

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

PREFACTIBILIDAD TÉCNICA CARGUÍO HORNO FUNDICIÓN CODELCO
VENTANAS

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en MINERÍA Y
METALURGIA

Alumnos:

José Emanuel Benites Vásquez

Ivannia Isabel Morales Castro

Profesor Guía:

Ing. Luis Gutiérrez Meneses

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, cuya Gracia ilumina las mentes y los corazones para salir de las tinieblas e ir en busca de la Verdad (Ex umbra in Solem)

A mi amada esposa, quien me dio las fuerzas y el ánimo para terminar esta carrera y que, entre otras muchas cosas, soñó antes este hermoso presente.

A mi hermoso hijo, en quién también veo a los que vendrán, cuya sola presencia ha llenado mis días de alegría y cumplido varios sueños.

A mis profesores, quienes me ayudaron en mi formación académica mientras conciliaba la familia y el trabajo.

A mis compañeros de labores, jefes e ingenieros, sin los cuales no hubiese podido realizar las mediciones necesarias para este Trabajo de Título.

Infinitas gracias.

José Emanuel Benites Vásquez

RESUMEN

KEYWORDS: PRE FACTIBILIDAD TÉCNICA- CARGUÍO- HORNO DE FUNDICIÓN

El presente estudio de pre factibilidad técnica ha sido confeccionado a partir de la recopilación de los principales procesos asociados a las unidades productivas de la División Codelco Ventanas, en la comuna de Puchuncaví, proporcionados por la Superintendencia de Refinería y Fundición. Además, la toma de datos en terreno para su posterior modelación en gráficos permitirá establecer de manera fehaciente, los puntos críticos o necesidades de mejora asociadas al área donde se llevará a cabo el estudio, la cual será la Unidad de Refino a Fuego.

El estudio contempla los procedimientos de carga del horno de fundición, las variables y mediciones asociadas al carguío, con la finalidad de determinar los puntos críticos donde se realizará la mejora.

El capítulo uno tiene por finalizar describir los macro procesos de la División junto con sus unidades productivas. Su finalidad es entregar un bosquejo genérico de las áreas y funciones en donde se realizará el trabajo de título.

El capítulo dos explica los procesos principales al interior de la RAF junto con la descripción del actual de carguío de restos, describiendo el trayecto que sigue la carga desde su llegada al patio de acopio desde la nave electrolítica hasta la entrada del horno de fundición, para modelar el escenario donde se producen las principales fallas operacionales.

El capítulo tres expone las principales falencias o puntos críticos del procedimiento actual, mediante la recopilación en terreno de datos de carga, tiempo de ciclos, estudios descriptivos y exploratorios. Su importancia radica en poder llevar los procedimientos a un estadístico, para establecer de mejor manera las mejoras correspondientes.

El capítulo cuatro se plantea la mejora propiamente tal, comparando distintas propuestas de mejora previas y determinando una que satisfaga las necesidades actuales del área.

La mejora propuesta busca satisfacer la necesidad de reducir los costos de producción de cobre, los que en este estudio se logró mediante la automatización del carguío de restos (scrap), la eliminación de los equipos cargadores obsoletos (Junker), la reducción en el uso del consumo de combustible y el tiempo empleado en el proceso de carga.

La mejora propuesta es la implementación de una planta de reciclaje la que, en relación con el carguío actual, se proyectaría un ahorro de USD 914.687.

Sin embargo, la implementación del estudio está sujeta a la voluntad de la Mandante y al delicado escenario económico que vive el precio del cobre.

No obstante, el estudio pone en evidencia las graves falencias al interior de la planta en términos de ahorro energético, funcionalidad de equipos, automatización de procesos y seguridad.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: MACRO PROCESOS Y UNIDADES PRODUCTIVAS

- 1.1. GENERALIDADES
- 1.2. MACRO PROCESOS FUNDICIÓN
 - 1.2.1. Unidad Recepción y Mezcla
 - 1.2.2. Unidad Fundición
 - 1.2.3. Unidad Refinación a Fuego
 - 1.2.4. Unidad Planta de Gases
- 1.3. MACRO PROCESO REFINERÍA
 - 1.3.1. Unidad Refinería Electrolítica
 - 1.3.2. Unidad Productos Metalúrgicos
 - 1.3.3. Unidad Planta de Metales Nobles
- 1.4. FLOWSHEET

CAPÍTULO 2: PROCESOS PRINCIPALES RAF Y CARGUÍO DEL HORNO

- 2.1. GENERALIDADES
 - 2.1.1. Descripción Equipos Rodante
 - 2.1.2. Descripción productos metalúrgicos principales
 - 2.1.3. Espacio físico de trabajo
- 2.2. PROCESOS PRINCIPALES RAF
 - 2.2.1. Tratamiento cobre blíster
 - 2.2.2. Operación Horno Basculante
 - 2.2.3. Operación Horno Refino
- 2.3. PROCEDIMIENTO DE CARGUÍO ACTUAL HORNO DE REFINO
 - 2.3.1. Carga líquida horno de fundición
 - 2.3.2. Carga sólida horno de fundición
 - 2.3.3. Aspectos operacionales

CAPÍTULO 3: HALLAZGOS Y MEDICIONES

- 3.1. MARCO TEÓRICO
 - 3.1.1. De la problemática
 - 3.1.2. Alcance del estudio
 - 3.1.3. Del cómo surge la idea
 - 3.1.4. Hipótesis
- 3.2. HALLAZGOS, ESTIMACIONES Y ANÁLISIS
 - 3.2.1. De las mediciones en el proceso del horno
 - 3.2.2. De las mediciones en la etapa carga- fusión

3.2.3. De la criticidad de la Junker

3.3. CONCLUSIONES

CAPÍTULO 4: DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

4.2.1. De la refinación electrolítica de scrap

4.2.2. De la fundición de scrap en los Convertidores

4.2.3. Del estudio de pre- factibilidad técnica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Vista aérea División Ventanas
- Figura 1-2. Convertidor Teniente, División Ventanas
- Figura 1-3. Hornos de Refino
- Figura 1-4. Cosecha cátodos comerciales
- Figura 2-1. Descripción horquilla H 120
- Figura 2-2. Descripción horquilla H 155
- Figura 2-3. Imagen tomada en terreno del área de Equipo Rodante
- Figura 2-4. Ánodo de cobre, producto de la refinación a fuego
- Figura 2-5. Grupo de restos al interior de Nave de Hornos
- Figura 2-6. Mapa de Tránsito Refino a Fuego
- Figura 2-7. Muestra de cobre con superficie convexa
- Figura 2-8. Muestra de cobre con superficie concava
- Figura 2-9. Muestra de cobre con superficie plana
- Figura 2-10. Muestra de cobre con superficie convexa
- Figura 2-11. Grúa horquilla sacando la puerta del horno previo a la carga
- Figura 2-12. Patio de acopio, Productos Intermedios
- Figura 4-1. Trozos scrap de ánodos.
- Figura 4-2. Cátodos finales prueba 8
- Figura 4-3. Restos amontonados en patio de RAF
- Figura 4-4. Restos amontonados al interior de la Nave de Hornos
- Figura 4-5. Cargador frontal y horquilla cargando conjuntamente los restos
- Figura 4-6. Olla cargada (idealmente) en el sector de carga fría CPS
- Figura 4-7. Foto de empresa proveedora
- Figura 4-8. Mediciones en terreno plano RAF
- Figura 4-9. Pre- diseño sistema de transporte
- Figura 4-10. Alimentador Grizzly

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Fuentes de ingreso División Ventanas (MUS\$)
Tabla 1-2.	Evolución de la Fundición Ventanas
Tabla 1-3.	Capacidad de producción
Tabla 3-1.	Mediciones reales horno mixto
Tabla 3-2.	Mediciones reales horno sólido
Tabla 3-3.	Datos por etapas horno con carga mixta
Tabla 3-4.	Datos de horno refino
Tabla 3-5.	Diferencias consumo combustible real y estándar
Tabla 3-6.	Diferencias consumo real y estándar etapa carga-fusión
Tabla 3-7.	Restos trasladados a la Nave de Hornos
Tabla 3-8.	Peso nominal por unidad de resto
Tabla 3-9.	Tiempo carga fusión de un horno sólido a máxima capacidad
Tabla 3-10.	Fallas anuales más frecuentes de la Junker
Tabla 3-11.	Análisis de criticidad, Junker
Tabla 3-12.	Tabla pérdidas por concepto de no- estándar y mantenciones
Tabla 4-1.	Análisis químico prueba 8 (ppm) y Norma Codelco
Tabla 4-2.	Datos de tiempo y toneladas carga mediante camión
Tabla 4-3.	Comparación carga real Junker y carga estimada con camión
Tabla 4-4.	Datos de contacto Empresa proveedora
Tabla 4-5.	Cotización máquina trituradora
Tabla 4-6.	Descripción equipo FD1800
Tabla 4-7.	Combustible por hora en distintos tipos de hornos
Tabla 4-8.	Gastos en dólares etapa caga- fusión por no cumplimiento de estándar
Tabla 4-9.	Gastos en dólares consumo real vs mejora implementada

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1.	Procedencia concentrados General
Gráfico 1-2.	Procedencia concentrados
Gráfico 3-1.	Tiempo en minutos por carga efectuada
Gráfico 3-2.	Comparación distintos tiempos horno carga sólida, etapa carga/fusión
Gráfico 4-1.	Comparación horno mixto vs mejora propuesta
Gráfico 4-2.	Comparación horno sólido vs mejora propuesta

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1.	Organigrama de Macro Proceso Fundición
Diagrama 1-2.	Organigrama macro proceso refinería
Diagrama 1-3.	Procesos División Ventanas
Diagrama 1-4.	Unidades productivas principales División Ventanas
Diagrama 2-1.	Proceso refino a fuego

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

AA:	Anglo American (restos)
FURE:	Fundición y refino (proyecto FURE)
HVL:	Paipote (restos)
HM:	Hojas madres.
MFCI:	Máquina Fabricadora Cátodos Iniciales.
MPA:	Máquina Procesadora de Ánodos.
PLAMEN:	Planta Metales Nobles (actual desuso)
PRECA:	Reparación y Carguío.
PTBA:	Planta Tratamiento Barro Anódico.
RAF:	Refino a Fuego.
SIGESSO:	Sistema de Gestión Seguridad y Salud Ocupacional.
TTE:	Teniente (restos)
VENT:	Ventanas (restos)

B. SIMBOLOGÍA

%:	Porcentaje.
C:	Combustible
CLP:	Pesos chilenos.
m:	Metro.
m ² :	Metro cuadrado.
m ³ :	Metro cúbico.
m ³ /hora:	Metros cúbicos por hora
T:	Tiempo.
Ton:	Tonelada.
Ton/hora:	Toneladas por hora.
USD:	Dólares estadounidenses.

INTRODUCCIÓN

La pre factibilidad técnica para mejorar el carguío de restos al horno de fundición obedece a la necesidad imperiosa que ha surgido actualmente, y que ha sido advertida con anterioridad, de aumentar la producción de cátodos de cobre utilizando el menor gasto posible.

Durante el presente año que ya llega a su fin, se ha visto un desplome considerable del valor del cobre a nivel mundial, principal materia prima de la economía chilena.

El actual plan de reducción de costos propuesto por Codelco a principios del 2015, y que contemplaba la reducción de US\$ 1000 millones, (actualmente ya suma US\$ 1218 millones), muestra la respuesta tardía y desesperada que han adoptado las autoridades para frenar el impacto económico a raíz del fortalecimiento del dólar (lo que ha encarecido la producción de cátodos de cobre) y la baja en el valor de la libra del metal rojo.

En el caso particular de la Fundición Ventanas, existe un estudio de pre factibilidad para la ampliación de la Refinería que asociaría aumentar la producción actual desde 400 mil a más de 584 mil cátodos comerciales, para lo cual haría falta realizar mejoras en la línea productiva para, no sólo generar mayor cantidad de ánodos comerciales para refinar, sino también en la manipulación de scrap (restos de ánodos) provenientes de la Refinería.

Actualmente, existen varios problemas asociados al scrap resultante de la Refinería, los que serán tratados a lo largo de este estudio, poniendo especial énfasis en la manipulación de éstos al carguío del horno. Sin embargo, se puede destacar para efectos introductorios, la gran cantidad de scrap que ocupa los espacios destinados a la producción directa, tales como vías de tránsito de maquinaria, puntos de acopio, y, además, la dificultad del actual procedimiento de carga para fundir el scrap almacenado.

