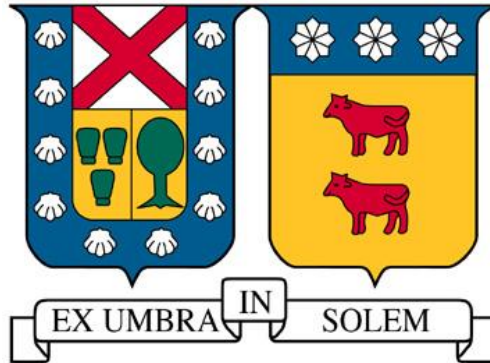


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL CAMBIO
DE TOBERAS EN HORNOS PIERCE-SMITH DE LA FUNDICIÓN
CALETONES

LUIS ANDRÉS BAEZA MERCADO

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA: SR. FREDY KRISTJANPOLLER R.

SEPTIEMBRE 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Mejora de la gestión de mantenimiento para el cambio de toberas en hornos Pierce-Smith de la fundición Caletones

Nombre del candidato(a): Luis Baeza Mercado

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Fredy Kristjanpoller Rodríguez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/09/2025; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28/09/2025; **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen ejecutivo

La presente investigación aborda la gestión de mantenimiento en los hornos Convertidores Pierce-Smith (CPS) de la Fundición Caletones, División El Teniente de Codelco. Estos equipos son críticos en la producción de cobre blister, y uno de sus principales desafíos operativos radica en la gestión y reemplazo periódico de las toberas, las cuales están sometidas a condiciones extremas de desgaste térmico, mecánico y químico.

El estudio se desarrolló con un enfoque mixto, combinando análisis de datos históricos de desgaste, revisión de prácticas de mantenimiento, planificación y gestión de repuestos. Se recopiló y depuró una base de datos de más de una década de mediciones, lo que permitió realizar un diagnóstico integral sobre la frecuencia de cambio de toberas, los días y cargas procesadas entre cada intervención.

Los resultados mostraron que los CPS analizados presentan un comportamiento similar, con promedios de 36 días entre cambios y cerca de 80 cargas procesadas por subcampana. Sin embargo, también se evidenció una gran variabilidad en los datos, con casos de posibles fallas prematuras y tendencias decrecientes en la cantidad de días de operación a medida que avanza la campana, evidenciando un ajuste necesario en la frecuencia del mantenimiento, pasando de una a frecuencia constante a una con frecuencia variable.

En cuanto a la gestión de repuestos, se verificó que los stocks mínimos actuales cumplen con los niveles de servicio requeridos, aunque se detectó la necesidad de ajustar puntos de pedido en algunos materiales y fortalecer el control sobre reparables.

Respecto de la ejecución de los cambios de toberas, el análisis de la carta Gantt mostró que la duración promedio de 98,7 horas puede reducirse aplicando la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) a 67 horas, la cual permite transformar tareas internas en externas y eliminar desperdicios, aumentando la disponibilidad de los equipos, pasando de un 83,5% a un 86,7%.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	2
ÍNDICE	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	6
3. ALCANCE	7
4. ANTECEDENTES	9
4.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	9
4.2. ANTECEDENTES GENERALES DIVISIÓN EL TENIENTE	9
4.3. ANTECEDENTES GENERALES CALETONES	10
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	11
5.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL	11
5.1.1. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO	11
5.1.2. GESTIÓN DE REPUESTOS	12
5.2. ANÁLISIS DE DATOS DE DESGASTE	14
5.3. PLAN DE MEJORAMIENTO	14
5.3.1. METODOLOGÍA SMED	15
6. SITUACIÓN ACTUAL	19
6.1. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	19
6.2. PLANIFICACIÓN	20
6.3. GESTIÓN DE REPUESTOS	23
6.4. EJECUCIÓN DE CAMBIO DE TOBERAS	27
6.4.1. RETIRO DE PERIFÉRICOS	29
6.4.2. LIMPIEZA	31
6.4.3. RETIRO DE COMPONENTES SECTOR TOBERAS, TRINCADO, ACUÑADO Y PLATAFORMA DE TRABAJO	32

6.4.4.	DEMOLICIÓN, CONSTRUCCIÓN Y ESTUCADO.....	33
6.4.5.	INSTALACIÓN DE PUERTAS Y NIVELACIÓN	35
6.4.6.	RELLENO Y PERFORADO	36
6.4.7.	INSTALACIÓN, SOLDADURA Y PRUEBAS DE TOBERAS.....	37
6.4.8.	INSTALACIÓN DE PERIFÉRICOS Y ENTREGA DE EQUIPO A OPERACIONES	38
7.	ANÁLISIS DE DATOS DE MEDICIONES DE TOBERAS.....	39
7.1.	BASE DE DATOS Y DEPURACIÓN.....	40
7.2.	ANÁLISIS DE CAMBIOS DE TOBERAS	42
8.	PROPUESTAS DE MEJORA.....	51
8.1.	ANÁLISIS SMED	51
8.1.1.	MEDIR EL TIEMPO TOTAL DE LA TAREA	51
8.1.2.	DETERMINAR PASOS INTERNOS Y EXTERNOS DE LA TAREA	53
8.1.3.	CONVERTIR TAREAS INTERNAS EN EXTERNAS.....	56
8.1.4.	ELIMINAR EL DESPERDICIO INTERNO.....	58
8.1.5.	ELIMINAR EL DESPERDICIO EXTERNO	62
8.2.	PROPUESTA DE MEJORA EN PLAN DE MANTENIMIENTO	63
8.3.	PROPUESTA DE MEJORA PARA LA GESTIÓN DE REPUESTOS	67
9.	CONCLUSIONES.....	68
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	69
11.	ANEXOS	70
11.1.	ANEXO 1 – FLUJO DE PROCESO DE EJECUCIÓN (SOMA)	70
11.2.	ANEXO 2 – PROCESO DE PLANIFICACIÓN (SOMA).....	70
11.3.	ANEXO 3 – ROLES ORGANIZACIONALES DE PLANIFICACIÓN (SOMA).....	71

1. Introducción

Las fundiciones de cobre en Chile enfrentan actualmente el gran desafío de mejorar la eficiencia de sus procesos productivos, con un fuerte énfasis en la reducción de costos y el aumento de la disponibilidad operativa. En el caso particular de la Fundición Caletones, las expectativas de producción se han incrementado debido a nuevos desarrollos mineros en curso, lo que implica no solo inversiones significativas en infraestructura, sino también la necesidad de generar iniciativas de mejora continua que permitan alcanzar dichas metas productivas. En este contexto, la disponibilidad y el rendimiento de los equipos adquieren un rol estratégico.

Los hornos Convertidores Pierce-Smith (CPS) son equipos clave dentro del proceso de conversión del cobre, y su alta disponibilidad es esencial para asegurar la continuidad operacional. Entre sus componentes críticos se encuentran las toberas, dispositivos por los cuales se inyecta aire al baño fundido para facilitar las reacciones de oxidación necesarias en la etapa de conversión. Estas toberas están expuestas a condiciones extremas de operación (altas temperaturas, atmósferas corrosivas y desgaste mecánico), lo que obliga a su reemplazo periódico como parte de la gestión de mantenimiento.

La adecuada planificación y ejecución del cambio de toberas es fundamental, ya que fallas prematuras o mantenimientos mal coordinados impactan negativamente en la eficiencia del proceso, los tiempos de parada y, por consiguiente, la disponibilidad del horno. Bajo este escenario, resulta necesario realizar un análisis técnico que permita comprender el comportamiento de desgaste de las toberas, definir estrategias óptimas de frecuencia de cambio, evaluar la gestión de repuestos y reducir los tiempos asociados a la intervención. Asimismo, la incorporación de buenas prácticas de seguridad durante la actividad es indispensable para garantizar la integridad del personal en un entorno de alto riesgo. Todo lo anterior configura una oportunidad relevante para capturar valor mediante una gestión de mantenimiento más eficiente, alineada con los objetivos estratégicos de productividad, seguridad y confiabilidad operacional.

2. Objetivos

Objetivo general:

Mejorar la gestión de mantenimiento y desarrollar un plan de mejora de los tiempos asociados al cambio de toberas en hornos Convertidores Pierce-Smith (CPS), mediante el análisis de datos de desgaste y la evaluación de las prácticas actuales.

Objetivos específicos

- Analizar la frecuencia de cambios de toberas y su relación con los patrones de desgaste.
- Evaluar la efectividad de la gestión de mantenimiento (Planes de mantenimiento, planificación, gestión de repuestos).
- Identificar ineficiencias en los tiempos de ejecución del cambio de toberas y proponer mejoras.

3. Alcance

- El estudio se enfocará en los hornos Pierce-Smith de la fundición de cobre Caletones de la división El Teniente de Codelco.
- Se analizarán los datos de desgaste de toberas correspondientes a los cuatro hornos existentes.
- Se realizará un análisis de un periodo de al menos dos mantenciones generales por cada horno, en caso de no contar con esta información de algún horno, se excluirá del análisis.
- Análisis de repuestos necesarios para los 4 hornos y gestión de stock (armado en maestranza externa).
-

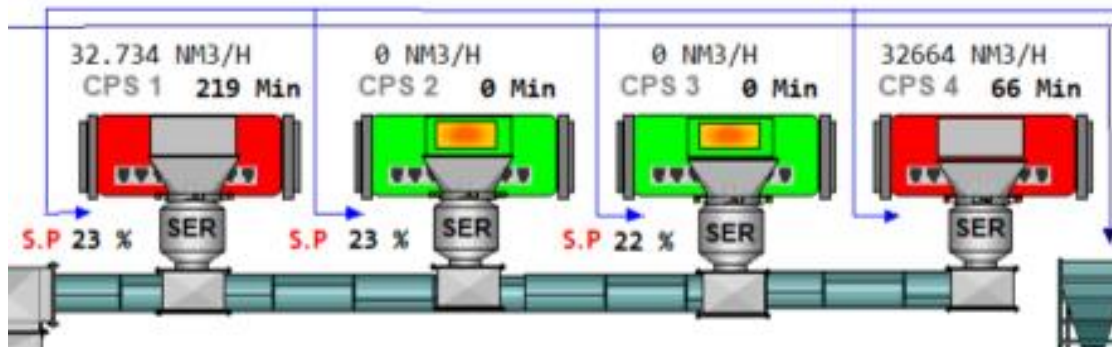


Figura 1 Hornos Pierce-Smith dentro del diagrama de procesos de Caletones.

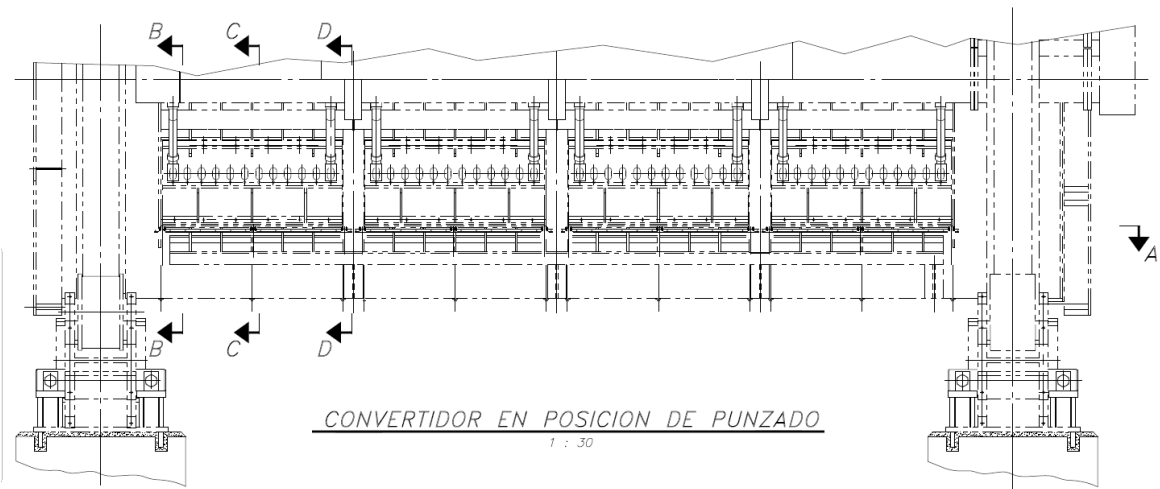


Figura 2 Sección del horno Pierce Smith donde se encuentran las toberas.

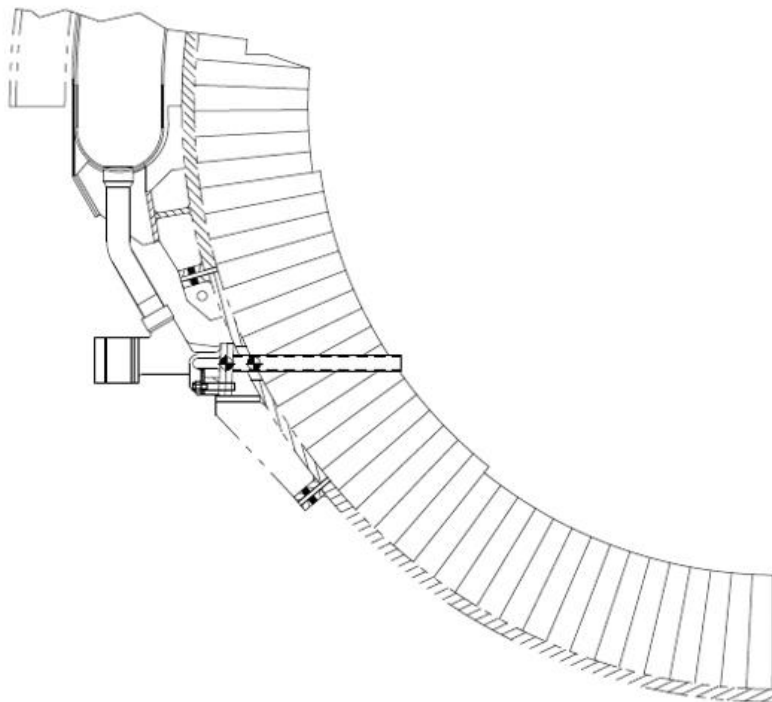


Figura 3 Vista en corte donde se aprecia posición de tobera externa e internamente en el horno.

4. Antecedentes

4.1. Antecedentes de la empresa

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma propiedad del estado chileno. Sus reservas representan un 6% de las reservas globales de cobre, si principal giro es explorar, desarrollar y explotar recursos mineros, procesarlos para producir cobre refinado y subproductos, y luego comercializarlos a clientes en todo el mundo.

La corporación la componen siete divisiones mineras: Chuquicamata, Ministro Hales, Radomiro Tomic, Gabriela Mistral, Salvador, Andina y El Teniente, además de la Refinería Ventanas y su casa Matriz se ubica en Santiago.

4.2. Antecedentes generales división El Teniente

La División El Teniente es el yacimiento de cobre subterráneo más grande del planeta, ubicado en la comuna de Machalí, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua. Comenzó su explotación en 1905 (actualmente 120 años), y cuenta con más de 4.500 kilómetros de galerías subterráneas.

LA producción en el año 2024 alcanzó las 356 mil toneladas de cobre fino, lo cual representa más de un cuarto de la producción de Codelco, además de subproductos como molibdeno y plata.

Sus operaciones principales incluyen la mina subterránea en donde el mineral extraído es disminuido en tamaño y es enviado a la planta concentradora Colón, en donde se encuentra el área de molienda, posteriormente el área de flotación, adicionalmente se encuentra la planta de Molibdeno (subproducto), y la planta de filtros, donde el concentrado obtenido es enviado finalmente a la fundición Caletones.



Figura 4 Vista satelital de parte de división El Teniente, se visualiza Colón y Caletones.

4.3. Antecedentes generales Caletones

Inaugurada en 1922, se ubica a 1500 km sobre el nivel del mar, la fundición Caletones desempeña un papel crucial en el proceso de fusión de concentrado de cobre, pasando por metal blanco, cobre blíster, para finalmente producir el producto final de ánodos con un 99,7% de cobre.

Los datos productivos de Caletones en el 2024 fueron de 1.121 ktns de fusión total, con una producción de Cu moldeado total de 222 mil ktmf y 928 kton de ácido sulfúrico.

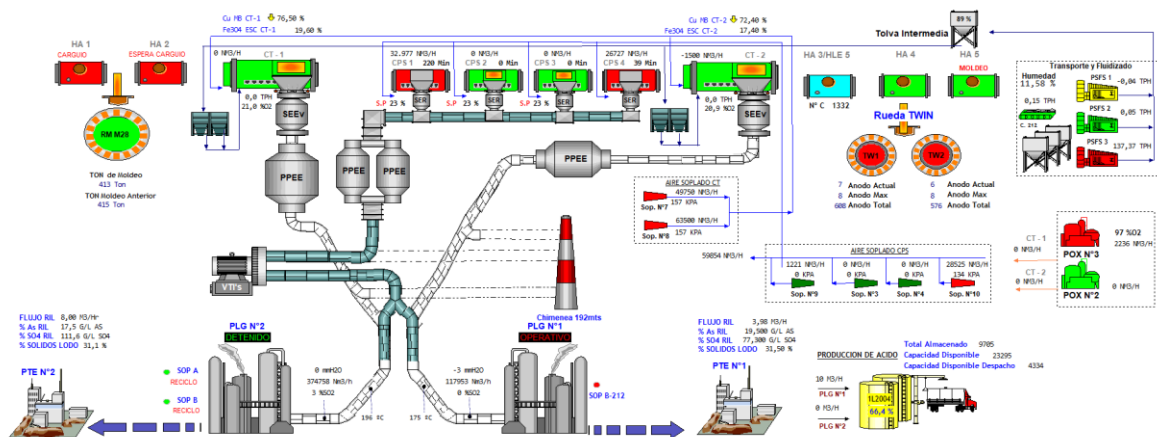


Figura 5 Diagrama general Fundición Caletones.

