura esquematiza el proceso descrito:

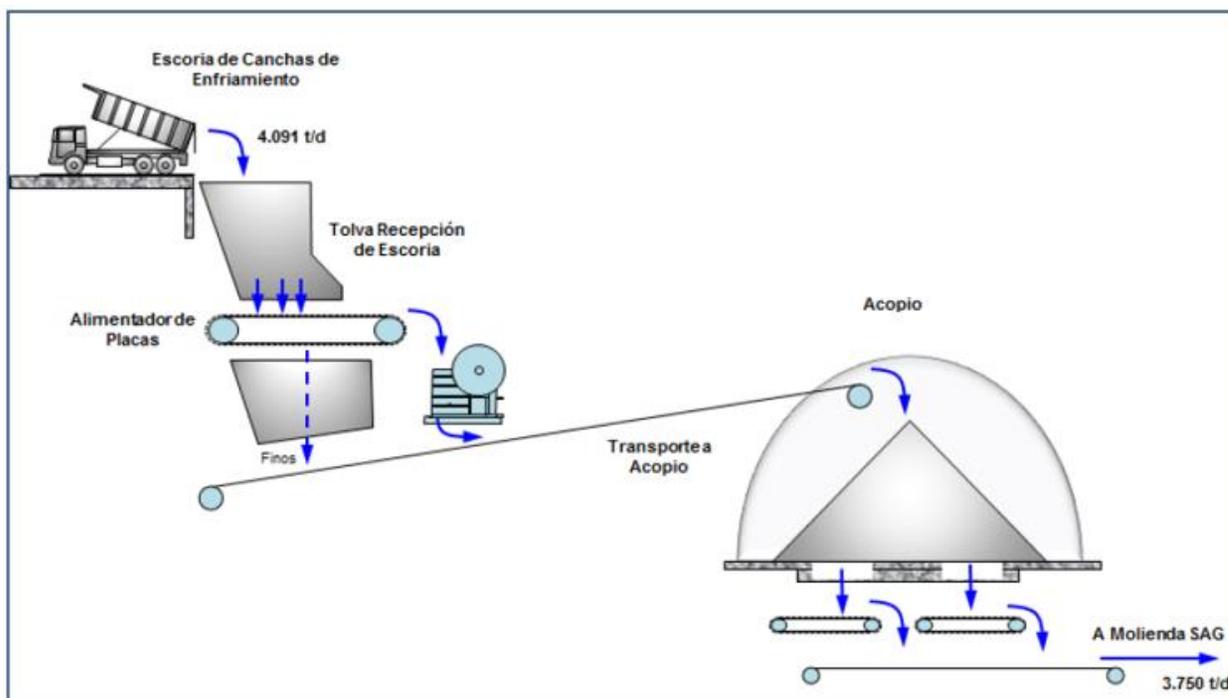


Figura 9: Diagrama de Flujo de Chancado y Acopio de Escorias.

#### 3.2. MOLIENDA

La molienda consta de un circuito compuesto de un molino SAG y un molino de bolas. Ambos molinos son del tipo piñón-corona simple, accionados por motores sincrónicos de baja velocidad. El cajón de bombeo hacia los hidrociclones es común para la descarga del molino SAG y el molino de bolas (circuito cerrado inverso). La colección de los pebbles se efectúa mediante un trommel y el sobre tamaño se recircula al molino SAG.

##### 3.2.1. MOLIENDA PRIMARIA

Desde el acopio de almacenamiento de escoria, tipo domo, se descarga, a través de dos alimentadores de placas hasta el molino semiautógeno (SAG), de dimensiones 6,71 m x 3,35 m (22' x 11') de 2.824 Kw (3.787 HP). La descarga del molino SAG se efectúa con trommel, para clasificar los pebbles y el mineral fino. El cajón de descarga del molino SAG, es a su vez el cajón de alimentación a la batería de hidrociclones y recibe además la descarga del molino de bolas que opera con el molino SAG. Los pebbles generados

por el molino SAG son recirculados a éste por el sistema de correas compuesto por “trommel”, correa de alta pendiente y correa de retorno.

### 3.2.2. MOLIENDA SECUNDARIA Y BATERÍA DE HIDROCICLONES

La molienda secundaria considera un molino de bolas de 6,10 m x 9,75 m (20' x 32'), de 7.145 kW (9.581 HP), operando en circuito cerrado con una batería de hidrociclones (8 operando + 2 stand by), de 381 mm (15 pulgadas) de diámetro. La carga circulante considerada para diseño es de 450% y el producto final se estima que tendrá un P80 = 47  $\mu$ m, considerando las longitudes del molino de bolas proyectado. El cajón receptor de la descarga del molino SAG, será a su vez el cajón de alimentación a los hidrociclones y recibirá la descarga del molino de bolas. Se ha definido usar dos bombas para la alimentación de la batería de hidrociclones (1 operando + 1 stand by). En el rebose de hidrociclones se contará con sistema cortador de muestras, las que serán enviadas hacia un analizador de tamaño de partículas, el cual entregará las distribuciones granulométricas en tiempo real. La siguiente figura muestra el diagrama de flujos antes descrito:

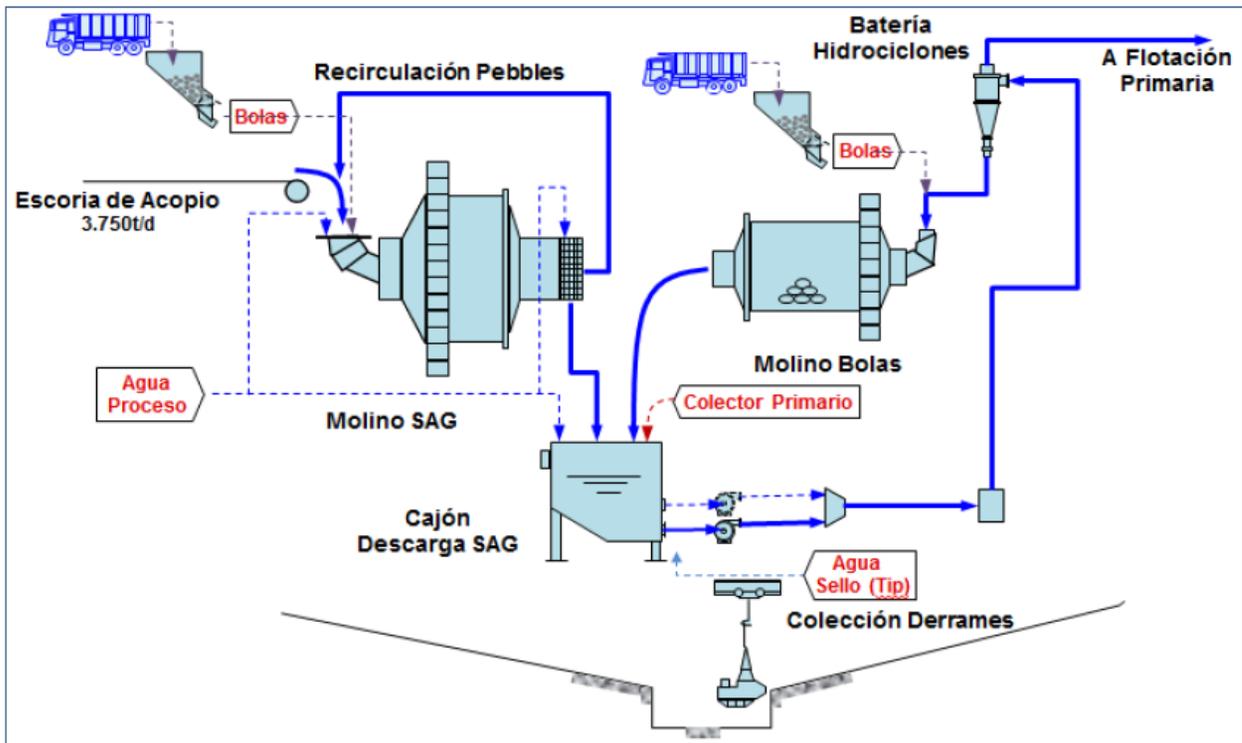


Figura 10: Diagrama de flujos Global de Molienda.

### 3.3. FLOTACIÓN

El circuito de flotación de escorias operará 360 días por año y con una utilización de 88%. El proceso completo se lleva a cabo en dos (2) etapas flotación:

- Primaria o Rougher, formada por 10 celdas de 20 m<sup>3</sup> de capacidad c/u, dispuestas igualmente en dos filas paralelas en arreglo 2-3.
- Secundaria o Scavenger, formada por 16 celdas de 20 m<sup>3</sup> de capacidad c/u, dispuestas igualmente en dos filas paralelas en arreglo 2-3-3.

Los reactivos considerados en régimen estacionario, para el aseguramiento de la recuperación de cobre, son colector primario del tipo di-tio-carbamato, en una dosificación global de 200 g/t, agregados en un 50% en el cajón de molienda y el 50% restante en el cajón de alimentación a flotación Rougher o Primaria. La siguiente figura muestra el diagrama de flujo descrito:

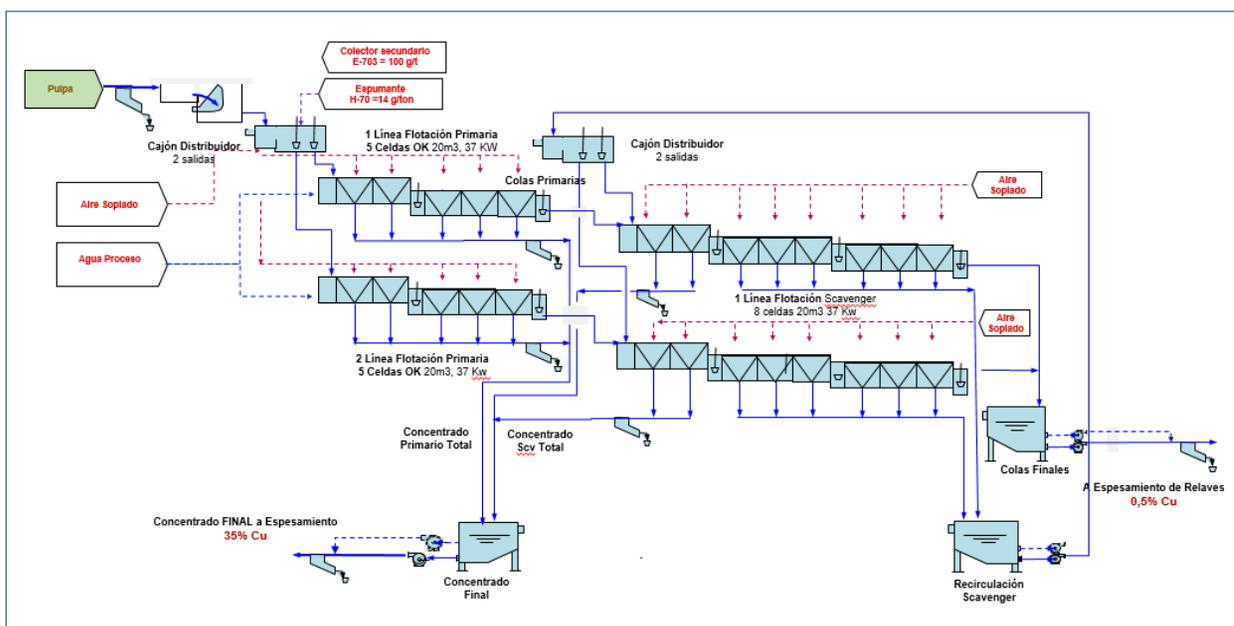


Figura 11: Diagrama de Flujos área de Flotación.

El flujo de concentrado primario, con una ley proyectada de 45 % en cobre, una recuperación metalúrgica de cobre de la etapa de 65% y tiempo de flotación de 18 min, se envía gravitacionalmente a un cajón de concentrado final, donde se junta con el flujo de concentrado de la flotación scavenger, para luego ser bombeado hasta la etapa de espesamiento de concentrado.

La etapa de flotación scavenger, está formada por dos filas de 8 celdas de 20 m<sup>3</sup> cada una, en arreglo 2-3-3. La alimentación total a la etapa está compuesta por las colas de la etapa de flotación primaria, más el flujo de recirculación generado de concentrado en las seis últimas celdas de cada fila de la etapa de flotación scavenger. Las dos primeras celdas de cada fila de la etapa scavenger producen concentrado de cobre final con una ley de 23,7%, que se junta con el concentrado de la etapa primaria, constituyendo la

producción total del circuito de flotación, con una ley global de la mezcla de 35% de cobre y una recuperación global de cobre de 95,5%.

Las colas de la etapa de flotación scavenger, presentan una ley de 0,5% de cobre y constituyen los relaves finales del circuito, que descargan al cajón de colas finales, desde donde se bombean hacia el espesador de relaves.

El concentrado generado en las seis últimas celdas de cada fila scavenger, genera un flujo de concentrado de cobre de buena ley, que descarga a un cajón desde donde se bombea hasta el cajón de alimentación a la etapa scavenger, dando lugar al flujo de recirculación scavenger.

La recuperación de la etapa de flotación scavenger es de 87% y se alcanza en los 5,5 min de tiempo de flotación, equivalente a las dos primeras celdas. No obstante, se debe señalar que el tiempo global de flotación es de 40 min, para alcanzar una recuperación global de 95,5% de cobre. Este tiempo se reparte entre la etapa de flotación primaria que considera 18 min y la etapa de flotación scavenger, que considera 22 min.

El circuito de flotación requiere de la adición de reactivos colectores y espumantes, para mejorar los rendimientos del proceso. El colector se adiciona a una razón de 100 g/t en el cajón de molienda y 100 g/t en el cajón de alimentación a la flotación primaria, junto con el reactivo espumante (alcoholes alifáticos), en una razón de 14 g/t.

El control operacional del circuito de flotación considera un muestreo en línea de los distintos flujos que forman parte del circuito de flotación: alimentación a la flotación primaria, se toman muestras para análisis de tamaño de partículas y muestras para los análisis por los elementos químicos que forman parte de la escoria alimentada. Análisis de las leyes de los concentrados de la etapa flotación primaria y scavenger, para cada fila y para el concentrado y relave final.

### **3.4. MANEJO DE CONCENTRADO**

El manejo de concentrado considera las etapas de espesaje y filtrado, donde la etapa de espesamiento de concentrado tiene por objetivo principal recuperar agua y acondicionar la pulpa para realizar una eficiente etapa de filtración. El espesamiento se lleva a cabo en un espesador de Alta Capacidad, de diámetro 25 m, el cual se alimenta a través del cajón que concentrará los sólidos desde 25% en peso hasta 66% en peso, utilizando para ello una dosificación de floculante de 30 g/t la cual se agregará como solución a una concentración de 0,03% p/p.

La Figura 4 muestra el Diagrama de Flujo de esta etapa.