El procedimiento actual de carguío del horno de fundición requiere la integridad de los grupos de scrap, esto es, un correcto almacenamiento de estos en filas largas al interior de la nave de hornos. No obstante, por maniobras inadecuadas del operador, fallas en los equipos o grupos de scrap muy blandos, la carga se desordena y no es posible cargar adecuadamente el horno, entendiéndose que la puerta del mismo tiene una dimensión de 1,2 m por 1,6 m (ancho y alto respectivamente) y los ánodos de scrap tienen una dimensión de 1 m por 1 m.

El objetivo general: Mejorar el carguío de restos a horno de fundición, mediante estudio de pre factibilidad técnica en Codelco Ventanas.

Este estudio guarda relación con encontrar una mejora sustancial para reemplazar el procedimiento actual, evitando las fallas operacionales que provoca la poca eficiencia en el proceso en términos de tiempos muertos, fallas en los equipos, toneladas fundidas por el horno; además de disminuir la carga de trabajo, automatizando el carguío de restos.

Primer objetivo específico: Describir los Macro Procesos de la Fundición Ventanas obtenidos a partir de los documentos del Departamento de Refino a Fuego.

Segundo objetivo específico: Explicar los procesos principales en RAF junto con el procedimiento actual de traspaso y carga de restos, mediante la recopilación de procedimientos y documentos del Departamento de Refino a Fuego.

Tercer objetivo específico: Establecer las variables del proceso carga- fusión para determinar los aspectos a mejorar, a través de estudios descriptivos y exploratorios basados en documentos del Departamento RAF y mediciones en terreno.

Cuarto objetivo específico: Proponer una mejora que satisfaga las necesidades del área, realizando un estudio de pre factibilidad técnica.

Para el desarrollo del trabajo se ha utilizado estudios exploratorios y descriptivos, recabando información previa realizada en la planta y realizando cálculos con mediciones tomadas en terreno.

CAPÍTULO 1: MACRO PROCESOS Y UNIDADES PRODUCTIVAS

1. MACRO PROCESOS Y UNIDADES PRODUCTIVAS

1.1. GENERALIDADES

Esta Fundición y Refinería se encuentra ubicada en Carretera f-30 E 58270, Puchuncaví Las Ventanas, a unos 164 kilómetros de Santiago y a unos 50 kilómetros de Viña del Mar, en el sector norte de la provincia de Valparaíso. Fue inaugurada en el año de 1964 y como parte de la Empresa Nacional de Minería (Enami), Ventanas tenía la misión de fomentar el desarrollo de la pequeña y mediana minería nacional.

Uno de los eventos de mayor relevancia en la historia reciente de Ventanas lo constituyó el traspaso de su propiedad a la Corporación Nacional del Cobre (Codelco Chile). Este hecho ocurrió en mayo del 2005, través de la ley 19.993 del 4 de enero del mismo año, con lo que se convirtió oficialmente en la quinta División de la Cuprífera Estatal.



Fuente: Imágenes de Google

Figura 1-1. Vista aérea División Ventanas

En cuanto a su naturaleza, Ventanas, se define básicamente como una empresa maquiladora de concentrado de cobre, obteniendo como resultado, cátodos comerciales de cobre en distintas variedades. En términos precisos, la operación de la quinta División de Codelco se concentra en cuatro procedimientos que son fundición, refinación a fuego, refinación electrolítica y tratamiento de metales nobles,

los dos primeros se incluyen en un macro proceso denominado fundición y los dos restantes en un macro proceso denominado refinería.

Estos macro procesos se ordenan bajo el área de operaciones de la División y a su vez cuentan con una organización interna, la que se describirá más adelante.

En cuanto al aspecto económico, en la División Ventanas es posible determinar tres fuentes de ingresos operacionales, a saber, las Tarifas por tratamiento de Productos Mineros (Servicios de Maquila), Venta de sub productos, y Servicios prestados a Terceros.

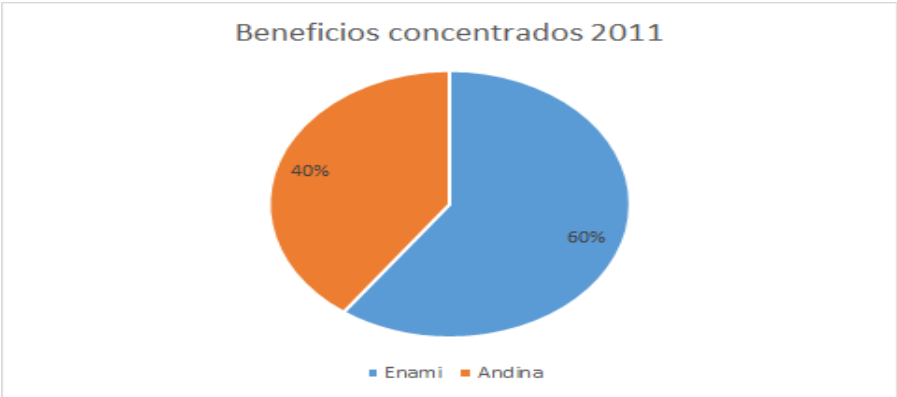
En la tabla se muestran los montos ingresados a la División, en miles de dólares, por los conceptos antes mencionados durante el período Jun-05/Sep-05, que correspondía al período en que Codelco absorbió a Ventanas.

Tabla 1-1. Fuentes de ingreso División Ventanas (MUS\$)

Fuente/mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Servicios de maquila	7722	16136	10118	12155
Venta sub productos	1036	1265	1290	1210
Servicios a terceros	0	3	48	3
Total	8758	17431	11456	13368

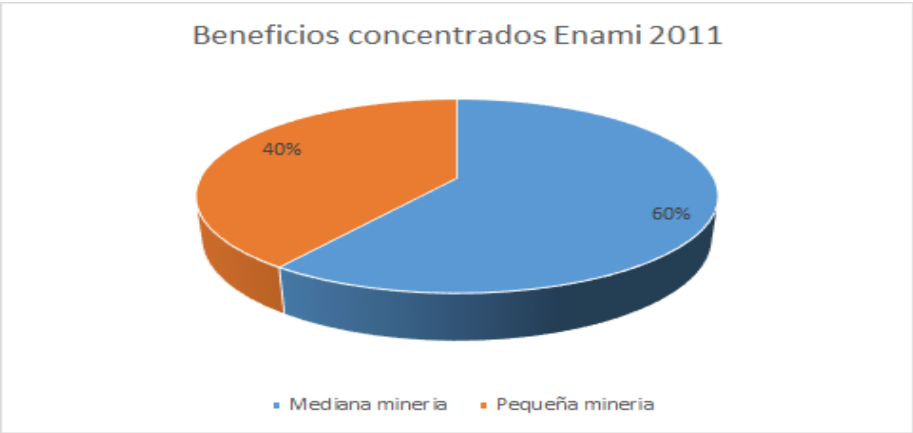
Fuente: Elaboración propia en base a Normas de emisiones FURE 2011

De lo anterior, se desprende que el servicio de maquila corresponde al 90% de los ingresos totales.



Fuente: Normas de emisiones Fure 2011

Gráfico 1-1. Procedencia concentrados General



Fuente: Normas de emisiones Fure 2011

Gráfico 1-2. Procedencia concentrados

Tabla 1-2. Evolución de la Fundición Ventanas

1964	Fundición tradicional: HR+2CPS
1978	Instalación Horno Basculante en Refino a Fuego, 200 [t]
1984	Instalación Convertidor Teniente 4 [m] ~ x 15m], operando sólo con aire.
1990	Instalación de una Planta de Oxígeno (315 [t/d]) Y Planta de Ácido (88.000[Nm3/h], 8,5 [%] S02)
1992	Operación red de monitoreo ambiental.
1993	Desarrollo e Implantación del Plan Descontaminación Ventanas (0.5. 252)
1998	Operación autónoma Sistema Fundición. Eliminación del Horno de Reverbero
1999	En vigencia norma primaria calidad del aire (365 [~gS02/Nm3])
2001	Aumento capacidad de tratamiento de gases a 125.000 Nm3/hr, 10,5 [Ok] S02 y doble absorción
2002	Ampliación Cámara Horizontal de Gases CT
2003	Cambio de parámetros norma primaria (250 [~gS02/Nm3]).
2009-10	Aumento capacidad de Tratamiento de Gases Planta de ácido (140.000 Nm3/hr)
2012	Cierre Planem en el marco de proyectos medio ambientales.
2015	Proyectos ambientales para captar el 95% de las emisiones de SO2

Fuente: Elaboración propia en base a Normas de emisiones Fure 2011

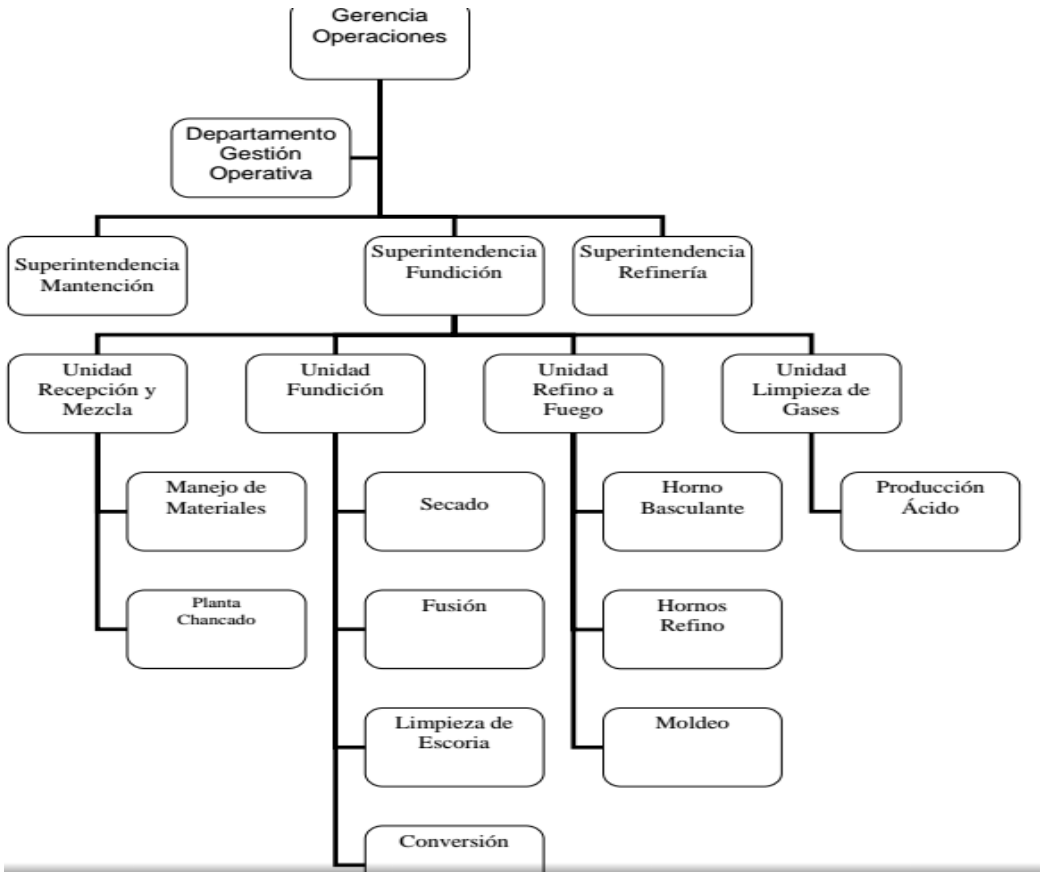
Tabla 1-3. Capacidad de producción

Fundición	440.000 TMS/año de concentrados
Refino a Fuego	220.000 TMF/año de ánodos
Cobre Electrolítico	400.000 TMF/año cátodos
Ácido Sulfúrico	370.000 T/año

Fuente: Elaboración propia en base a Normas de emisiones Fure 2011

1.2. **MACRO PROCESOS FUNDICIÓN**

En Codelco División Ventanas existen tres macro procesos, de los cuales dos pertenecen directamente a la línea productiva. A continuación, se muestra el organigrama de macro procesos, donde se especifican las unidades productivas pertenecientes a la Superintendencia de Fundición



Fuente: Fredes- Gutierrez, Control de Gestión 2006.

Diagrama 1-1. Organigrama de Macro Proceso Fundición

1.2.1. Unidad recepción y mezcla

a. Proceso manejo de materiales: Consiste en recepcionar y almacenar los flujos físicos provenientes de proveedores externos, principalmente el concentrado de cobre de las demás Divisiones de CODELCO y otros productos mineros. Además, debe distribuir materiales a los distintos procesos de fundición y manejar los residuos físicos generados por estos.

b. Proceso chancado y selección: Consiste en reducir los residuos físicos que aún son ricos en cobre, denominados circulante, y enviados a manejo de materiales desde otros procesos internos, así como las rocas en bruto proveídas por pequeños mineros, denominadas gangas, a un tamaño milimétrico.