5. Metodología de trabajo

La presente tesina adopta un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar y mejorar la gestión de mantenimiento en el cambio de toberas de los hornos Pierce-Smith en la fundición Caletones.

5.1. Diagnóstico del estado actual

Se realiza un análisis de la gestión actual de mantenimiento, planificación, disponibilidad de repuestos y tiempos asociados al cambio de toberas. En esta fase se realiza la recopilación de los datos históricos de desgaste y otros aspectos visualizados en terreno.

5.1.1. Disponibilidad de equipo

Un indicador a utilizar y de fácil comprensión para evaluar las propuestas de mejora es la disponibilidad, la cual se define como la razón o coeficiente de del tiempo en que el equipo se puede utilizar y el tiempo total que incluye al anterior más el tiempo de reparación/mantenimiento.

De acuerdo con lo anterior, la disponibilidad viene dada por la relación porcentual entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo total, lo que se puede expresar de la forma siguiente:

$$A = \frac{UT}{(UT+DT)} \quad (5.1)$$

donde UT es el tiempo disponible para el funcionamiento (up-time) y DT es el tiempo fuera de servicio (down-time).

Cabe destacar que el análisis para estos cálculos se realiza mediante los datos teóricos tanto para el tiempo en operación como para el tiempo de detención, excluyendo los datos de fallas del equipo, esto se realiza de esta forma para poder comprobar el impacto en este indicador de las mejoras que se puedan proponer, ya sea que impacten al UT o al DT.

5.1.2. Gestión de repuestos

La gestión de repuestos para el caso de los cambios de toberas involucra el poseer los materiales en bodega en las cantidades necesarias para no tener quiebres de stock y además realizar la gestión de reparables de forma adecuada en los tiempos que permitan que el conjunto reparado/ensamblado se encuentre disponible para su utilización cuando se requiera.

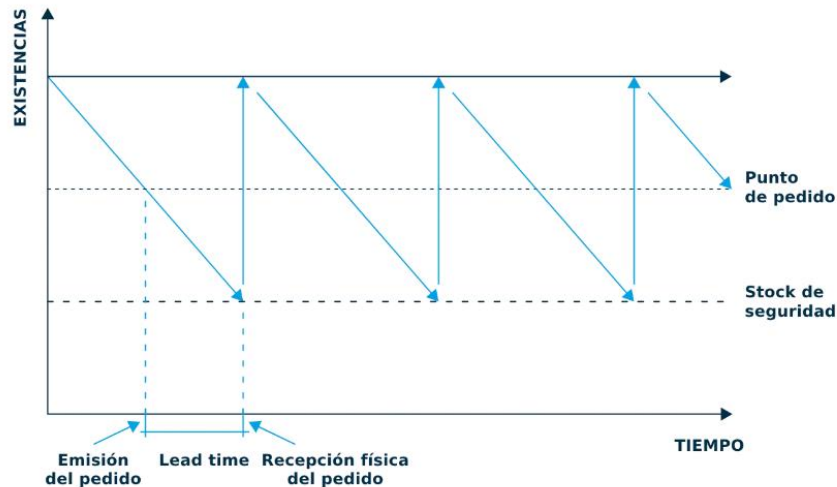


Figura 6 gráfica de cómo funciona el punto de pedido y stock de seguridad frente al tiempo de entrega.

Se corroborará que los valores de stock mínimo y puntos de reorden para los materiales a utilizar, para el caso de stock mínimo se utilizará la siguiente fórmula.

$$SS = Z * \sigma * \sqrt{L} \quad (5.2)$$

Donde,

SS: Stock de seguridad.

Z: Nivel de servicio.

σ : Desviación estándar de consumo diario.

L: Lead time promedio.

Una vez se tenga el stock de seguridad para los materiales, se corrobora el punto de pedido utilizando la siguiente fórmula.

$$ROP = (\text{Consumo diario promedio} * \text{plazo de entrega promedio}) + SS \quad (5.3)$$

Donde,

ROP: Punto de reorden.

Para verificar si algún valor actual en sistema SAP debe ser modificado, se corroborará que los valores ingresados sean mayores que los calculados.

Para el caso de la gestión de reparables, se debe considerar los tiempos asociados a la recolección de materiales desde bodega, la frecuencia de camiones de traslado desde/hacia maestranza y los tiempos de tratamiento por parte de esta para contar con el conjunto para despacho, se utilizará la siguiente formula para realizar el cálculo del tiempo de reparación de toberas.

$$TRT = \text{Tiempo recolección de materiales} + \text{tiempo de traslados} + \text{tiempo de reparación} \quad (5.4)$$

Donde,

TRT: Tiempo de reparación total

Este tiempo es de importancia ya que será aquel mínimo en el cual se debe gestionar la reparación para el cambio de toberas próximo.

5.2. Análisis de datos de desgaste

Se estudiarán los registros de desgaste de las toberas, identificando patrones, frecuencias reales de cambio, tasas de desgaste, cargas entre sub campañas, análisis de tendencias, diferencias entre los días de cambios en las diferentes sub campañas por equipo, análisis inter e intra CPS.

Estos análisis serán realizados utilizando la data disponible, ordenándola y depurándola de ser necesario, se realizarán gráficas y tablas para resumir y representar de mejor manera la gran cantidad de datos que se tienen históricos de mediciones de toberas.

5.3. Plan de mejoramiento

Se desarrollará un plan de mejoramiento considerando los hallazgos de los puntos anteriores, la cual incluirá recomendaciones para realizar los cambios en tiempos más acotados de acuerdo con utilización de metodología SMED, mejorar la disponibilidad de repuestos y mejora en la disponibilidad de los equipos asociado a la gestión del plan de mantenimiento del cambio de toberas, esto se representa en cuadro resumen.

Aspecto a mejorar	Situación actual	Herramienta / metodología	Objetivo esperado
Gestión de repuestos (toberas)	El punto de pedido y stock de seguridad actuales no se tiene certeza si cumple con la variabilidad real de la demanda, gestión de reparables no se encuentra estandarizado ni tiempos definidos.	Cálculo de stock de seguridad y punto de pedido con base en a datos, cálculos de tiempos de reparación.	Asegurar disponibilidad de toberas, evitar quiebres de stock y reducir sobreinventario.
Gestión de planificación / plan de mantenimiento	El plan actual se basa en frecuencias estáticas que no reflejan la dinámica real de las toberas en días, cargas y su evolución durante las campañas.	Actualización de frecuencias de mantenimiento preventivo con base en análisis estadístico (promedios, medianas, tendencias).	Ajustar la planificación a la realidad operacional, mejorando la confiabilidad y reduciendo paradas imprevistas.
Tiempos de detención por mantenimiento	La duración del cambio de toberas es elevada (≈ 98 h), con actividades internas y externas no analizadas.	Implementación de metodología SMED de acuerdo a metodología indicada en libro SOMA	Reducir tiempos de paro mediante conversión de tareas internas a externas, eliminación de desperdicios y generación de propuestas de mejora.

Tabla 1 Cuadro resumen de plan de mejoramiento y herramienta/metodología a utilizar.

5.3.1. Metodología SMED

La metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) fue desarrollada por Shigeo Shingo en Toyota durante la década de 1950, con el objetivo de reducir drásticamente los tiempos de preparación de máquinas.

Su principio central es separar actividades internas y externas, y convertir la mayor cantidad de operaciones internas en externas para minimizar las detenciones.

“Single Minute” no significa literalmente menos de 10 minutos, sino cambiar en un tiempo muy reducido comparado con el estándar previo.

En el contexto de mantenimiento industrial, SMED se adapta para reducir la duración de intervenciones críticas (ej.: cambio de toberas en CPS), aumentando la disponibilidad de equipos.

Particularmente en Codelco, la utilización de SMED se encuentra inserta en el libro del sistema operativo de mantenimiento (SOMA), como parte de la mejora continua en la fase D que hace referencia al ciclo de Mantenimiento.

Matriz de Conexiones SOMA – C+

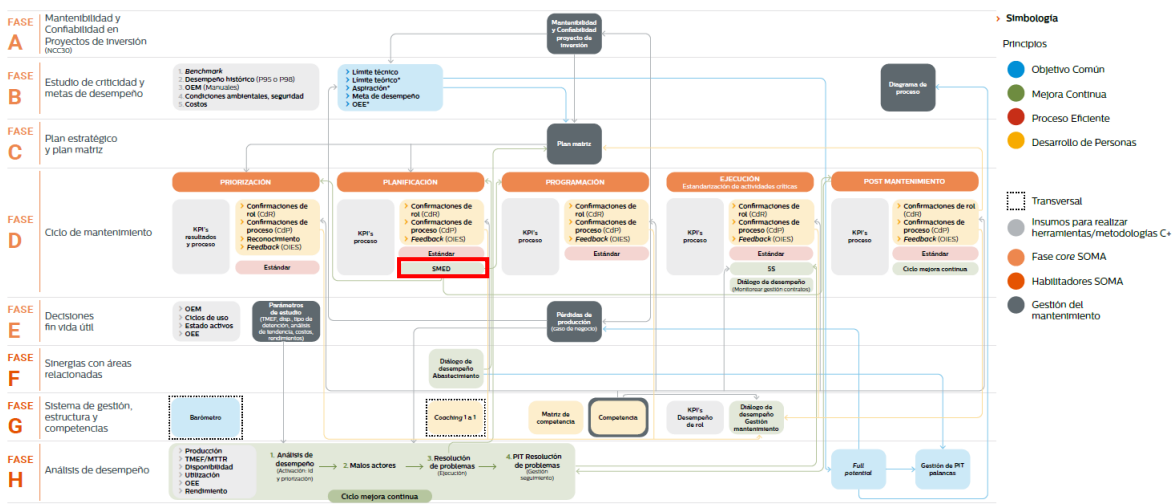


Figura 7 Matriz de conexiones SOMA, SMED en fase D como mejora continua del proceso de planificación.

Se tiene que SMED se aplica en el ciclo de planificación, sin embargo, donde se obtiene el input sobre posibles mejoras en actividades viene dado desde el flujo de post mantenimiento.

Existe un estándar sobre SMED, el cual da un lineamiento general sobre la metodología que se debe utilizar.

1.5.7 Estándar *Single Minute Exchange of Die (SMED)*

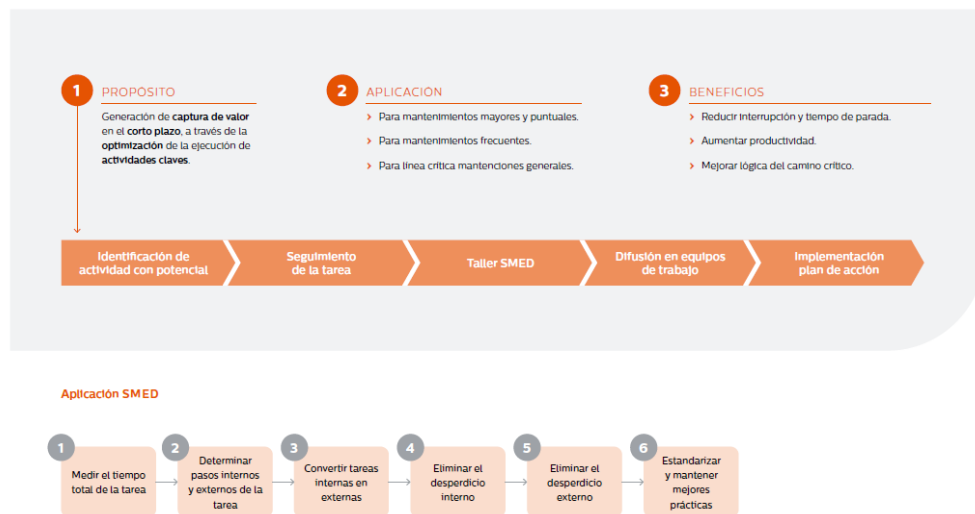


Figura 8 Estándar Single Minute Exchange of Die (SMED) en SOMA.

En la figura 8 se describe el estándar, en donde se menciona:

- Propósito: Generación de captura de valor en el corto plazo, a través de la optimización de la ejecución de actividades claves.
- Aplicación:
 - Para mantenimientos mayores y puntuales.
 - Para mantenimientos frecuentes.
 - Para línea crítica mantenciones generales.
- Beneficios:
 - Reducir interrupción y tiempo de parada.
 - Aumentar la productividad.
 - Mejorar lógica del cambio crítico.

Para la aplicación, se tiene un flujo de 6 pasos los cuales deben seguirse.

- Medir el tiempo total de la tarea: busca establecer una línea base cuantitativa de la duración de la intervención, midiendo de manera cronológica el tiempo real empleado en cada etapa. Con esto se busca conocer la magnitud del tiempo empleado, identificar tareas críticas y disponer de un punto de comparación para evaluar mejoras posteriores.
- Determinar pasos internos y externos de la tarea: Busca identificar y clasificar las actividades que componen la intervención, diferenciando entre:
 - Internas: sólo se pueden ejecutar con el equipo detenido.
 - Externas: pueden realizarse mientras el equipo aún está en operación o en paralelo.

Con esta distinción se busca visibilizar las oportunidades de trasladar tareas fuera del tiempo de indisponibilidad, disminuyendo la duración del mantenimiento.

- Convertir tareas internas en externas: Busca reducir el tiempo de indisponibilidad del horno transformando la mayor cantidad posible de tareas internas (que requieren detención) en externas (que pueden realizarse antes o en paralelo).

Es importante poder realizar preguntas claves en esta fase como por ejemplo, ¿qué parte de la tarea puede adelantarse para antes de la detención?, ¿qué condiciones previas pueden dejarse listas para que la actividad más rápido durante la detención?.

- Eliminar el desperdicio interno: Busca optimizar las tareas que inevitablemente deben ejecutarse con el equipo detenido, eliminando todas las fuentes de desperdicio (tiempos muertos, movimientos innecesarios, retrabajos, esperas por herramientas o coordinación).

En esta etapa no se busca “mover” la tarea hacia afuera de la detención (eso ya se hizo en el paso anterior), sino hacer más eficiente lo que queda adentro, para que cada minuto de indisponibilidad del equipo se traduzca en trabajo productivo.

- Eliminar el desperdicio externo: Busca optimizar las actividades externas (aquellas que pueden realizarse con el equipo en operación o fuera de la ventana de detención), eliminando ineficiencias que generan retrasos indirectos en la intervención.

La idea es que cuando llegue el momento de la detención, todo lo externo ya esté 100% preparado, sin pérdidas de tiempo por actividades, búsqueda de repuestos, o problemas de coordinación.

- Estandarizar y mantener mejores prácticas: Busca consolidar las mejoras logradas a través de la estandarización de los nuevos métodos de trabajo, asegurando que las prácticas más eficientes se mantengan en el tiempo y se conviertan en el estándar.

Esto implica documentar, capacitar y monitorear de forma sistemática el procedimiento optimizado, evitando que las cuadrillas vuelvan a métodos antiguos menos eficientes. Además, se promueve la cultura de mejora continua (kaizen/C+ en Codelco), donde los resultados de cada intervención se revisan y retroalimentan el proceso.

6. Situación actual

La industria de las fundiciones de cobre se enfrenta hoy a desafíos crecientes en términos de eficiencia operativa, continuidad de servicio y sostenibilidad. En este contexto, la gestión de mantenimiento adquiere un rol fundamental, especialmente en procesos de alta criticidad como la conversión del cobre en los hornos Pierce-Smith, tecnología ampliamente utilizada en fundiciones chilenas, incluyendo la Fundición Caletones de Codelco.

Los hornos Pierce-Smith fueron introducidos en el siglo XX como una evolución de los convertidores Bessemer, adaptados para la conversión de mata de cobre en cobre blister. Estos equipos operan mediante la inyección de aire a través de toberas dispuestas en su parte inferior, lo que permite oxidar azufre y hierro, generando escoria y cobre metálico. Las toberas, al estar sometidas a condiciones extremas, temperaturas superiores a 1.200 °C, atmósferas corrosivas y abrasivas, sufren un desgaste acelerado, lo que hace necesario su reemplazo frecuente para evitar interrupciones no programadas y pérdidas de eficiencia del proceso, en Caletones estos cambios están definidos como plan de mantenimiento en ERP SAP cada 34 días.

6.1. Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento en Codelco y en la Fundición Caletones es guiada por el Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA), el cual es una guía que reúne las mejores prácticas de Codelco y la industria. Esta cuenta con 8 fases:

- Fase A: Fase de inversión proyecto NCC30.
- Fase B: Estudio de criticidad y metas de desempeño.
- Fase C: Plan Estratégico y plan matriz.
- Fase D: Ciclo de Mantenimiento.
- Fase E: Decisiones de fin de vida útil.
- Fase F: Sinergias con áreas relacionadas.
- Fase G: Sistema de gestión, estructura organizacional y competencias.
- Fase H: Análisis de desempeño.



Figura 9 Las 8 fases del SOMA.

El análisis que se lleva a cabo tiene influencias en las fases C, D, F y H.

Plan mant.prev.: 143819 MTTO CPS-2

[Cab.plan mant.](#)

< [Llamadas programadas plan mantenimiento](#)

Lista programación						
	Nº...	FechaPrev.	Fecha de toma	Fecha de con...	Paquet.vencid.	Cl.programación/Status
<input type="radio"/>	64	01.08.2025	15.07.2025		P3	Programado,Espera
<input type="radio"/>	65	04.09.2025	18.08.2025		P3	Programado,Espera
<input type="radio"/>	66	08.10.2025	21.09.2025		P3	Programado,Espera
<input type="radio"/>	67	11.11.2025	25.10.2025		P3	Programado,Espera

Figura 10 Plan de mantenimiento y frecuencia de próximos cambios de toberas en CPS 2.