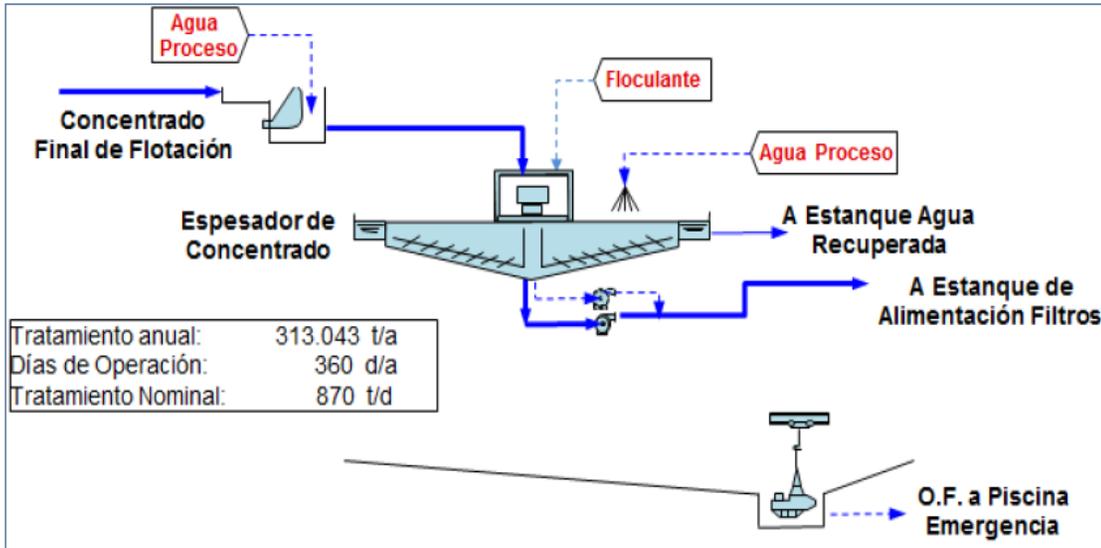


Figura 12: Diagrama de flujo Espesador de Concentrado.

La descarga del espesador se realiza mediante dos bombas, una de ellas stand by, con la que se impulsará la pulpa espesada hasta el estanque agitado de alimentación a filtración. El agua recuperada es enviada gravitacionalmente hasta el estanque de agua recuperada y desde ahí, es impulsada mediante bombas hacia el espesador de concentrado. La etapa de filtración se realiza en dos filtros verticales de placas horizontales, a los cuales se les alimenta concentrado de cobre espesado a 66% de sólido, vía bomba centrífuga, para obtener un queque de concentrado con un porcentaje de humedad menor a 9% base húmeda. El queque de cada uno de los filtros descarga a una correa transportadora y esta a su vez descarga a una tolva desde donde se alimenta a camiones vías alimentadores de correa, para posteriormente ser enviado a la fundición. La Figura 5 muestra el diagrama esquemático del sistema de filtración.

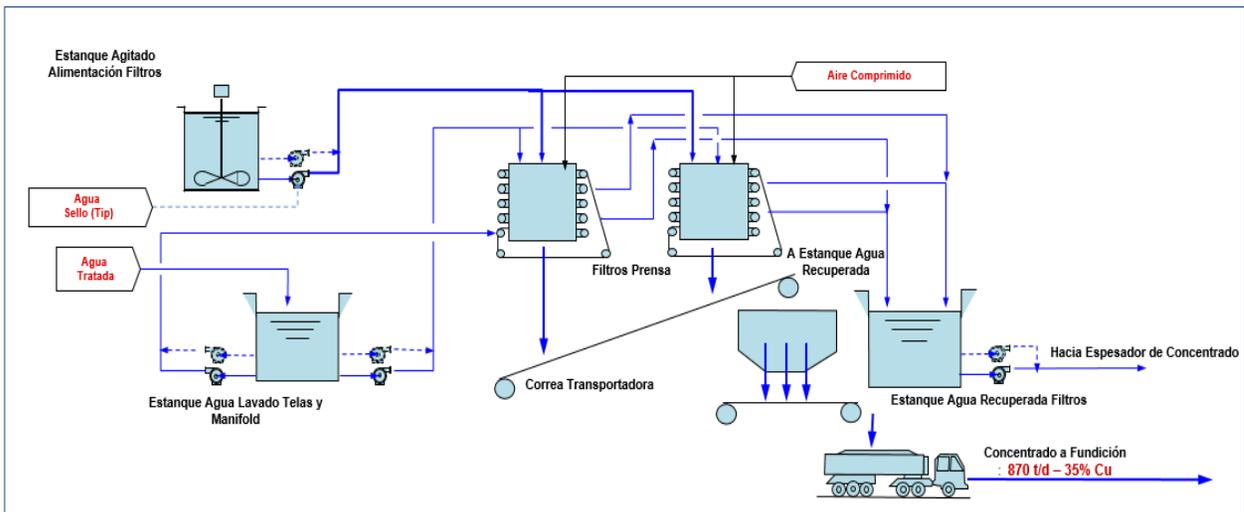


Figura 13: Diagrama de Flujo área de Filtrado de Concentrados.

### 3.5. MANEJO DE RELAVES

El relave final del circuito de flotación se impulsa mediante dos bombas centrífugas, una de ellas stand by, la que alimenta al espesador de Alta Capacidad, de diámetro 25 m, para concentrar los sólidos de la pulpa desde 30% en peso hasta 60% en peso, utilizando para ello, reactivo floculante en una dosificación de 30 g/t, el cual se adiciona al espesador a la forma de solución acuosa, preparada al 0,03% p/p. La pulpa de relaves espesada, es descargada e impulsada mediante dos (2) bombas centrífugas, una de ellas stand by, hasta un estanque agitado. Desde este estanque agitado, se impulsa el relave espesado a través de un sistema que posee una (1) línea operando y una (1) stand by, el que es impulsado mediante dos (2) bombas de desplazamiento positivo. Se considera para ambas bombas de desplazamiento positivo, una operando y la otra stand by. El sistema impulsa el relave espesado hasta un cajón de descarga a la canaleta de relaves, ubicado en Colón Bajo. La Figura 6 muestra un esquema del diagrama de flujo.

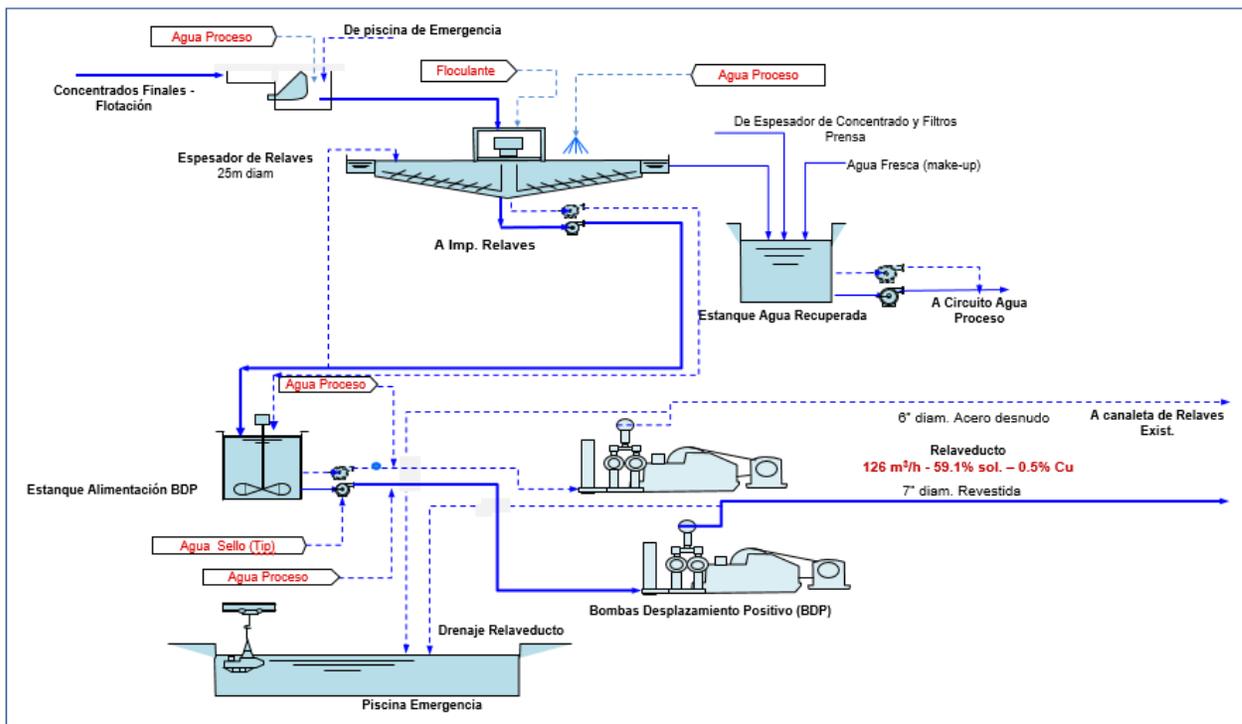


Figura 14: Diagrama de Flujos del área manejo de relaves.

## 4. BENCHMARK EXCELENCIA OPERACIONAL

### 4.1. EXCELENCIA OPERACIONAL EN LA INDUSTRIA MINERA CHILENA

La Excelencia Operacional, basada en la metodología Lean, se había desarrollado principalmente en industrias del tipo automotriz (dado su origen en el Sistema de producción de Toyota y los esfuerzos iniciales de Henry Ford). Sin embargo, nada inherente en Lean es específico a los procesos de manufactura discreta, y en los últimos años la metodología Lean se ha vuelto una metodología común y efectiva en muchas otras industrias manufactureras, de procesamiento, servicios y minería [7].

El caso de la empresa Rio Tinto es un ejemplo de una empresa minera que consideró, a finales del 2004, la implementación de la metodología Lean para sus procesos, en particular en su unidad de negocios Rio Tinto Aluminium. El éxito que obtuvo provocó que se extendiera a otras unidades de negocios, como la minera de cobre Northparkes, y Hunter Valley operations, el cual engloba 4 minas ubicadas en New South Wales [7].

El año 2010 la División El Teniente de Codelco inició la implementación Lean (con el apoyo de la consultora McKinsey & Company) en la mina Diablos Regimiento, con la finalidad de eliminar desperdicios, instalar estándares operacionales y así alcanzar mejores desempeños productivos. Con dicha implementación se logró un incremento del 31% en la utilización efectiva de los equipos LHD y con ello un aumento de la producción del 25% [11]

La Excelencia Operacional, de la mano del Lean Management, ha tomado un protagonismo relevante en la escena nacional, principalmente dentro del contexto de las agendas de productividad y costos de las distintas industrias. Son varias las operaciones mineras (y no mineras) que consideran el Lean dentro de su gestión e insertas dentro de la Organización de manera formal, en forma de Gerencias, Direcciones, Superintendencias, etc. Algunas de estas son: CODELCO, BHP, Antofagasta Minerals, Anglo American, Glencore, Yamana Gold, SQM, Mantos Copper, Pucobre, etc.

A continuación, se presentan los principios de algunos Sistemas de Gestión de Excelencia Operacional de las principales Empresas Mineras del país

#### ***Excelencia Operacional en BHP***

En BHP la Excelencia Operacional se implementa a través de BOS (Bhp Operating System). BOS es un programa global que se enfoca en la mejora continua, la eliminación de desperdicios y la transformación a través de una cultura empoderada de la gente. En pocas palabras, BOS es una forma de trabajar, que hace que la mejora continua sea parte de lo que se realiza día a día. BOS se basa en tres principios Fundamentales:

- Servir a los Clientes
- Buscar la Perfección en la Operación
- Empoderar a la Gente



Figura 15: Principios Fundamentales en los que se basa BOS (Elaboración propia)

Los Principios fundamentales del Sistema BOS se abren o se componen de propósitos y prácticas que deben ser llevadas a cabo por los integrantes de la compañía.

Principios Fundamentales	Propósito	Prácticas BOS
<p><b>Atender a Nuestro Cliente</b></p>	<p><b>Conectar</b> nuestras metas con nuestra estrategia, y nuestra mente con nuestro propósito</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Definir y divulgar en cascada un propósito significativo</li> <li>2 Comprender la voz del cliente y fijar las métricas</li> <li>3 Fijar las aspiraciones y metas</li> </ol>
<p><b>Buscar la Perfección Operacional</b></p>	<p><b>Entregar</b> de manera segura y eficiente lo que nuestros clientes valoran</p> <p><b>Descubrir</b> e implementar mejores maneras de trabajar</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4 Equilibrar la capacidad y la demanda</li> <li>5 Estandarizar procesos y asegurar la calidad</li> <li>6 Visualizar y gestionar el desempeño</li> <li>7 Mantener un espacio de trabajo limpio, seguro y organizado</li> <li>8 Identificar las oportunidades de mejoramiento</li> <li>9 Resolver problemas a nivel de causa raíz y compartir las contramedidas</li> <li>10 Gestionar proyectos de mejoramiento</li> </ol>
<p><b>Empoderar a Nuestra Gente</b></p>	<p><b>Permitir</b> a nuestra gente contribuir con su máximo potencial</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>11 Crear un lugar de trabajo atractivo y respetuoso</li> <li>12 Dirigir con eficacia rutinas estandarizadas</li> <li>13 Confirmar y desarrollar procesos y funciones</li> <li>14 Potenciar a nuestro personal mediante desarrollo de aptitudes y coaching</li> </ol>

Figura 16: Desglose del Sistema BOS, en Propósitos y Prácticas (Fuente: BOS- BHP)

### **Excelencia Operacional en Teck-Chile**

En el caso de Teck, actualmente la compañía se encuentra realizando la estandarización de la excelencia operacional de sus faenas, a través de un modelo de Business Partner, centralizando la gestión de la Excelencia Operacional. Sin embargo, antes de implementar este modelo corporativo, la excelencia operacional ya era uno de los pilares

estratégicos de la Visión Operativa de Teck, en particular se revisará el Excelencia Operacional en la faena Quebrada Blanca (QB):

En QB el Modelo de Gestión de Excelencia Operacional es parte del Modelo Operativo Integrado (IOM, por sus siglas en ingles) y considera las mejores prácticas a través de la industria. La estrategia de QB integra la excelencia operacional como una forma de trabajar, para sostener el Modelo Operativo Integrado en función de maximizar la captura de valor. Operaciones integradas, soportadas por la excelencia operacional, es el conductor de la cadena de valor que permite a las operaciones extraer el máximo valor para la organización.

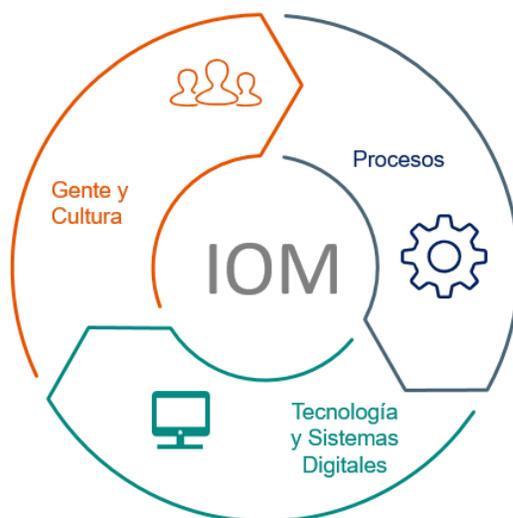


Figura 17: Principios del Modelo Operativo Integrado de QB (Elaboración Propia)

### **Excelencia Operacional en AMSA**

El Grupo Antofagasta Minerals opera cuatro minas de cobre a rajo abierto, dos de las cuales producen además los subproductos: molibdeno y oro. Estas operaciones son:

Minera Centinela, Minera Antucoya y Minera Zaldívar localizadas en la región de Antofagasta, y Minera Los Pelambres, en la región de Coquimbo.

En Antofagasta Minerals la Excelencia Operacional se inserta dentro del llamado **Modelo Operativo** definido como **MO AMSA**. El objetivo del MO AMSA es fortalecer los procesos claves para el cumplimiento de los compromisos productivos, generando una ventaja competitiva a través de principios operativos comunes para el Grupo Minero.

El cumplimiento del MO AMSA es la consolidación de una organización empoderada para la toma efectiva de decisiones que permite generar operaciones eficientes y sustentables.