1.2.2. Unidad fundición



Fuente: Departamento Refino a Fuego 2014, SIGESSO- SGA.

Figura 1-2. Convertidor Teniente, División Ventanas

a. Proceso secado: Procesa la mezcla de concentrado que viene húmeda, alrededor de un 8%, secándola y obteniendo una mezcla seca que bordea un 0,2% de agua y una ley de cobre de 30%.

b. Proceso fusión (Convertidor Teniente): Consiste en procesar la mezcla seca proveniente de Secado. A través de procedimientos térmicos se obtiene un material denominado metal blanco, cuya ley de cobre oscila en 75%, también se obtiene un material denominado escoria, cuya ley de cobre oscila en 8%, además como consecuencia de este tratamiento se generan gases que son necesario tratar.

c. Proceso limpieza de escoria (horno eléctrico): Consiste en la recuperación de la mayor cantidad de cobre existente en la escoria generada en el proceso de fusión, ésta contiene aproximadamente una ley de cobre de 8%, de la cual se logra rescatar un 7,2%. Las salidas de este proceso son dos, metal blanco y escoria de descarte, esta última es un desecho que se almacena en el escorial.

d. Proceso de Conversión (Convertidor Peirce Smith): En esta etapa se continúa aumentando la pureza de los físicos. Se procesa el metal blanco proveniente desde conversión y limpieza de escoria, obteniéndose el cobre blister, cuya ley de cobre bordea entre 98-99%.

1.2.3. Unidad refinación a fuego



Fuente: Departamento Refino a Fuego 2014, SIGESSO- SGA.

Figura 1-3. Hornos de Refino

a. Proceso refinación: En esta etapa se procesan tanto el cobre blister, como otros sólidos generados en los demás procesos, el cual se lleva a cabo al interior de la nave de hornos, en donde se sitúan dos tipos de hornos: Hornos de refino (2 unidades) y hornos basculantes (2 unidades, uno de ellos es usado como horno de retenido). Lo que se realiza es aumentar el grado de pureza del cobre blister, obteniéndose un cobre anódico listo para ser moldeado.

b. Proceso moldeo: Consiste en dar forma a los ánodos de cobre. Consta de ruedas de moldeo que tienen una capacidad de moldear 50 tn por hora aproximadamente, las cuales reciben el cobre anódico proveniente desde refino a fuego, se generan dos tipos de productos: Ánodos corrientes y ánodos hojas madre, los cuales son trasladados al macro proceso de refinación.

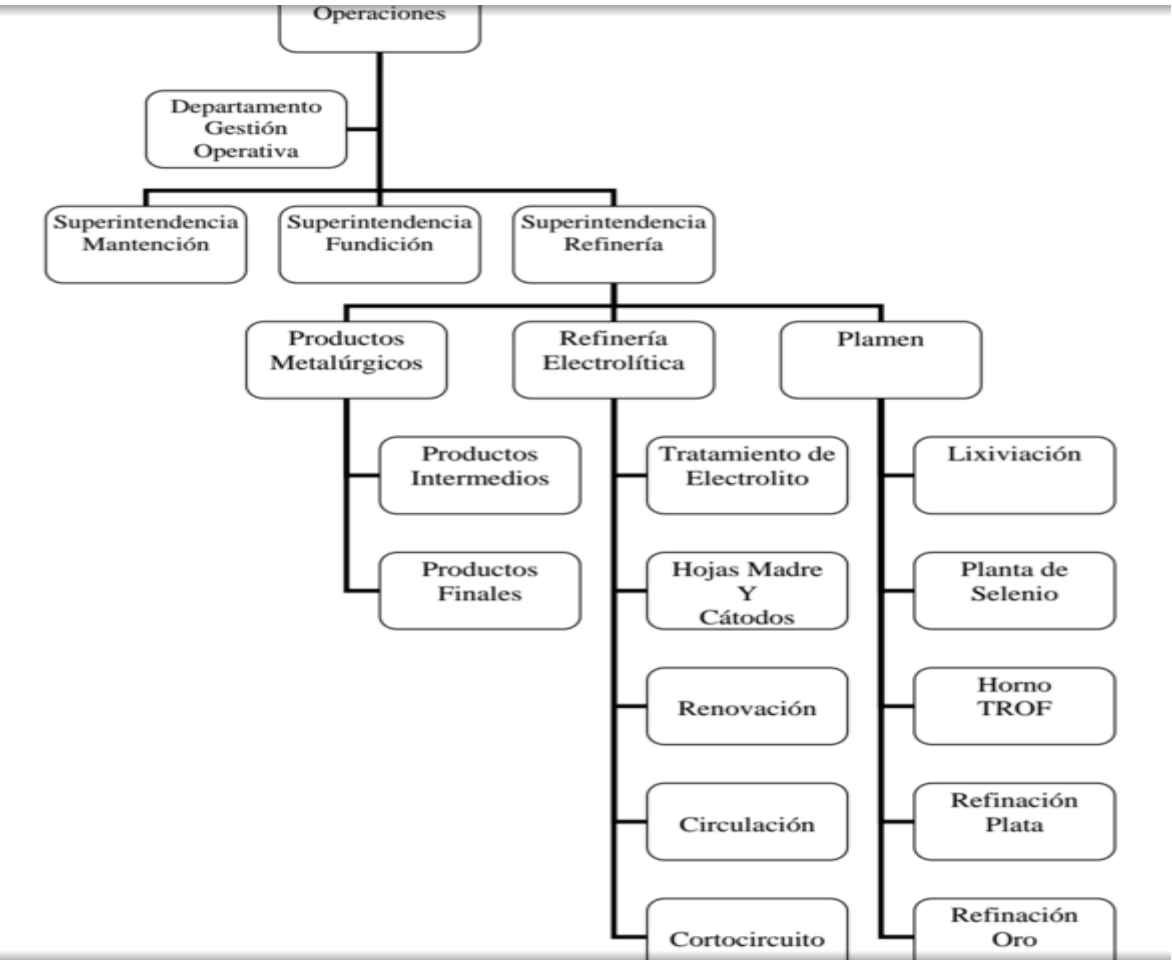
1.2.4. Unidad planta de gases

- a. Proceso limpieza de gases (Planta de Ácido): En esta etapa se tratan los gases emitidos por los procesos de fusión y conversión. De este procesamiento se obtiene ácido sulfúrico, que se provee al macro proceso de refinación.

1.3. **MACRO PROCESO REFINERÍA**

Corresponde al segundo macro proceso vinculado directamente con la línea productiva. Cabe destacar que su unidad productiva Planem (planta de metales nobles) actualmente no está operativa a causa de medidas medio ambientales tomadas desde el 2012. Sin embargo, aún trata el barro anódico proveniente de la nave electrolítica y es comercializado al extranjero.

A continuación, se detalla el organigrama de refinería, donde se ha insertado el antiguo procedimiento de Planem.



Fuente: Fredes- Gutierrez, Control de Gestión 2006

Diagrama 1-2. Organigrama macro proceso refinería

1.3.1. Unidad refinería electrolítica



Fuente: Departamento Refino a Fuego 2014, SIGESSO- SGA.

Figura 1-4. Cosecha cátodos comerciales

- a. **Proceso Obtención Láminas Iniciales:** Las Hojas Madres -con un peso de 282 kgs. y un 99% de pureza- provienen de Fundición, específicamente de Refino a Fuego. Estas hojas madres se mantienen en patio de Productos Intermedios antes de ingresar a las piscinas electrolíticas. En estas piscinas se colocan entre dos Hojas Madres una placa de Titanio que, a través de la electrorefinación, sobre sus dos caras se forma una capa de cobre, las cuales se extraen y prensan en una planta para obtener así los las Láminas Iniciales.
- b. **Proceso obtención cátodos iniciales:** Las láminas iniciales se prensan en la máquina preparadora de cátodos formándose así los cátodos Iniciales que se depositan en las piscinas electrolíticas entre dos ánodos corrientes.
- c. **Proceso obtención de cátodos comerciales:** Los cátodos comerciales se obtienen por la electro- refinación de los cátodos iniciales entre dos ánodos corrientes. Estos tipos de ánodos -con un peso de 270 kgs y 99% de pureza- provienen de refino a fuego y posteriormente pasan a la máquina preparadora de ánodos (MPA). Después de este proceso, las láminas iniciales se siembran en cubas de electro- refinación llamados grupos. Cada grupo está compuesto de 819 láminas, las que se convierten en cátodos comerciales con un peso de 120 kgs y un 99,99% de pureza. Luego se da a lugar la etapa de cosecha, en donde se extraen los cátodos comerciales para ser llevados a productos finales, para su disposición a ser embarcados.
- d. **Proceso planta electrolito:** El electrolito es una sustancia que disocia iones cuando se funde o disuelve, para producir un medio que conduce electricidad. La

solución consiste en ácido sulfúrico y sulfato de cobre principalmente que se prepara en la planta de preparación de lectrolito.

1.3.2. Unidad productos metalúrgicos

a. Productos intermedios: En esta sección se encuentra la máquina preparadora de ánodos (MPA), la cual al corregir defectos de las planchas mejora la calidad física de éstos.

También se almacenan y organizan los distintos insumos que son necesarios para los procesos de refinación y metales nobles. Por otra parte, en el lugar también se efectúan movimientos de maquinaria pesada, tales como tractores y horquillas, los cuales se emplean para la descarga de scrap proveniente de la Renovación y, a su vez, el carguío de ánodos desde la máquina preparadora de ánodos (MPA) hacia la nave electrolítica para su electro refinación.

b. Productos finales: Es el patio de productos finales. Se organizan los pedidos para el embarque o transporte terrestre para la entrega a los clientes.

En este lugar se almacenan tanto los grupos de cátodos comerciales provenientes de la nave Electrolítica, como el scrap Teniente confeccionado para su comercialización.

1.3.3. Unidad planta de metales nobles

a. Proceso de Lixiviación Barro Anódico: Al lixiviar el barro anódico se extrae el cobre que viene entre esta mezcla. La finalidad es sacar el máximo de cobre para aumentar la pureza del barro que pasa a ser descubrizado.

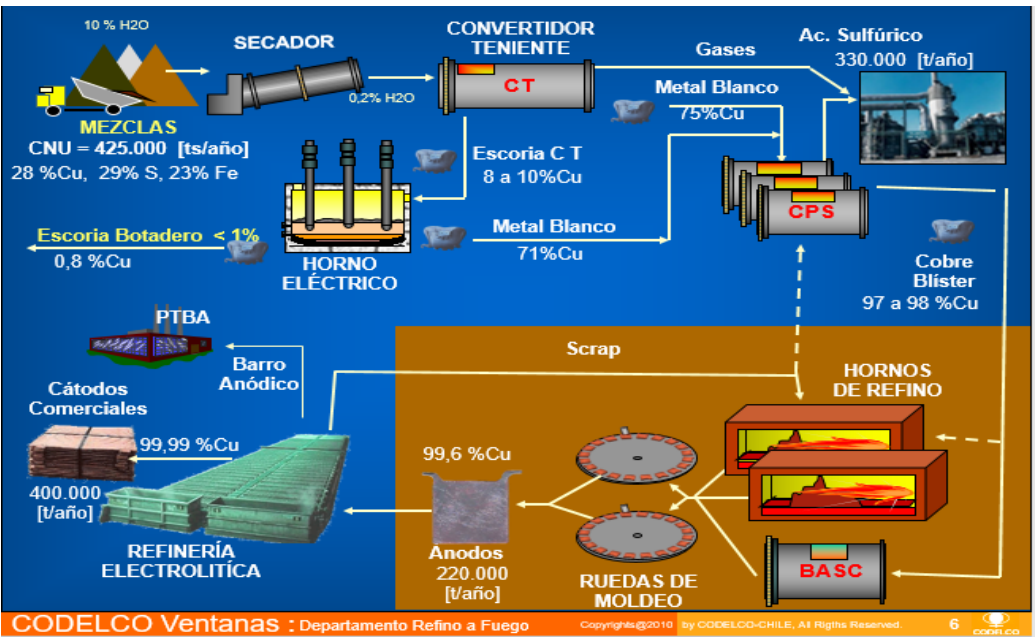
b. Proceso de Deselenización: Al someter al calor el barro anódico descubrizado (BAD) en unos hornos especiales, se extrae el selenio.

c. Proceso Obtención de metal doré: El metal doré se extrae de los moldes provenientes de la planta de selenio. De este producto se extrae la Plata, el Paladio y Platino.

d. Refinería Plata: En este proceso se obtienen las granallas de plata, paladio y Platino, quedando como subproducto el Barro Aurífero.

e. Refinería Oro: Del Barro Aurífero se obtiene los Ánodos de Oro que se refinan y se obtienen las Barras de Oro y adicionalmente más Paladio y Platino.