6.2. Planificación

Respecto del plan matriz empleado en Caletones y la frecuencia definida de 34 días, no existen registros de Confiabilidad ni en sistema que pudiese identificar si esta fue definida en base a experiencia operativa o con un análisis estadístico. Finalmente, en la práctica la decisión de cuando se ejecuta el cambio de toberas se define en base a la medición de

toberas, la cantidad de cargas del horno desde el último cambio, días de operación, recursos disponibles y si este ha presentado fallas (filtraciones de cobre o sellado) en las toberas, esto sin mayores análisis, siendo una decisión mayormente en base a la experiencia operativa tomada en reuniones del ciclo SOMA. Es por esta razón que existe una oportunidad de poder estandarizar esta toma de decisiones, considerando los datos existentes y mejores prácticas.

Resumen de Medición	Última Medición Toberas del día: 03-07-2025						Penúltima Medición toberas del día: 02-07-2025					
	CT-1	CT-2	CPS-1	CPS-2	CPS-3	CPS-4	CT-1	CT-2	CPS-1	CPS-2	CPS-3	CPS-4
Fecha	02-07-2025	03-07-2025	02-07-2025	21-03-2025	02-07-2025	02-07-2025	25-06-2025	25-06-2025	23-06-2025	18-03-2025	24-06-2025	26-06-2025
Nomenclatura Campaña	8-B	17-A	16-M 1373	24-I 823	14-A 202	8-G 718	8-B	17-A	16-M 1357	24-I 820	14-A 187	8-G 712
N° carga campaña	----	----	1373	823	202	718	----	----	1357	820	187	712
N° carga campaña actual	----	----	16	66	56	29	----	----	0	63	41	23
Días de operación	106	147	9	46	26	17	99	139	0	43	20	11
Promedio desgaste	58,8	54,41	52,3	33,7	37,9	40,5	59,4	55,7	71,0	34,3	45,6	46,3
N° Toberas operativas	39	39	42	26	41	34	39	39	42,0	28	41	42

Figura 11 Resumen general de datos asociados a mediciones de toberas en CT (Convertidor Teniente) y CPS.

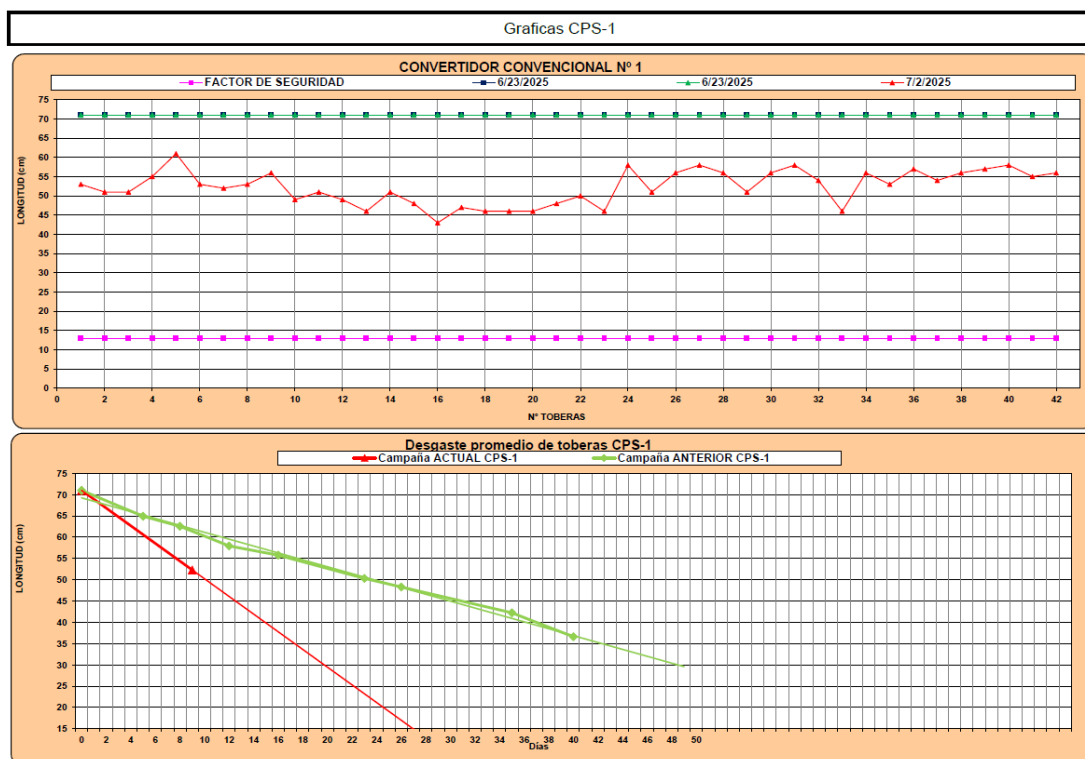


Figura 12 Gráficas de CPS en informe de medición de toberas.

Uno de los entregables desde el área de planificación es la carta Gantt del mantenimiento, el cual contempla todas las actividades relevantes (línea crítica) para llevar a cabo el cambio de toberas, así también otras actividades que se desarrollan durante el mantenimiento de forma paralela.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Nombres de los recursos
1	Cambio línea toberas CPS-4	98,7 horas	lun 11-11-24 4:00	vie 15-11-24 6:42	
2	FUCO	35 horas	lun 11-11-24 4:00	mar 12-11-24 15:00	
3	Entrega de equipo a mantenimiento	0 horas	lun 11-11-24 4:00	lun 11-11-24 4:00	Operaciones Fuoco
4	Retiro de pernos seguros tapa corredera	0,3 horas	lun 11-11-24 4:00	lun 11-11-24 4:18	Mecanicos Turno;Operaciones Fuoco
5	Retiro tapa corredera con grua	0,3 horas	lun 11-11-24 4:18	lun 11-11-24 4:36	Mecanicos Turno;Operaciones Fuoco
6	Bloqueo de equipo-Desmontar carretilla de oxigeno	2 horas	lun 11-11-24 4:00	lun 11-11-24 6:00	Mecanicos Turno
7	Retiro de ventanillas campana	0,5 horas	lun 11-11-24 4:00	lun 11-11-24 4:30	Mecanicos Turno
8	Retiro de máquina punzadora	1 hora	lun 11-11-24 4:00	lun 11-11-24 5:00	Pacoll Hornos
9	Apagado quemador para limpieza campana	0,2 horas	lun 11-11-24 8:00	lun 11-11-24 8:12	Operaciones Fuoco
10	Limpieza de foso	2 horas	lun 11-11-24 8:12	lun 11-11-24 10:12	Operaciones Fuoco
11	Limpieza campana	11 horas	lun 11-11-24 10:12	lun 11-11-24 21:12	Mclean
12	Limpieza precámara	6 horas	lun 11-11-24 10:12	lun 11-11-24 16:12	Mclean
13	Limpieza plataforma medialuna	6 horas	lun 11-11-24 10:12	lun 11-11-24 16:12	Mclean
14	Limpieza líras	1 hora	lun 11-11-24 10:12	lun 11-11-24 11:12	Mclean
15	Limpieza cámara	1 hora	lun 11-11-24 10:12	lun 11-11-24 11:12	Mclean
16	Inspeccion motor giro horno	6 horas	mar 12-11-24 9:00	mar 12-11-24 15:00	Electricos Fuoco
17	Mtto CCM	4 horas	mar 12-11-24 9:00	mar 12-11-24 13:00	Electricos Fuoco
18	Mtto control local	2 horas	mar 12-11-24 9:00	mar 12-11-24 11:00	Electricos Fuoco
19	Inspeccion motor y control campana	2 horas	mar 12-11-24 11:00	mar 12-11-24 13:00	Electricos Fuoco
20	Encendido quemador	0,3 horas	lun 11-11-24 21:12	lun 11-11-24 21:30	Operaciones Fuoco
21	ACTIVIDADES LINEA TOBERAS	81,5 horas	lun 11-11-24 21:12	vie 15-11-24 6:42	
22	Levante de Defensas de punzado	1 hora	lun 11-11-24 21:12	lun 11-11-24 22:12	Pacoll Hornos
23	Retiro defenzas de tobera	1,5 horas	lun 11-11-24 22:12	lun 11-11-24 23:42	Pacoll Hornos
24	Corte de tubos toberas y pernos puertas (Con cuerda de vida)	2 horas	lun 11-11-24 23:42	mar 12-11-24 1:42	Pacoll Hornos
25	Desmontar puertas toberas (Con giros)	1 hora	mar 12-11-24 1:42	mar 12-11-24 2:42	Pacoll Hornos
26	Giro del horno & encendido quemador	0,5 horas	mar 12-11-24 2:42	mar 12-11-24 3:12	Operaciones Fuoco
27	Instalación techo protector	3 horas	mar 12-11-24 3:12	mar 12-11-24 6:12	Pacoll Hornos
28	Desmantelado puertas toberas	8 horas	mar 12-11-24 2:42	mar 12-11-24 10:42	Pacoll Hornos
29	Instalación de trinquete y cuñas	1 hora	mar 12-11-24 6:12	mar 12-11-24 7:12	Pacoll Hornos
30	Instalar barreras extremos plataforma de punzado	1,5 horas	mar 12-11-24 9:12	mar 12-11-24 10:42	Pacoll Hornos
31	Instalar bastones y parrillas piso trabajo refractario	3 horas	mar 12-11-24 10:42	mar 12-11-24 13:42	Pacoll Hornos
32	Retiro y reposición de ladrillos	7 horas	mar 12-11-24 13:42	mié 13-11-24 9:42	Refractarios DET
33	Estucado enladrillado	2 horas	mié 13-11-24 8:00	mié 13-11-24 10:00	Refractarios DET
34	Montaje de puertas	2,5 horas	mié 13-11-24 10:00	mié 13-11-24 12:30	Pacoll Hornos
35	Retiro de techo protector	1 hora	mié 13-11-24 12:30	mié 13-11-24 13:30	Pacoll Hornos
36	Instalación máquina perforadora	1 hora	mié 13-11-24 10:00	mié 13-11-24 11:00	Pacoll Hornos
37	Nivelado y trincado horno	30 mins	mié 13-11-24 12:30	mié 13-11-24 13:00	Pacoll Hornos
38	Revisar tapa corredera & sistema motriz tapa	4 horas	mar 12-11-24 9:00	mar 12-11-24 13:00	Mecanicos FUCO
39	Instalación de techo protector	1,5 horas	mié 13-11-24 13:00	mié 13-11-24 14:30	Pacoll Hornos
40	Nivelación de puertas	3 horas	mié 13-11-24 14:30	mié 13-11-24 17:30	Pacoll Hornos
41	Relleno refractario de puertas	1 hora	mié 13-11-24 17:30	mié 13-11-24 18:30	Refractarios DET
42	Perforado y retiro de perforadora	8 horas	mié 13-11-24 18:30	jue 14-11-24 15:30	Refractarios DET
43	Instalación de toberas & soldar pletina	2,5 horas	jue 14-11-24 13:30	jue 14-11-24 16:00	Pacoll Hornos
44	Limpieza de foso	12 horas	mié 13-11-24 13:00	jue 14-11-24 14:00	Refractarios DET
45	Emparejar corte bajadas	1,5 horas	jue 14-11-24 10:30	jue 14-11-24 12:00	Pacoll Hornos
46	Soldadura de bajadas de soplado	12 horas	jue 14-11-24 12:00	vie 15-11-24 0:00	Pacoll Hornos
47	Inspección junta rotatoria	1 hora	jue 14-11-24 14:00	jue 14-11-24 15:00	Pacoll Hornos
48	Instalar carretilla de oxigeno	0,3 horas	vie 15-11-24 0:00	vie 15-11-24 0:18	Mecanicos Turno
49	Prueba de aire-reparación fugas	2 horas	vie 15-11-24 0:18	vie 15-11-24 2:18	Mecanicos Turno;Pacoll Hornos
50	Instalación defensas de toberas	1 hora	vie 15-11-24 2:18	vie 15-11-24 3:18	Pacoll Hornos
51	Retiro de techo protector	1 hora	vie 15-11-24 3:18	vie 15-11-24 4:18	Pacoll Hornos
52	Bajar defenzas de punzado	0,4 horas	vie 15-11-24 4:18	vie 15-11-24 4:42	Pacoll Hornos
53	Cierre de ventanillas campana	1 hora	vie 15-11-24 4:42	vie 15-11-24 5:42	Pacoll Hornos
54	Instalación de tapa corredera	0,5 horas	vie 15-11-24 5:42	vie 15-11-24 6:12	Mecanicos Turno
55	Pruebas de funcionamiento electrico tapa corredera y otros	0,5 horas	vie 15-11-24 6:12	vie 15-11-24 6:42	MEyCA Turno
56	Instalación de máquina púnzadora	1 hora	vie 15-11-24 4:42	vie 15-11-24 5:42	Pacoll Hornos
57	Pruebas de operatividad Mapuca	0,5 horas	vie 15-11-24 5:42	vie 15-11-24 6:12	MEyCA Turno
58	Desbloqueo de equipo	0,25 horas	vie 15-11-24 6:12	vie 15-11-24 6:27	Mecanicos Turno
59	**Entrega de equipo a operaciones**	0 horas	vie 15-11-24 6:42	vie 15-11-24 6:42	Operaciones Fuoco

Figura 13 Carta Gantt tipo para el cambio de toberas actual.

6.3. Gestión de repuestos

La gestión de repuestos actualmente es compartida entre el área de planificación y ejecución del mantenimiento, siendo la primera la responsable de liberar las órdenes de trabajo, en donde se encuentran anexados los materiales necesarios para el ensamble y posterior montaje en terreno, y el área de ejecución es partícipe ya que se encuentra a cargo del contrato de maestranza externa que cuenta la fundición, en donde son enviados los repuestos y toberas salientes de los hornos, en donde son recuperados ciertos componentes de la tobera y otros son utilizados nuevos para ser reensamblada, finalmente son enviadas nuevamente a Caletones para el montaje en conjuntos de 42 unidades.

Material	Texto breve material	Cantidad utilizada (UN)	Plazo entrega previs (días)
1200973	ASIENTO TOBERA TTE PLNSI147520-A	42	30
1080624	BOLA RDMTO 2-3/8" RB60325IIPACK1	42	180
1043442	ASIENTO VALVULA BCC PLNIG23630-2	42	30
1167643	EMPAQUETADURA TTE PLNGE-26001-1	42	10
1043316	EMPAQUETADURA BCC PLNGE26001-2	42	10
1043520	CUERPO BCC PLNIG47458-A	42	30
1043149	GOLILLA BCC PLNIG595912	84	40
1043315	MORDAZA TTE PLNIG65173-2	42	30
1043350	RESORTE SILENCIADOR TTE PLN GP-63000-1	84	30
1043185	NIPLE AC 3X8" BCC PLNIG63059-2	42	30
1043521	TAPA TREADWEL PLNIG47459-A	42	81
1043253	TOBERA CPS PLNGP1135499REV1/IG1354994	42	30
4015852	PERNO AC HEX CTE 5/8"X11UNCX4" GR2	84	15
4015533	PERNO AC HEX CTE 1/2"X13UNCX2" GR5	168	15
4016228	PERNO AC HEX 5/8"X11UNCX4-1/4" GR5	84	15

Tabla 2 Materiales que conforman conjunto de toberas para un CPS.

Los materiales que pueden ser reutilizados son los siguientes:

- 1200973
- 1043520
- 1043521

Consultando a los responsables del control de maestranza, no existe un control detallado de cuantos materiales de estos se logran recuperar por cada conjunto armado, es importante que esta información pueda ser gestionada para tener un mejor control de costos, gestión de stocks y control de las reparaciones por parte de Codelco.

Todos los demás materiales deben ser reemplazados en cada armado de conjuntos.

Utilizando la fórmula (5.2), se considera un factor de seguridad Z de 1.65 que corresponde para un nivel de servicio de 95%, la desviación estándar de consumo diario se calcula tomando el promedio de cambio de cambios de toberas en los hornos por cada año y la desviación estándar asociada, una vez realizado esto, se calcula que este valor corresponde a 2.67 toberas/día, y el lead time se obtiene directamente como dato desde SAP, se procede a calcular el stock de seguridad para cada material para comparar con los cuales se encuentran actualmente en sistema SAP.

Dado los cálculos, se obtiene la siguiente tabla como resultado.

Material	Texto breve material	Stock mín.seguridad actual	Stock de seguridad calculado
1200973	ASIENTO TOBERA TTE PLNSI147520-A	74	24
1080624	BOLA RDMTO 2-3/8" RB60325IIPACK1	200	59
1043442	ASIENTO VALVULA BCC PLNIG23630-2	31	24
1167643	EMPAQUETADURA TTE PLNGE-26001-1	17	14
1043316	EMPAQUETADURA BCC PLNGE26001-2	16	14
1043520	CUERPO BCC PLNIG47458-A	51	24
1043149	GOLILLA BCC PLNIG595912	57	28
1043315	MORDAZA TTE PLNIG65173-2	32	24
1043350	RESORTE SILENCIADOR TTE PLN GP-63000-1	91	24
1043185	NIPLE AC 3X8" BCC PLNIG63059-2	44	24
1043521	TAPA TREADWEL PLNIG47459-A	61	40
1043253	TOBERA CPS PLNGP1135499REV1/IG1354994	37	24
4015852	PERNO AC HEX CTE 5/8"X11UNCX4" GR2	62	17
4015533	PERNO AC HEX CTE 1/2"X13UNCX2" GR5	150	17
4016228	PERNO AC HEX 5/8"X11UNCX4-1/4" GR5	75	17

Tabla 3 Comparación de stock de seguridad actual vs calculado.