Figura 18: Principios del Modelo Operativo de AMSA (Elaboración Propia)

La correcta aplicación y consolidación del Modelo Operativo en el proceso productivo de las distintas compañías permite generar dos grandes efectos que contribuyen a la competitividad del Grupo Minero:

1. Reducir la variabilidad de los procesos (Eficacia + Eficiencia = Efectividad)
2. Utilizar la máxima capacidad alcanzable de los activos (Full Potential)

#### 4.2. EXCELENCIA OPERACIONAL EN CODELCO

La Excelencia Operacional es uno de los tópicos principales de la Transformación de Codelco y aborda las principales dimensiones, disciplinas, prácticas y herramientas para apalancar la Estrategia de Codelco en los próximos años. La Excelencia Operacional trabaja sobre 3 grandes disciplinas:



Figura 19: Disciplinas de acción de la Excelencia Operacional en CODELCO (Fuente: CODELCO)

- **Mentalidades y Comportamientos:** Dimensión que busca derribar las barreras culturales e incentivos divergentes a la transformación.
- **Sistemas Operativos:** Conjunto de procesos y estándares que permiten guiar a la organización en el cómo operar y mantener nuestros equipos productivos para maximizar los coeficientes de marcha hacia el límite técnico de los equipos productivos.
- **Sistema de Gestión C+:** Conjunto integrado de principios, disciplinas y prácticas relacionadas entre sí de forma ordenada, que establece la manera de cómo deseamos administrar el negocio. Basado en la metodología Lean. Busca alcanzar la excelencia operacional a través del trabajo en equipo, el empoderamiento y el desarrollo de las personas, junto con la participación y el involucramiento de la primera línea y el apoyo de la gerencia a la línea.

El Sistema de Gestión C+ se compone de cuatro disciplinas:

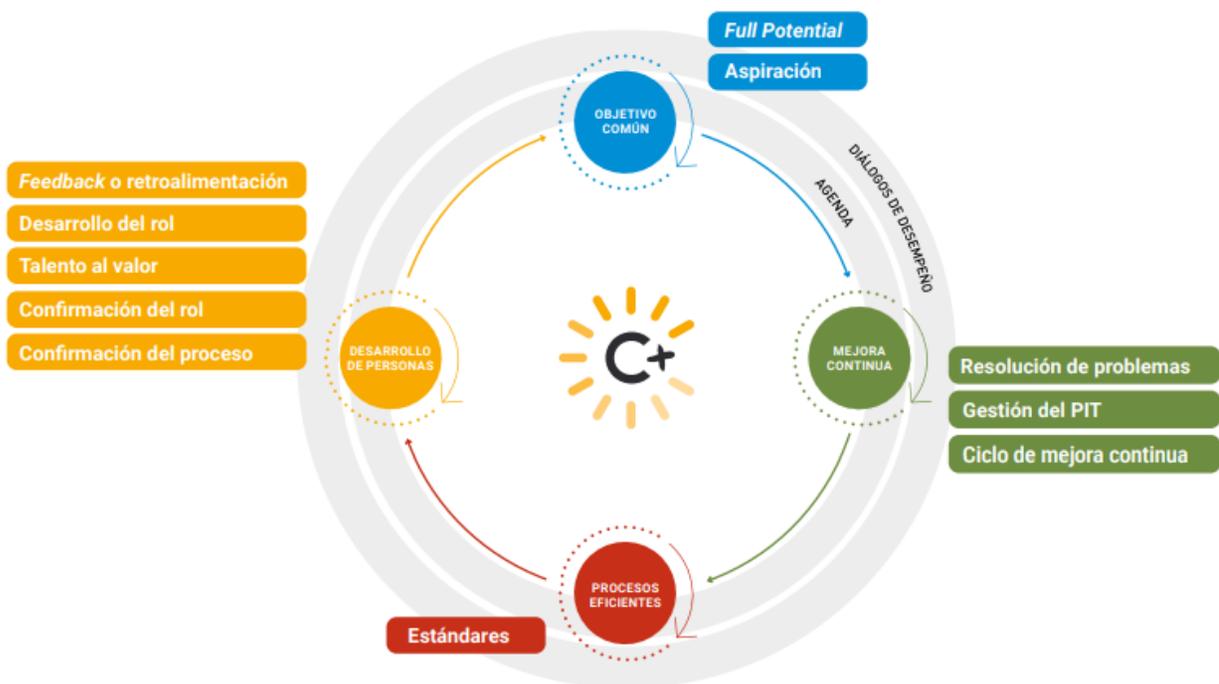


Figura 20: Cuatro disciplinas que componen el Sistema de Gestión C+ (Fuente: CODELCO)

- **Objetivo Común:** Disciplina C+ que busca lograr que todas las personas trabajen hacia un mismo objetivo común y que puedan comprender cómo cada uno de ellos contribuye a la *Aspiración*, mediante su rol e indicadores relevantes de su ámbito de gestión. Se compone de las prácticas C+: Proceso de indicadores y metas (full potencial) y Aspiración.
- **Mejora Continua:** Disciplina C+ que busca mejorar continuamente el desempeño mediante la resolución de problemas, con un enfoque en identificar las causas raíz de los problemas, de forma que estos no se vuelvan a repetir. Las prácticas C+ asociadas a la mejora continua son: Ciclo de mejora Continua, Resolución de Problemas (RdP) y *Gestión del PIT*.

- **Procesos Eficientes:** Disciplina C+ que busca asegurar la calidad, eficiencia y uniformidad de los procesos mediante la estandarización de tareas críticas.
- **Desarrollo de Personas:** Disciplina C+ que busca mejorar las competencias de las personas, de forma de que habiliten su liderazgo y contribuyan en su máximo potencial. Se componen de las siguientes prácticas C+: Confirmación de Rol (CdR), confirmación de procesos (CdP) y desarrollo del Rol.

A continuación, se presentan los principales conceptos de las prácticas C+:

Objetivo común	<b>Aspiración</b>	Enunciado claro que define una visión del estado futuro del desempeño en forma cuantitativa. Es calculada a partir del proceso indicadores y metas ( <i>full potencial</i> ) y comunicada a la organización través de la historia de cambio.
	<b>Proceso indicadores y metas (<i>full potencial</i>)</b>	Proceso definido y estandarizado, que tiene por objetivo generar captura de valor relevante para la estrategia de Codelco, mediante la identificación de brechas y palancas.
Mejora continua	<b>Ciclo de mejora continua</b>	Proceso definido y estandarizado, que tiene por objetivo generar continuamente mejoras, mediante la identificación de problemas que impactan en el desempeño del negocio y su resolución, de forma que éstos no se vuelvan a repetir.
	<b>Resolución de problemas (RdP)</b>	Instancias de reuniones estructuradas que tiene por objetivo identificar las causas raíces de las brechas detectadas y generar un plan de acción para el cierre de brechas. Dependiendo de la complejidad del problema puede realizarse entre 1 a 3 sesiones.
	<b>Gestión del PIT</b>	Instancia de reunión que tiene por objetivo realizar el seguimiento de los planes de implementación táctico (PIT) en tiempo e impacto. Existe una instancia de reunión para los PIT de RdP como también para los PITs estratégicos.
Procesos eficientes	<b>Estándares</b>	Modelo que define la forma de realizar una tarea en un lenguaje sencillo y claro para así asegurar consistencia y eficiencia en la ejecución de éstas, siendo la base para mejoras futuras.
Desarrollo personas	<b>Desarrollo de rol</b>	Sesión individual del líder con su supervisado que tiene por objetivo desarrollar competencias profesionales mediante la metodología <i>grow</i> , identificando oportunidades y planes de acción para su desarrollo.
	<b>Confirmación de rol</b>	Observación objetiva que verifica que una persona está cumpliendo su rol de la práctica C+ de acuerdo al estándar. Finaliza con un <i>feedback</i> constructivo para desarrollar sus competencias.
	<b>Confirmación de procesos</b>	Observación objetiva que verifica la utilización y adherencia de los estándares, junto con identificar oportunidades de mejoras ante posibles desviaciones. Finaliza con <i>feedback</i> constructivo para el trabajador/a.
Transversales	<b>Agenda</b>	Planificación de actividades de los/las líderes para asegurar el cumplimiento de la ejecución de las prácticas C+ y otras claves, permitiendo coordinarlas con niveles superiores e inferiores.
	<b>Diálogo de desempeño</b>	Instancia de reunión que tiene por objetivo generar acciones rápidas para el cierre de brechas. Participa el supervisor/a con sus supervisados directos y se realiza en base a una frecuencia definida.

Figura 21: Definición de las principales prácticas y herramientas del Sistema de Gestión C+.

La excelencia operacional en Codelco se basa en la filosofía Lean, la cual se orienta en hacer las actividades de manera correcta, en el tiempo requerido y en la cantidad necesaria. Busca minimizar los desperdicios y la variabilidad. Con un enfoque en el que el trabajo debe orientarse en apoyar a sus equipos de trabajo para la generación de valor:



Figura 22: Modelo de Pirámide Invertida del C+, basado en el enfoque Lean (Fuente: CODELCO)

## 5. IMPLEMENTACIÓN MODELO DE GESTIÓN LEAN (C+)

En esta sección se revisará el cómo implementó el modelo de gestión C+ (Lean) en la Planta de Tratamiento de Escorias (PTE). Dicha implementación se enmarca en la transformación lean o C+ de la gerencia fundición y se realizó bajo los lineamientos establecidos por la Dirección de Excelencia Operacional de la División El Teniente.

A continuación, se presenta un extracto del organigrama de la división El Teniente (DET), para entender la interacción de la gerencia fundición (GFUN) y la Dirección de Excelencia Operacional (DEO):

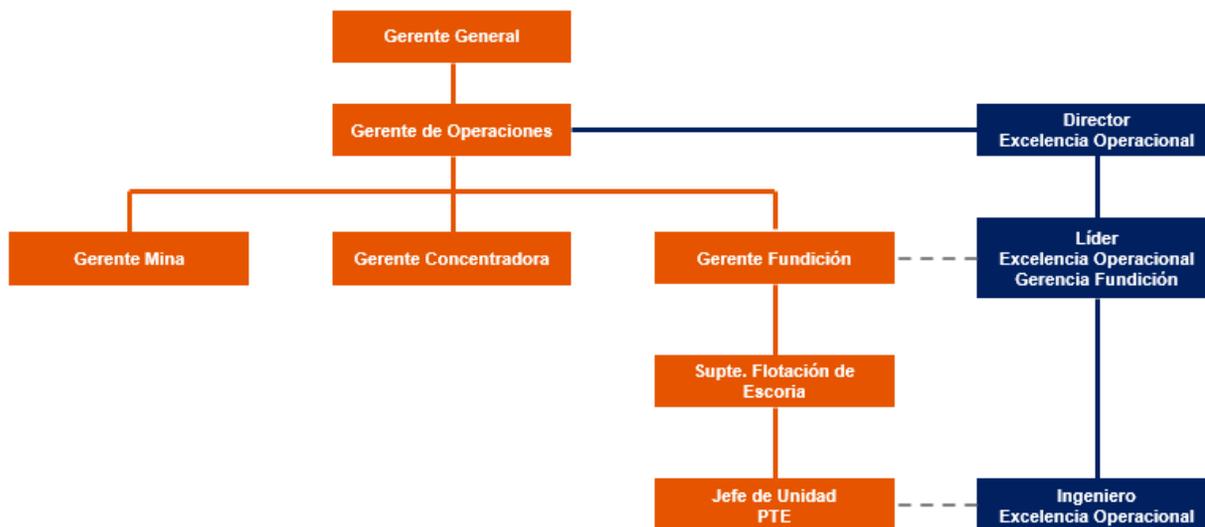


Figura 23: Extracto del Organigrama DET y la Interacción entre la GFUN y la DEO (Elaboración Propia)

La Dirección de Excelencia Operacional de Codelco, y en particular de la División El Teniente cumple el rol de asesor de las implementaciones y de cualquier intervención en un área, proporcionando los lineamientos del sistema de Gestión, acompañando y evaluando la madurez de cada área, hasta lograr una adherencia definida y resultados esperados, es ahí cuando el área debe continuar con esta “nueva forma de trabajar”.

La Unidad Planta de Tratamiento de Escorias (PTE), que depende de la Gerencia Fundición y de la Superintendencia Flotación de Escorias, se encuentra administrada por el jefe de Unidad (Ingeniero Civil Químico) y posee la siguiente estructura:



Figura 24: Organigrama Unidad Planta Tratamiento de Escorias (Elaboración Propia)

Dentro de una intervención e implementación, la figura del **Agente de Cambio** (Ingeniero de Excelencia operacional) juega un rol clave: Será el encargado de convocar y liderar reuniones del equipo de trabajo, realizando seguimiento de los Planes de Implementación Tácticos (PIT). Tiene que disponer de competencias teóricas avanzadas en herramientas Lean y C+, dando soporte a los miembros del equipo. Por lo anterior se requiere que esta persona posea un perfil técnico (es decir que posea conocimientos del proceso productivo) y adicionalmente tenga las siguientes habilidades: Capacidad de comunicación, resolutivo, actitud positiva, motivador, capacidad de iniciativa, orientación a objetivos, entre otras [12].

El roadmap utilizado para la Implementación fue el siguiente:

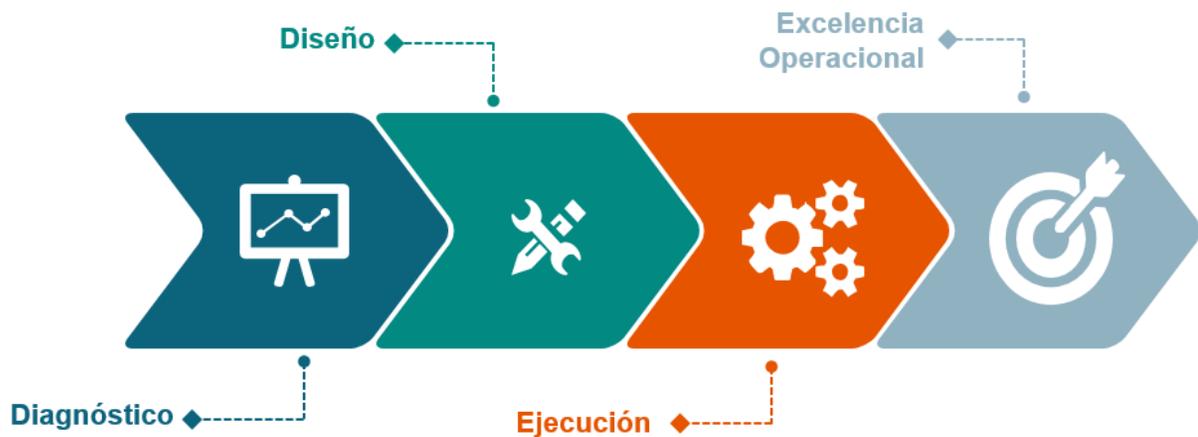


Figura 25: Roadmap de la Implementación C+ en la Planta de Tratamiento de Escorias (Elaboración Propia)

## 5.1. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico es la primera etapa del roadmap de implementación y una etapa clave de cualquier intervención lean o en este caso C+. En esta etapa se identifica lo que ocurre en la organización y se busca entender por qué es necesario implementar un modelo o intervención de excelencia operacional [1].