1.4 **FLWSHEET**



Fuente: SIGESSO- SGA, Departamento Refino a Fuego 2014

Diagrama 1-3. Procesos División Ventanas

En la figura anterior puede apreciarse claramente que el lugar donde se juntan los macro procesos de la División es la nave de hornos, también denominado refino a fuego (RAF).

Lo importante de ésta área es que recibe tanto el producto de la fundición del concentrado de cobre, como los sub productos de la refinación electrolítica (scrap).



Fuente: SIGESSO, Departamento de Refino a Fuego

Diagrama 1-4. Unidades productivas principales División Ventanas

CAPÍTULO 2: PROCESOS PRINCIPALES RAF Y CARGUÍO DEL HORNO

2. PROCESOS PRINCIPALES RAF Y CARGUÍO DEL HORNO

2.1. GENERALIDADES

A continuación, se describirán los principales equipos rodantes que inciden en el desarrollo de este trabajo, los cuales son proporcionados por la empresa contratista Constructora Araucanía LTDA, la cual tiene contrato vigente con División Codelco Ventanas hasta agosto del 2017. Por otro lado, se describirá genéricamente los productos metalúrgicos originados desde el área de Refino a Fuego y de la Refinería electrolítica, vale decir, los restos y ánodos de cobre, los cuales son cargados y descargados en el área de Productos Intermedios mediante el uso de tractores. Finalmente, se mostrará un mapa de tránsito en donde se desarrollará el trabajo de título, basados en los datos otorgados por el Departamento de Refino a Fuego.

2.1.1. Descripción equipos rodante

Equipo Rodante es un área de servicios perteneciente a la División Ventanas, cuya finalidad es administrar los contratos de las empresas que prestan servicio de maquinaria pesada, siendo la empresa Constructora Araucanía su principal integrante.

La empresa, para normar la utilización de dichos equipos de parte de los operadores en el puesto de trabajo, ha dispuesto de una serie de procedimientos que regulan los movimientos de carga y descarga de los equipos dependiendo de las áreas donde éstos se realicen, siendo el principal de ellos el manual operacional de grúas horquillas P-SSOH-02.

Los equipos que forman parte directa del procedimiento de carguío de restos al horno de refino son horquillas y tractores.

De las grúas horquillas se definen dos modelos, ambos de la empresa fabricante Hyster: H- 120 y H- 155. A continuación, se detallan las características más importantes de las grúas horquillas, las cuales son las que realizan los movimientos de transporte y carguío del patio de acopio (Productos Intermedios) a la Nave de Hornos.

MODELOS

MODELO		H120FT
CAPACIDAD DE CARGA (KG)		5443
TIPO DE MOTOR		GM 4.3L V6, Kubota Turbocharged 3,6L/3.8L
TRANSMISION		1 and 2 Speed Electronic Powershifts DuraMatch 1 sp DuraMatch2 2 sp
MAXIMA VELOCIDAD DE RECORRIDO (KM/H)		23
MAXIMA VELOCIDAD DE LEVANTE (M/S)		.57

Fuente: Manual operador, proveedor Hyster

Figura 2-1. Descripción horquilla H 120

MODELO		H155FT
CAPACIDAD DE CARGA (KG)		7030
TIPO DE MOTOR		GM 4.3L V6, Kubota Turbocharged 3,6L/3.8L
TRANSMISION		Two Speed Powershift Electronic DuraMatch Electronic 3 sp
MAXIMA VELOCIDAD DE RECORRIDO (KM/H)		24.1
MAXIMA VELOCIDAD DE LEVANTE (M/S)		.54

Fuente: Manual operador, proveedor Hyster

Figura 2-2. Descripción horquilla H 155

El modelo H 120 realiza el traspaso de restos al patio de acopio al interior de la Nave de Hornos, mientras que el modelo H 155 es el encargado de realizar el carguío de restos a la cargadora Junker. Junto con esta máquina, la acompaña otra horquilla de modelo H 120 que también realiza maniobras de carga al interior de la Nave de Hornos.



Fuente: Área equipo rodante, Constructora Araucanía

Figura 2-3. Imagen tomada en terreno del área de Equipo Rodante

2.1.2. Descripción productos metalúrgicos principales

Un ánodo es un cuerpo de cobre refinado a fuego, fundido y moldeado en forma de plancha que es la materia prima para la refinación electrolítica, según el procedimiento 11 sobre el manejo de ánodos en RAF. Este ánodo tiene un contenido de pureza del 99,7% de cobre y un peso nominal de 270 kg.



Fuente: Prf- 011 del Departamento de Refino a Fuego

Figura 2-4. Ánodo de cobre, producto de la refinación a fuego

Un resto de ánodo, también llamado scrap, corresponde a ánodos provenientes de la Refinería que fueron electro refinados durante 16 días, obteniéndose cosechas de cátodos comerciales cada 8 días durante dicho proceso.

Aún mantiene una pureza en torno al 99,7% de cobre, pero contaminados con el electrolito al interior de las cubas de refinación. Estos restos son más débiles que los ánodos de cobre y su peso se encuentra entre los 30kg- 50kg dependiendo de las variables del proceso de electro refinación a los que fueron sometidos.

Por lo tanto, constituyen un sub producto que en algunas Refinerías (Chuquicamata por ejemplo) no son reprocesados ya que representan un gasto extra

de energía. Sin embargo, en la División Ventanas constituyen la materia prima del carguío del horno de refino.

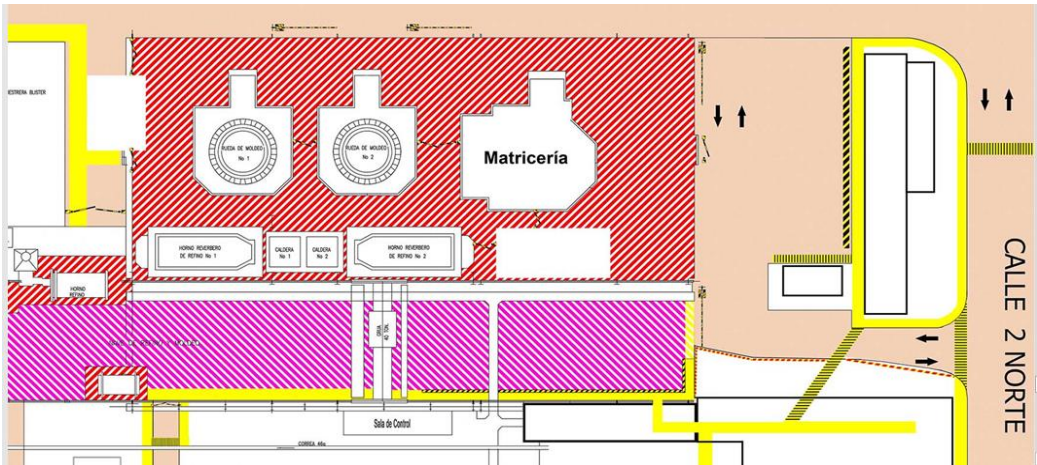


Fuente: Patio acopio de restos, Nave de Hornos

Figura 2-5. Grupo de restos al interior de Nave de Hornos

2.1.3. Espacio físico de trabajo

Como ya se mencionó anteriormente, las áreas de fundición, específicamente refino a fuego, y Refinería, en detalle la refinería electrolítica (nave electrolítica) convergen en productos intermedios, donde se efectúan los movimientos de descarga y traspaso de restos.



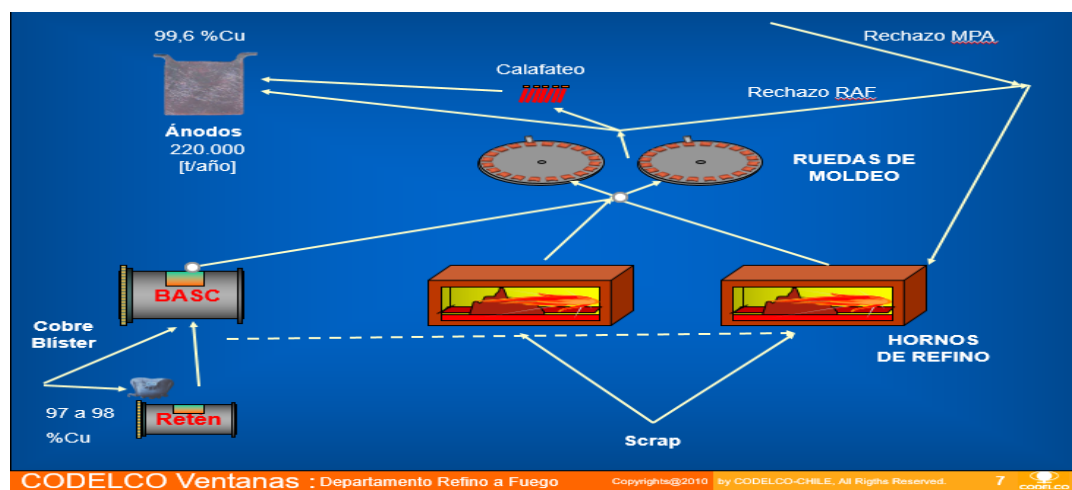
Fuente: SIGESSO 2014, Departamento de Refino a Fuego

Figura 2-6. Mapa de Tránsito Refino a Fuego

2.2. PROCESOS PRINCIPALES RAF

La principal área de refino a fuego es la nave de hornos, lugar donde se desarrollan los tiempos de carga y vaciado de los hornos basculante y refino para su posterior modelado.

Añadido a esto se encuentra la nave del moldeo, la cual es la unidad receptora del cobre anódico. Sin embargo, en este estudio se limitará a la observación de la nave de hornos, ya que es allí donde se producen las principales problemáticas de este estudio.



Fuente: SIGESSO 2014, Departamento de Refino a Fuego

Diagrama 2-1. Proceso refino a fuego

2.2.1. Tratamiento cobre blíster

A continuación, se explicará el procedimiento PRF-006 de la Superintendencia de Fundición, concerniente al tratamiento del cobre blíster.

El tratamiento de blíster de fundición se realiza en una operación en línea. Es decir, el blíster de fundición desde CPS pasa al horno de retención y, una vez lleno con aproximadamente tres cargas (cada carga corresponde a una olla con capacidad aproximada de 25 toneladas de cobre fundido), es escoriado.

La escoria se retorna a fundición. El blíster remanente pasa al horno basculante.

En general, dos cargas de horno retención llenan el horno basculante.

2.2.1.1 Horno de retención

La operación que realiza el operador equipo RAF o el ayudante operador equipo RAF es la siguiente:

Mantiene el Programa N°1: Durante todo el periodo de carga del Horno de Retención.

Aplicación Programa N°2: Una vez lleno el horno, coordinada previamente con Fundición la disponibilidad de olla para el escoriado, se aplica el programa N°2 por aproximadamente un minuto. Posteriormente, aplica el programa N°3

Aplicación Programa N°3: A los 30 segundos de aplicado el programa N°3, gira levemente el horno permitiendo el flujo de escoria por la boca de escoriado. El horno se devuelve a su posición de carga cuando aparezcan vestigios de arrastre de cobre blíster.

Aplicación Programa N°4: En posición de carga, se aplica el programa N°4 durante aproximadamente dos minutos, lo que permite que la escoria nuevamente se distribuya en la superficie del baño. Si es necesario cambiar de olla, se mantiene el programa N°4 durante todo el periodo que se ubica una nueva olla de escoriado.

Una vez instalada la segunda olla, se procede a repetir la secuencia con el programa N°2 y Programa N°3 hasta eliminar la escoria. El Blíster se trasvasa al horno basculante.

2.2.1.2. Horno basculante

La operación que realiza el operador equipo RAF o el ayudante operador equipo RAF es la siguiente:

- a. **Mantiene el Programa N°1:** Durante todo el período de carga del horno basculante.
- b. **Aplicación Programa N°2:** Una vez lleno, coordinada previamente con fundición la disponibilidad de olla para escoriado, se aplica el programa N°2 aproximadamente un (1) minuto. Posteriormente, aplica el programa N°3.
- c. **Aplicación Programa N°3:** A los 30 segundos, aproximadamente, de aplicado el programa N°3, se gira levemente el horno permitiendo el flujo de escoria por la boca de escoreo. El horno se devuelve a su posición de carga cuando aparezcan vestigios de arrastre de cobre blíster y el baño libre de escoria.
- d. **Aplicación Programa N°4:** Posterior al escoreo, se realiza una medición de temperatura y toma de muestra inicial, la cual es registrada e identificada, respectivamente. En posición de reducción, se aplica el programa N°4 durante todo el período de afino (reducción). La reducción durará una hora y media (1,5), al cabo de la cual se toma muestra y temperatura. Esta etapa se realizará de acuerdo al

Procedimiento Horno Basculante (PRF-033). La temperatura mínima de inicio de moldeo es de 1.270 [°C].