Al analizar los datos de stock de seguridad mínimo calculado, se tiene que ninguno de ellos es mayor que el que cuenta el sistema actualmente, por lo que se considera satisfactorio estos datos y no requiere de intervención.

Para el caso del punto del punto de reorden (formula (5.3)), se toma como dato un consumo diario de 4.5 toberas/día (considerando cambio cada 37 días de toberas por horno), para los materiales reutilizables se redondea a 1 tobera/día dado una recuperación del 80%, los valores de lead time del sistema y el stock de seguridad calculado anteriormente, nos entrega como resultado los siguientes datos.

Material	Texto breve material	Punto de pedido actual	Punto de pedido calculado
1200973	ASIENTO TOBERA TTE PLNSI147520-A	78	54
1080624	BOLA RDMTO 2-3/8" RB60325IIPACK1	600	869
1043442	ASIENTO VALVULA BCC PLNIG23630-2	151	159
1167643	EMPAQUETADURA TTE PLNGE-26001-1	83	59
1043316	EMPAQUETADURA BCC PLNGE26001-2	76	59
1043520	CUERPO BCC PLNIG47458-A	88	54
1043149	GOLILLA BCC PLNIG595912	282	388
1043315	MORDAZA TTE PLNIG65173-2	156	159
1043350	RESORTE SILENCIADOR TTE PLN GP-63000-1	454	294
1043185	NIPLE AC 3X8" BCC PLNIG63059-2	216	159
1043521	TAPA TREADWEL PLNIG47459-A	333	121
1043253	TOBERA CPS PLNGP1135499REV1/IG1354994	185	159
4015852	PERNO AC HEX CTE 5/8"X11UNCX4" GR2	829	152
4015533	PERNO AC HEX CTE 1/2"X13UNCX2" GR5	749	287
4016228	PERNO AC HEX 5/8"X11UNCX4-1/4" GR5	371	152

Tabla 4 Comparación de punto de pedido actual vs calculado.

Al analizar los datos de punto de pedido calculado, se observa que algunos de ellos son mayores que los que actualmente se encuentran en el sistema SAP, esto puede traer como consecuencia que las órdenes de compra se generen sin el suficiente tiempo de antelación dado los consumos actuales, lo que puede traer como consecuencia quiebres de stock.

Para el caso de la gestión de reparables, utilizando la fórmula (5.4) se tiene que, en la actualidad los materiales desde que se libera la orden tardan dos semanas para llegar en la totalidad, la frecuencia de camiones es de una vez a la semana hacia maestranza, donde los tiempos de traslado es de dos días (uno de ida y uno de vuelta) y el tiempo de preparación en maestranza es de dos semanas, por lo tanto, se tiene que el tiempo de reparación total.

$$TRT = 14 + 2 + 14 = 30 \text{ días}$$



Figura 14 Conjunto de toberas reparadas desde maestranza.

Esto quiere decir que se debe inicial la gestión de repuestos (liberación de orden de trabajo de reparación) con 30 días de anticipación, de modo de poder contar con las toberas reparadas en tiempo para su utilización, cabe destacar que este análisis simplificado no considera posibles retrasos en alguna de las fases previamente revisadas.

Actualmente este proceso no se lleva con un control exhaustivo, depende en gran medida de la gestión del personal encargado del área de reparables y de su proactividad para mantener el stock necesario a tiempo, lo que ha conllevado en ciertas ocasiones a intervenir por parte de jefaturas para disminuir con bodega el tiempo de recolección de materiales y con maestranza externa el disminuir el tiempo de reparación, el primero genera problemas en la logística de bodega y el último conlleva mayores costos ya que personal de maestranza externa debe trabajar sobre tiempos o turnos dobles para poder cumplir con las exigencias en el tiempo de entrega acotado.

6.4. Ejecución de cambio de toberas

La fase de ejecución contempla el trabajo de diferentes áreas/empresas, cada una con responsabilidades específicas dentro del proceso, de forma general son las siguientes:

- Operaciones
 - Personal Codelco se encarga de los bloqueos como dueños de los equipos y de los giros u otros requerimientos que se requieran durante la actividad.
 - Personal de maquinarias se encarga de apoyar en el retiro de puertas de toberas, con equipo picador ubicado frente al horno.
 - Personal empresa contratista se encarga de la limpieza de los sectores solicitados por mantenimiento.

- Mantenimiento
 - Personal Codelco mecánico se encarga de los bloqueos como solicitante, además, retiran la tapa corredera (parte frontal móvil de la campana) y un tramo de la línea de oxígeno, se realiza apertura de escotillas de campana.
 - Personal Codelco refractario se encarga de realizar la demolición de ladrillos en puertas de toberas (con maquina demoledora marca Brokk) y de la instalación de ladrillos nuevos de 21" de largo, posteriormente realiza el perforado de los ladrillos (una vez instaladas puertas y niveladas).
 - Personal empresa contratista se encarga del retiro (con apoyo de picador operacional desde cancha), instalación y nivelación de puertas, instalación de plataforma de trabajo en sector toberas, instalación de toberas y líneas de aire soplado mediante soldadura, además del retiro e instalación de componentes anexos del sector (defensas de punzado, máquina punzadora, protección de caída de acreciones, cuñas y trinquetes, entre otros).

Actualmente la ejecución del proceso de cambio de línea de toberas contempla 98,7 horas como muestra en carta Gantt.

Para realizar el análisis de los tiempos de la ejecución del cambio de toberas lo mejor es poder dividir la línea crítica en subsecciones con sus respectivos tiempos como sigue:

- Retiro de periféricos.
 - Id carta Gantt: 3 al 9.
 - Duración: 4,2 horas.
- Limpieza.
 - Id carta Gantt: 10 al 15.
 - Duración: 13 horas.
- Retiro de componentes de sector toberas, trincado, acuñado y plataforma de trabajo.
 - Id carta Gantt: 22 al 31.
 - Duración: 16,5 horas.
- Demolición, construcción y estucado.
 - Id carta Gantt: 32 al 33.
 - Duración: 20,3 horas (13 horas incluidas sin actividades por no haber personal refractario en turno noche).
- Instalación de puertas y nivelación.
 - Id carta Gantt: 34 al 40.
 - Duración: 7,5 horas.
- Relleno y perforado.
 - Id carta Gantt:41 al 42.
 - Duración:17 horas (13 horas incluidas sin actividades por no haber personal refractario en turno noche).
- Instalación, soldadura y pruebas toberas.
 - Id carta Gantt: 43 al 49.
 - Duración: 15,8 horas
- Instalación de periféricos y entrega de equipo a operaciones
 - Id carta Gantt:50 a 59.
 - Duración: 4,4 horas.

Es importante poder ahondar en una descripción más detallada de cada subsección, puntos de control actuales y su importancia dentro del cambio de toberas.

6.4.1. Retiro de periféricos

Corresponde a la fase inicial del cambio de toberas, en el se retiran dos periféricos, uno es la tapa corredera de la campana y el otro es la máquina punzadora, además, se genera el retiro de una sección de cañería de la línea de oxígeno y se instala una brida ciega, esto como medida de seguridad para asegurar la imposibilidad del paso de este gas comburente al horno y zona de trabajo, también se retiran las ventanillas de la campana para que empresa contratista pueda realizar la limpieza al interior de esta.

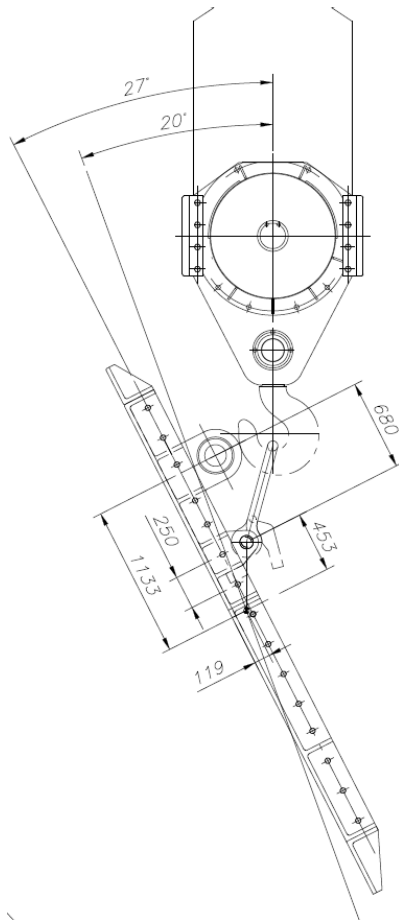


Figura 15 Diagrama del retiro de tapa corredera CPS utilizando grúa nave.



Figura 16 Retiro/instalación de máquina punzadora de CPS.



Figura 17 Retiro/instalación de ventanillas de campana.

6.4.2. Limpieza

Corresponde a la fase en donde una empresa contratista de aseo industrial realiza la limpieza tanto de la zona interior como exterior de la campana de gases, esta acción es de gran relevancia desde el punto de vista de la seguridad ya que existe riesgo de caída de material a los ejecutores, tanto material sólido (acreciones) que se generan dentro de la campana de gases y que con las contracciones/dilataciones de temperatura tienden a caer, así también el polvo que se acumula mayormente en sectores externos de campana, en pasillos y estructuras, estos se acumulan durante la operación del CPS y existe la posibilidad de caída, con posibilidad de afectar mayormente a ojos. Para esto, existe un protocolo de recepción del equipo, constatando que las limpiezas fueron realizadas y se está en condiciones de ingresar de forma segura.



Figura 18 Acumulación de polvo en estructuras a ser limpiadas.



Figura 19 Proceso de limpieza interior campana y posterior campana limpia.

6.4.3. Retiro de componentes sector toberas, trincado, acuñado y plataforma de trabajo

En esta fase de la ejecución ya se comienza a intervenir la zona de toberas, se desplazan las defensas de punzado para generar espacio para la maquinaria de demolición, además se retiran las protecciones de toberas, se cortan los tuberías donde pasa el aire de soplado de cada tobera (también llamadas bajadas de aire), se retiran las 4 puertas, para esto se requiere retirar pernos, girar el horno, y con ayuda de maquinaria operacional (picador) se retira cada una de las puertas, se recuperan los cuerpos de las toberas que caen bajo el horno. Una vez retiradas las 4 puertas se gira el horno a posición de demolición, en donde se colocan cuñas en sistema de rodado y además trinquetes hacia vigas estructurales que evitan el giro, como medida adicional se instala un techo para evitar caída de cualquier acreción que no pudiese ser retirada durante proceso de limpieza y además se instalan bastones anclados al horno que reposan sobre la plataforma de punzado, y sobre ellos parrillas de FRP.



Figura 20 Componentes en zona de tobera.

6.4.4. Demolición, construcción y estucado

Personal refractario procede a realizar la demolición de ladrillos utilizando uno de los tres equipos demoledores marca Brokk que cuenta Caletones, el más utilizado es el modelo 400, dentro de los antecedentes es que estos equipos cuentan con bajo mantenimiento, por lo que es común que estos sufran desperfectos durante el proceso, esto genera retrasos, las mayores fallas que presentas son asociadas a mangueras hidráulicas, sin embargo también tienen fallas en otros componentes como cilindros, pasadores, entre otros. El proceso de demolición se realiza de intercalando con la construcción de estas zonas, por riesgos de caídas de ladrillos superiores es que la demolición no se efectúa de manera total, es por esto que las parrillas de FRP deben ser removidas durante el retiro de ladrillos y puestas nuevamente durante el proceso de construcción, es por esto que durante el proceso es removida e instalada en varias oportunidades.

Desde el punto de vista de seguridad y ergonomía, en esta fase del proceso es donde se encuentran las mayores brechas, una de ellas es que se solicita evitar elevar los bloques por sobre 1,55 metros, además, el proceso de retiro y montaje de parrillas de FPR se realiza de forma manual, estas se encuentran traslapadas entre ellas y no se encuentran fijadas a alguna estructura, por lo que se pueden desplazar.

Cabe mencionar que como se detalla en carta Gantt, personal refractario tiene turnos solo de día.

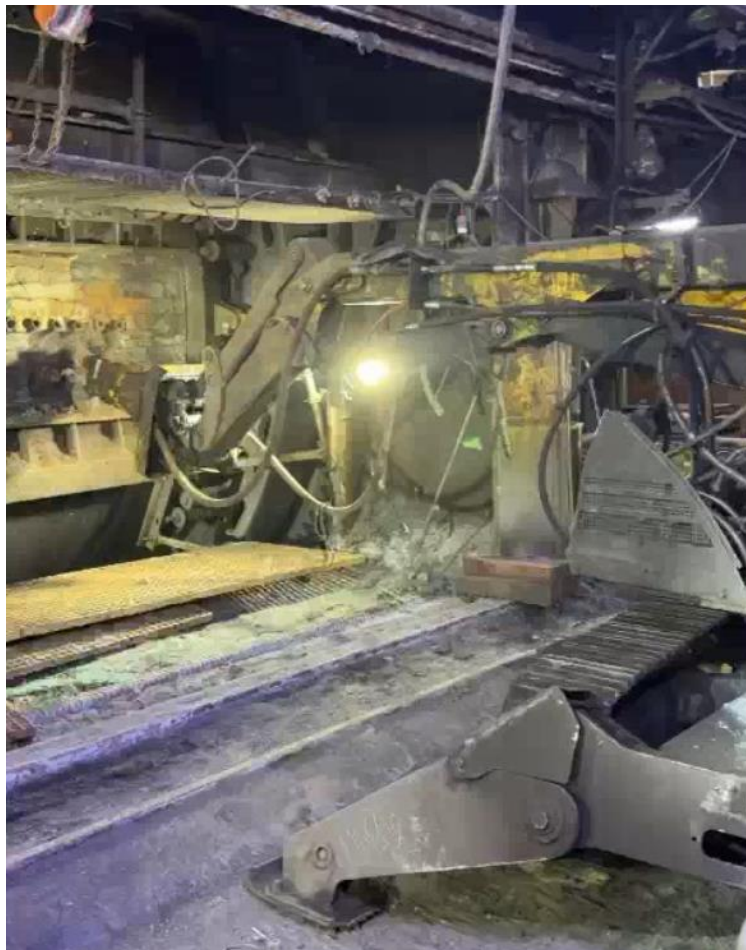


Figura 21 Proceso de demolición con equipo Brokk.



Figura 22 Demolición de zona antigua (central izquierda) y construcción de zona nueva(derecha).

6.4.5. Instalación de puertas y nivelación

Posterior a la finalización de la construcción refractaria, se realiza la desmovilización de equipo demoledor, materiales y herramientas, dejando el sector en condiciones para continuar con la secuencia. Para la instalación de puertas, estas se deben trasladar a terreno desde el taller en donde fueron reparadas estructuralmente, en caso de que el daño en las puertas sea mayor y el tiempo de reparación sea superior al que se cuenta entre el retiro y la postura, se solicita puerta nueva a bodega para ser instalada.

Las puertas cuatro puertas se posicionan frente al horno, y mediante maniobras con teclés son llevadas a posición final, donde se colocan pernos de sujeción y se realiza una pre-alineación.

Una vez las 4 puertas son instaladas, se posiciona la máquina perforadora en rieles de máquina de punzado, con su respectiva unidad hidráulica. Se realiza el acercamiento de la corona diamantada de perforación hacia el horno y se evalúa la nivelación de las puertas y el horno, en caso de requerir el giro del horno o el movimiento de puertas individuales, éstas son realizadas para encontrar el punto óptimo para que se puedan realizar las perforaciones.

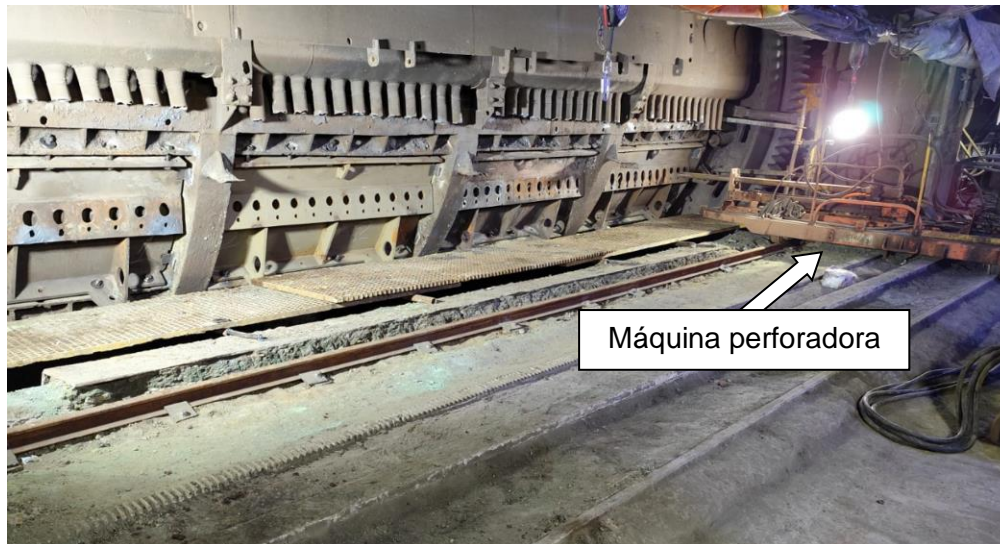


Figura 23 Instalación de máquina perforadora y alineación de puertas.