Como se mencionó con anterioridad, la gerencia fundición de la división El Teniente de Codelco forma parte de una “Ola de Implementación C+” y la Planta de Tratamiento de Escorias es parte de la organización de la gerencia fundición. Sin embargo, el por qué se eligió a esta unidad operativa como parte de los pilotos de la Ola C+ de gerencia radica en las siguientes justificaciones:

1. El término constructivo del proyecto PTE se encontraba con atrasos y con ello su puesta en marcha, traspaso al cliente final y operación a régimen. Por lo anterior era crucial realizar una puesta en marcha y en particular un ramp up impecables, tanto desde el punto de vista de los plazos, producción y seguridad. Por lo que contar con un enfoque lean (eliminando desperdicios) durante este proceso fue la apuesta estratégica, para poder mitigar los retrasos de la fase constructiva.
2. Al ser una planta nueva, el poblamiento dotacional de la planta fue el resultado de contrataciones externas e internas mediante concursos públicos. Por lo anterior, se conformó un nuevo equipo responsable de operar durante el ramp up y posterior operación a régimen de esta nueva planta. No son muchas las ocasiones en la industria minera en la que se tiene la posibilidad de iniciar la operación de una nueva planta, esto claramente esto fue una oportunidad desde el punto de vista de la transformación de mentalidades y comportamientos. Se podía iniciar la operación trabajando bajo el modelo C+ desde el día uno.

Dentro del levantamiento de competencias realizado por el equipo de Excelencia Operacional (mediante entrevistas a todo el equipo de operaciones y mantenimiento) se verificó una baja madurez en el conocimiento de conceptos de manufactura lean, así como de los conceptos y herramientas integradas en el modelo de excelencia operacional C+.

Dentro del diagnóstico realizado se identifica el contexto dentro del proyecto en el que nos encontrábamos. Dentro de las etapas de un proyecto, el ramp up se encuentra inserto en la puesta en marcha, inmediatamente posterior al término del comisionamiento de los sistemas, y corresponde a la etapa inicial de las pruebas operacionales en que gradualmente se llevan los equipos hasta el nivel de producción de diseño. Su término es considerado como la producción operativa y estable a régimen de diseño. Por lo anterior, en la etapa de diagnóstico se identificó el estado “actual” (fin del comisionamiento) y el estado futuro deseado o “aspiración productiva”.

A continuación, se presentan los KPI’s (promesa del Proyecto) más relevantes de la Operación de la PTE:

	KPI PROMESA
Procesamiento de Escoria CT	3.750 tpd
Recuperación Global de la Planta	95,5 %
Utilización Efectiva	88 %
Consumo de Energía Eléctrica	73,6 kWh/t
Costo Unitario de Operación (s/D-A)	19 USD/t
Consumo de Agua Fresca	41 l/s

Figura 26: KPI de Proceso, Promesa del Proyecto (Elaboración Propia)

La planta de tratamiento de escorias, independiente de su capacidad de diseño, fue construida para procesar las escorias provenientes de los Convertidores Teniente de la fundición Caletones y por consecuencia su tratamiento mensual viene de la mano de la cantidad de escoria generada por la fundición (oferta de escoria). En esta etapa del proyecto (ramp Up) se definió que los indicadores claves serían los siguientes:

	ASPIRACIÓN
Procesamiento de Escoria CT (mensual)	90.000 tms
Utilización Efectiva	88 %
Plazo Ramp Up	6 Meses
Gestión Visual	Implementada
Accidentes	0

Figura 27: Aspiración a alcanzar durante el Ramp Up de la Planta Tratamiento de Escorias.

Una vez definida la aspiración, un proceso clave fue el **plan de comunicación**, en donde se divulgó y comunicó, en cascada y con sentido de propósito, la aspiración a todos los involucrados, para sí poder crear un **objetivo común**.

Para lograr la aspiración fue necesario definir indicadores los cuales serán plasmados en tableros de KPI's y monitoreados en diálogos de desempeños (DdD) y en la gestión del PIT (Plan de Implementación Táctico).

Existen dos tipos de indicadores:

1. KPI's de turno a turno: Se revisa en DdD y monitorean en funcionamiento interno de la Planta, para asegurar la continuidad de marcha (utilización efectiva).
2. KPI's día y mes: Se revisa en DdD y PIT. Monitorea la producción diaria y acumulada del mes.

## 5.2. DISEÑO

El diseño está compuesto de dos etapas: la primera, es construir un plan de trabajo, que aborde las cuatro disciplinas del Sistema de Gestión. Y la segunda consiste en diseñar cada uno de los elementos requeridos para ejecutar las prácticas del sistema de gestión C+, que hasta ese entonces eran inexistentes en la planta. A continuación se presenta el diseño de los distintos elementos de cada una de las prácticas C+.

### Tableros de KPI

El Tablero de KPI Turno a turno revisa los principales parámetros de la operación de la planta, en sus distintos subprocesos: Chancado, Molienda y clasificación, Flotación, Espesamiento, Filtrado e Impulsión de relaves. Estos indicadores alertarán (cuando exista una desviación) sobre el buen (o mal) funcionamiento de cada una de las áreas:

- Chancado: Setting del chancador (OSS, apertura máxima), tasa de chancado.
- Molienda: tasa de molienda, velocidades, peso y presión de descanso de los molinos, además de las cantidades de reposición de bolas.
- Espesamiento: Cp (sólidos) de descarga, turbidez de agua recuperada, torque.
- Impulsión de Relaves: Cp (sólidos) de descarga, caudal de impulsión.

**Tablero KPI DdD Jefe de Turno**  
Planta Tratamiento de Escoria



KPI	UN	META	Fecha:												
			TN	TD											
Setting Chancador	mm														
Rate de Chancado	TPH														
Rate de Molienda	TPH														
Velocidad SAG	RPM														
Velocidad Bolas	RPM														
Peso MSAG	TON														
P° Desc. MBolas	BAR														
Bolas 5" (carga)	TPD														
Bolas 3" (carga)	TPD														
Turbidez A. Clara ER	NTU														
Pos. Rastra Esp. R	%														
Pos. Rastra Esp. C	%														
Cp Desc. Esp. C	%														
Cp Impulsión Relav.	%														
Caudal BDP	M3/H														

Figura 28: Tablero de KPI para el Dialogo de Desempeño del Jefe de Turno

El Tablero de KPI de Producción, está diseñado para visualizar los siguientes indicadores:

- Meta de Procesamiento mes, según programa de producción (PAM).
- Meta de Producción mensual de concentrado.
- Procesamiento diario de Escoria.
- Producción diaria de concentrado.
- Leyes químicas por turno de alimentación, concentrado y cola (relave).
- Procesamiento acumulado de escoria.
- Producción acumulada de concentrado.
- Recuperación metalúrgica por turno.

Adicionalmente, el tablero incluye la Aspiración del Equipo.

### Tablero de Producción Planta de Tratamiento de Escoria



PAM		Mes:	DATOS ACUMULADOS AL			Fecha:
Procesamiento Escoria [tmh]			Procesamiento PAM	[tmh]		
Concentrado Producido [tmh]			Procesamiento Real	[tmh]		
Concentrado a venta [tms]			Concentrado PAM	[tmh]		
			Concentrado Real	[tmh]		

**ASPIRACIÓN C+**  
*NUESTRO OBJETIVO COMÚN*

	Día:						
Procesamiento PAM [tpd]							
Procesamiento Real [tpd]							
Concentrado Producido PAM [tmh]							
Concentrado Producido Real [tmh]							

Leyes	UN	META	Fecha:																			
			C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B		
Alimentación Flota.	%																					
Concentrado Gral.	%																					
Cola	%																					
<b>RECUPERACION</b>	%																					

Figura 29: Tablero de KPI de Producción PTE, Revisado en los Diálogos de Desempeño del JdT.

### Plan de Implementación Táctico (PIT)

El PIT “Puesta en Marcha y Operación PTE” es un PIT Estratégico de la Gerencia Fundición y revisa, quincenalmente, los avances de las principales “palancas” que asegurar el cumplimiento de la aspiración. En esta reunión el Superintendente de Flotación de Escorias le presenta al Gerente de Operaciones de la División El Teniente.



Figura 30: Diseño del PIT Puesta en Marcha y Operación PTE y sus principales palancas.

### Dialogo de Desempeño (DdD)

El dialogo de Desempeño es una herramienta Lean, en donde todos los turnos el jefe de Turno se reúne con los operadores de la planta: se realiza una reflexión de seguridad, se realiza un reconocimiento a algún integrante del equipo, se revisa el status de compromisos adquiridos en el dialogo anterior, se revisan los tableros de KPI y se establecen nuevos compromisos. El Dialogo de desempeño no debe durar más de 20 minutos y es una forma de mostrar y analizar los resultados de la Planta.

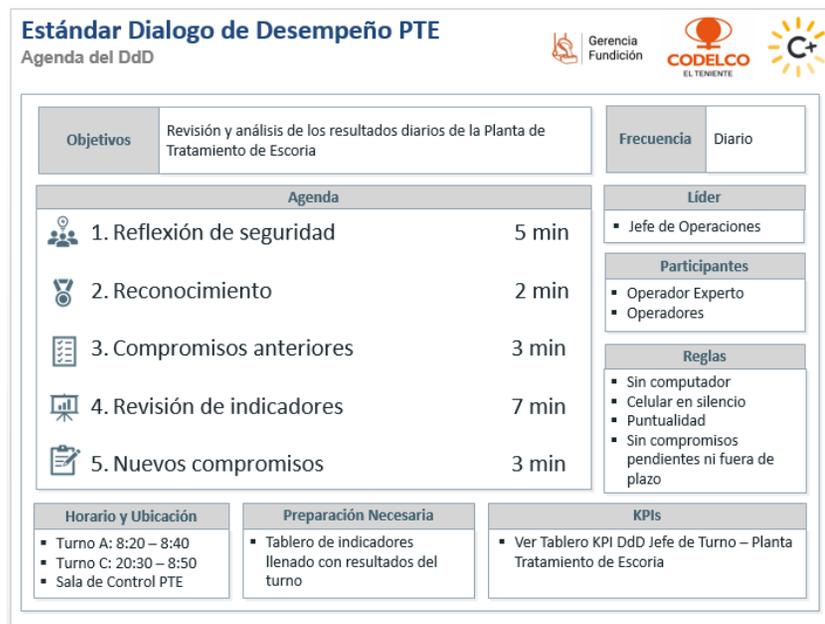


Figura 31: Estándar del Dialogo de Desempeño.

### Tablero de Compromisos PTE



Fecha	Descripción del Problema	Compromiso	Responsable	Fecha entrega	Estado

Figura 32: Tablero de Compromisos utilizado durante los DdD.

### **Agenda C+**

A continuación, se presenta el diseño utilizado para la agenda de actividades C+. La agenda está pensada para ordenar y estandarizar la frecuencia de las principales prácticas C+:



Figura 33: Diseño de Agenda C+ (fuente: Dirección de Excelencia Operacional, DET)

### 5.3. IMPLEMENTACIÓN

En esta sección veremos la implementación de las prácticas lean (C+) descritas en secciones anteriores. Sin embargo, dado el diagnóstico realizado, fue necesario iniciar la implementación con la capacitación del Sistema de Gestión C+ (principios y herramientas) a los operadores de la Planta.

#### **Capacitación y Equipo C+**

Uno de los pilares del C+ es crear una “Cultura Lean”, con trabajadores empoderados, haciéndolos partícipes de las decisiones, para ello es importante realizar capacitación sobre el Sistema de Gestión C+, sus principios y prácticas, a todos los involucrados: jefe de unidad, ingeniero (supervisor), jefes de turno, operador de Sala de control y operadores de terreno.

Se realizaron capacitaciones de C+ y herramientas Lean a todo el personal de operaciones y mantenimiento. Dichas capacitaciones fueron lideradas por la dirección de excelencia operacional (DEO) y dictadas por el agente de cambio para la PTE.



Figura 34: Refuerzo de capacitación al Equipo de Operaciones PTE sobre Sistema de Gestión C+ (año 2020).

Durante el mes de octubre de 2019 se realizaron las primeras capacitaciones acerca del sistema de Gestión C+, en donde se abordaron semanalmente cada una de sus disciplinas. Esto como parte del **Alistamiento Operacional** del equipo de operaciones, previo al inicio del comisionamiento de la Planta.

Disciplina	S1	S2	S3	S4
Objetivo Común	●			
Mejora Continua		●		
Procesos Eficientes			●	
Desarrollo de Personas				●

Figura 35: Calendario de Capacitaciones Sistema de Gestión C+ a los Operadores PTE (Elaboración Propia)

### **Implementación de la Gestión Visual**

El primer paso de acción y ejecución, en cualquier implementación Lean (y en especial en un ambiente minero), es la gestión visual [7]. Pensar en excelencia operacional, es pensar en tener un espacio de trabajo, limpio, organizado, accesible y seguro.

Durante el ramp up del proyecto, hubo muchas discontinuidades operacionales, lo que obligaba a detener equipos y con ello, el vaciado de pulpas hacia pretilas, por lo que los primeros meses de operación, la planta se desvió respecto de su estándar de orden y aseo. Para recuperarlo se utilizó la siguiente estrategia: A los cuatro grupos de trabajo (turnos de operaciones) se les designó un área de responsabilidad. El concepto fue que cada grupo, en sus días de turno de trabajo enfocara sus esfuerzos de aseo en un área en particular.

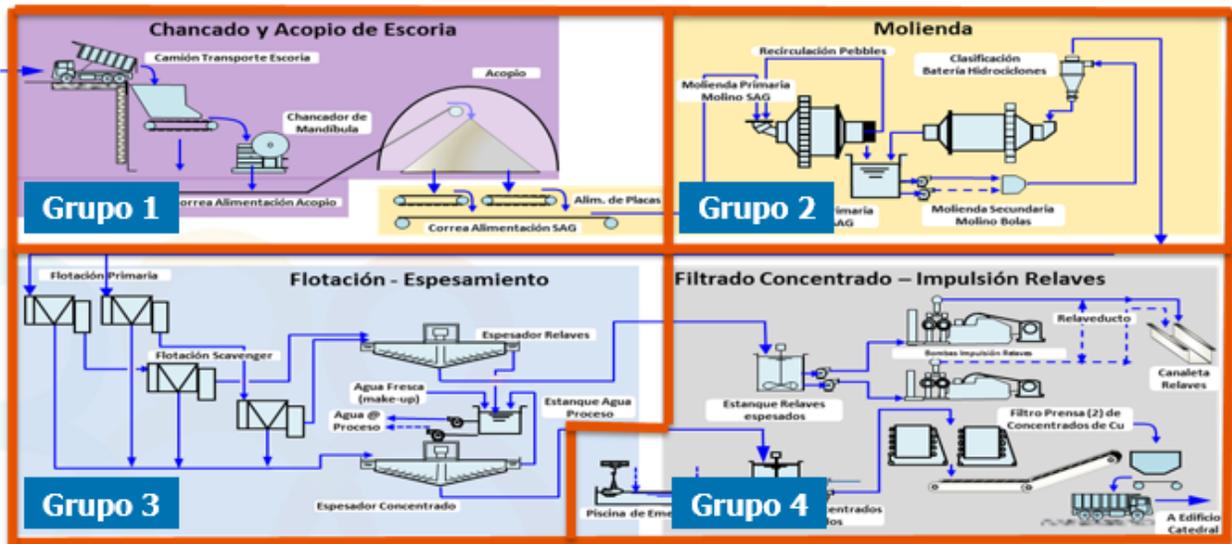


Figura 36: Asignación de áreas de limpieza entre los 4 grupos de trabajo de Operaciones.

Otra práctica implementada durante la etapa de Gestión visual fue la realización de Jornadas de Orden y Aseo. Un día de la semana (los martes), se reúnen operadores, mantenedores, junto con el jefe de Unidad y el Superintendente de la Planta y con bolsa en mano se hace una operación rastrillo por la planta recogiendo basura o cualquier material en los pisos.