2.2.2. Operación Horno Basculante

A continuación, se explicará el procedimiento PRF-033, concerniente a la Operación del Horno Basculante una vez finalizado el moldeo de ánodo y el retiro de escorias desde las sangrías y su posterior habilitación.

2.2.2.1. Carga en horno basculante

En caso que la grúa 3 se encuentre fuera de servicio o inactiva por otras actividades, las tareas las pueden efectuar las grúas 1 y 2 de la fundición con grueros de esa área.

El encargado de equipo hornos coordina con el operador de equipo RAF y el gruero cargador para retirar la tapa de carga del horno basculante.

El operador de equipo RAF activa el programa de carga en el panel de control de tapones porosos.

El gruero cargador coordina con operador de equipo RAF el enganche del columpio y, con éste, enganchar la plataforma móvil del horno basculante retirándola y dejándola en lugar seguro.

El operador de equipo RAF coordina con el encargado CT para que la grúa 1 o 2 ubique una olla de 6 [m³] bajo la piquera de escoriado del horno basculante. Una vez instalada la olla bajo la piquera de escoriado, se instala la plataforma móvil con la grúa 3, para verificar nivel de Horno.

El encargado de hornos decide el agregado de sílice y, en conjunto con el operador de equipo RAF, coordina con el encargado CT para que la grúa 1 o 2 cargue sílice, ¼ de olla de 6 [m³], en el horno basculante.

Una vez cargada la sílice, el encargado de equipos hornos en conjunto con operador equipo RAF procede a coordinar, con el encargado de CT, el traspaso de blíster líquido desde el horno de retención y desde CPS, con la grúa 1 o 2 y olla de 6 [m³]. El horno basculante queda cargado con 9 ollas de 25 [t] aproximadamente, pero el nivel es observado por el operador de equipo RAF.

En el momento que el horno basculante se encuentra cargando, o las ollas se encuentran en movimiento aéreo, toda persona se debe retirar de la línea de fuego. El operador de equipo RAF coordina con el gruero cargador para que con la grúa 3 ubique la tapa de carga en horno basculante.

2.2.2.2. Oxidación en horno basculante

La finalidad de oxidar el horno basculante es eliminar las impurezas por volatilización (gases) y por la formación de escoria que flota sobre el baño líquido, por medio de la aplicación de aire directo en el cobre en el interior del horno.

Antes de oxidar el operador de equipo RAF. Coordina con central térmica para que el flujo de aire sea el adecuado para esta etapa del horno basculante (la presión debe ser superior a 3 [Bar]).

Para realizar esta tarea se debe aplicar los parámetros de combustión descritos en el procedimiento PRF-013, los cuales no son incluidos en este estudio.

2.2.2.3. Escoriado

La oxidación del horno basculante trae como consecuencia la formación de escoria que flota sobre el baño líquido de cobre.

En todo momento el operador debe usar los elementos de protección personal que señala la matriz de EPP del área. El operador de equipo RAF debe observar el interior del horno y verificar el estado de la escoria: debe estar líquida.

El operador de equipo RAF, activa el programa de tapones porosos en el panel de control, que corresponde al proceso de escoriado.

Para retirar la escoria se debe bascular el horno hasta que el cobre fluya por la piqueta de escoriado y se deposite en la olla de 6 [m³] que se ubicó con anterioridad. Antes de bascular el horno se debe tomar en cuenta los dispositivos de seguridad: accionar la alarma y 5 segundos después, se permite bascular el horno. La olla de escoria se debe retirar una vez llena. Para ello el operador de equipo RAF, coordina con gruero cargador el retiro e instalación de la plataforma móvil y el cambio de olla lo coordina con el encargado CT.

Si el operador de equipo RAF observa que hay más escoria en el horno, se debe repetir los dos pasos anteriores, hasta retirar completamente la escoria del horno.

Si el operador de equipo RAF observa que hay ladrillos refractarios o acreciones de cobre que impidan el normal flujo de la escoria a través de la piqueta de escoriado hacia la olla de 6 [m³], debe despejar el pasaje de la piqueta con barretillas o lanzas, colocando énfasis en usar todos los elementos de protección personal indicados en la matriz de EPP del área y ubicando la pantalla parachispa.

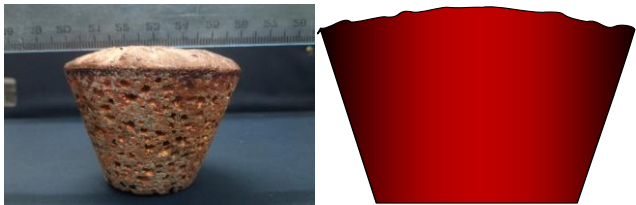
2.2.2.4. Reducción

La reducción del horno basculante consiste básicamente en sacar el oxígeno remanente en el cobre que produjo la etapa de oxidación y dejarlo como promedio bajo 2.000 [ppm]. Se ingresa a través de la tobera una mezcla compuesta principalmente por aire y gas natural o diésel, en una razón establecida para condiciones reductoras según el PRF-013 (cuya descripción no es parte de este

estudio) y se bascula el horno para que la tobera quede sumergida en el baño de cobre. Terminada la etapa de reducción, el operador de equipo RAF o el ayudante de operador equipo RAF, procede a bascular el horno hacia el oriente para sacar la tobera del baño líquido.

El operador equipo RAF o ayudante operador equipo RAF cierra las válvulas de combustible y aire hacia la tobera.

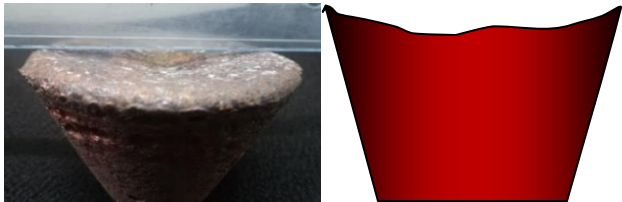
El operador de equipo RAF, toma muestra de afino y temperatura. La temperatura debe estar entre 1.260 a 1.290 [°C], de no alcanzar esta temperatura el operador de equipo RAF debe colocar los parámetros para calentamiento hasta lograr la temperatura deseada. De tener una temperatura demasiado alta el operador de equipo RAF debe apagar el horno y controlar temperatura. Si la muestra sale de forma anormal subida (la muestra tiene superficie convexa como la de la figura), quiere decir que la reducción extrajo demasiado oxígeno, por lo que el Operador de equipo RAF debe volver a oxidar el cobre.



Fuente: Prf 034, Departamento de Refino a Fuego

Figura 2-7. Muestra de cobre con superficie convexa

Si la muestra sale de forma anormal baja (la muestra tiene superficie cóncava, como la de la figura más abajo), quiere decir que aún le falta extraer oxígeno al cobre, por lo que se debe seguir reduciendo el horno.



Fuente: Prf 034, Departamento de Refino a Fuego.

Figura 2-8. Muestra de cobre con superficie concava

Si la muestra sale de forma normal (pareja, la muestra presenta una superficie plana como la de la figura más abajo), la reducción ha terminado.



Fuente: Prf 034, Departamento de Refino a Fuego

Figura 2-9. Muestra de cobre con superficie plana

2.2.3. Operación horno refino

A continuación, se explicará el proceso PRF-034, concerniente a la Operación del Horno Refino en la etapa previa a ser moldeado.

2.2.3.1. Etapas de carga

Básicamente un horno de refino puede ser cargado tanto con sólidos como con líquido, pero considerando siempre que:

La primera carga es sólo sólida. Ésta normalmente está compuesta por scrap (restos de ánodos, subproducto del proceso de electro refinación) y circulantes (ánodos defectuosos, moldes en mal estado, en definitiva, es cobre anódico que se vuelve a refinar).

La segunda carga o posteriores, pueden considerar carga mixta: sólida de igual manera que el punto anterior, pero con menos tonelaje, y el resto se agrega carga líquida, blíster proveniente del horno de Retención o cobre anódico proveniente del horno basculante.

Si la carga es solamente sólida, se debe realizar en 3 o más veces. Esto sucede debido a que la cantidad de cobre total que puede tener dentro el horno (capacidad), cuando está sólida, alcanza una altura que puede dañar los ladrillos refractarios de la bóveda al cargar de una sola vez. Por lo tanto, es necesario cargar cuidando la altura que alcanzan los sólidos, luego fundir para hacer espacio, y continuar con la carga sólida.

Si la carga es mixta normalmente se realiza en 2 eventos (aunque no es una regla), lo que se hace de la siguiente manera: se carga sólido y se funde. Luego, el encargado de hornos calcula lo que resta para completar la carga y se lo comunica al jefe de turno de refino a fuego para que realice las coordinaciones con los grueros de la Fundición, quienes con la Grúa 1 o 2, harán el transporte y vaciado del líquido desde las ollas de 6 [m³]. El encargado de hornos coordina con el operador de equipo RAF para proceder a verter cobre desde el horno de retención y/o el horno basculante a una olla de 6 [m³].

Al ser iniciado el proceso de carga sólida, esta se llevará a cabo hasta no rebalsar la capacidad de carga del horno, esto es, que no tope con el techo del mismo.

Luego que la carga sólida se funda, reducirá su volumen, por lo que se procede a cargar nuevamente el horno.

Una vez que el encargado de hornos verifique la altura de líquido en el interior del horno, estimará la cantidad de ollas de cobre líquido necesario para llegar al nivel de escoriado.

El encargado de hornos solicitará al gruero cargador ubicar la canal de trasvase en la puerta del horno que él estime conveniente. Esta postura se hará con la ayuda del operador de equipo hornos y/o ayudante de operador equipo RAF.

El encargado de hornos solicitará al jefe de turno refino a fuego que coordine la ubicación de una olla de 6 [m³] bajo la piquera de escoriado del basculante o del horno de retención para proceder al vaciado de cobre. Una vez llena esta olla, el jefe de turno de refino a fuego coordinará para que ésta sea trasladada hacia la canal de trasvase y el cobre sea vertido dentro del horno.

Toda esta etapa será repetida, alternando la puerta de carga si procede, cuantas veces sea necesario para lograr el nivel de procesamiento del horno.

2.2.3.2. Etapas de fusión

Esta etapa se realiza en forma alternada con la etapa de carga, de esta forma se puede decir que al terminar cada carga sólida se debe fundir. Esto se realiza una vez que el gruero cargador cierra la puerta de carga e informa al fogonero para que este último digite los parámetros de control de fusión que se encuentran en el procedimiento de Uso de Combustibles en RAF, PRF-013 (no incluidos en este estudio)

Para que esta etapa sea más eficiente, se puede suministrar oxígeno, con un enriquecimiento del aire de combustión de 24% como máximo.

Esta etapa finalizará una vez que el encargado de hornos verifique que el material dentro del horno muestre una superficie completamente líquida.

2.2.3.3. Etapas de calentamiento homogenización

Esta etapa tiene por objetivo el calentamiento y la homogenización de la temperatura del líquido en el interior del horno.

Una vez fundida la carga en el interior del horno, se debe tomar temperatura al baño de cobre líquido, que ejecuta el operador de equipo hornos, mediante una termocupla, que consiste básicamente en una lanza conectada a un equipo de indicación de temperatura con pantalla digital. A esta lanza se le ajusta un tubo de cartón prensado (que la protege) en cuya punta se encuentra la termocupla (sensor). La lanza con el cobre líquido, obteniendo la temperatura en el indicador digital.

Si la temperatura se encuentra en rangos de 1.170 [°C] a 1.180 [°C], se debe introducir un tronco de eucalipto para realizar la homogenización con el teclé instalado para esta acción (si la temperatura no alcanza los rangos mencionados se debe seguir calentando el cobre en el interior del horno. Si no es posible alcanzar esta temperatura es muy probable que la escoria refractaria impida el calentamiento, por

lo que se debe homogenizar con un tronco y pasar a la etapa de escoriado). Esta etapa tiene una duración de entre 15 y 20 minutos (un tronco).

Luego de finalizada la etapa se procederá a tomar una muestra de cobre y temperatura la tarea de sacar la muestra de cobre, la realiza el operador de equipo RAF, con una herramienta llamada cucharón.

Esta herramienta es un tubo de $\frac{3}{4}$ [pulg] que en uno de sus extremos tiene soldada una semiesfera de fierro, con una cavidad semejante a los cucharones de cocina, que es introducida por la puerta poling y sumergida en el baño de cobre líquido, desde donde se extrae un poco de éste y se vacía en un molde de forma de tronco de cono.

Una vez vaciado el cobre en el molde se espera unos minutos mientras el cobre solidifica y se enfría con agua, y así se obtiene la muestra para definir el afinado del cobre.