6.4.6. Relleno y perforado

Una vez niveladas las puertas, se procede a la fase de relleno, la cual hace referencia a introducir concreto refractario en la cavidad que permanece entre los ladrillos nuevos y la puerta, esta cavidad debe quedar completamente cubierta, esto tiene más de una función, una de ellas es la de aislar el calor a la puerta, otra es evitar que posibles infiltraciones de cobre hacia la zona exterior de los ladrillos cubra esta zona y provoque una falla mayor de puerta y toberas, también le da mayor estabilidad al sistema de la puerta con las toberas.

Una vez se encuentra con relleno la puerta, se procede a perforar, para ello, se instalan plantillas hechas de madera en la puerta, que guían de mejor manera a la corona diamantada y le da un soporte para disminuir las vibraciones y mantener la perforación lo más ajustada posible al diámetro del tubo de la tobera. Esta máquina cuenta con un sistema que genera el giro de la corona, otro que genera el acercamiento hacia el horno y otro que inyecta agua para la refrigeración de la broca, además, está construido para que sus ruedas puedan encajar a la perfección con los rieles que utiliza la máquina punzadora, de esta forma se asegura de que esta última cumpla su función durante la operación.

Una vez finalizado se procede al retiro de la perforadora y limpieza del sector para dar paso a la siguiente fase en la secuencia.

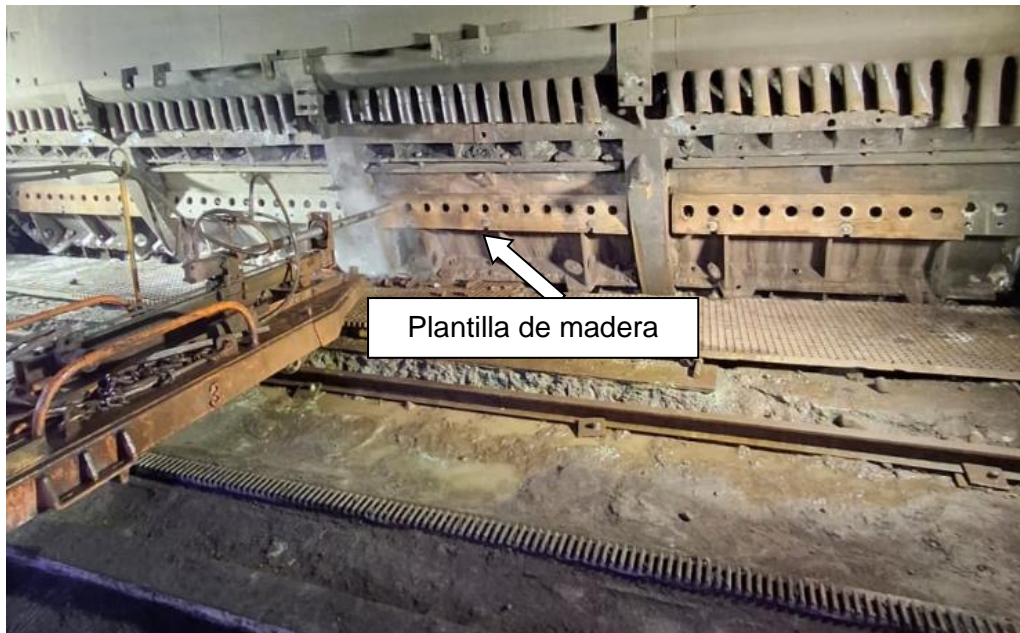


Figura 24 Proceso de perforación

6.4.7. Instalación, soldadura y pruebas de toberas

La siguiente fase en la secuencia es la de instalar toberas, la cual se introduce con el tubo por el agujero realizado durante la etapa anterior de perforación, es importante que la tobera entre de forma deslizante, sin interferencias ni holguras, ya que esto ocasionaría infiltraciones de cobre entre el tubo y el ladrillo circundante.

Una vez las toberas en posición, estas son fijadas a la puerta y alineadas en las cuatro puertas, hecho esto se procede con el desbaste y emparejamiento del tubo superior de soplado, el cual sobre sale del manifold y que, al momento del corte para el retiro de las bajadas de soplado, estas quedan con una superficie irregular.

Posteriormente se procede a medir la distancia a la cual se deben cortar los nuevos tubos de bajada de aire de soplado y se van adecuando a la condición de cada tobera, ya que no existe homogeneidad entre ellas. Se prosigue con la soldadura en la zona superior e inferior del tubo como se muestra en la imagen 23.

Finalmente, una vez finalizado la soldadura de las 42 bajadas (84 cordones) de tubos, se realiza una inspección visual y se procede a desbloquear el aire de soplado para hacer una prueba de hermeticidad del sistema, mediante inspección de tacto de cada bajada se determina si existe fuga de aire en algún punto de soldadura que deba ser repasado,

actualmente la tasa de filtraciones de aire por cada cambio línea de toberas es de aproximadamente 5.



Figura 25 Proceso de soldadura de toberas

6.4.8. Instalación de periféricos y entrega de equipo a operaciones

La fase final del trabajo consiste en realizar nuevamente el montaje de los componentes retirados en el punto 6.4.1 y 6.4.3 esto quiere decir la tapa corredera, máquina punzadora, cañería de oxígeno, compuertas de campana, defensas de punzado y defensas de toberas. Una vez realizado esto, se realizan pruebas de la tapa corredera y de la máquina punzadora, se procede a realizar la entrega formal del equipo a operaciones realizando los desbloques correspondientes.

7. Análisis de datos de mediciones de toberas

Para poder realizar propuestas de mejora, sobre todo en los puntos asociados a la frecuencia de cambio de toberas y cómo estas se comportan en las diferentes campañas, tanto en el mismo equipo como entre ellos, es necesario hacer un análisis de los datos de medición de toberas que se cuentan en Caletones, a diferencia de otros datos, los cuales son muy escasos o simplemente no existen, como por ejemplo el historial de fallas, filtraciones de cobre en los hornos o historiales en SAP que pudiesen aportar a la estadística, el historial de mediciones sí se encuentra bastante completo y con historial que puede ser analizada, no obstante, para el horno CPS 2 se cuenta con un número muy limitado de datos en comparación con los otros 3 hornos, por lo que lamentablemente no podrá ser utilizado para los análisis.

La planilla con el historial de mediciones tiene diferentes pestañas en donde la información es almacenada y procesada para generar el informe mencionado en el punto 6.2 de la presente tesina, sin embargo, no se realizan mayores análisis con esta data, solo la medición actual en comparación con la pasada y la tasa de desgaste de la sub campaña actual.

Esta cuenta con una pestaña para cada CPS y CT (Convertidor Teniente), las mediciones comienzan desde el año 2013 para los hornos con más datos, por lo que se tienen 12 años de historial para dos de los equipos.

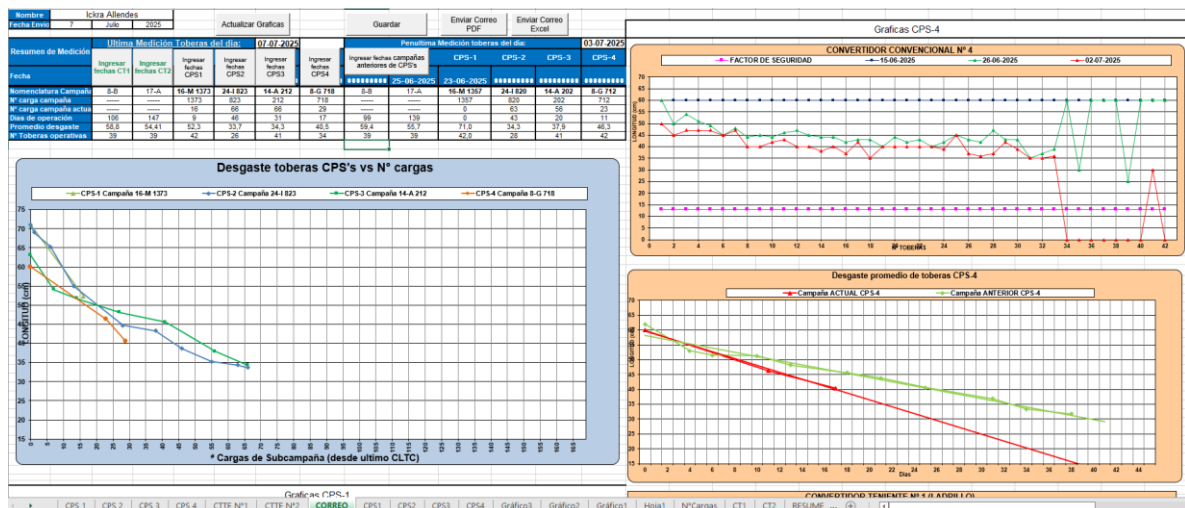


Figura 26 Estructura de Excel en el que se llevan las mediciones y el informe de medición.

Las campañas en los hornos se controlan con un número seguido de una letra, como por ejemplo 14-C, en donde el número corresponde a las veces en que el horno ha sido sometido a mantenimiento general, es decir, cambios completos de ladrillos refractarios interiores posterior a un cambio de manto (cilindro del horno), para el caso del ejemplo, el 14 corresponde a 13 generales más la inicial (con el casco nuevo), y la letra corresponde al número de veces que han sido cambiado las toberas desde un mantenimiento general, para el caso la letra C corresponde a 2 cambios de toberas más la inicial.

Otros puntos importantes del informe corresponden al número de cargas, tanto de la campaña, como de la sub campaña, el primero corresponde al número de veces que el horno ha sido cargado para procesar desde el último mantenimiento general y el segundo se contabiliza desde el último cambio de toberas.

También se contabilizan los días de operación desde el cambio de toberas, el promedio de desgaste de los tubos de la campaña actual y el número de toberas que se encuentran soplando, tomando en consideración que durante el tiempo en operación las toberas pueden obstruirse, filtrar, entre otras fallas, lo que conlleva a perder esas toberas para la operación normal del horno.

7.1. Base de datos y depuración

Con todos estos antecedentes, se procede a analizar la base de datos donde se lleva la medición de toberas, donde en primera instancia se determina ordenar de forma lógica y estilo tabla los datos, ya que en el formato actual contiene muchos espacios en blanco, además de otros datos que no sirven para el alcance de la tesina.

	GENERAL		PUERTA 1		PUERTA 2		PUERTA 3		PUERTA 4		
FACTOR DE SEGURIDAD:	13		13		13		13		13		
LARGO MEDIO INICIAL:	65		65		65		65		65		
N° TOBERAS :	44		10		12		12		10		
FACTOR DE SERVICIO :	2288		520		624		624		520		
CABEZAL :	48		48		48		48		48		
RELLENO :	18		17		18		18		17		
DESCUENTO:	66,0		65		66		66		65		
CONVERTIDOR	1		1		1		1		1		
FECHA MEDICION (2009)	12-09-2013		17-09-2013		20-09-2013		24-09-2013		27-09-2013		
CAMPANA	B-C		B-C		B-C		B-C		B-C		
DIAS DE OPERACION	0		5		8		12		15		
CARGAS ENTRE MEDICIONES	0		16		9		12		10		
CARGAS SUB-CAMPANA	0		16		25		37		47		
CARGAS CAMPANA	202		218		227		239		249		
N° TOBERAS											
	65	17	54	120	54	120	52	118	52	118	49
1	65	17	54	120	54	120	46	112	46	112	46
2	65	17	55	121	55	121	48	114	42	108	42
3	65	17	57	123	57	123	50	116	49	115	49
4	65	17	54	120	52	118	43	109	40	106	40
5	65	17	54	120	54	120	46	112	44	110	44
6	65	17	57	123	57	123	49	115	48	114	48
7	65	17	57	123	57	123	53	119	48	114	46
8	65	17	55	121	55	121	53	119	46	112	46
9	65	17	59	125	54	120	53	119	46	114	47
10	65	18	59	125	59	125	49	115	48	114	47
11	65	18	58	124	58	124	48	114	45	111	45
12	65	18	58	124	58	124	51	117	48	114	47
13	65	18	59	125	57	123	50	116	44	110	44
14	65	18	55	121	54	120	49	115	42	108	42
15	65	18	55	121	54	120	50	116	42	108	42
16	65	18	53	119	53	119	49	115	40	106	40
17	65	18	54	120	52	118	45	111	41	107	41
18	65	18	56	122	50	116	46	114	43	109	43
19	65	18	54	120	54	120	48	114	48	114	48
20	65	18	54	120	51	117	49	115	47	113	47
21	65	18	54	120	51	117	51	117	46	112	46
22	65	18	53	119	50	116	48	114	42	108	42
23	65	18	51	117	49	115	44	110	39	105	39
24	65	18	51	117	49	115	44	110	41	107	41
25	65	18	53	119	49	115	46	112	41	107	39
26	65	18	52	118	47	113	47	113	41	107	39
27	65	18	53	119	49	115	44	110	41	107	40
28	65	18	51	117	47	113	44	110	40	106	40
29	65	18	46	112	45	111	44	110	39	105	39
30	65	18	43	109	42	108	40	106	39	105	38

Figura 27 Formato de seguimiento de medición de toberas.

Una vez dispuesta la tabla de manera ordenada, se procede a realizar un análisis de cómo se encuentran las mediciones, las campañas y todo lo relevante que pueda afectar al posterior análisis, encontrando que existen variadas nomenclaturas dispuestas para indicar que una tobera se encuentra fuera de servicio, entre ellas como ejemplo “E”, “TAP”, “Eliminada”, estas diferentes formas de mencionar que una tobera se encuentra en falla y no está cumpliendo su función procedemos a cambiar por valor cero. Otro de los puntos que se analiza es la secuencia de las campañas, que tenga correctamente la secuencia en su número y letra, encontrando también errores en dos CPS que al momento de realizar el mantenimiento general no realizaron el cambio de número. Otros puntos que son de interés para visualizar si afectarán en el análisis son las campañas iniciales y finales y alguna sub campaña intermedia que tenga anomalías respecto datos no congruentes, encontrando que en algunos CPS existen de este tipo y se toma la decisión de censurar de manera puntual estos datos.

Un dato relevante para lo que se quiere conseguir respecto a la frecuencia de cambio y cargas en el horno es que la planilla no considera las cargas ni los días entre la última medición y el cambio de toberas, donde se reinicia el contador, por lo que es necesario extrapolar este dato para de esta forma tener un valor que se acerque más a lo real respecto

de lo que sucede en el equipo, para esto, a la fecha del cambio de toberas se le restan los 4 días que demora este cambio, consiguiendo de esta forma los días entre sub campañas y para las cargas, se calcula un promedio de las cargas diarias de acuerdo a los datos de los 4 CPS y se corrobora con operaciones, siendo este valor 2,3 cargas por día, de esta forma, los valores de días entre sub campañas y las cargas quedan corregidos para acercarse mas adecuadamente a la realidad de los equipos.

Fecha	Campaña	CPS 4				Toberas																																																	
		días	Carga	Carga	Carga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42								
22-05-2015	1-E	0	0	0	124	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62					
26-05-2015	1-E	4	10	10	134	52	50	50	46	48	49	49	53	53	48	47	47	44	48	44	45	46	45	45	48	45	41	41	41	44	45	44	39	44	44	48	45	45	49	47	46	48	45	46	49	47	48	45	46	49	47	48			
31-05-2015	1-E	9	15	25	149	48	46	44	39	38	36	43	40	44	36	35	33	34	33	33	34	36	35	35	34	34	33	34	31	32	32	33	29	34	33	34	33	0	39	36	36	35	35	36	36	41	35	35	36	41	36	41			
02-06-2015	1-E	11	6	31	155	47	43	41	38	37	35	40	37	43	36	35	34	34	33	33	34	35	34	32	28	29	26	27	25	30	29	31	29	32	29	32	33	0	37	35	34	34	35	33	36	36	41	36	41	36					
05-06-2015	1-E	14	9	40	164	46	41	39	34	37	33	36	35	38	36	33	33	29	28	30	30	33	32	28	30	29	26	25	25	30	26	25	26	30	29	29	27	0	37	30	34	34	35	33	35	36	41	36	41	36					
07-06-2015	1-E	16	6	46	170	44	36	36	34	34	33	34	35	38	36	33	33	29	28	29	27	32	29	25	28	29	24	25	25	30	26	25	26	30	29	29	27	0	34	30	27	34	34	33	34	34	40	34	40	34					
09-06-2015	1-E	18	6	52	176	44	36	36	34	34	33	34	35	38	36	33	33	29	28	29	27	32	29	25	27	29	23	23	25	30	26	25	26	30	29	29	27	0	34	30	27	34	34	33	34	34	40	34	40	34					
16-06-2015	1-F	0	0	0	181	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5				
19-06-2015	1-F	3	7	7	188	49	45	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41		
23-06-2015	1-F	7	11	10	199	47	43	40	42	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
26-06-2015	1-F	10	9	27	208	46	43	40	42	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
30-06-2015	1-F	14	4	31	212	44	36	38	31	31	39	41	37	36	39	30	35	32	27	31	31	27	27	26	26	26	30	31	28	31	25	31	34	33	32	31	35	35	36	34	35	35	36	34	35	36	34	35	36	34	35	36	34	35	36
03-07-2015	1-F	17	9	40	221	43	36	38	31	31	34	36	33	36	36	30	34	30	27	30	30	26	22	26	21	25	30	28	28	30	25	31	33	27	32	30	35	35	36	33	35	34	28	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
27-07-2015	2-A	0	0	0	0	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	
04-08-2015	2-A	5	14	14	14	58	55	55	51	51	51	52	52	52	49	49	51	50	51	53	52	54	53	53	54	52	49	54	53	54	48	50	50	50	53	53	54	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56		
07-08-2015	2-A	8	8	22	22	56	51	52	49	46	50	50	51	46	45	48	50	49	49	49	49	51	49	50	48	49	47	47	46	46	45	42	45	45	45	45	50	48	53	51	48	45	47	51	50	54	54	54	54	54	54	54	54		
12-08-2015	2-A	13	10	32	32	54	50	47	42	44	41	45	45	46	46	44	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
14-08-2015	2-A	16	6	38	38	52	47	45	42	44	41	45	45	46	46	44	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
18-08-2015	2-A	19	12	50	50	49	46	45	42	44	41	45	45	46	46	45	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
24-08-2015	2-A	25	20	70	70	48	45	34	39	44	41	42	41	44	42	39	36	43	44	41	39	35	34	34	31	39	38	36	36	36	38	38	40	36	34	33	31	44	38	34	36	37	39	35	36	48	48	48	48	48	48				
28-08-2015	2-A	29	13	83	83	44	36	34	36	31	36	40	40	36	31	36	39	28	32	36	35	34	34	31	28	31	28	26	27	28	26	28	31	31	26	28	26	41	31	29	36	32	38	29	32	38	38	38							
01-09-2015	2-A	33	12	95	95	42	36	34	29	29	36	40	38	36	31	35	34	28	32	32	26	28	27	31	28	31	28	22	27	28	26	28	31	27	26	28	26	34	31	28	28	32	27	27	27	35	35	35	35						
03-09-2015	2-A	35	5	100	100	41	36	33	29	29	36	40	38	36	31	35	34	28	32	32	26	28	27	31	28	31	25	22	25	27	25	27	30	27	26	28	26	34	27	26	28	28	27	27	27	34	34	34	34						

Figura 28 Reordenamiento, revisión y depuración de datos.