En muchas faenas mineras (incluso en la División El Teniente) existen y han existido, este tipo de Jornadas, sin embargo, en la mayoría de los casos corresponde a una campaña particular y no se sostiene en el tiempo. En la Planta de Tratamiento de Escorias, inició en marzo de 2020 y se mantiene hasta el día de hoy, y se realiza disciplinadamente cada semana.



Figura 37: Jornadas de Orden y Aseo en la PTE. Parte de la Gestión Visual de la Implementación Lean.

### **Implementación de Diálogos de Desempeño**

Como ya se ha mencionado en secciones anteriores, los diálogos de desempeño son una herramienta poderosa del Lean Management, pues empodera a los trabajadores respecto

de las metas y resultados de Planta. Es una forma clara y transparente de revisar los resultados del proceso. Además, involucra a los mismos operadores en la búsqueda, mediante la resolución de problemas (RdP), de las causas raíz de las desviaciones en los KPI. Por último, pero no menos importante, entrega la oportunidad de realizar un reconocimiento a algún trabajador, que haya destacado dentro de sus labores, fortaleciendo el trabajo en equipo y el clima laboral.



Figura 38: Diálogos de Desempeño realizados en la PTE.

### ***Medición del OEE de la Planta***

Como se mencionó anteriormente, el OEE u Overall Equipment Efficiency, por sus siglas en inglés (o Eficiencia total de los Equipos) fue una de las herramientas Lean que más se utilizó (y se sigue utilizando) durante el ramp up de la planta, ya que es un indicador que permite desagregar de manera clara el origen del costo de la ineficiencia, ya que es el porcentaje del tiempo en el que un equipo produce realmente, de acuerdo a las condiciones de cantidad y calidad establecidas el periodo que fue planeado hacerlo [13]. Este valor se monitorea semanalmente, pues en su desglose entrega información sobre disponibilidad, utilización efectiva (o Continuidad de Marcha) y rendimiento de molienda. El foco o punto de referencia de la medición del OEE corresponde a la alimentación de escoria al molino SAG, ya que la operación de este molino apalanca directamente el cumplimiento de la aspiración.

El análisis del **OEE** está compuesto de los siguientes ítems:

1. **Límite Teórico:** corresponde al tiempo planificado de operación. Dependiendo de la ventana de tiempo del análisis este puede ser igual (o no) al tiempo calendario.
2. **Mantenimiento Programado:** tiempo asociado a la ejecución del plan de mantenimiento.
3. **Mantenimiento No programado:** tiempo asociado a las actividades realizadas por mantenimiento que no se encontraban planificadas y por lo general asociadas a imprevistos. También suele denominarse mantenimiento correctivo.

4. **Tiempo Disponible (disponibilidad):** corresponde al tiempo en donde el equipo o sistema se encontraba disponible para operar. Se calcula como el Límite teórico menos los tiempos de mantenimiento programado y no programado.

5. **Detenciones Aguas Arriba:** corresponde al tiempo asociado a la “no-operación” del molino SAG, debido a fallas de equipos que se encuentran antes del molino (tales como: correa de alimentación, alimentadores de placas, chancado, etc.)

6. **Detenciones Aguas Abajo:** corresponde al tiempo asociado a la “no-operación” del molino SAG, debido a fallas de equipos que se encuentran después del molino (tales como: Molino bolas, batería de hidrociclones, flotación, espesadores, filtros o bombas de impulsión de relaves)

7. **Detenciones Internas:** corresponde al tiempo asociado a la “no-operación” del molino SAG por decisión del área de operaciones, ya sea para realizar alguna inspección u otro.

8. **Detenciones Externas:** corresponde al tiempo asociado a la “no-operación” del molino SAG por factores exógenos a la planta, tales como disturbios eléctricos o eventos climáticos, etc.

9. **Tiempo Utilizado:** Es el porcentaje del tiempo Límite teórico en el cual la Planta (medido por el Molino SAG) estuvo efectivamente procesando escoria. En el vocabulario C+ es conocido como la continuidad de marcha o coeficiente de marcha.

10. **Pérdida por rendimiento:** Corresponde a la pérdida productiva por no operar a la tasa máxima de operación durante el tiempo real utilizado. El equivalente en tiempo corresponde al tiempo respecto del límite teórico donde el equipo operó a tasas menores a la tasa máxima.

11. **Pérdida por Calidad:** Corresponde a la pérdida productiva asociada reprocesos (diferencias del proceso) o pérdidas en las partidas. A diferencia de los procesos manufactureros discretos, en procesos mineros continuos esta pérdida se considera cero cuando el OEE está calculado con respecto al material de entrada a procesar y no respecto del material de salida o producto final [14].

12. **OEE:** Corresponde al tiempo (medido como porcentaje del límite teórico) en donde el molino SAG procesó escoria a su máxima tasa instantánea. Se calcula como el cociente entre la producción real y la producción máxima (límite teórico)

**OEE Diseño (\*)**  
 % (ejemplo con OEE 88%)

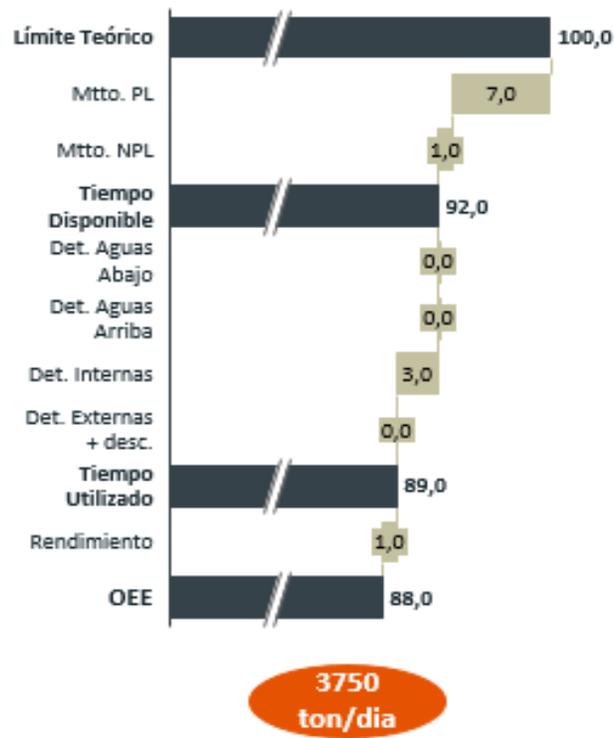


Figura 39: Ejemplo del Gráfico OEE de la Planta Tratamiento de Escorias.

En paralelo con el gráfico de análisis OEE se construyó el **gráfico de Pareto** de detenciones, para determinar el 80/20 de las detenciones de la planta. A continuación, se muestra un ejemplo de Pareto de detenciones utilizando la plataforma Power BI:

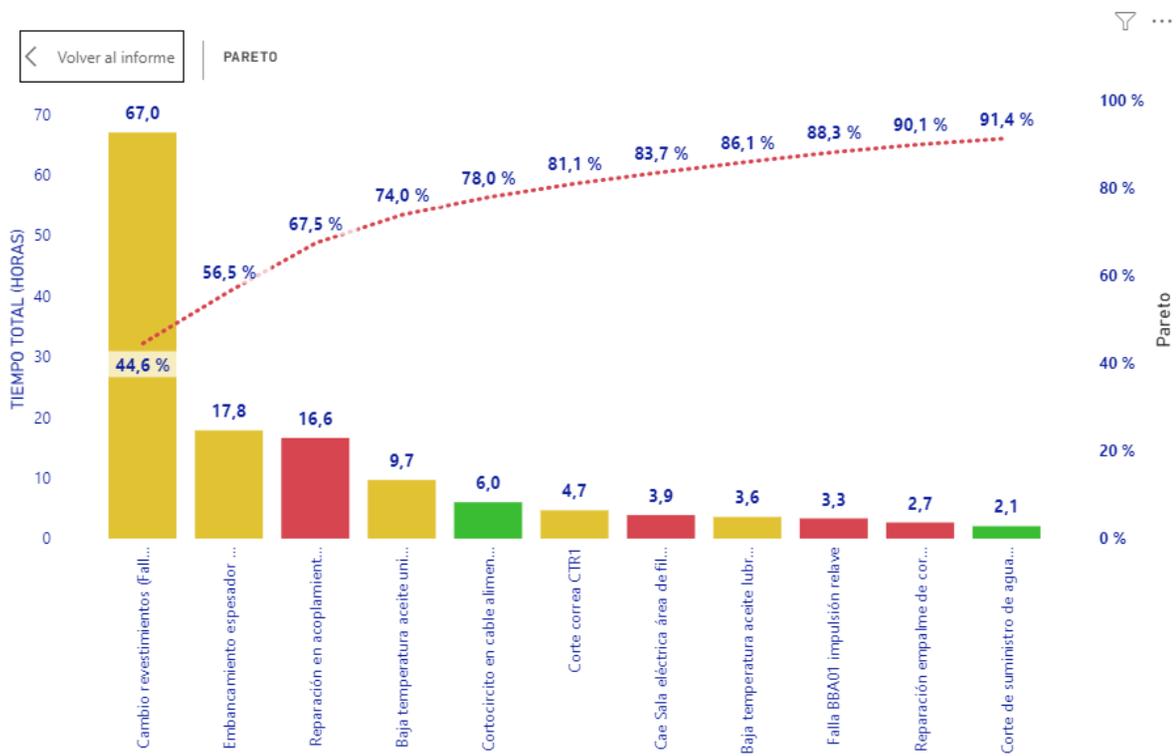


Figura 40: Ejemplo puntual del Gráfico de Pareto de detenciones Planta.

### **Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

Para la implementación de este punto, se capacitó a los jefes de Turno y Operadores de sala de control, en la generación de avisos de mantenimiento en la plataforma SAP. Todos los turnos los operadores de terreno deben realizar un recorrido por los distintos equipos de la planta, e informar las desviaciones o alertas al Operador de Sala de control o Jefe de Turno, para que éste realice el aviso en SAP. Esta práctica además genera una historia asociada a fallas, desviaciones y/o alertas.

Los avisos SAP de mantenimiento se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Inmediato (M1): corresponde a fallas que son corregidas durante el turno.
- Programables (M2): son condiciones que deben ser incorporadas a los planes de mantenimiento.

Dentro de la estrategia de mantenimiento de la Planta se realizan reuniones diarias de planificación Operación-Mantenimiento donde se revisan todos los avisos SAP (M2) creados por los operadores, se priorizan y se planifican para dos semanas en el futuro. Es decir, la semana N, se planifican las actividades para la semana N+2.

Visualizar avisos: Lista avisos										
Id	S	Aviso	StatUsu	Pto.tbjo.resp.	GP	ArE	Descripción	Ubicación técnica	Denominación de la ubicación técnica	Autor aviso
		24048060	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Cambio empaquetadura bomba 04 esp relave	TF16	PLANTA TRATAMIENTO DE ESCORIA GF...	AFLOR013
		24047649	NUEV	MA1TF576	T20	T01	Revision sensor nivel tk agua lavado tel	TF16-CON	7400 - MANEJO CONCENTRADO PTE	AFLOR013
		23878289	NUEV	MA1TF576	T20	T01	revison sensores valvula pich filtro 1	TF16-CON-CTV-CT1	CAMARA CCTV AREA FILTRO #1 7420-X...	AFLOR013
		24050904	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Corte de ductos despiche	TF16-CON-EPM	ESPESAMIENTO CONCENTRADO PTE	AFLOR013
		23907954	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Ajuste de Prensa Estopa 7410 boc 003	TF16-CON-EPM-B03-PHU	PARTES HUMEDAS BBA 7410-BOC-003	AFLOR013
		24050898	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Revision bomba 03 espesador concentrado	TF16-CON-EPM-B03-PHU	PARTES HUMEDAS BBA 7410-BOC-003	AFLOR013
		24017116	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Ajuste de prensa Estopa	TF16-CON-EPM-B04	BOMBA #2 DESCARGA ESPESADOR DE C...	CSERR001
		24048056	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Ajuste prensa bomba 04 espesador concent	TF16-CON-EPM-B04	BOMBA #2 DESCARGA ESPESADOR DE C...	AFLOR013
		23907955	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Mantencion bomba 7410 boc 004	TF16-CON-EPM-B04-PHU	PARTES HUMEDAS BBA 7410-BOC-004	AFLOR013
		23875210	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Mantencion partes humedas boc 004	TF16-CON-EPM-B04-PHU	PARTES HUMEDAS BBA 7410-BOC-004	AFLOR013
		23909542	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Cambio 7410 HV 0725HS	TF16-CON-EPM-B04-PYV	PIPING Y VALVULAS BBA 7410-BOC-004	AFLOR013
		23909520	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Cambio 7410 HV 0067	TF16-CON-EPM-B04-PYV	PIPING Y VALVULAS BBA 7410-BOC-004	AFLOR013
		24050901	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Cambio empaquetadura bomba 04 esp concen	TF16-CON-EPM-B04-SAS	SISTEMA AGUA SELLO BBA 7410-BOC-0...	AFLOR013
		24050003	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Ajuste prensa bomba 04 espesador concent	TF16-CON-EPM-B04-SAS	SISTEMA AGUA SELLO BBA 7410-BOC-0...	AFLOR013
		24052615	NUEV	MA1TF576	T20	T01	Revision turbidimetro espesador concent	TF16-CON-EPM-ESP-INS	SISTEMA INSTRUMENTACION 7410-ESP...	AFLOR013
		23911265	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Revision sistemas de lubricacion y unida	TF16-CON-FLT	SISTEMA FILTRADO PTE	AFLOR013
		23910447	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Mantencion bomba 7420 boc 001	TF16-CON-FLT-B01-PHU	PARTES HUMEDAS BBA. 7420-BOC-001	AFLOR013
		24006789	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Proteccion escobilla 7420 boc 002	TF16-CON-FLT-B02	BOMBA #2 ALIMENTACION FILTROS	JCOLLO16
		23907887	NUEV	MA1TF575	T20	T01	cambio de correas transmision 7420 boc 2	TF16-CON-FLT-B02-SMO	SISTEMA MOTRIZ BBA. 7420-BOC-001	AFLOR013
		24050002	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Cambio valvula pinch V-27 filtro 1	TF16-CON-FLT-FT1	FILTRO DE CONCENTRADO LAROX #1	AFLOR013
		24050006	NUEV	MA1TF576	T20	T01	revison valvula pinch v-27 filtro 1	TF16-CON-FLT-FT1	FILTRO DE CONCENTRADO LAROX #1	AFLOR013
		24046035	NUEV	MA1TF575	T20	T01	tela dañada en Filtro 002	TF16-CON-FLT-FT2	FILTRO DE CONCENTRADO LAROX #2	CSERR001
		23846525	NUEV	MA1TF575	T20	T01	pasador reductor correa filtro	TF16-CON-MCN-CTR	CORREA TRANSPORTE CONCENTRADO	CSERR001
		24006797	NUEV	MA1TF575	T20	T01	Proteccion polea conducida 7420 ctr 001	TF16-CON-MCN-CTR-STR-PCO	POLEA DE COLA CORREA 7420-CTR-001	JCOLLO16
		23861932	NUEV	MA1TF576	T20	T01	Congelamiento datos pantalla de control	TF16-EDI-EDG-EDF-SCO	SISTEMA CONTROL	FGARATE

Figura 41: Extracto del Sistema SAP. Visualización de avisos de mantenimiento.

## Implementación de Resolución de Problemas (RdP)

Las principales desviaciones durante el ramp up de la Planta fueron abordadas mediante la metodología de Resolución de Problemas (RdP). El objetivo de esta metodología, primero, es que se realiza con la participación de los operadores, mantenedores y supervisores de la planta, con la finalidad de capturar una mirada 360 grados en el análisis.