Si la muestra se observa anormal subida (la muestra tiene superficie convexa) como la de la figura, significa que el cobre tiene exceso de azufre por lo que se debe oxidar.



Fuente: Prf 034, Departamento de Refino a Fuego.

Figura 2-10. Muestra de cobre convexa

2.2.3.4. Etapas de oxidación

Esta etapa se realiza únicamente cuando la muestra sacada en la etapa de calentamiento y homogenización se observa con exceso de azufre por la forma ampollada de ésta, en algunos casos reventada y con una especie de gusano, debido a que el azufre busca el oxígeno en el ambiente.

Para oxidar se debe introducir unos tubos con aire comprimido por mirillas, ubicadas en las paredes oriente y poniente del horno. Esta oxidación provoca la eliminación de azufre por volatilización (gases) y estabiliza la razón oxígeno y azufre en el baño de cobre, también forma escorias que deben ser retiradas del baño. La escoria "flota" en el baño por tener menos densidad que el cobre.

2.2.3.5. Etapas de escoriado

Todas las etapas anteriores del horno, y en especial la carga líquida que arrastra escoria desde el horno basculante, trae como consecuencia la formación de escoria que flota sobre el baño líquido de cobre.

Adicionalmente, los hornos sufren una frecuente caída de ladrillos refractarios al interior del horno, por lo que, tanto la escoria como los ladrillos refractarios deben ser retirados del interior del horno, ya que ambos materiales actúan como una capa refractaria que impide el calentamiento del cobre.

Esto trae como consecuencia la necesidad de un mayor aporte de energía para lograr las temperaturas del proceso que, a su vez, somete a la bóveda a altas temperaturas y la expone a un mayor choque térmico cuando se pasa a otras etapas del procesamiento.

Finalmente, esto se traduce en desgaste acelerado (pérdida de aislación térmica) y caída de colleras (ladrillo refractario).

El no retiro de la escoria y/o ladrillos desde el interior del horno va mermando el volumen útil, su vida útil y en consecuencia la productividad del equipo.

El operador de equipo hornos debe observar el interior del horno y verificar el estado de la escoria, la cual debe estar líquida.

El escoreo se realiza a través de la puerta poling. Los encargados del proceso se sitúan en la boca del horno y, mediante barretillas, van extrayendo la escoria desde el interior del horno hacia una olla de 1m³.

2.2.3.6. Etapas de reducción

La reducción del horno de refino consiste básicamente en extraer del cobre el oxígeno remanente que produjo las etapas anteriores, o que provenía de los materiales cargados, y dejarlo como promedio bajo 2.000 [ppm].

El operador de equipo hornos o el ayudante de operador de equipo RAF tomarán una muestra cobre con la semiesfera, lo verterá en el recipiente con forma de tronco de cono y se lo llevará al encargado de hornos, quien determinará el número de troncos de eucalipto (que se introducirán uno a la vez)

Una vez introducido el número estimado de troncos se volverá a tomar muestra y temperatura como se describió en el punto del "Calentamiento Homogenización".

Si la muestra sale de forma anormal baja (la muestra tiene superficie cóncava), quiere decir que aún le falta extraer oxígeno al cobre, por lo que se debe seguir reduciendo el horno, según los párrafos anteriores.

Si la muestra sale de forma normal (pareja, la muestra presenta una superficie plana), y la temperatura está bajo 1.180 [°C], se procederá a la etapa de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de moldeo.

Si la muestra señala un buen cobre afinado y la temperatura es mayor o igual a 1.180 [°C] se pasará a la etapa de moldeo.

2.3. PROCEDIMIENTO DE CARGUÍO ACTUAL HORNO DE REFINO

2.3.1. Carga líquida horno de fundición

Como ya se consideró previamente, la carga líquida del horno dependerá de la disponibilidad de cobre blíster proveniente de las etapas de Fundición.

Preferentemente no se debiera cargar al horno de refino, puesto que existen diferencias grandes de temperatura provenientes de la carga líquida (sobre los 1250° C) y la temperatura al interior del horno (alrededor de 1150° C), lo que conlleva en el gasto excesivo de los ladrillos refractarios al interior de este y que, en ocasiones puntuales, puede llegar a romper el tapón de seguridad instalado en la puerta poling.

La rotura del tapón de seguridad permite que el cobre líquido al interior del horno escape por dicha abertura, provocando que el material se pierda al contaminarse con el suelo y, además, ocasionando zonas de riesgo por el material fundido.

Los encargados deben sellar manualmente la rotura, usando barro refractario y conchuela, lo cual disminuye la temperatura del cobre líquida y lo solidifica.

No obstante, el procedimiento de carga líquida se lleva a cabo para suplir la necesidad del área de fundición por trasvasiar el exceso de líquido almacenado en los convertidores. Además, acelera el tiempo de fusión del horno, reduciendo los tiempos de carga y apurando la etapa posterior de moldeo.

El vaciado de la carga líquida (previa coordinación entre las áreas de fundición y nave de hornos) se inicia desde el horno de retenido, obteniéndose alrededor de 4 ollas con capacidad de 25 tn.

Previamente, el encargado del área de la nave de hornos coordina junto con el operador de grúa horquilla el retiro de una de las dos puertas del horno, dependiendo el lado vacío al interior de este en donde será introducida la carga. Luego, el operador de la grúa 3 alza, mediante cadenas de acero, la canaleta de vaciado, la cual es una estructura metálica recubierta con cemento refractante, y la deposita frente al lado del horno de donde fue retirada la puerta anteriormente.

Una vez realizado dicho procedimiento, se procede a vaciar en la canaleta las ollas provenientes del Horno de Retenido (una a la vez), como se muestra a continuación.

El procedimiento total de vaciado de las 4 ollas dura aproximadamente 1 hora, luego de la cual se continúa con la etapa de fusión. Cabe añadir que el carguío con cobre líquido es posterior a la carga sólida, siendo esta última la forma de carguío usado en todos los casos y, en varias ocasiones, constituye la totalidad del cargamento al horno de refino.

2.3.2. Carga sólida horno de fundición

La carga sólida se emplea, preferentemente, usando el scrap proveniente de la nave electrolítica. En un turno normal de trabajo, se traspasan alrededor de 6

grupos de scrap y 2 grupos de hojas madres, los cuales son almacenados en el patio de acopio de restos (también llamado scrap). Cada grupo es almacenado en el patio en dos filas larga, siendo la capacidad total del patio de acopio de 4 grupos.

Lo anterior obliga a un continuo movimiento de material desde el patio de acopio hacia el interior de la nave de hornos, lo que ocasiona demora en los tiempos de carga y desorden provocado por las unidades de restos en mal estado que se caen en el trayecto.

El interior de la nave de hornos se divide en dos sectores: Sector norte de acopio y sector sur de acopio.

Cada horno de refino se sitúa al frente de estos dos sectores, siendo el procedimiento usual operar con solo un horno, mientras que al otro se le realizan tareas de mantención.

La capacidad de la nave de hornos para almacenar grupos de restos previamente al carguío de éstos al horno, dependerá de la calidad de estos, la disponibilidad de espacio y la experticia del operador de la grúa horquilla que los transporta.

Se ha estimado una capacidad entre 6- 8 grupos de restos distribuidos en los dos sectores de la nave, mediante la inspección en terreno de lo anteriormente referido.

Una vez coordinado el término del moldeo y concluidos los trabajos de preparación del horno, se prosigue al carguío.

El operador de grúa horquilla se dirige con el equipo a la entrada del horno para el retiro de una de las dos puertas (lado norte o lado sur). La dimensión de la puerta se ha calculado como un rectángulo de 1,6 metros de ancho por 1,8 metros de alto, por lo que la entrada del horno son 1,2 metros de ancho por 1,6 metros de alto.

Luego, procede a instalar la mesa de carga, lo que corresponde a una plataforma rectangular que en su parte superior se sitúan dos plataformas más pequeñas, una a cada extremo, en donde se deposita la carga de restos.

El equipo cargador que realiza el traspaso desde la mesa de carga al interior del horno se denomina Junker, el cual es un equipo electro hidráulico con un brazo rotor provisto de un par de paletas, las cuales toman la carga de restos y lo voltean al interior del horno. El operador de grúa horquilla se posiciona al frente del grupo de restos a cargar. Con las paletas al borde del piso avanza hacia la frente del grupo, ocasionando que los restos caigan apilados uno sobre otro, formando un paquete con aproximadamente 20 unidades.

Luego se dirige a la mesa de carga, posicionando el paquete de restos sobre la plataforma para que la Junker tome la carga y la volteee al interior del horno.

Los tiempos de carga, capacidades del horno y rendimientos de los equipos en función de la carga se tratarán en el siguiente capítulo.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 2-11. Grúa horquilla sacando la puerta del horno previo a la carga

2.3.2.1. Traspaso de restos

A continuación, se describirá la operación de traspaso de restos desde el patio de acopio hacia la Nave de Hornos, basado en el procedimiento PS-OH-008 sobre el traspaso de restos confeccionado por la Gerencia de Seguridad de Constructora Araucanía LTDA.

El patio de acopio de restos es una zona emplazada dentro de la unidad de productos intermedios, en donde se realizan los movimientos de traspaso tanto de ánodos hacia la Nave electrolítica como de restos hacia la Nave de Hornos, constituyéndose como un punto donde convergen múltiples operaciones de izaje, descarga y tránsito de maquinarias.

Debido a su escasa capacidad de almacenamiento (máximo 6 grupos de restos), el área se ve acotada debido tanto a la descarga de los grupos de restos provenientes de la nave electrolítica, como al estacionamiento de carros cargados con los mismos, como muestra la siguiente figura.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 2-12. Patio de acopio, Productos Intermedios

El traspaso de restos se realiza dependiendo de los requerimientos de la Nave de Hornos, por lo que está sujeta a la coordinación previa entre los jefes de turno y el capataz de la empresa Araucanía.

Cada grupo de restos cuenta con 819 unidades. De las variables asociadas al proceso se tratará extensamente en el siguiente capítulo.

2.3.3. Aspectos operacionales

Los principales problemas en cuanto al traslado de restos tienen que ver con la calidad de éstos mismos al salir de la Refinería (1), la experticia del operador de grúa horquilla (2), las condiciones del terreno (3) y la cantidad de veces que son trasladados de un sector a otro (4). De éstos factores se detalla a continuación:

1. De la calidad de los restos: Por calidad se entiende a la no estandarización de los restos y a la presencia de barro anódico. Los ánodos, previo a su traslado a la Refinería, son limados y seleccionados en una unidad denominada MPA (Máquina procesadora de ánodos), la cual, mediante un patrón previamente establecido, compara los ánodos de cobre y los separa. Los ánodos que han sido aprobados, una vez refinados, vuelven a Productos Intermedios con solo una parte de su masa inicial, ya que la demás forman los cátodos comerciales. Éstos restos, muchas veces vuelven cortados, irregulares y blandos. Existen distintas formas de restos, las cuales están relacionadas con el peso.

A mayor masa del resto, mejor forma y más estable será su comportamiento al momento de ser trasladado. Sin embargo, es usual que estos restos, al ser dispuestos en fila, no logren permanecer verticales y tiendan a doblarse al ser sometidos a los esfuerzos de compresión y tracción por parte de la grúa, lo que dificulta su traslado ya que en muchas ocasiones se caen de la carga llevada por la horquilla, entorpeciendo las demás operaciones y dificultando la disposición para ser cargados.

El otro factor corresponde a la presencia de barro anódico. Por procedimiento, los restos deben ser limpiados con mangueras que suministran agua a alta presión, pero por razones de tiempo o fallas en la suministración de insumos, es frecuente la poca limpieza de los restos lo que incide negativamente en la manipulación de éstos por la horquilla, ya que tienden a resbalar de las uñas. Añadido a esto, al no estar el área protegida de la lluvia, la acumulación de agua también incide negativamente en el carguío de éstos, como se verá más adelante.

2. De la experticia del operador: Si bien todos los operadores de grúa están capacitados, calificados y autorizados para operar el equipo, el tiempo que toma el habituarse al trabajo en sí depende de las habilidades de cada operador, así como también las posibles fallas o problemas que puedan presentarse en el trabajo diario

están asociadas a las condiciones físicas y psicológicas del operador, haciendo imposible una estandarización del procedimiento. Por lo que el orden de los restos al formar el apilamiento en filas, como también la recolección de los aquellos que se caen en el traslado son responsabilidad del operador, el cual no siempre cuenta con las condiciones óptimas para desarrollar el trabajo, las que tienen que ver con el estado del terreno y de los restos mismos.

3. De las condiciones del terreno: Al estar las zonas de tránsito debidamente señalizadas para la operación de maquinaria pesada, el asfalto del terreno sufre fatiga producida por el peso y las inclemencias del clima. Lo anterior, al ser una única vía de alto tránsito, ocasiona baches y grietas en la superficie del terreno las cuales son difíciles de reparar debido al ritmo de la producción.