7.2. Análisis de cambios de toberas

Con las planillas depuradas, es posible realizar un análisis de los días entre cambios de toberas, para ello se ordenan los datos de las fechas de inicio y término de cada sub campaña, además, se censuran algunos datos de acuerdo a información histórica que se cuenta, como por ejemplo, los periodos de mantenimientos generales de los convertidores tenientes, en donde se opera durante un mes con la mitad de la producción, por lo que los CPS son utilizados en mucha menor medida, lo que genera datos anómalos donde se disparan los días entre cambios de toberas, otros casos son excluidos como accidentes en años recientes, en donde al igual que en el caso del mantenimiento general de CT, se ha operado con media fundición.

Otro análisis posible de realizar es el de cargas procesadas entre cambios de toberas, este dato es de gran relevancia ya que lo que se busca en la organización es tener mayor capacidad de procesamiento por cada intervención, es decir, aumentar la cantidad de cargas procesadas en cada sub campaña.

De estos análisis se obtienen las siguientes gráficas de los CPS 1, 3 y 4 respectivamente.

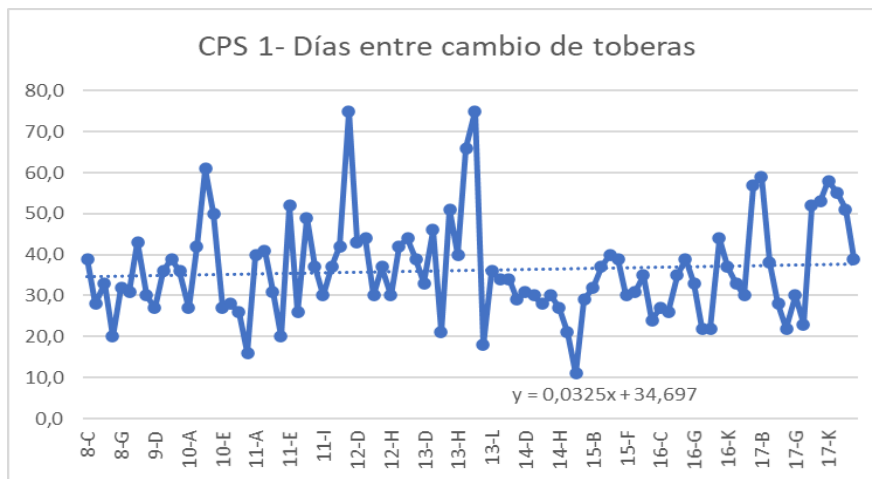


Figura 29 Gráfica días entre cambios de toberas CPS 1.

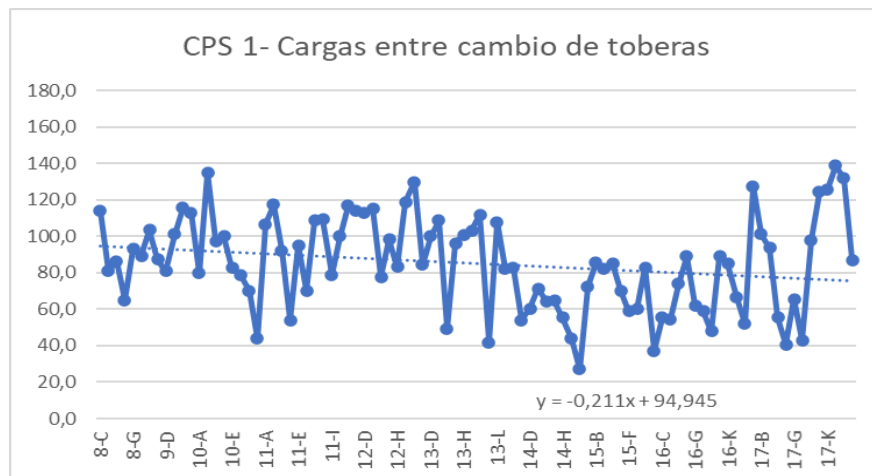


Figura 30 Gráfica cargas entre cambios de toberas CPS 1.

De las gráficas del CPS 1 y sus datos asociados se puede realizar diferentes análisis, el promedio es de 36,2 días y la mediana de 34, con un valor mínimo de 11 y máximo de 75, lo que representa una gran variabilidad de los datos, al observar la línea de tendencia y su fórmula $Y = 0,0325X + 34,697$ representa que la cantidad de días por sub campaña tiene una ligera tendencia al alza.

Para las cargas por sub campaña se tiene un promedio de 85,1 cargas y una mediana de 85,1, con un valor mínimo de 27,0 y máximo de 138,9, lo que al igual que los días, representa una gran variabilidad de los datos, al observar su línea de tendencia y su fórmula $Y = -0,211X + 94,945$ representa que la cantidad cargas por sub campaña tiene una tendencia a la baja.

Por lo que, como resumen, obtenemos la siguiente tabla de datos para los días y cargas entre cambios de toberas.

Días entre cambios	CPS 1 (Días)	CPS 3 (Días)	CPS 4 (Días)
Promedio	36,2	36,5	36,1
Mediana	34,0	35,0	35,0
Desviación estándar	12,1	12,7	11,1
Máximo	75,0	68,0	66,0
Mínimo	11,0	7,0	15,0
Pendiente tendencia	0,0325	0,1172	-0,0001

Tabla 5 Datos comparativos entre CPS de días entre cambios de toberas.

De la tabla se observa que los valores promedio de días entre cambios de toberas son prácticamente iguales entre los tres hornos, con una variación de apenas 0,4 días entre el mayor y el menor valor. La mediana presenta un comportamiento similar, con dos hornos en 35 días y CPS 1 ligeramente inferior con 34 días.

Respecto de la desviación estándar, CPS 1 y CPS 3 muestran valores muy parecidos (12,1 y 12,7 días, respectivamente), mientras que CPS 4 registra una menor variabilidad (11,1 días). Esto indica que, aunque los promedios son estables, existe una dispersión considerable en la duración de las campañas.

En cuanto a los valores máximos, se observa que los tres hornos pueden alcanzar entre 66 y 75 días entre cambios, es decir, hasta el doble del promedio, lo que refleja que en condiciones favorables es posible extender significativamente la vida útil de las toberas. Por otro lado, los mínimos varían entre 7 y 15 días, representando entre un 60% y un 80% menos que el promedio, lo que evidencia fallas prematuras o condiciones de operación adversas.

Respecto de la pendiente de la tendencia lineal, CPS 1 y CPS 3 presentan valores positivos (0,0325 y 0,1172, respectivamente), lo que indica una ligera tendencia al alza en los días entre cambios. En CPS 4, en cambio, la pendiente es prácticamente nula (-0,0001), lo que refleja una estabilidad sin tendencia definida.

Cargas entre cambios	CPS 1 (Días)	CPS 3 (Días)	CPS 4 (Días)
Promedio	85,1	83,1	77,7
Mediana	85,1	81,0	75,7
Desviación estándar	25,6	29,9	24,3
Máximo	138,9	162,6	141,3
Mínimo	27,0	8,0	27,0
Pendiente tendencia	-0,211	-0,2566	-0,353

Tabla 6 Datos comparativos entre CPS de cargas entre cambios de toberas.

De la tabla se observa que los valores promedio de cargas entre cambios de toberas son similares entre los tres hornos, con diferencias de apenas 7,4 cargas entre el mayor y el menor valor, lo que indica una consistencia en el desempeño promedio de los CPS. En cuanto a la mediana, se aprecia el mismo comportamiento, con una dispersión menor a 10 cargas entre los hornos.

Respecto de la desviación estándar, CPS 3 presenta la mayor variabilidad (29,9), mientras que CPS 4 muestra la menor (24,3), con CPS 1 en un valor intermedio. Esto refleja que, si bien el rendimiento promedio es parecido, la dispersión de los resultados es alta, especialmente en CPS 3.

En los valores máximos se observa que los hornos pueden alcanzar entre 140 y 160 cargas por set de toberas, es decir, casi el doble del valor promedio, lo que indica que bajo ciertas condiciones es posible extender significativamente la vida útil de las toberas. En contraste, los valores mínimos muestran resultados muy inferiores: en CPS 3 se registran apenas 8 cargas, lo que representa una falla prematura crítica, mientras que en CPS 1 y CPS 4 los mínimos se sitúan en 27 cargas, alrededor de un tercio del valor promedio.

En cuanto a la pendiente de tendencia lineal, los tres hornos presentan valores negativos (CPS 1 = -0,211; CPS 3 = -0,2566; CPS 4 = -0,353), lo que indica que existe una tendencia decreciente en la cantidad de cargas entre cambios de toberas a lo largo del tiempo. Esta disminución es más marcada en el CPS 4, mientras que en CPS 1 y CPS 3 también se observa, aunque con menor pendiente.

Se realiza a su vez un análisis del comportamiento desde que el horno sale del mantenimiento general y va avanzando en las sub campañas, ya que al interior del horno los ladrillos aledaños a las puertas de toberas continúan su desgaste y solo los asociados a las puertas se van cambiando.

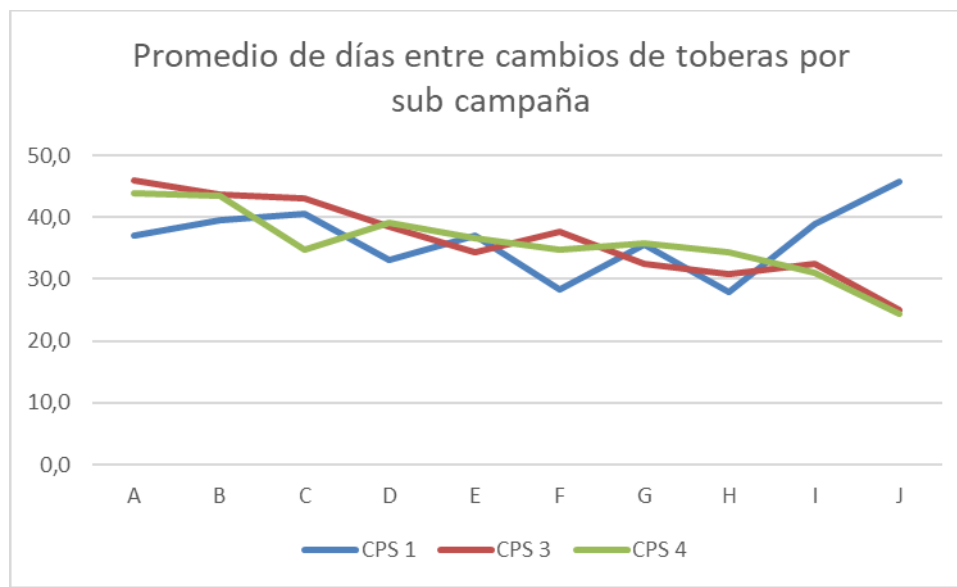


Figura 35 Gráfica promedio de días entre cambios de toberas por sub campaña.

En la figura 35 se observa el comportamiento del promedio de días entre cambios de toberas por sub campaña para los hornos CPS 1, CPS 3 y CPS 4.

Al inicio (sub campañas A y B), los tres hornos presentan valores relativamente altos, en el rango de 40 a 47 días, con CPS 3 en la posición más elevada. Posteriormente, se aprecia una tendencia general a la disminución de los días entre cambios, aunque con variaciones intermedias según cada horno.

En CPS 1 (línea azul), el comportamiento es más irregular: presenta valores cercanos a los 35-40 días en las primeras sub campañas, luego disminuye hasta 25-30 días en las sub campañas F y H, y finalmente experimenta un repunte importante en la sub campaña J, alcanzando su máximo de la serie, cercano a 45 días.

En CPS 3 (línea roja), se observa una tendencia más clara a la baja. Desde valores iniciales de 47 días en la sub campaña A, va disminuyendo progresivamente hasta llegar a cerca de 28-30 días en la sub campaña J, mostrando una tendencia descendente sostenida.

En CPS 4 (línea verde), los valores parten en torno a 44 días y, al igual que en CPS 3, presentan una disminución progresiva con pequeñas oscilaciones, finalizando en la sub campaña J en un valor cercano a 25 días, lo que confirma también una tendencia decreciente.

En conjunto, la gráfica evidencia que CPS 3 y CPS 4 muestran una disminución constante y marcada en el promedio de días entre cambios de toberas, mientras que CPS 1 exhibe una evolución más variable, con descensos intermedios, pero con un repunte importante al final de la serie. Esto demuestra que el comportamiento del baño de cobre al interior del horno afecta en mayor medida a los ladrillos de las puertas y toberas a medida que los ladrillos aledaños van presentando mayor desgaste, esto es producido por los movimientos internos del cobre fundido y la interacción con los cambios de sección en la parte superior e inferior de las puertas, afectando más aceleradamente mientras más diferencia de medidas presenta.

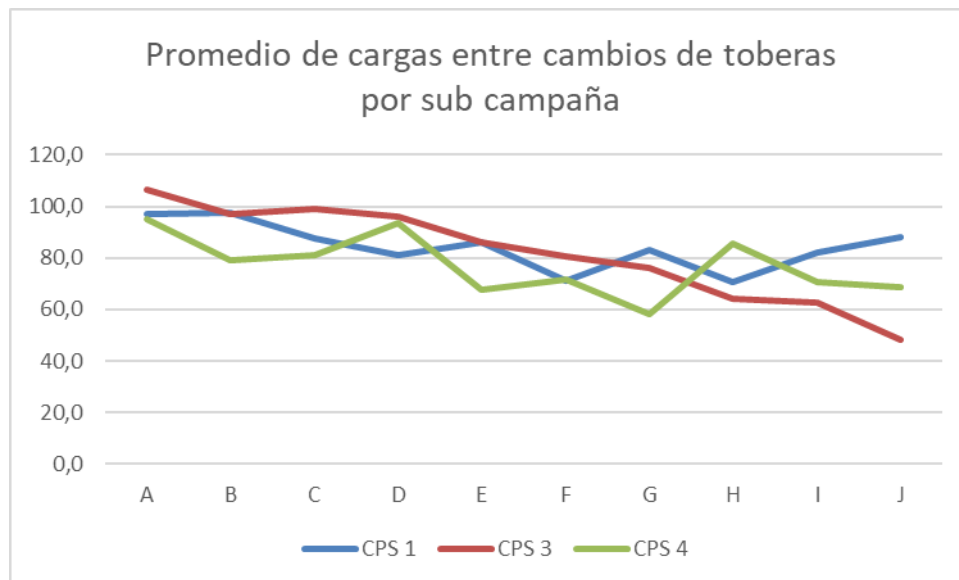


Figura 36 Gráfica promedio de cargas entre cambios de toberas por sub campaña.

En la figura se aprecia el comportamiento del promedio de cargas procesadas entre cambios de toberas en las distintas sub campañas para los hornos CPS 1, CPS 3 y CPS 4.

Al inicio de la serie (sub campaña A), los tres hornos presentan valores elevados, en el rango de 95 a 105 cargas, siendo CPS 3 el de mejor desempeño inicial. A partir de ese punto, las tres líneas muestran una tendencia general decreciente, aunque con diferencias en la magnitud de la caída y la estabilidad de cada horno.

En CPS 1 (línea azul), se observa un comportamiento más estable en comparación con los otros dos hornos. Si bien presenta una reducción desde las primeras sub campañas hasta la mitad de la serie (alrededor de 70 cargas), en la parte final logra mantener valores entre 75 y 90 cargas, sin una caída tan marcada como en CPS 3.

En CPS 3 (línea roja), el descenso es mucho más notorio. Desde más de 100 cargas en la sub campaña A, se reduce de manera progresiva y sostenida hasta finalizar en la sub campaña J con un valor cercano a 50 cargas, siendo el horno con la caída más pronunciada en rendimiento.

En CPS 4 (línea verde), el comportamiento es más irregular, con fuertes oscilaciones: baja a valores cercanos a 65 cargas en la sub campaña E, presenta un repunte en la sub campaña H con más de 80 cargas, pero vuelve a disminuir hacia el final de la serie, estabilizándose en torno a 65–70 cargas.