Los principales “problemas” abordados durante esta etapa fueron los que generaron desviaciones y/o brechas respecto a la continuidad de marcha (o utilización efectiva), y por consecuencia a la cantidad de procesamiento de escoria, y a la recuperación metalúrgica de la Planta. Una vez identificadas las causas raíz se generar acciones correctivas para evitar la repetición de dicha desviación en el futuro.

Un aspecto clave y fundamental del proceso de aprendizaje, desprendido de la resolución de problemas, es asegurar que las acciones correctivas se ejecuten en los plazos establecidos, ya que, sin esto, el aprendizaje no se realiza. Para lograr lo anterior, se realiza seguimiento quincenal al programa de ejecución de acciones, durante las reuniones de Gestión del PIT.

Algunos de los problemas más importantes durante el ramp up de la planta fueron:

- Obstrucción línea de relaves desde espesador hacia estanque de precarga.
- Contaminación del agua clara Espesador de Relaves.
- Embancamiento Molino de Bolas.
- Sobre carga Molino SAG.
- Pérdida de comunicación equipos área Filtrado.
- Fallas sostenidas en Bombas de Impulsión de relaves.

- Atollos de carga en alimentación Molino SAG.
- Detención del chancador por material con sobre tamaños.
- Corte de correa de concentrado.
- Sobre carga Espesador de Concentrado.
- Quiebre de revestimientos Molino SAG.
- Brechas de recuperación respecto del diseño de la planta.

Área o Proceso	Líder de la resolución de problemas	Fecha del Evento	Turno del Evento
PTE – Espesamiento	Matías Alvarez O. – Jefe de Unidad PTE	29 Agosto 2020.	Turno C
<b>1 Definición del Problema:</b> Definir el problema e identificar estándares disponibles			
Definición del Problema		Estándares disponibles	
Embanque del Espesador de Concentrado, detiene rastras del Espesador por alto torque.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPRO-L208-IM-MANUAL 5 Rev 0: Manual Manejo de concentrado, espesamiento y filtrado.</li> <li>• SIGO-GFUN-SFE-PTE-EO-402: Estándar Operacional "Rangos Operacionales Espesador de Concentrado"</li> </ul>	
<b>2 Desglose del Problema:</b> Mostrar hechos específicos para detallar más el problema a resolver			
Hechos/Observaciones		Fotos o documentos de apoyo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de la falla en sistema motriz de la correa de concentrado, se continuó alimentando al Espesador.</li> <li>• Una vez detenida la rastra, se realizan descargas de cono, sin éxito.</li> <li>• Se procede a vaciar y limpiar el espesador.</li> </ul>			
Tiempo detención	Impacto en Inventario		
20,5 horas	Aumento de inventario 155,7 tmf (*)		
<b>3 Objetivo de la Resolución de Problemas:</b> Definir el objetivo en términos específicos y medibles			
Objetivo (SMART)			
Aumentar la continuidad de marcha de la Planta (sobre 88%), eliminando detenciones por embanques de Espesadores, manteniendo control de torque.			

Figura 42: Lámina resumen A3 de “Presentación del Problema” en un RdP.

## Estandarización de Procesos

A raíz de los aprendizajes extraídos de los RdP, muchas de esas lecciones aprendidas y mejores prácticas operacionales fueron incorporadas en Estándares Operacionales (EO). Los EO corresponden a no más de tres láminas donde se destaca lo más relevante de un proceso, orientado con el cumplimiento de la aspiración.

Para la elaboración, revisión y/o actualización de Estándares Operacionales es importante la participación de los mismos operadores, esto les entrega un sentimiento de pertenencia y promueve la adherencia y cumplimiento del estándar.

Es importante realizar una difusión y bajada efectiva a todos los trabajadores y trabajadoras, ya que son ellos, los que, en definitiva, son los que deberán cumplir el estándar. Los estándares operaciones constituyen una herramienta viva, deben ser dinámicos e incorporar las mejores prácticas de manera actualizada y con una correcta gestión del cambio.

Los principales EO generados durante el Ramp Up de la Planta fueron:

- Operación Chancador y verificación de OSS
- Partida y detención Molino SAG – Operación Ruido MSAG
- Rangos Operacionales de Molienda y Clasificación

- Detención Imprevista Molino de Bolas
- Operación Flotación
- Operación Espesador de Relaves
- Operación Espesador de Concentrado
- Operación Filtros
- Operación Sistema de Impulsión de Relaves

Para verificar la incorporación de estos estándares por parte de los operadores, se les realizó una evaluación escrita respecto de éstos.

**Estándar de Operación**  
Partida y detención Molino SAG – Operación Ruido MSAG

CODELCO EL TENIENTE C+

Versión	2	Objetivo:	Definir los pasos a seguir para partida (y detención) segura del Molino SAG.	Responsable:	Operador Experto y Jefe de Operaciones.	Valor objetivo:	Proteger el revestimiento del molino, asegurando que el molino NO gire sin carga por un tiempo prolongado.	Fecha:	05/01/2021	Código:	SIGO-GFUN-SFE-PTE-EO-201
Página	1 de 2										

Esquema Molino SAG	ALARMAS DE RUIDO MOLINO SAG								
	<p>TAG: 7210_NI_0254: INDICACIÓN DE RUIDO MOLINO SAG [%]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango de valores</th> <th>Tipo de Alarma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50% &lt; Ruido &lt; 70%</td> <td>Operación Normal (Sin alarma)</td> </tr> <tr> <td>Ruido = 70%</td> <td>Alarma ALTA</td> </tr> <tr> <td>Ruido = 75%</td> <td>Alarma ALTA-ALTA</td> </tr> </tbody> </table>	Rango de valores	Tipo de Alarma	50% < Ruido < 70%	Operación Normal (Sin alarma)	Ruido = 70%	Alarma ALTA	Ruido = 75%	Alarma ALTA-ALTA
Rango de valores	Tipo de Alarma								
50% < Ruido < 70%	Operación Normal (Sin alarma)								
Ruido = 70%	Alarma ALTA								
Ruido = 75%	Alarma ALTA-ALTA								
DETENCION NORMAL MOLINO SAG	SECUENCIA DE PARTIDA MOLIENDA SAG								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detener los alimentadores de Placa (APC)</li> <li>• Bajar velocidad del Molino paulatinamente controlando no superar el nivel de ruido.</li> <li>• Detener correa alimentación SAG, una vez ésta se haya vaciado.</li> <li>• Una vez detenida la correa, continuar bajando la velocidad del molino SAG hasta llegar a las 2 [rpm]</li> <li>• Pasar la adición de agua a modo manual y ajustar a 20 [m3/h]</li> <li>• Mantener dicha velocidad hasta detener.</li> <li>• Detener la adición de agua al molino, y proceder de detener el Molino.</li> </ul> <p>(*) Se debe asegurar que el molino no se encuentre girando (a alta velocidad) sin carga, superando los límites de ruido y comprometiendo la vida útil del revestimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la Operatividad de sistemas aguas abajo y servicios auxiliares (habilitación de celdas de flotación para recepción de pulpa).</li> <li>• Solicitar autorización a Subestación El Cobre, para Puesta en servicio de Molinos PTE.</li> <li>• Arranque de bombas BHC y posterior partida del Molino de Bolas.</li> <li>• Poner en servicio correas de Pebbles.</li> <li>• Dar partida al molino SAG con una velocidad inicial de 2 [rpm] y flujo de agua de alimentación en cascada.</li> <li>• Poner en servicio correa de alimentación SAG.</li> <li>• Dar partida a Alimentador (APC) con velocidad necesaria para alimentar 120 [tph] y subir paulatinamente la velocidad del SAG de a 1 [rpm].</li> <li>• Se debe controlar que en la partida no superar un ruido de 70%.</li> <li>• Una vez alcanzada la velocidad de operación, definida en el punto de Operación (7 a 11 [rpm]), ajustar velocidad del alimentador para subir rate de acuerdo a Punto Operacional (160-180 tph).</li> </ul> <p>(*) Se debe asegurar que el molino no se encuentre girando (a alta velocidad) sin carga, superando los límites de ruido y comprometiendo la vida útil del revestimiento.</p>								

- Alto ruido → molino descargado, riesgo de golpes bola-revestimiento
- Bajo ruido → molino cargado (o cargándose), riesgo de embanque molino.

Figura 43: Ejemplo de Estándar Operacional PTE (Partida y detención Molino SAG – Operación ruido)

## Confirmación de Procesos y Confirmación de Rol

Un elemento muy importante dentro de los principios del Sistema de Gestión C+, es el desarrollo de las personas y dentro de este principio, destacan dos prácticas C+: La confirmación de Procesos (CdP) y la confirmación de Rol (CdR).

De acuerdo a la agenda C+, el jefe de Unidad, el Ingeniero de Procesos y el jefe de Turno, realizaron CdP semanalmente a distintos operadores, para verificar el conocimiento y adherencia a un determinado Estándar Operacional. En el caso de la CdR, el jefe de Unidad realizó quincenalmente esta actividad, en donde observaba que el JdT realizara las actividades correspondientes a su rol, es decir: los diálogos de desempeño y las confirmaciones de proceso.

Ambas actividades finalizan con una retroalimentación (feedback) constructiva hacia el trabajador.

## 6. EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

Para poder evaluar la implementación de las prácticas C+, se utiliza una Matriz de madurez, la que califica con nota de 1 a 5 las distintas prácticas de cada una de las cuatro disciplinas del Sistema de Gestión C+. A continuación, se presenta una definición general de cada uno de los niveles de madurez (nota de 1 a 5):

- **Nivel 1 (No existe):** No existe diseño ni menos ejecución de la práctica C+.
- **Nivel 2 (Diseñado):** Posee entrenamiento en la práctica y entiende cómo realizar el diseño. Ha realizado el diseño de los elementos clave de la práctica (agendar en Outlook las prácticas, establecer estructura estándar).
- **Nivel 3 (Ejecuta):** Ejecuta la práctica con regularidad, registrando adherencia >60% de la frecuencia definida. Logra un nivel básico de efectividad en la práctica respecto de los objetivos de ésta.
- **Nivel 4 (Ejecuta con frecuencia y calidad):** Ejecuta la práctica con consistencia, registrando alta adherencia alta >90%. Logra un nivel elevado de efectividad en la práctica respecto de los objetivos de ésta.
- **Nivel 5 (Ejecuta con efectividad y mejora continua):** Entrena a su equipo en cómo mejorar continuamente y su equipo alcanza el nivel 3, como mínimo, en sus prácticas. Para determinadas prácticas, invita a Jefes de turno/Op.Exp/Op a participar de ellas. Implementa mejoras al diseño y ejecución de la práctica en forma continua para mantener altos niveles de calidad de ejecución y avanzar en efectividad, siendo modelo de referencia para otras áreas.

Esta evaluación se realiza de manera mensual por distintos miembros del equipo implementador (esto con la finalidad de tener una visión 360°) y es validada por el Agente de cambio de la Dirección de Excelencia Operacional.

A continuación, se presentan las distintas prácticas de cada una de las cuatro disciplinas del Sistema de Gestión C+ consideradas en la Matriz de Madurez:

Disciplina C+	Práctica	Preguntas del Estado actual
Objetivo común	Aspiración	Existe aspiración y es conocida por toda la organización ?
	Indicadores y Metas	Existe árbol de KPI. Tableros se encuentran visibles en terreno para operadores y conectan con aspiración ?
	Agenda	Existe agenda para SI y JdU con adherencia alta ?
	DdD	Se realiza DdD SI y DdD JdU ?
Mejora continua	RdP y Gestión del PIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se realizan RdP en frecuencia definida</li> <li>Se realiza seguimiento a RdP con estructura clara ?</li> <li>Se realiza Seguimiento a PIT con estructura bien definida ?</li> </ul>
Procesos eficientes	Estándares	Se encuentran diseñados todos los estándares críticos del área y están priorizados ?
Desarrollo personas	CdP y CdR	Se realizan CdP y CdR según frecuencia definida ?

Figura 44: Disciplinas C+ y prácticas evaluadas en la Matriz de Madurez de la Implementación.

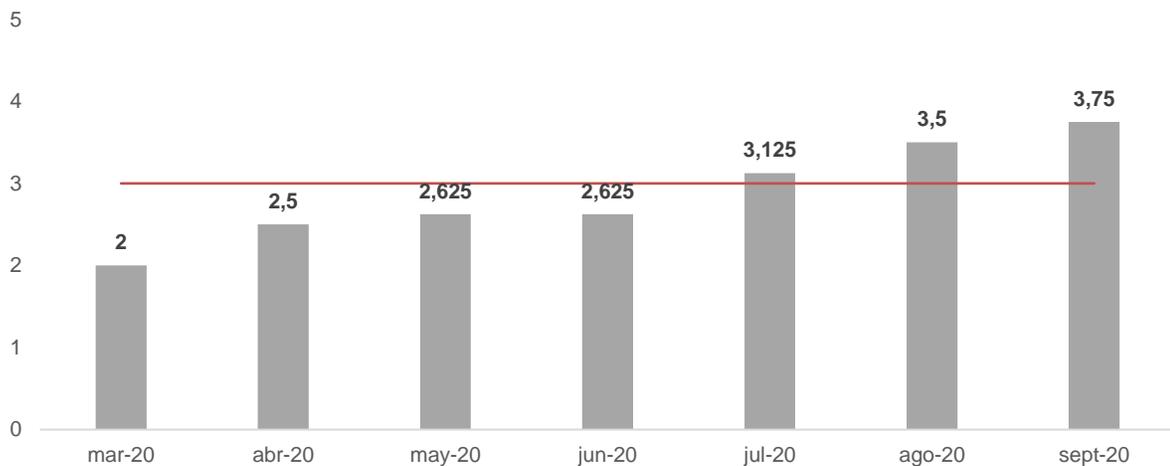


Figura 45: Gráfico de Madurez en la implementación de prácticas C+.

## 7. RESULTADOS DIRECTOS

Como se presentó en las secciones anteriores, el roadmap de la implementación consideró las fases de diagnóstico, diseño, implementación y sostenibilidad (o excelencia operacional). A continuación, se presentan los aspectos más relevantes de la propia experiencia del equipo implementador durante cada una de las fases de implementación:

- **Diagnóstico:** Es importante mencionar que tanto las fases de diagnóstico, diseño, e incluso la primera parte de la ejecución de la implementación (capacitaciones), se realizaron antes del inicio del ramp up de la Planta, es decir, antes de que el equipo de operaciones tomara el control de la ejecución de las actividades operacionales. Antes del ramp up el equipo de operaciones se encontraba aun en una etapa de Alistamiento Operacional, por lo que no existía, aún, una presión por producir o entregar resultados. Durante esta etapa, el equipo C+ (agente de cambio) realizó de forma tranquila y planificada las entrevistas a todo el equipo a intervenir, desde el superintendente, jefe de unidad, supervisor (ingeniero de procesos), jefes de turno, operadores de sala de control y operadores de terreno. Además, se conocía bien la curva de ramp up operacional que se debía alcanzar, por lo que el “estado deseado” o “aspiración” según el vocabulario C+ estaban bien definidos.
- **Diseño:** Al igual que el punto anterior, el diseño de la implementación se enmarcó en una etapa de alistamiento operacional. El plan de trabajo con los tiempos definidos para cada una de las acciones fue elaborado por la Dirección de Excelencia Operacional. El diseño de cada uno de los elementos de las prácticas C+, tales como los tableros de diálogos de desempeño (con la selección de KPI), Plan de Implementación Táctico (PIT), fueron diseñados en conjunto con la supervisión del área (jefe de unidad, ingeniero de procesos y jefes de turno). Esto en base a su experiencia y preparación durante el alistamiento operacional.
- **Ejecución de la Implementación:** La primera etapa de la ejecución de la implementación, correspondientes a las capacitaciones (iniciales), se ejecutaron justo antes de iniciar el primer paso de carga de la planta, por lo que existieron las facilidades de poder reunir a todo el personal en instalaciones fuera del área industrial, en jornadas que duraron todo el día. Sin embargo, una vez iniciado el primer paso de carga de la planta (inicio de comisionamiento), el ambiente y la tensión del equipo cambió drásticamente. El equipo implementador se propuso iniciar la ejecución de algunas prácticas del sistema C+, pero las continuas fallas en los distintos sistemas, las constantes detenciones del proceso y la gran cantidad de personas que transitaba por la planta (proyecto y cliente) generaron un quiebre en la continuidad del proceso de implementación. El ambiente durante dicho proceso era más el de “apagar incendios” que el de seguir el plan de implementación. Se tuvo que reforzar las capacitaciones del Sistema de gestión C+ que inicialmente se había realizado, porque se detectó que, al no ocupar las herramientas, los operadores habían olvidado algunos conceptos. A diferencia de la primera capacitación, este reforzamiento se realizó de forma segmentada (por grupos) y en las instalaciones de la misma planta, ya que fue difícil “sacar” al personal de la operación. En este punto, fue clave el apoyo y el convencimiento de la supervisión del área, ya que fueron ellos quienes dieron las facilidades para realizar los reforzamientos.