No es posible desviar el tránsito de las máquinas para evitar los baches o para su debida reparación, aunque si son rellenados de vez en cuando con cemento de alta resistencia, pero que no entrega una solución definitiva. Lo anterior ocasiona que la grúa horquilla sufra golpes en su estructura al pasar a velocidad constante por sobre un bache, lo que merma su vida útil y perjudica la salud del operador y, además, ocasiona que se desordene la carga que está siendo trasladada.

4. De las veces que la carga es trasladada: Como ya se describió en el capítulo anterior, los restos son cargados y descargados agrupados en grupos, los cuales con ordenados en el patio de productos intermedios en dos filas largas. En ocasiones, debido a la saturación de grupos en el patio de productos intermedios y el lleno total al interior de la nave de hornos, son trasladados a corrales. Luego, desde corrales son trasladados al patio de moldeo, a la espera de su ingreso a la nave de hornos. Dicho movimiento se ejecuta durante el turno de día, para tener carga disponible ya que, durante la noche, no se puede realizar traslados desde corrales debido a la nula iluminación. Esto mismo ocasiona que, en varias ocasiones, el carguío de restos se haya visto detenido debido a la falta de carga y a la descoordinación entre los encargados de los turnos salientes y entrantes. La cantidad de veces en que un grupo de restos es trasladado en diferentes momentos de la faena y por distintos operadores, incide negativamente en el orden necesario para su correcta disposición en el carguío al horno de fundición.

Por otro lado, la nave de hornos, unidad perteneciente al área de refino a fuego, es el otro destino a donde llegan los restos para el posterior carguío al horno. Estos no son inmediatamente cargados, sino que son puestos a disposición del encargado de área de la nave de hornos (también llamado encargado de RAF).

Los principales problemas en el carguío de restos tienen que ver con los factores anteriormente nombrados en el traslado y, además, con la técnica empleada en la confección del paquete a cargar (5), del rendimiento de la junker (6), de la experticia del operador (7) y otros aspectos operacionales que detienen el proceso (8).

5. Técnica actual en la confección del paquete de carga: El carguío del sólido se hace mediante la confección de un paquete, el cual se compone del apilamiento de unidades de restos, como ya se describió anteriormente. El problema radica principalmente en el poco aprovechamiento de la capacidad de carga de la grúa, ya que un paquete estándar no pesa más de 1 tonelada y la capacidad de levante (carga) de la grúa es de 5 toneladas aprox.

Además, por ser una carga inestable por los factores ya descritos en la etapa de traslado, es frecuente los deslizamientos de láminas, lo que entorpece el traslado del equipo y la poca automatización del proceso, ya que depende de la coordinación de los distintos operadores involucrados.

6. Del rendimiento de la Junker: A pesar que se tratará en más detalle en el próximo capítulo, la Junker presenta un rendimiento bajo al comparar su capacidad de carga vs la carga efectiva que realiza. Sumado a esto, es un equipo demasiado pesado que ocasiona cortes de ejes y roturas de diferencial los que representan una pérdida millonaria en términos de repuestos y mantenimiento.

Además de ser un equipo obsoleto y ya depreciado en relación a su vida útil. Sin embargo, otro aspecto a resaltar tiene que ver con la seguridad y salud ocupacional, ya que, por las características del equipo, expone peligrosamente al operador a la entrada del horno.

7. De la experticia del operador: Al igual que en la etapa de traspaso, el óptimo desarrollo de la carga depende de muchos factores que involucran el error humano y que no son fácilmente adaptables. De allí la importancia de automatizar, ya que de esa forma se evitan tiempos muertos o disconformidades asociadas al mal manejo del operador involucrado.

8. Otros aspectos operacionales que detienen el proceso: Por la misma naturaleza de carga, el equipo Junker trabaja muy cerca de los hornos basculantes y de retención, lo que ocasiona repetidas veces que se detenga el proceso de carga debido al trasvasije de ollas o movimientos de puertas de carga por parte de las grúas de levante.

Además, en las ocasiones en que se producen fallas debido a las roturas de eje y diferencial, el equipo queda detenido, la mayor parte del tiempo, cuando está introduciendo la carga en el horno, lo que provoca una situación crítica que expone la vida del trabajador y el equipo, ya que, si bien no existe un procedimiento que regule los pasos a seguir en tal situación, es el operador de horquilla quien levanta la Junker para sacarla del horno, lo que toma alrededor de 30 min, para luego ser reparada, lo que puede tardar 1 hora más.

CAPÍTULO 3: HALLAZGOS Y MEDICIONES

3. HALLAZGOS Y MEDICIONES

3.1. MARCO TEÓRICO

Se ha querido establecer en el capítulo tres un acotado Marco Teórico con la finalidad de profundizar más en las problemáticas asociadas al Trabajo de Título y así determinar variables, cambiando de esta forma la tendencia de los capítulos anteriores donde se limitaba a realizar descripciones de los macro procesos y explicar los procedimientos asociados al carguío de restos.

La finalidad de este capítulo es establecer los puntos críticos donde es necesario realizar la mejora, por lo que se establecerán necesidades desde el punto de vista técnico, en la determinación del rendimiento toneladas/hora del equipo cargador, la capacidad del horno de fundición, de seguridad y salud ocupacional, los cuales no incluirán accidentes con/sin tiempo perdido, sino que un sondeo de percepción al personal (operadores maquinaria pesada) y a los expertos en prevención, y finalmente el testimonio de los jefes y capataces que son parte del proceso de carguío.

3.1.1. De la problemática

Al hablar de las problemáticas asociadas al carguío actual de restos al horno de fundición, se deben definir dos aspectos importantes, los cuales están relacionados entre sí, pero en esferas distintas. Se refiere a los antecedentes externos y antecedentes internos.

Se definirá por antecedentes externos a aquellos aspectos económicos, tecnológicos y políticos que no se originan al interior de la División, sino, más bien, en un plano nacional e internacional. Mientras que los antecedentes internos se limitarán a los aspectos operacionales que inciden en la seguridad ocupacional y en la tecnología asociada al proceso.

No obstante, también existe un aspecto más bien social y que cada cierto tiempo origina problemas al interior de la División. Se refiere a las luchas sindicales por parte de los trabajadores contratistas y que durante el 2015 generaron problemas en el acopio y traslado de restos de ánodos, incidiendo negativamente en su calidad y manejo, afectando la producción y el orden al interior de la División.

3.1.1.1. Antecedentes externos

Durante el 2015 se vivió una depreciación abrupta del valor libra del cobre, lo que lo situó en mínimos históricos desde el 2009, llegando a situarse en valores por debajo de los USD 2,1 la libra. Lo anterior generado por la desaceleración económica China, la cual cayó desde un 10% de crecimiento anual hasta el actual

6,5% proyectado para el 2016, siendo este su crecimiento económico más lento en 25 años.

Al ser China el mayor consumidor de cobre a nivel mundial, con el 44% de la producción, es el cliente preferente de Chile para sus exportaciones de cobre, por lo que se generó una sobre producción de del metal rojo, lo cual, sumado a la tendencia alcista por parte del dólar estadounidense, ocasionó despidos masivos y cierres de faenas mineras al no poder solventar las pérdidas en las proyecciones económicas y un devalúo en el capital privado.

Producto de lo anterior, y previendo esta crisis en las exportaciones de cobre, el Presidente Ejecutivo de la cuprífera estatal, Nelson Pizarro hizo un fuerte llamado a reducir los costos de producción y recorte en los presupuestos para los años 2015 y 2016. Lo anterior se tradujo en un ahorro de casi USD 1500 millones para el 2015 y se espera igualar la cifra para el presente 2016. No obstante, se generaron pérdidas en los excedentes de Codelco los cuales representan el aporte al Fisco y que influyeron negativamente en la economía nacional la que, sumado a la incertidumbre generada por las reformas impulsadas por el Ejecutivo y que han mantenido a los inversionistas lejos de Chile, ocasionaron la desaceleración de la economía para el 2015, situándose en torno al 2,6%.

Para finales del 2015, el Ipom del Banco Central de Chile proyectaba un crecimiento en torno al 2,5% para la economía nacional, proyectando el valor libra de cobre cercano a USD 2,5 para los próximos 10 años. Lo anterior debido a que China, principal consumidor de cobre, no crecería a un ritmo que justifique el aumento en la producción de cobre a causa del envejecimiento de su población y a este período de estancamiento económico. Sin embargo, en lo que respecta a la economía chilena, su crecimiento está proyectado actualmente por debajo del 2% anual para este 2016.

En el contexto de las exportaciones, la industria cayó casi en un 50% producto de la crisis del cobre, por lo que la OCDE, en su informe para el 2015, recomendaba para Chile la automatización de los procesos y reducción de los costos de producción de cobre, invirtiendo en tecnología e investigación. Según el informe, Chile debía pasar del cobre a la neurona, aludiendo a la escasa o nula inversión en tecnología e investigación, lo que haría que el país no dependiera en su mayoría de la exportación del metal rojo.

La necesidad de reducir los costos de producción, optimizar y automatizar los procesos minero- metalúrgicos ha sido la tónica en estos años por parte de Codelco para todas sus Divisiones y que ha generado la problemática externa que ha dado origen a este Trabajo de Título.

Basado en los estudios bibliográficos, principalmente llevados a cabo en Chuquicamata, se estableció que la fundición del scrap producido de la refinación electrolítica para la obtención de ánodos de cobre es un proceso no rentable para la División, ya que en sí es un reproceso que genera un gasto excesivo de insumos. De hecho, desde el 2010 que la Refinería de Chuquicamata opera sin el Horno Vertical que procesaba dichos restos de cobre, los cuales son comercializados al extranjero

como materia prima, dedicándose sólo a la fundición de concentrados provenientes de las faenas mineras.

Por lo que, en primera instancia, podría reproducirse el modelo en Codelco Ventanas. Sin embargo, el mismo contexto económico hacen inviable la propuesta, ya que se requeriría una fuerte inversión de capital para modernizar los procesos de fundición. A pesar de eso, los restos producidos de los ánodos de cobre provenientes de El Teniente son embarcados para ser comercializados en el extranjero.

3.1.1.2. Antecedentes internos

Todo el proceso al interior de la División se diseñó el año en que entró en funcionamiento (1964) y ha sufrido pocas modificaciones o cambios a lo largo de su historia. Lo anterior no quiere decir que no se hayan introducido mejoras importantes, sino que el proceso de fundición y refinación a fuego principalmente no han sido modernizados. Recientemente se ha ejecutado el proyecto medio ambiental más grande en la historia de la División, el que tiene por finalidad aumentar la captación de gases producidos de la fundición. Sin embargo, en el área donde se realizará el estudio no se han introducido mejoras para lidiar con los problemas asociados al carguío de restos.

De los antecedentes internos, se puede identificar como aspectos operacionales a aquellas fallas o problemas que surgen de la operación diaria y regularizada mediante los procedimientos y la poca modernización de los equipos, y, a su vez, ocasiona tiempos muertos, atraso en la producción y riesgo para la salud de los trabajadores.

Al interior de la División, el área encargada de recibir los productos metalúrgicos, ya sean éstos restos de cobre desde la Refinería electrolítica o ánodos de cobre desde Refino a fuego, es Productos Intermedios.

El encargado de dicha área gestiona el traslado de dichos productos, lo cual involucra movimientos de carros mediante el uso de tractores y movimiento de restos mediante grúa horquilla. Los principales lugares de acopio de restos al ser trasladados desde Productos Intermedios son la zona de corrales (un terreno eriazo sin compactar ni techar, ubicado a unos 700 metros desde el área en dirección noreste) y el interior de la Nave de Hornos.

Se ha detectado, mediante la observación en terreno y el testimonio de expertos (jefes de turno y capataces) que los principales problemas están en la disposición de los restos a ser cargados al horno. Por disposición, se refiere al orden necesario para ser trasladados y cargados mediante el procedimiento actual, la cantidad de carga solicitada y la facilidad con que éstos ingresen por la puerta de carga. Por lo tanto, durante la investigación se buscará establecer los puntos críticos en el proceso actual que involucren los problemas nombrados y plantear sus variables.

Los problemas anteriormente señalados, tanto para el traslado como el carguío de restos, corresponde a factores operacionales que están relacionados principalmente con el operador de los equipos y el procedimiento en sí, los cuales

serán tratados más extensamente en el punto que tratará sobre los aspectos operacionales.