En conjunto, la gráfica muestra que los tres hornos presentan una tendencia decreciente en el número de cargas entre cambios de toberas, aunque con distinta intensidad:

- CPS 3 evidencia la pérdida más significativa de rendimiento, con una disminución sostenida y pronunciada.
- CPS 1 mantiene un comportamiento más estable, con valores que se sostienen en torno al promedio general hacia el final de la serie.

- CPS 4 exhibe la mayor irregularidad, alternando caídas fuertes con repuntes parciales, pero también cerrando en un nivel más bajo que el inicial.

Esta tendencia puede deberse a que las cargas entre sub campañas están directamente relacionadas con los días de operación entre cambios de toberas, por lo que si los días van disminuyendo a medida que avanza la campaña, las cargas que se procesan también lo harán.

8. Propuestas de mejora

8.1. Análisis SMED

Se realizará el análisis SMED con el objetivo de poder disminuir el tiempo de indisponibilidad de los hornos debido a los cambios de toberas, esto se realizará de acuerdo con la metodología propuesta por Codelco en su libro SOMA, la cual se desarrolla en 6 pasos.

8.1.1. Medir el tiempo total de la tarea

Como primer paso para la metodología SMED, se realiza la medición de los tiempos totales de las agrupaciones de tareas, los cuales involucran todas aquellas actividades que se realizan durante el mantenimiento, es importante tener presente que uno de los puntos clave asociados a las diferencias entre los tiempos de duración efectiva de la actividad y la duración total hace referencia a los sistemas de turnos principalmente de los recursos Refractarios DET, el cual cumple con turno día.

Recurso Pacoll hornos hace referencia a empresa con contrato mecánico, refractarios y andamios y recurso Mclean hace referencia a empresa con contrato de limpieza industrial.

Id	Nombre de tarea	Duración efectiva (horas)	Nombre de los recursos	Duración total (horas)
1	Entrega de equipo a mantenimiento	0	Mecánicos	4,2
2	Retiro de pernos seguros tapa corredora	0,3	Mecánicos	
3	Retiro tapa corredora con grúa	0,3	Mecánicos	
4	Bloqueo de equipo-Desmontar carretilla de oxígeno	2	Mecánicos	
5	Retiro de ventanillas campana	0,5	Mecánicos	
6	Retiro de máquina punzadora	1	Pacoll Hornos	
7	Apagado quemador para limpieza campana	0	Operaciones Fuco	
8	Limpieza de foso	2	Operaciones Fuco	13
9	Limpieza campana	11	Mclean	
10	Limpieza precámara	6	Mclean	
11	Limpieza plataforma medialuna	6	Mclean	
12	Limpieza liras	1	Mclean	
13	Limpieza cámara	1	Mclean	
14	Inspección motor giro horno	6	Eléctricos Fuco	16,5
15	Mantenimiento CCM	4	Eléctricos Fuco	
16	Mantenimiento control local	2	Eléctricos Fuco	
17	Inspección motor y control campana	2	Eléctricos Fuco	
18	Encendido quemador	0,3	Operaciones Fuco	
19	Levante de defensas de punzado	1	Pacoll Hornos	
20	Retiro defensas de tobera	1,5	Pacoll Hornos	
21	Corte de tubos toberas y pernos puertas	2	Pacoll Hornos	
22	Desmontar puertas toberas (con giros)	1	Pacoll Hornos	
23	Giro del horno & encendido quemador	0,5	Operaciones Fuco	
24	Instalación techo protector	3	Pacoll Hornos	
25	Desmantelado puertas toberas	8	Pacoll Hornos	
26	Instalación de trinquete y cuñas	1	Pacoll Hornos	
27	Instalar barreas extremos plataforma de punzado	1,5	Pacoll Hornos	
28	Instalar bastones y parrillas piso trabajo refractario	3	Pacoll Hornos	
29	Retiro y reposición de ladrillos	7	Refractarios DET	20,3
30	Estucado enladrillado	2	Refractarios DET	
31	Montaje de puertas	2,5	Pacoll Hornos	7,5
32	Retiro de techo protector	1	Pacoll Hornos	

33	Instalación máquina perforadora	1	Pacoll Hornos	
34	Nivelado y trincado horno	0,5	Pacoll Hornos	
35	Revisar tapa corredora & sistema motriz tapa	4	Mecánicos FUCO	
36	Instalación de techo protector	1,5	Pacoll Hornos	
37	Nivelación de puertas	3	Pacoll Hornos	
38	Relleno refractario de puertas	1	Refractarios DET	22
39	Perforado y retiro de perforadora	3	Refractarios DET	
40	Instalación de toberas & soldar pletina	2,5	Pacoll Hornos	10,8
41	Limpieza de foso	12	Refractarios DET	
42	Emparejar corte bajadas	1,5	Pacoll Hornos	
43	Soldadura de bajadas de soplado	12	Pacoll Hornos	
44	Inspección junta rotatoria	1	Pacoll Hornos	
45	Instalar carretilla de oxígeno	0,3	Mecánicos	
46	Prueba de aire-reparación fugas	2	Mecánicos; Pacoll	4,4
47	Instalación defensas de toberas	1	Pacoll Hornos	
48	Retiro de techo protector	1	Pacoll Hornos	
49	Bajar defensas de punzado	0,4	Pacoll Hornos	
50	Cierre de ventanillas campana	1	Pacoll Hornos	
51	Instalación de tapa corredora	0,5	Mecánicos	
52	Pruebas de funcionamiento eléctrico tapa corredora	0,5	MEYCA Turno	
53	Instalación de máquina punzadora	1	Pacoll Hornos	
54	Pruebas de operatividad máquina punzadora	0,5	MEYCA Turno	
55	Desbloqueo de equipo	0,25	Mecánicos	
56	Entrega de equipo a operaciones	0	Operaciones Fuco	

Tabla 7 Duración de las actividades que se realizan durante la tarea.

8.1.2. Determinar pasos internos y externos de la tarea

Como segundo paso se debe diferenciar las actividades internas y externas, siendo las primeras las que sólo se pueden ejecutar con el equipo detenido y las segundas aquellas que pueden realizarse mientras el equipo aún está en operación o en paralelo de las actividades principales, para ello, siguiendo la misma lógica del punto anterior, se identifican dentro de las sub divisiones de tareas, aquellas que componen la línea crítica y deben realizarse durante la detención.

- **Operaciones internas**

Las operaciones internas identificadas son las siguientes

Id	Nombre de tarea	Duración efectiva (horas)	Nombre de los recursos	Duración total (horas) Agrupación de tareas
1	Entrega de equipo a mantenimiento	0	Mecánicos	4,2
2	Retiro de pernos seguros tapa corredora	0,3	Mecánicos	
3	Retiro tapa corredora con grúa	0,3	Mecánicos	
4	Bloqueo de equipo-Desmontar carretilla de oxígeno	2	Mecánicos	
5	Retiro de ventanillas campana	0,5	Mecánicos	
6	Retiro de máquina punzadora	1	Pacoll Hornos	
7	Apagado quemador para limpieza campana	0,1	Operaciones Fuco	
8	Limpieza de foso	2	Operaciones Fuco	13
9	Limpieza campana	11	Mclean	
19	Levante de defensas de punzado	1	Pacoll Hornos	16,5
20	Retiro defensas de tobera	1,5	Pacoll Hornos	
21	Corte de tubos toberas y pernos puertas	3	Pacoll Hornos	
22	Desmontar puertas toberas (con giros)	2	Pacoll Hornos	
23	Giro del horno & encendido quemador	0,5	Operaciones Fuco	
24	Instalación techo protector	3	Pacoll Hornos	
26	Instalación de trinquete y cuñas	1	Pacoll Hornos	
27	Instalar barreas extremos plataforma de punzado	1,5	Pacoll Hornos	20,3
28	Instalar bastones y parrillas piso trabajo refractario	3	Pacoll Hornos	
29	Retiro y reposición de ladrillos	7	Refractarios DET	
30	Estucado enladrillado	2	Refractarios DET	7,5
31	Montaje de puertas	2,5	Pacoll Hornos	
34	Nivelado y trincado horno	0,5	Pacoll Hornos	
36	Instalación de techo protector	1,5	Pacoll Hornos	
37	Nivelación de puertas	3	Pacoll Hornos	17
38	Relleno refractario de puertas	1	Refractarios DET	
39	Perforado y retiro de perforadora	3	Refractarios DET	15,8
42	Emparejar corte bajadas	1,5	Pacoll Hornos	
43	Soldadura de bajadas de soplado	12	Pacoll Hornos	
45	Instalar carretilla de oxígeno	0,3	Mecánicos	

46	Prueba de aire-reparación fugas	2	Mecánicos; Pacoll	4,4
47	Instalación defensas de toberas	1	Pacoll Hornos	
48	Retiro de techo protector	1	Pacoll Hornos	
49	Bajar defensas de punzado	0,4	Pacoll Hornos	
50	Cierre de ventanillas campana	1	Pacoll Hornos	
51	Instalación de tapa corredora	0,5	Mecánicos	
52	Pruebas de funcionamiento eléctrico tapa corredora	0,5	MEYCA Turno	

Tabla 8 Operaciones internas.

- **Operaciones externas**

Las operaciones externas identificadas son las siguientes

Id	Nombre de tarea	Duración efectiva (horas)	Nombre de los recursos
10	Limpieza precámara	6	Mclean
11	Limpieza plataforma medialuna	6	Mclean
12	Limpieza liras	1	Mclean
13	Limpieza cámara	1	Mclean
14	Inspección motor giro horno	6	Eléctricos Fuco
15	Mantenimiento CCM	4	Eléctricos Fuco
16	Mantenimiento control local	2	Eléctricos Fuco
17	Inspección motor y control campana	2	Eléctricos Fuco
18	Encendido quemador	0,3	Operaciones Fuco
25	Desmantelado puertas toberas	8	Pacoll Hornos
32	Retiro de techo protector	1	Pacoll Hornos
33	Instalación máquina perforadora	1	Pacoll Hornos
35	Revisar tapa corredora & sistema motriz tapa	4	Mecánicos FUCO
40	Instalación de toberas & soldar pletina	2,5	Pacoll Hornos
41	Limpieza de foso	12	Refractarios DET
44	Inspección junta rotatoria	1	Pacoll Hornos
53	Instalación de máquina punzadora	1	Pacoll Hornos
54	Pruebas de operatividad máquina punzadora	0,5	MEYCA Turno
55	Desbloqueo de equipo	0,25	Mecánicos
56	Entrega de equipo a operaciones	0	Operaciones Fuco

Tabla 9 Operaciones externas.

8.1.3. Convertir tareas internas en externas

Como tercer paso, dentro de las actividades identificadas como internas, se debe identificar aquellas que se puedan realizar de manera previa como preparativo o que pueda desarrollarse en paralelo.

De acuerdo a lo identificado en puntos anteriores, se determinó que un 64% de las actividades son internas, el objetivo de este punto es disminuir ese %.

Este punto se aborda considerando las condiciones de borde que se cuenta actualmente con los recursos disponibles, se observan las actividades y se determina su capacidad técnica de poder desplazarse previo al inicio o desarrollarse en paralelo con otra, tomando en consideración que debe suceder para que esto se pueda llevar a cabo.

De la agrupación inicial de actividades, la que tiene una duración general de 4,2 horas, en caso de contar con 3 grupos trabajando en paralelo (4 mecánicos más), se puede acortar la actividad a la de mayor duración que corresponde con la de bloquear el equipo y desmontaje de la carretilla de oxígeno, por lo tanto, este grupo de actividades se podría realizar en 2 horas.

De la segunda agrupación que tiene una duración total de 13 horas, la limpieza de foso se puede desarrollar en parte previo a la entrega de equipo y otra parte en paralelo, acortando la actividad a 11 horas.

De la tercera agrupación que tiene una duración de 16,5 horas, contando con 4 mecánicos adicionales la actividad de instalación de trinquetes y cuñas se puede realizar en paralelo con la actividad de instalación de techo protector, y la actividad de instalar barreras en los extremos de la plataforma de punzado se puede realizar en paralelo con la de instalar bastones y parrillas de piso de trabajo refractario, disminuyendo la duración total a 14 horas.

De la cuarta agrupación que tiene una duración de 20,3 horas no se pueden realizar las actividades en paralelo ni como previo, esta actividad será abordada con mayor profundidad en la siguiente sección.

De la quinta agrupación que tiene una duración de 7,5 horas tampoco se pueden abordar las actividades en paralelo, por lo que se mantiene de la misma forma al menos en esta sección.

De la sexta agrupación, se toma en consideración lo mismo mencionado que para la cuarta sección y será abordada en el siguiente punto.

De la séptima agrupación de 15,8 horas de duración tampoco se pueden realizar actividades en paralelo.

De la octava agrupación de 4,4 horas de duración, la actividad de instalación de cierre de ventanillas de campana se puede realizar en paralelo con dos mecánicos adicionales en esta actividad, bajando a 3,5 horas.

Por lo que como resumen se tiene que existe una disminución de 7,6 horas de detención en las 9 tareas a realizar en paralelo.

Agrupación	N° de actividades internas transformadas en externas	Duración total inicial (horas)	Duración total final (horas)	Recursos adicionales para la disminución de tiempo
1	5	4,2	2	4 mecánicos
2	1	13	11	Sin recursos adicionales
3	2	16,5	14	4 mecánicos
4	0	20,3	20,3	
5	0	7,5	7,5	
6	0	17	17	
7	0	15,8	15,8	
8	1	4,4	3,5	2 mecánicos
TOTAL	9	98,7	91,1	

Tabla 10 Tabla resumen de conversión de actividades internas en externas.

8.1.4. Eliminar el desperdicio interno

Como cuarto paso se busca optimizar las tareas que no pudieron transformarse como externas, para esta fase se propondrán mejoras principalmente para las actividades donde existe mayor potencial de reducción, estas son los grupos de tareas 4, 6 y 7.

Para la agrupación 4 y 6 se abordará la misma metodología, en donde la mayor problemática radica que el puesto de trabajo de Refractarios de la Superintendencia cuenta solo con personal turno día de 12 horas, con 6 trabajadores realizando turnos de 4x4, se han mantenido conversaciones tanto con el personal Refractario así como con personal de RRHH para poder realizar un cambio de turno temporal a dos trabajadores de este grupo para que cumpla las funciones durante la noche y poder tener continuidad en los trabajos, siendo uno de los requisitos que uno de los trabajadores que pase a la noche debe poseer el cargo de Experto Refractario (se cuentan con dos expertos por cada grupo).

Esta propuesta de mejora busca poder dar continuidad a estos trabajos, ya que al no tener turno noche, una actividad de 9 horas efectivas en el caso de las del grupo 4 pasa a desarrollarse en 20,3 y las 4 horas efectivas del grupo 6 a 17 horas en total.

Se estima que dividir el equipo de 6 refractarios en dos grupos, 4 de día y 2 de noche generará un incremento en el tiempo de duración efectiva de las actividades en un 40%, además, para hacer más real los cálculos se agregan 2 horas por cambios de turno en ambos casos, pasando de 9 horas a 14,6 horas en el caso del grupo 4 y de 4 horas a 7,6 horas para el caso de las del grupo 6.

Por lo que como resumen se tiene que existe una disminución de 15,1 horas de detención en las 4 tareas revisadas.

Para la agrupación número 7 se tienen 15,8 horas de duración, siendo la actividad más extensa la de soldadura de bajadas de soplado con 12 horas, esta actividad se desarrolla una vez se finaliza la instalación de toberas y emparejado los tubos en la parte superior (salidas de manifold), posterior a esto, se toman las medidas en cada punto y se cortan los tubos para posteriormente soldar, esta actividad se realiza para cada una de las 42 bajadas de aire, esta tarea se designa al personal con mayor experiencia y los mejores soldadores,

ya que el espacio es reducido y se requiere que las soldaduras queden de calidad y sin defectos en la primera instancia, en caso de existir errores en la soldadura, implica un retrabajo que extiende el mantenimiento por sobre lo planificado. Se trabaja en dos grupos, cada uno con dos puertas.



Figura 37 Fabricación de tubos de bajadas de aire y posterior soldadura individual de cada una.

Dentro de los análisis realizados para mejorar los tiempos de esta actividad se propone la de incorporar dos grupos de trabajo más, esto quiere decir 2 soldadores y 4 mecánicos más, esto con la finalidad de trabajar en las 4 puertas en paralelo, lo que requeriría poder segregar cada una de las puertas para cumplir con los reglamentos de seguridad y evitar proyección entre grupos. Esta propuesta se estima que tenga una mejora del 40% en los tiempos, pasando de 12 a 7,2 horas.

Otra opción analizada para mejorar los tiempos de esta actividad, fue la de buscar con proveedores las mejores prácticas en la industria nacional y en específico, de otras fundiciones, en donde se nos presenta la opción de utilizar flexibles resistentes a la temperatura en donde la conexión, en vez de ser soldada, pasa a ser apernada mediante una brida fabricada a medida.



Figura 38 Opción de utilización de flexibles con uniones mediante bridas utilizada en otra fundición de Chile.

Esta opción, al ser evaluada en relación con los tiempos de disminución de la actividad, pasa a ser un 75% más rápida, pasando de 12 a 3 horas en total. Para poder ser llevada a cabo requiere de la gestión de catalogación de los flexibles que deben ser diseñados a medida por el proveedor, además, requiere por única vez la de soldar la brida a los tubos del manifold, además, por protocolo de Codelco, debe someterse a pruebas controladas y gestión del cambio, donde una vez analizados los resultados y siendo satisfactorios, se podría pasar a implementar en los cuatro CPS's de Caletones.