Otro punto complejo durante la ejecución de la implementación fue el inicio del ramp up, punto en donde la gerencia de proyecto deja de liderar la puesta en marcha, para que la operación y el mantenimiento pasen a ser responsabilidad 100% del cliente. Este punto es clave, marzo de 2020, el cual coincide con la llegada del Covid-19. Pues, la Dirección de excelencia operacional, al ser un área de staff, pasó a funcionar en modalidad de teletrabajo, eso conllevó a quedar sin un agente de cambio en la planta. Sin embargo, la clave para que el proceso de implementación continuara radicó en el involucramiento de la supervisión de la planta (Superintendente, jefe de Unidad e ingeniero de procesos), quienes estaban convencidos de querer vivir la transformación C+. Con el fuerte convencimiento y compromiso de la dirección de la planta, los jefes de turno, que son quienes lideran el proceso las 24 horas del día, también se convencieron y no pusieron obstáculos a la hora de trabajar, incorporando la filosofía lean y las herramientas del sistema de gestión C+. El trabajo con el agente de cambio C+ se siguió realizando, pero de marea remota, el cual monitoreaba el avance de las acciones del Plan de Implementación Táctico, pero fue el compromiso de los líderes del área quienes sirvieron de role model para su equipo, participando de los diálogos de desempeño, transmitiendo de forma transparente y oportuna la información respecto de los avances del ramp up. Fomentando la participación de todos/as los operadores en los diálogos de desempeño, escuchando de manera activa y respetuosa cada una de las sugerencias nacida de ellos. Generando un ambiente “seguro” de colaboración, aprendizaje y trabajo en equipo.

- **Sostenibilidad:** Este último punto es uno de los más complejos en una implementación lean-kaizen. La mayoría de las implementaciones falla en tiempo por alguna de las siguientes causas:
  1. Implementa un modelo foráneo al pie de la letra (no adaptado a la realidad de la empresa) [1]
  2. La implementación se centra en las herramientas y no en la filosofía que hay detrás (eliminar desperdicios para maximizar el valor al cliente) [5]
  3. Las “buenas prácticas” dependen de las personas, y con la actual rotación de profesionales, el líder se lleva las buenas prácticas (no hay gestión del cambio para las personas)
  4. Las mejoras implementadas no son estandarizadas o no existe un seguimiento y/o auditorías al cumplimiento de estándares, posterior a la salida del agente de cambio luego de la implementación.
  5. No existen incentivos desde el punto de vista de la gestión del desempeño de los operadores por implementar o adherir a la implementación. Buena nota si ejecuta según C+, y buena nota si no ejecuta.

En la actualidad, con lo dinámico que se mueve el mundo, el clima, las personas y las organizaciones, es difícil definir un horizonte de tiempo que establezca cuando una implementación lean ha sido exitosa y sostenible. En el caso de Toyota, esta es una empresa que lleva más de siete décadas en la senda de la mejora continua, con su TPS, y las empresas que hoy han sido galardonadas con el Shingo Prize (reconocido internacionalmente como el símil al nobel de la excelencia operacional), también son empresas que llevan al menos dos décadas implementando modelos de excelencia operacional.

En Chile, durante la década del noventa se introducen en la industria manufacturera los conceptos y técnicas de Mejora Continua, particularmente incorporando el modelo de gestión TPM: Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total, como una iniciativa más bien proveniente de las áreas de mantenimiento y gestión de activos de las empresas [1]. Sin embargo, es en los últimos 7 a 10 años en donde vemos que estos conceptos se comienzan a incorporar a grandes empresas como lo es la gran minería, es decir aun nos encontramos en etapas tempranas de madurez de excelencia operacional.

En el caso particular de la Planta de Tratamiento de Escorias, a la fecha han pasado un poco más de dos años desde el inicio de la implementación y la planta continúa operando bajo esta modalidad, pese a los movimientos y rotación que ha tenido su supervisión. Hasta el momento la forma en que la PTE ha logrado sostener sus prácticas han sido dos:

- Incorporar la ejecución de prácticas C+ en el Sistema de Gestión de desempeño de sus integrantes.
- Realizar una actualización anual de sus estándares operacionales, siendo una parte clave, la incorporación de estos estándares a todo personal nuevo en la planta.

A continuación, se presentan las principales mejoras obtenidas en el área, gracias a la implementación del sistema de gestión C+:

Uno de los “triumfos rápidos” o Quick Wins de la implementación, fueron los rápidos resultados de la Gestión visual de la planta. A continuación de muestran algunos antes y después de las limpiezas realizadas.



Figura 46: Antes y después de la Gestión visual área de chancado y acopio.



Figura 47: Antes y después de la Gestión visual área de Molienda.



Figura 48: Antes y después de la Gestión Visual área de Flotación



Figura 49: Antes y después de la Gestión visual en Sala de Control PTE (uso de cubre-calzado).

Uno de los resultados esperados del ramp up del proyecto era que la planta alcanzara la capacidad de procesamiento de escoria definida en la aspiración, que eran 90 mil toneladas de escoria procesadas en un mes, esta aspiración, estuvo muy cerca de cumplirse el mes de mayo de 2020, alcanzando 89.416 tms/mes, sin embargo, las discontinuidades ocurridas en junio y julio, sumado al mantenimiento mayor del mes de agosto postergaron dicho cumplimiento hasta el mes de septiembre de 2020, alcanzando las 101 mil toneladas métricas secas. A continuación, se presenta la evolución del procesamiento de escorias durante el ramp up:

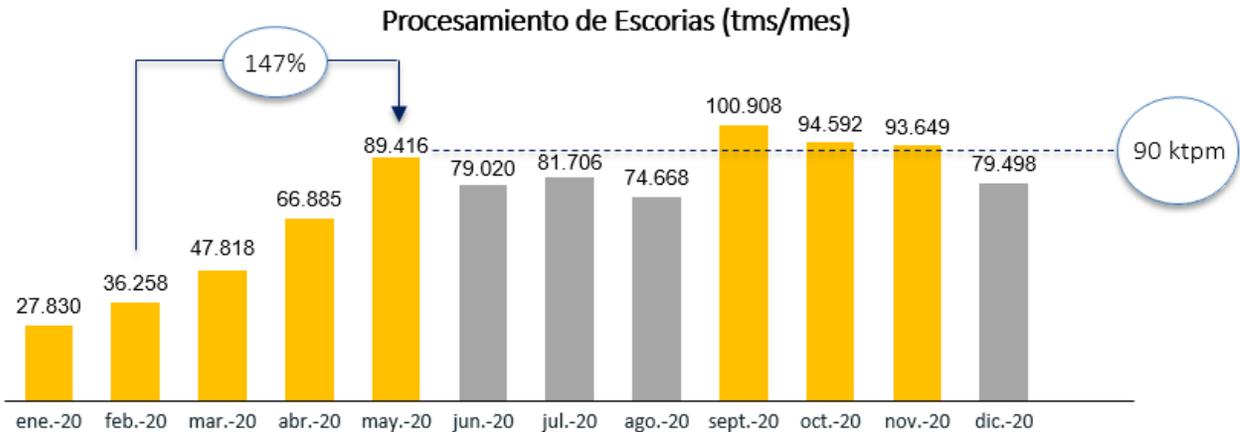


Figura 50: Procesamiento de Escorias en la PTE durante el Ramp Up.

Lo anterior fue apalancado por una mayor estabilidad operacional, traducida en mayor utilización efectiva de la planta, o coeficiente de marcha. Las mayores desviaciones, ocurridas entre junio y julio de 2020, fueron abordadas mediante Resolución de problemas, atacando sus causas raíz e implementando Estándares Operacionales sobre puntos no abordados (en un inicio) por la operación, haciendo más robusta la operación.

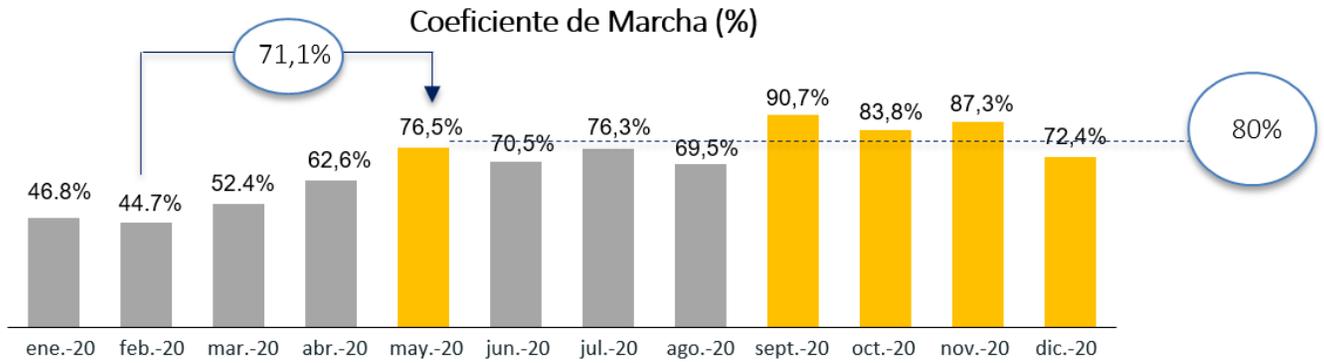


Figura 51: Evolución de la Utilización efectiva de la Planta (Coeficiente de marcha) durante el Ramp Up.

Dentro del análisis de OEE y de sus componentes, se puede observar una evolución favorable (disminución) de tiempos de mantenimiento no programados y una evolución favorable del OEE.

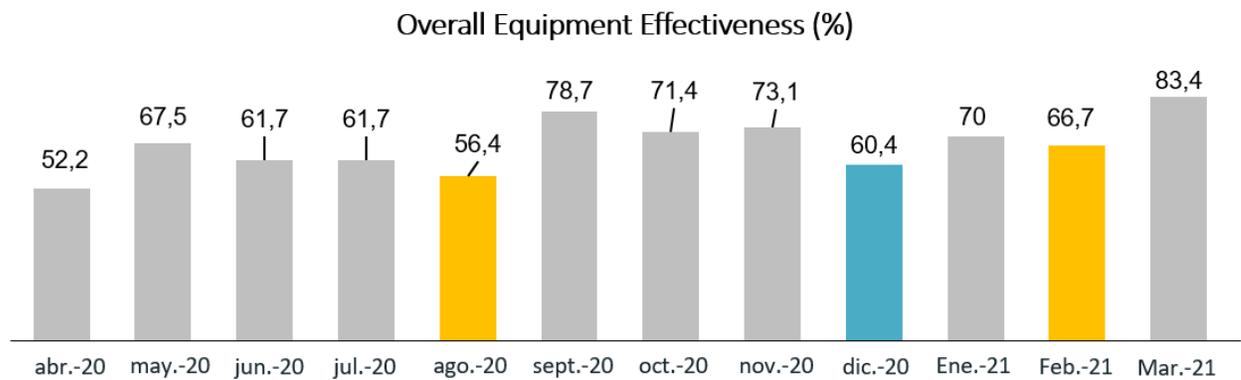


Figura 52: Porcentajes de tiempo utilizados en Mantenimientos No programados durante el Ramp Up.

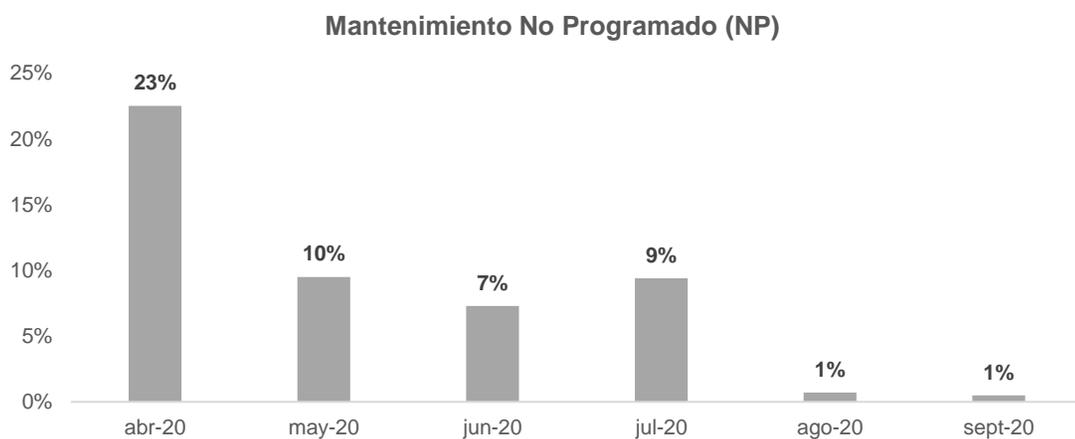


Figura 53: Porcentajes de tiempo utilizados en Mantenimientos No programados durante el Ramp Up.

## 8. RESULTADOS INDIRECTOS

En esta sección quiero mencionar algunos aspectos, que si bien no fueron considerados como metas aspiracionales de la implementación del sistema de gestión C+, si juegan un rol fundamental en todo sistema o filosofía lean.

En su libro “Las claves del éxito Toyota”, Jeffrey K. Liker sintetiza el modelo Toyota como un modelo de “4P” por sus siglas en inglés: **Philosophi**, **P**rocess, **P**eople and **P**artners y **P**roblem Solving. El tercer eslabón de la pirámide del modelo 4P son las personas y es aquí donde me quiero detener. Muchas de las empresas que creen ser empresas lean, no lo son y están lejos de serlo, ya que ser una compañía lean es mucho más aplicar el kit de herramientas tales como 5S, *just-in-time*, o VSM. Debe haber detrás un compromiso directivo de invertir constantemente en su gente y promover la cultura de la mejora continua [5]. Cuando en 1977 se publicó el primer artículo en inglés sobre el TPS, dicho artículo se centró en dos conceptos: el primero, la reducción de costos a través de la reducción de desperdicios. Y el segundo, tratar a los trabajadores como seres humanos y con consideración. Este segundo concepto no atrajo la atención de las compañías occidentales [3]. No obstante, es la clave de la cultura lean.

Durante la implementación del sistema de gestión C+ en la Planta de tratamiento de escorias, se pudo apreciar cómo la relación trabajador-supervisor mejoraba cada día, en donde la confianza era lo que caracterizada al equipo. La sala de control de la planta se transformó en un lugar de seguridad emocional para los trabajadores, en donde todos los días las ideas de mejoras y los temas de seguridad fueron abordados (en el tablero de compromisos) durante los diálogos de desempeño (la supervisión: el jefe de Unidad y Superintendente, participaban diariamente). Esta confianza se podía medir (indirectamente) por el nivel de participación de los operadores durante las discusiones en los diálogos de desempeño.

El **empoderamiento** de los trabajadores es otro factor o resultado indirecto de la implementación, el cual se vio favorecido gracias a las siguientes prácticas:

- Gracias a los diálogos de desempeño, todos, operadores y operadoras, tenían acceso a los resultados operacionales y productivos, tanto del día a día, como el acumulado del mes.
- Participaron en la elaboración y/o actualización de los estándares operacionales de la planta. Dando su opinión y visión táctica del *cómo* realizar mejor las tareas. El involucrar a los operadores en la confección de estándares no sólo los empodera, sino que facilita la aceptación y adherencia al estándar. A diferencia de la realidad que subyace a muchos procedimientos operacionales que: (1) no reflejan la realidad de la planta (2) No son conocidos por los operadores (3) No son ejecutados por los operadores.
- Participación en la etapa de “lluvia de ideas” durante las sesiones de resolución de problemas. Bajo el concepto de que todas las ideas son válidas.
- Operadores y jefes de turno fueron capacitados en el software SAP, para poder generar los avisos de mantenimiento. Lo que les entregó herramientas tecnológicas y de desarrollo profesional, ya que dicha plataforma es ampliamente utilizada en la industria, en diversas aplicaciones.

Los últimos factores o resultados indirectos son el compromiso y el sentimiento de pertenencia de los operadores y operadoras de la planta:

Acá hay un tema que no se había tocado hasta ahora, y es que el ramp up de la planta se dio en un contexto de pandemia. La llegada del Covid-19 puso en jaque a muchas operaciones y paralizó la normal ejecución de proyectos en todo el mundo. Sin embargo, las estrictas medidas preventivas que adoptó la división sirvieron como una fuerte barrera a los contagios. Pero pese a las medidas y a la disciplina de sus trabajadores, la estrategia de burbujas obligaba a dejar en cuarentena preventiva a un grupo de trabajadores si uno de ellos resultaba contacto estrecho de un familiar o amigo sospechoso. Eso pudo haber puesto en juego la continuidad operacional de la planta, sin embargo, eso no ocurrió ya que, gracias al compromiso de los operadores y operadoras de la planta, siempre hubo operadores y operadoras dispuestos a “cubrir” postura de alguno de sus compañeros, incluso si eso significaba asistir a trabajar en uno de sus días de descanso.

Por último, mencionar el sentido de pertenencia. Este sentido o cualidad que fueron adquiriendo los operadores se potenció gracias a las jornadas de orden y aseo realizadas semanalmente y al reconocimiento recibido por todo el equipo de operaciones, de ser un “referente en orden y aseo” dentro de la División El Teniente.

A continuación, se presentan algunas imágenes de los operadores de la planta realizando aseos dentro de la misma, como señal de compromiso y sentido de pertenencia:



Figura 54: Operadores de la Planta de Tratamiento de Escorias (PTE) realizando aseo y limpiezas dentro de la planta (registro personal).

## ***Índice de Transformación de Codelco (ITC)***

El Índice de Transformación Codelco (ITC) es una herramienta corporativa de Codelco que permite medir los avances en transformación organizacional; el cual, posee una variedad de elementos, tales como: el liderazgo, la innovación, la visión compartida, el reconocimiento, la disciplina operacional, la responsabilidad, ambiente laboral, entre otros. A partir del año 2019 se comenzó a realizar una encuesta a todos los trabajadores de la corporación que tiene como objetivo conocer la línea base cultural de todos los centros de trabajo de Codelco y con ello conocer lo necesario para mejorar y medir el avance en la transformación cultural, año a año. La encuesta es anónima y tiene una duración aproximada de 30 minutos. Con los resultados se desarrollan planes de acción ajustados a la realidad de cada uno de los centros de trabajo.

Mediante la respuesta a una serie de preguntas, la encuesta ITC permite valorar las siguientes nueve dimensiones de la salud organizacional de una empresa:

- Dirección
- Responsabilidad
- Coordinación y Control
- Orientación Externa
- Liderazgo
- Innovación y Aprendizaje
- Capacidades
- Motivación
- Ambiente laboral

Los resultados de las distintas valorizaciones de los trabajadores, permite agrupar los resultados en las siguientes categorías (benchmark)

- Decil superior
- Cuartil superior
- Segundo cuartil
- Tercer cuartil
- Cuartil inferior

Por temas de confidencialidad no se mostrarán los resultados divisionales ni las puntuaciones obtenidas por las distintas unidades operativas. Sin embargo, se presentarán los resultados cualitativos obtenidos por la Unidad Planta de Tratamiento de Escorias:

**Benchmark:**

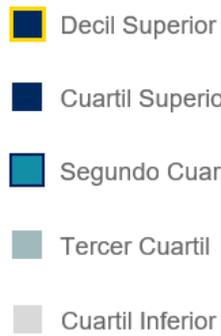


Figura 55: Resultados de la Encuesta ITC año 2020, de la Unidad Planta de Tratamiento de Escorias, perteneciente a la Gerencia Fundición de la División El Teniente.

De los resultados anteriores se puede comentar que el equipo de la Planta de Tratamiento de Escorias presenta una buena salud organizacional y que sus trabajadores destacaron los siguientes conceptos con las más altas valorizaciones:

- Visión Compartida
- Involucramiento del empleado
- Claridad de roles
- Enfoque en el cliente
- Liderazgo de apoyo
- Liderazgo retador
- Capacidades basadas en procesos
- Valores significativos
- Disciplina Operacional
- Apertura y Confianza
- Innovación de abajo hacia arriba
- Gestión Operacional

## ***Factores que favorecieron el éxito de la implementación***

A continuación, se procederá a enlistar y comentar los factores principales que favorecieron el éxito de la implementación:

- **Proyecto nuevo:** La planta de tratamiento de escorias era un proyecto nuevo y único en la división El Teniente, por lo que las expectativas eran altas y eso generaba un sentimiento de responsabilidad y compromiso en el equipo por lograr buenos resultados. No existieron las dificultades de los paradigmas del “*siempre lo hemos hecho así*”, pues dicha Planta no se había operado nunca.
- **Liderazgo de la supervisión y la alta gerencia:** La supervisión de la línea operativa (Superintendente, jefe de Unidad e Ingeniero de procesos) estuvo siempre comprometida con la implementación. Modelando con el ejemplo a sus trabajadores. Adicionalmente, ejecutivos como el Gerente de la Fundición y el director de excelencia operacional, fueron sponsors de la implementación.
- **Agente de Cambio exclusivo:** La implementación del C+ contó con un ingeniero de excelencia operacional, exclusiva y permanente en el equipo, quien fue garante de la metodología implementada, dando constante feedback de cada una de las actividades realizadas.
- **Alistamiento Operacional:** La estrategia utilizada para este proyecto claramente debe ser replicada en proyectos futuros. La conformación del equipo de operaciones fue realizada con anticipación, lo que permitió realizar una preparación de calidad a todo el personal, en paralelo a la construcción y montaje del proyecto: Se realizaron capacitaciones sobre el proyecto, los fundamentos de procesos y sobre excelencia operacional. Además, se realizaron visitas a otras faenas y operaciones (Altonorte, Potrerillos, Chuquicamata, Ministro Hales, Minera Florida) se realizó una pasantía en todas las Unidades de la Planta Concentradora de Colón (DET), se obtuvieron todas las certificaciones de seguridad para los trabajadores. Y, por último, se siguió una estrategia de puesta en marcha, en donde los Operadores eran quienes operaban los equipos durante el comisionamiento de los subsistemas (guiados por los especialistas de la gerencia de proyectos de la División El Teniente). Lo que ayudó considerablemente entre el paso del comisionamiento al ramp up de la planta.
- **Equipo sin miedo al cambio:** El personal reclutado provenía de distintos trabajos anteriores y tomaron el desafío de integrar este nuevo equipo. Esto habla de ellos como personas dispuestas a tomar desafío afrontar de manera optimista el cambio.
- **Equipo diverso:** El origen de proveniencia de los operadores era diverso. Algunos venían de la misma división El Teniente, otros de mineras privadas y un Jefe de turno provenía de División Salvador. Además, en cada uno de los grupos conformados había una mujer.
- **Equipo con experiencia:** Casi la totalidad de los operadores tenía experiencia en alguna operación unitaria de una Planta concentradora, por lo que el lenguaje era común.
- **Equipo Joven:** El equipo de operaciones tenía en promedio (entre operadores, operadores expertos, jefes de turno y supervisión) 34 años. Por lo que era un equipo con mucha energía y motivación.

## 9. CONCLUSIÓN

Como síntesis final de este trabajo de tesis, se puede concluir que se han cumplido, tanto el objetivo general y los objetivos específicos.

Han sido detalladas cada una de las fases de la implementación Lean (C+) en la Planta de tratamiento de Escorias: Diagnóstico, diseño, ejecución y sostenibilidad. Detallando en cada de una ellas la experiencia del equipo implementador. También se puede concluir que pese a realizar la implementación casi en paralelo con la llegada del Covid-19, esto no fue impedimento para lograr una implementación exitosa.

Definidos los principales KPI del estado deseado, mediante la ayuda de las prácticas C+ fue posible ir monitoreando el desempeño del equipo e ir tomando rápida acción ante desviaciones, logrando los siguientes resultados:

- Cero accidentabilidad
- Tiempo de ramp up, alcanzando en seis meses
- Reconocimiento en gestión visual, siendo catalogados como referentes en materia de orden y aseo (housekeeping)
- Procesamiento de escoria 89.416 tms al tercer mes (equivalente a un 99,35% de cumplimiento respecto de las 90.000 tms definidas como aspiración y alcanzando el procesamiento diario definido como régimen de diseño de 3.750 tms/d)
- Coeficiente de marcha de 76,5% al tercer mes (equivalente a un 95,6% de cumplimiento respecto del 80% definido como aspiración)
- Aumento de OEE en un 50,7% (de 52,2% en abril a un 78,7% en septiembre)
- Disminución del mantenimiento no planificado en un 95,6% (de 23% en abril a un 1% en septiembre). Mejorando la disponibilidad de la planta.
- Disminución de las detenciones internas en un 80% (de 8% en abril a un 1,6% en septiembre). Mejorando la utilización de la planta.

La implementación definió un estándar del “como operar” o del “buen hacer” del equipo de trabajo, con un objetivo común claro, llegando a la causa raíz de las desviaciones detectadas, estandarizando los procesos claves y en un ambiente colaborativo de trabajo en equipo y constante retroalimentación mutua.

Como se pudo apreciar, esta implementación abordó las tres disciplinas de la excelencia operacional en Codelco: Sistema de Gestión C+, Sistemas Operativos y Mentalidades y comportamientos. Es en esta última disciplina donde se observaron transformaciones importantes. Los modelos de gestión basados en TPS o lean, como es el caso de C+, son modelos que involucran a los trabajadores, haciéndolos parte de problema como de la solución. Fomentan el trabajo en equipo, la confianza y el respeto a las personas, poniendo a los operadores y mantenedores en el centro del Sistema de gestión, y los resultados están a la vista con el desempeño del equipo PTE en la encuesta de salud organizacional de Codelco ITC.

Acordamos que el adoptar y adaptar es clave para lograr una exitosa implementación de un modelo de gestión de excelencia operacional, y así lo reflejan los distintos sistemas de gestión de excelencia utilizados hoy por las grandes empresas mineras de nuestro

país, y en todas ellas se manifiesta como uno de sus pilares, a las personas. Pero es importante no perder de foco esto último, ya que una implementación lean no es la ejecución de determinadas prácticas o casos de éxito aislados. Una exitosa implementación implica una transformación cultural del cómo trabajamos y nos relacionamos con nuestros *stakeholders*, acompañada de buenos resultados sostenidos en el tiempo, y para que ello ocurra es clave contar con el apoyo y convencimiento de la alta gerencia, ya que es el *rol modelling* una herramienta poderosa a la hora de modelar comportamiento.

Sin duda alguna que existieron factores que facilitaron una rápida conversión o adherencia a las prácticas C+ por parte del equipo PTE, tales como ser un equipo nuevo y joven, el apoyo y convencimiento de la supervisión y la alta gerencia y contar con un asesor o agente de cambio C+ exclusivo durante la implementación. Pero eso no le resta mérito a todo el equipo por lo alcanzado y lo que se ha conseguido hasta hoy (al momento de escribir esta tesis).

El trabajo disciplinado y por un objetivo común, desarrollado un ambiente de seguridad emocional, de confianza, aprendizaje y sustentado por el trabajo en equipo, garantizarán buenos resultados sostenidos en el tiempo y esta es la base de todos los modelos de excelencia basados en lean-kaizen, cuya efectividad para mejorar productividad en la industria ya ha sido probada. Nos encontramos en un momento donde la industria chilena (minero y no minera) se ha volcado hacia la excelencia operacional y es esta forma de trabajar adoptada a nuestra realidad y sumada a revolución tecnológica 4.0 y la innovación las que nos pueden conducir al tan anhelado desarrollo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1]. La aplicación de Lean Manufacturing: Casos de Polonia, México y Chile (Modelos, práctica, experiencia). Mariusz Bednarek, José Miguel Santana Villagra. Marzo de 2017, Santiago, Chile
- [2]. Memoria Anual de CODELCO, Año 2020.
- [3] Pereira, A., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. (2019) "How Industry 4.0 Can Enhance Lean Practices", in FME Transactions.
- [4] Introducción a Lean Management. Taller de Capacitación "Transformación de El Teniente". Gerencia de Operaciones División El Teniente, CODELCO. Año 2012.
- [5] Jeffrey K. Liker. Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo. Gestión 2000, novena edición. Septiembre de 2020.
- [6] Tesis MBA Universidad de Chile: Diseño de un modelo de Gestión Lean Management de Servicios legales para la Consejería Jurídica en la Corporación Nacional de Cobre de Chile. Brieba Vial, Diego E., Agosto 2018.
- [7] Garza-Reyes, J. A. (2018) "A Lean Implementation Framework for the Mining Industry". International Federation of Automatic Control.
- [8] Dunstan, K., Lavin, B., Sanford, R. (2006) "The application of lean manufacturing in a mining environment", in International Mine Management Conference, 16-18.
- [9] Tesis MBA Universidad de Chile: Incorporación de metodologías de Lean Management en la etapa de construcción de la mina Recursos Norte. Arriagada Hernandez, Pablo A., Noviembre 2018.
- [10] Informe de Cierre Completo T16F401. Dirección de Flotación de Escorias, Gerencia de Proyectos, División El Teniente, CODELCO. Noviembre 2020.
- [11] Tesis MBA Universidad de Chile: Problemática de las Fundiciones de Cobre en Chile y LEAN Management Como Metodología de Gestión, Perez Vallejos, Julio P., Marzo 2017.
- [12] Gonzalez Sánchez, M. J. (2012) "Diseño de un Modelo para implementar LEAN con éxito". XVI Congreso de Ingeniería de Organización.
- [13] Adolfo Arata, Alessio Arata. Ingeniería de la Confiabilidad. RIL Editores, Primera edición. Marzo de 2013.
- [14] Estudio de Productividad en la gran minería del cobre: Benchmark de indicadores de productividad. Comisión Nacional de la Productividad, Marzo 2017.