Por lo que, en resumen, en caso de implementar las mejoras en las tres agrupaciones de tareas visualizadas se tiene la siguiente tabla.

Agrupación	N° de actividades revisadas	Duración total inicial (horas)	Duración total final (horas)	Requerimiento para disminución de tiempo
4	2	20,3	14,6	Dividir cuadrilla Refractarios en 4 día y 2 noche, disminuyendo productividad, ganando continuidad.
6	2	17	7,6	
7.a	1	15,8	11	2 soldadores y 4 mecánicos adicionales, doble de herramientas.
TOTAL	5	53,1	33,2	

Tabla 11 Tabla resumen de disminución de tiempos en tareas internas, opción de aumentar dotación.

Como se aprecia en la tabla 11, al abordar la primera opción de aumentar la dotación de soldadores y mecánicos para la actividad de soldadura de bajadas de soplado, adicional a lo planteado para el personal refractario, se logra pasar de 53,1 horas a 33,2 horas, siendo una mejora del 37.4% del tiempo total.

Agrupación	N° de actividades revisadas	Duración total inicial (horas)	Duración total final (horas)	Requerimiento para disminución de tiempo
4	2	20,3	14,6	Dividir cuadrilla Refractarios en 4 día y 2 noche, disminuyendo productividad, ganando continuidad.
6	2	17	7,6	
7.b	1	15,8	6,8	Catalogación de flexibles con bridas, protocolo de pruebas y gestión del cambio.
TOTAL	5	53,1	29	

Tabla 12 Tabla resumen de disminución de tiempos en tareas internas, opción de flexibles con uniones con bridas.

Como se aprecia en la tabla 12, al implementar la opción de instalar flexibles con uniones con bridas, el tiempo total de la suma de las 3 agrupaciones de actividades pasa de ser 53.1 a 29 horas, siendo una mejora del 45.3% del tiempo total.

Finalmente, sumando las mejoras planteadas en el punto 8.1.3 y 8.1.4 se obtiene la siguiente tabla

Agrupación	N° de actividades internas transformadas en externas	Duración total inicial (horas)	Duración total final (horas)	Requerimiento para disminución de tiempo
1	5	4,2	2	4 mecánicos
2	1	13	11	Mejorar coordinación
3	2	16,5	14	4 mecánicos
4	2	20,3	14,6	Dividir cuadrilla refractarios
5	0	7,5	7,5	
6	2	17	7,6	Dividir cuadrilla refractarios
7	1	15,8	6,8	Flexibles uniones con bridas
8	1	4,4	3,5	2 mecánicos
TOTAL	14	98,7	67	

Tabla 13 Tabla resumen de mejoras propuestas pasando actividades internas a externas y disminuyendo tiempos de actividades internas.

Como resumen, con todas las propuestas realizadas se pasa de 98,7 a 67 horas (2,8 días), siendo una mejora en 32,1% del tiempo total.

8.1.5. Eliminar el desperdicio externo

Como quinto paso se busca optimizar las tareas externas de modo de evitar incertidumbres que puedan afectar a las tareas internas.

Al analizar este punto, se obtiene que no es posible desplazar completamente las actividades como previos, pero si es posible poder dividir parte del alcance a realizarse previamente y otra durante el mantenimiento.

Id	Nombre de tarea	Duración efectiva (horas)	Nombre de los recursos
14	Inspección motor giro horno	6	Eléctricos Fuco
17	Inspección motor y control campana	2	Eléctricos Fuco
25	Desmantelado puertas toberas	8	Pacoll Hornos
35	Revisar tapa corredora & sistema motriz tapa	4	Mecánicos FUCO
41	Limpieza de foso	12	Refractarios DET
44	Inspección junta rotatoria	1	Pacoll Hornos

Tabla 14 Tabla con actividades externas que pueden ser parcialmente ejecutadas como previo al mantenimiento.

8.2. Propuesta de mejora en plan de mantenimiento

A partir del análisis de los datos de desgaste de toberas, es posible proponer mejoras al plan de mantenimiento vigente, de modo que este se ajuste de manera más precisa a la realidad operativa de los equipos, evitando tanto los cambios prematuros como cambios forzados por fallas.

Como se comentó en la sección de la situación actual, la frecuencia de cambio de mantenimiento es fija y está definida en 34 días, sin embargo, desde los análisis realizados de medición en los hornos, se observa que el comportamiento de desgaste en las toberas no es lineal, sino que varía a medida que van avanzando las sub campañas, este fenómeno no es parte del alcance de la presente tesina, pero sin lugar a dudas sería interesante investigar desde el punto de vista metalúrgico y refractario las causas que llevan a este comportamiento y como el desgaste de los ladrillos aledaños a la puerta afecta o puede afectar a la tasa de desgaste de estos ladrillos y toberas.

El plan de mantenimiento como línea base que se cuenta actualmente se describe en la siguiente tabla.

Sub campaña	Días de operación	Días de mantenimiento
A	34	4,1
B	34	4,1
C	34	4,1
D	34	4,1
E	34	4,1
F	34	4,1
G	34	4,1
H	34	4,1
I	34	4,1
J/general	34	30
Total	340	67,0

Tabla 15 Tabla con línea base de la estrategia de mantenimiento actual de un horno CPS para una campaña.

Como se ve en la tabla, la estrategia actual de mantenimiento contempla 10 sub campañas con frecuencias fijas de 34 días y mantenimientos de 4,1 días, y al final de la decima sub campaña el mantenimiento general de 30 días. Tomando esto en consideración, se tiene que en una campaña el horno teóricamente se encontrará operando por 340 días y 67 días en mantenimiento, totalizando 407 días un ciclo completo, con una disponibilidad de 83,5%.

Como propuesta de nueva estrategia para la frecuencia del plan de mantenimiento, se consideran los datos y análisis observados en los datos reales de las mediciones de toberas y registro de campañas, en estas se puede observar que en general los promedios de días para los cambios es de 36 días, dos días mayor que la frecuencia actual, pero además de esto y como punto más relevante, es que el comportamiento del horno y el desgaste está directamente relacionado con la sub campaña en la que se encuentra, por lo que a mayor avanzan las sub campañas dentro del ciclo, más acelerados se vuelven los desgastes, es por esta razón que se estima que una estrategia más adecuada debe considerar este comportamiento real del horno, por lo que se propone una frecuencia que inicia en 45 días de operación para el primer ciclo y que disminuye linealmente hasta llegar a los 27 días en la última sub campaña, cabe destacar que si uno realiza un cálculo del promedio de estas frecuencias, da como resultado 36 días, coincidiendo con los promedios de los datos reales. Esta propuesta se presenta en la siguiente tabla.

Sub campaña	Días de operación	Días de mantenimiento
A	45	4,1
B	43	4,1
C	41	4,1
D	39	4,1
E	37	4,1
F	35	4,1
G	33	4,1
H	31	4,1
I	29	4,1
J/general	27	30
Total	360	67,0

Tabla 16 Tabla con propuesta de nuevas frecuencias para el mantenimiento de forma decreciente.

Como se ve en la tabla, la cantidad de días en operación para una campaña completa aumenta de 340 a 360 días, manteniendo los 67 días de mantenimiento se tiene un total de 427 días para el ciclo completo, con una disponibilidad de 84,3%, un 0,8% mayor que la línea base.

Para el caso de mantener la frecuencia base de 34 días, además, considerando la propuesta de mejora en la duración del mantenimiento realizado en base al análisis SMED del punto anterior, donde se pasó de un mantenimiento de 98,7 horas (4,1 días) a 67 horas (2,8 días), se consigue la siguiente tabla.

Sub campaña	Días de operación	Días de mantenimiento
A	34	2,8
B	34	2,8
C	34	2,8
D	34	2,8
E	34	2,8
F	34	2,8
G	34	2,8
H	34	2,8
I	34	2,8
J/general	34	30
Total	340	55,2

Tabla 17 Tabla con propuesta de mejora en tiempo de mantenimiento en los cambios de toberas en base a SMED.

Como se observa en la tabla, la cantidad de días en operación para una campaña completa se mantiene en los 340 días como el caso base, disminuyendo los 67 días de mantenimiento a 55,2, se tiene un total de 395,2 días para el ciclo completo, con una disponibilidad de 86%, un 2,5% mayor que la línea base.

Se observa al analizar ambos casos de propuestas, que el primer caso de mejora extiende el tiempo total del ciclo, incidiendo en los días de operación del horno (up time) y que el segundo incide en el tiempo de mantenimiento (down time).

Finalmente, se evalúa el caso en de combinar las mejoras en la frecuencia y duración del mantenimiento, en donde se tiene la frecuencia variable y el tiempo de mantenimiento de 2,8 días.

Sub campaña	Días de operación	Días de mantenimiento
A	45	2,8
B	43	2,8
C	41	2,8
D	39	2,8
E	37	2,8
F	35	2,8
G	33	2,8
H	31	2,8
I	29	2,8
J/general	27	30
Total	360	55,2

Tabla 18 Tabla con propuesta de mejora en tiempo de mantenimiento en los cambios de toberas en base a SMED y cambio en frecuencia, quedando variable.

Como se observa en la tabla, la cantidad de días en operación para una campaña completa se aumenta a 360 días, disminuyendo el tiempo de mantenimiento a 55,2 días, se tiene un total de 415,2 días para el ciclo completo, con una disponibilidad de 86,7%, un 3,2% mayor que la línea base.

Como era de esperar, este último caso en donde se combinan ambas mejoras posee la mayor disponibilidad en un ciclo completo del horno CPS.

Cabe destacar que las disponibilidades fueron calculadas utilizando la fórmula (5.1) del capítulo 5 para un ciclo completo del horno y no para un tiempo objetivo como por ejemplo 365 días (1 año) de igual manera para los 4 casos, ya que, al comparar de esta forma, no se logra apreciar el efecto de la mejora, ya que se encontrarían en diferentes fases de la campaña y esto genera que los resultados no sean del todo representativos.

8.3. Propuesta de mejora para la gestión de repuestos

A partir del análisis realizado para la gestión de repuestos es posible mencionar que asociado al stock de seguridad de los materiales no es necesario realizar cambios, ya que cumplen con lo calculado.

Para el caso del punto de pedido si es necesario poder realizar una mejora en cuatro materiales, los cuales deben aumentar este dato en SAP para de esta forma asegurar poder cumplir con el nivel de servicio requerido y no tener quiebres de stock, esto de acuerdo con la siguiente tabla.

Material	Texto breve material	Punto de pedido actual	Punto de pedido propuesto
1080624	BOLA RDMTO 2-3/8" RB60325IIIPACK1	600	869
1043442	ASIENTO VALVULA BCC PLNIG23630-2	151	159
1043149	GOLILLA BCC PLNIG595912	282	388
1043315	MORDAZA TTE PLNIG65173-2	156	159

Tabla 19 Tabla con cambios propuestos en el punto de pedido

Finalmente, para el caso de la gestión de reparables se propone crear un plan de mantenimiento en sistema SAP, el cual debe ser gestionado de acuerdo con el ciclo SOMA de planificación, considerando que las órdenes de trabajo se programan con dos semanas de anticipación y además, considerando los 30 días que dura el tiempo de reparación total calculado, se recomienda que la orden de trabajo sea creada por sistema con 45 días de anticipación a la ejecución al cambio de toberas en CPS.

Además, siguiendo la línea de lo descrito en SOMA, se recomienda contar o designar a un expeditor de materiales y un ingeniero de reparables que forme parte de sus responsabilidades el administrar la gestión de reparables de la superintendencia, y por consiguiente, de la reparación de las toberas.

9. Conclusiones

Los CPS analizados presentan un promedio similar de días entre cambios de toberas, lo que demuestra homogeneidad en su comportamiento. No obstante, la alta variabilidad y la tendencia decreciente en los días de operación a medida que avanzan las sub campañas conlleva a definir que la estrategia actual no refleja adecuadamente la realidad operacional. El uso de herramientas como el análisis de tendencias permite ajustar las frecuencias de cambio, pasando de una frecuencia fija a una variable.

El análisis detallado de la carta Gantt mostró que la duración de los cambios de toberas puede reducirse significativamente mediante la aplicación de la metodología SMED, eliminando desperdicios internos y externos, e implementando mejores prácticas de otras fundiciones.

Al complementar las mejoras en el plan de mantenimiento y SMED se puede obtener hasta una mejora de 3,2% en la disponibilidad.

Asociado a la gestión de repuestos, los niveles de stock mínimo resultaron adecuados, algunos puntos de pedido en SAP se encuentran por debajo de lo calculado, lo que puede generar quiebres de stock. Además, la gestión de reparables carece de un control estandarizado, lo que implica riesgos en la disponibilidad futura de toberas reparadas.

En conclusión, este trabajo demuestra que una gestión de mantenimiento basada en datos, apoyada en metodologías probadas como SMED y en una gestión integral de repuestos, constituye una herramienta clave para mejorar la productividad, la seguridad y la confiabilidad de los procesos en la Fundición Caletones. Además, contribuye a alinear la gestión de mantenimiento con los lineamientos del sistema SOMA de Codelco, fortaleciendo la cultura de mejora continua.

10. Bibliografía

Codelco, "Libro Del Sistema Operativo De Mantenimiento" SOMA, Gerencia Corporativa de Mantenimiento 2022.

<https://www.codelco.com/nosotros/codelco-la-empresa-de-todos-los-chilenos-y-chilenas>

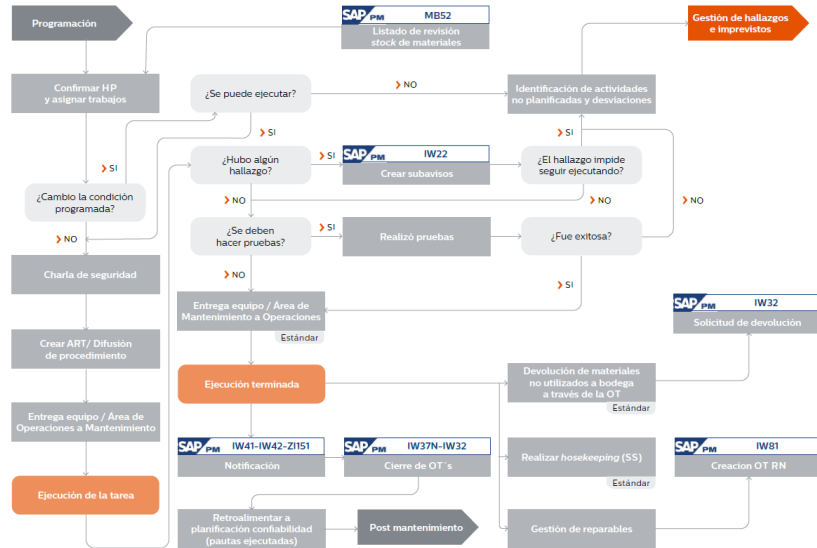
<https://www.codelco.com/operaciones/el-teniente/nosotros/division-el-teniente>

Apuntes de Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento

11. Anexos

11.1. Anexo 1 – Flujo de proceso de ejecución (SOMA)

1.3.4.3 Flujo del proceso de Ejecución



11.2. Anexo 2 – Proceso de Planificación (SOMA)

1.3.2 Planificación

Durante este proceso se realiza la asignación de los recursos necesarios a la lista de actividades entregada por la priorización, distribuyendo la carga de horas disponibles y gestionando la disponibilidad efectiva de los recursos, siendo todo esto plasmado en un plan de mantenimiento y el responsable principal es el área de Planificación.

1.3.2.1 Objetivos del proceso de Planificación

El objetivo es integrar las actividades priorizadas en un plan de mantenimiento que cuente con los recursos necesarios para ser ejecutado.

- Definir de acuerdo a un análisis de factibilidad de los elementos priorizados, las actividades a realizar en el periodo de planificación.
- Generar plan de mantenimiento (e incluir planes anexos que requiera la mantención ej: plan de aseos).
- Realizar la gestión para llevar a cabo todas las actividades del plan de mantenimiento sin discriminar la criticidad.
- Coordinar y viabilizar los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades planificadas (gestionar horas personas y capacidades técnicas).

1.3.2.2 Proceso general

ETAPAS



DESCRIPCIÓN

- Realizar análisis de factibilidad al listado priorizado de órdenes, indicando cuáles pueden ser ejecutadas.
- Establecer balance de carga entre HP disponibles y el listado priorizado.
- Revisar con confiabilidad las actividades que queden fuera.
- Formular plan calendarizado.
- Difundir plan a lo menos cuatro días antes del término de la semana N-2.
- Coordinar la disponibilidad de los recursos necesarios para implementar el plan.
- Realizar balance de stock vs reservas generadas según necesidad de materiales.
- Entregar el plan de mantenimiento con los recursos confirmados.

11.3. Anexo 3 – Roles organizacionales de planificación (SOMA)

Expeditor(a) de materiales: apoya a los planificadores para asegurar la disponibilidad de los materiales en las actividades de mantenimiento planificado en forma oportuna, realizando control y seguimiento de los materiales y servicios de terceros, en cantidad y calidad. Asegura la gestión oportuna de adquisición de repuestos, acorde a la demanda de los planes matrices y las actividades a condición declaradas por confiabilidad. Administra el modelo de reparables de la división y resguarda la disponibilidad de repuestos y materiales de uso frecuente para las actividades de mantenimiento no planificado.

Ingeniero(a) de reparables: coordina y supervisa las reparaciones de componentes y repuestos que son realizadas en maestranzas, talleres externos e internos, con el fin de proveer un *stock* de reparables que permita desarrollar los recambios necesarios durante las labores de mantención.