3.1.2. Alcance del estudio

Se han contemplado estudios descriptivos, exploratorios y explicativos. En los primeros capítulos se ha descrito procesos y equipos, mientras que en el tercer capítulo se realizarán mediciones al carguío en función de toneladas/ hora, el traslado de carga en función del tiempo y análisis a los puntos críticos encontrados, los que involucran los tres estudios mencionados anteriormente.

El estudio se ha confeccionado durante noviembre del 2015 hasta abril del 2016, donde se recopiló toda la información y documentación necesaria para su elaboración, incluyéndose estudios de referencia de años anteriores.

3.1.3. Del cómo surge la idea

Una vez determinada la problemática, la idea o el planteamiento de la mejora surge a partir de la experiencia de uno de los autores, José Benites, quien, al momento de confeccionar este estudio, se desenvuelve como operador de maquinaria pesada para la empresa Constructora Araucanía LTDA. al interior de la División Codelco Ventanas desde el año 2012. Dentro de la operación diaria en todas las áreas descritas anteriormente en este trabajo de título, resaltan dos fundamentales, las que son el eje principal de la División: RAF Y refinería electrolítica. De éstas dos, la que presenta mayores problemas ya sea por su continuidad operativa como por los problemas asociados al proceso es la RAF. El autor posee conocimiento directo de las problemáticas al interior del área y ha participado activamente en el traslado de restos y carguío de éstos al horno de fundición, por lo que el planteamiento de la problemática y la idea de mejora nacen de la operación que realiza junto con la experiencia y trabajo de todos los operadores, jefes, capataces y prevencionistas involucrados que ayudaron en la confección y de este estudio.

Como ya se vio anteriormente, han sido varias propuestas que podrían usarse para mejorar el carguío y que están vinculados a estudios descritos en el Marco teórico. En el capítulo 4 se describirán más en detalle junto con aquellos que han surgido durante la investigación, para plantear la mejora que reúna las características necesarias y que están asociadas a satisfacer los puntos críticos hallados.

3.1.4. Hipótesis

Al recopilar los factores descritos en la problemática y las mejores asociadas a la idea, se busca satisfacer los puntos críticos en el carguío de restos los que serán establecidos durante el estudio. Sin embargo, la idea de mejorar, en primera instancia, el carguío de restos, apunta a eliminar los problemas asociados al

almacenamiento de éstos al interior de la nave de hornos, de automatizar el proceso y aumentar la velocidad de carga, eliminando equipos que ya están obsoletos y que generan tiempos muertos debido al agotamiento de su vida útil y estandarizando la cantidad de carga que entra por unidad de tiempo. De esta forma se espera lograr ahorro en las mantenciones, en el gasto energético, aumento de la producción y eliminación de los riesgos a los que están expuestos los operadores.

Por lo tanto, se prevé eliminar la Junker y las grúas horquillas de la operación del proceso de carga debido a su poca eficiencia (toneladas de carga vs capacidad de carga), rendimiento (toneladas por hora) y escasa automatización. Reducir los restos a un tamaño manejable para ser transportados masivamente al interior del horno y que sean fácilmente almacenables para su posterior utilización.

Se espera que, al aplicar estos cambios mediante la opción de mejora correcta, se produzca un ahorro de insumos y tiempo de carga, junto con aumentar la seguridad al interior del área.

3.2. HALLAZGOS, ESTIMACIONES Y ANÁLISIS

3.2.1. De las mediciones en el proceso del horno

A continuación, se detallan los datos obtenidos durante el trimestre enero- febrero- marzo de las mediciones efectuadas al horno de refino durante el 2016. Cabe destacar que la finalidad de representar dichos datos es poder establecer los puntos críticos a mejorar y las posibles variables asociadas al proceso. Existen dos formas de cargar el horno de refino, una con carga mixta (sólido, líquido) y otra con sólo sólido. El proceso del horno comprende tres etapas: Carguío- fusión, homogenización- escoreo- reducción, moldeo vaciado. Las que serán medidas según las variables de toneladas, consumo combustible, horas y promedios y ponderados de estas.

Tabla 3-1. Mediciones reales horno mixto

Mes	Promedio (ton)	Carga sólida total (ton)	Carga líquida total (ton)	Toneladas totales	Promedio Horas (h)	Consumo Combustible m³	Hornadas
Enero	349,5	5545,4	1824,5	7369,9	35,50	47.050	16

Febrero	429,4	4.439,4	2.001,00	8.371,87	36,43	48.810	15
Marzo	422,7	4.738,1	2.025	8.030	34,90	45.467	16

Fuente: Elaboración propia en base a datos horno de refino mixto primer trimestre 2016

Según el cuadro anterior, el mes donde más se consumió combustible fue durante el mes de febrero, que a su vez fue el mes donde más toneladas se procesaron, como a sí mismo más horas promedio duró el horno de refino. En primera instancia se establece una relación directa entre las toneladas procesadas y el consumo de combustible, aun cuando se podría suponer que el mes donde más sólidos se procesaron (enero) sería el mes donde más combustible se consumió. Una de las razones para tal relación se debe a que febrero posee 2 días menos de trabajo (29) en relación a los otros meses medidos (31) por lo que se debió exigir más el horno de refino para cumplir con la producción, aumentando el consumo de combustible. Sin embargo, el mes donde más se cargó sólidos y menos toneladas fueron procesadas (enero) posee un consumo de combustible y horas trabajadas mayor a marzo, por lo que se podría suponer que la cantidad de sólido si influye en el consumo de combustibles y horas empleadas, como se verá a continuación.

Tabla 3-2. Mediciones reales horno sólido

Mes	Promedio (ton)	Carga sólida total (ton)	Promedio Horas (h)	Consumo m ³ Combustible	Hornadas
Enero	355,5	1777,41	38,68	55.003	5
Febrero	386,3	1.931	48,18	66.101	5
Marzo	422,3	1.267	43,39	63.240	3

Fuente: Elaboración propia en base a Datos horno carga sólida primer trimestre 2016

Como ya se planteó anteriormente, febrero fue el mes donde más se toneladas se procesaron y combustible fue consumido. El cuadro de arriba muestra los datos para los hornos con carga sólida, en donde se puede apreciar claramente la relación directa entre carga sólida, horas y consumo de combustible, determinándose que el tipo de carga incide en el aumento de las variables ya mencionadas.

Por las características del sólido, toma más tiempo en fundir en relación a la carga líquida. De hecho, la carga líquida, al poseer mayor temperatura y ser más fácil de cargar que el sólido, apura el proceso del horno, aunque incide desfavorablemente en otros aspectos como es, por ejemplo, la cantidad de escoria que acarrea. Sin

embargo, el proceso del horno consta de tres etapas, las cuales se describirán a continuación y que entregarán mayor información sobre las variables mencionadas anteriormente.

Tabla 3-3. Datos por etapas horno con carga mixta

Horno Refino (con carga líquida)										
Promedio		Carga Fusión	Homog Escoreo Reducción	Moldeo Vaciado	Total	Carga Fusión	Homog Escoreo Reducción	Moldeo Vaciado	Total	
Hornada	Peso (t)	Tiempo (h)			Tiempo (h)	Consumo Nm³/Hda			Consumo Nm³/Hda	#
Ene-16	349,5	13,85	10,69	9,46	35,50	19.222	14.189	13.639	47.050	16
Feb-16	429,4	14,63	10,43	11,37	36,43	22.569	14.400	11.841	48.810	15
Mar-16	422,7	12,60	10,49	11,27	34,90	19.886	14.095	11.486	45.467	16
Estandar		11,00	8,50	8,50	28,00	19.800	12.450	5.100	37.350	47

Fuente: Intranet Departamento de Refino a Fuego

Del cuadro anterior, se distinguen las tres etapas que conforman el proceso del horno (en este caso, con carga mixta). La etapa de carga- fusión se establece como el punto donde más se consumió combustible y más horas se emplearon para los tres meses medidos.

La razón, en primera instancia, se debe al desactualizado procedimiento de carguío actual descrito en capítulos anteriores y a los tiempos muertos ocasionados por fallas del equipo cargador y trasvasije de líquido, como también por las características propias de la fusión del sólido.

Por lo tanto, se establece esta etapa como un punto crítico en donde se establecerán las principales variables en el punto aspectos operacionales, para proponer las mejoras pertinentes.

Cabe destacar que el estándar establecido para cada etapa del proceso no se cumple, por lo que también es una medición que será considerada en puntos posteriores.

Tabla 3-4. Datos de horno refino

Horno Refino (solo carga sólida)										
Promedio		Carga Fusión	Homog Escoreo Reducción	Moldeo Vaciado	Total	Carga Fusión	Homog Escoreo Reducción	Moldeo Vaciado	Total	
Hornada	Peso (t)	Tiempo (h)			Tiempo (h)	Consumo Nm³/Hda			Consumo Nm³/Hda	#
Ene-16	355,5	19,07	11,62	8,00	38,68	27.116	16.054	11.833	55.003	5
Feb-16	386,3	22,03	11,47	9,88	48,18	34.617	21.245	10.239	66.101	5
Mar-16	422,3	18,67	10,89	13,83	43,39	28.860	16.774	17.605	63.240	3
Estandar		14,50	9,00	8,50	32,00	26.100	13.350	5.100	44.550	13

Fuente: Intranet Departamento Refino a Fuego

Como ya se explicó en el cuadro anterior, la etapa donde se presentan los mayores gastos en términos de tiempo y combustible es la carga- fusión. Sin embargo, al comparar los datos de consumo entre los dos hornos, los valores se disparan en las etapas de horno con carga sólida. Se establece, por lo tanto, que la carga sólida sí incide en el aumento de tiempo y combustible empleado, siendo la etapa de carga- fusión aquella que presenta mayores gastos y en donde se enfocará el análisis de este estudio.

Como ya se trató en el punto anterior, el estándar considerado para el horno con carga sólida no es alcanzado, por lo también será materia de análisis en puntos posteriores.

A pesar que se ha señalado la etapa de carguío- fusión como punto crítico por ser aquella donde más tiempo y combustible se gasta, no quiere decir que en las otras etapas no se puedan proponer mejoras sustanciales o no estén relacionadas con la etapa previa de carguío. Sin embargo, no serán parte de este estudio aun cuando puedan ser descritas brevemente.

Otro aspecto importante a detallar es el consumo ponderado real y el consumo estándar de combustible, junto con el consumo en la etapa descrita anteriormente.

Tabla 3-5. Diferencias consumo combustible real y estándar

Meses	Nm³/mes (real)	USD consumo real	Nm³/mes (estándar)	USD consumo estándar	Pérdida apreciada USD	Pérdida apreciada CLP
Ene- 16	1.027.819	286.761,5	820.350	228.877,65	57.884	39.650.438
Feb- 16	1.062.657	265.664,25	783.000	195.750	69.914	47.891.261

Fuente: Elaboración propia en base a Cálculo basado en Codelco Intranet

La pérdida acumulada a marzo del 2016 es de \$121.294.276, a un dólar apreciado de \$685. Calculando el promedio de pérdida mensual o desviación con respecto al estándar, se estima que para el año 2016, a un promedio mensual de \$40.431.425, habrá una desviación de \$485.177.104.

Para un cálculo más preciso, es necesario consultar el consumo de años anteriores, sin embargo, el valor entregado es un buen acercamiento para considerar los potenciales beneficios de una mejora en la etapa señalada. A continuación, se calcula el consumo de combustible para la etapa carguío- fusión.

Tabla 3-6. Diferencias consumo real y estándar etapa carga-fusión

Meses	m³/mes (real)	USD consumo real	m³/mes (estándar)	USD consumo estándar	Pérdida apreciada USD	Pérdida apreciada CLP
Ene- 16	443.134	123.634	447.300	124.797	1.163	796.655
Feb- 16	511.626	127.907	427.500	106.875	21.032	14.046.920
Mar- 16	404.754	107.260	395.100	104.702	2.558	1.752.230

Fuente: Elaboración propia en base a Cálculo basado en Codelco Intranet

Al calcular el ponderado de pérdida mensual, se establece que no representa la mayoría del total. No obstante, el promedio de pérdida anual con respecto al estándar se calcula en \$67.823.220. Del gasto estándar anual de combustible se proyectaría un ahorro efectuado por la mejora propuesta, cuyo cálculo se establecerá en el siguiente capítulo.

Al concluir el punto sobre los puntos críticos en el proceso del horno, se establece que las variables más importantes medidas tienen que ver con el consumo de combustible, tiempo expresado en horas y toneladas cargadas, de las cuales, al analizar los distintos aspectos del horno, determinó las tres etapas que componen el

proceso de éste. De las etapas del proceso, al determinar el consumo de combustible y las horas trabajadas, se concluye que la correspondiente a carga- fusión es donde es necesario efectuar mejoras. Sin embargo, las mediciones que determinen el rendimiento de carga/tiempo como el uso de los equipos serán tratados en el siguiente punto.

3.2.2. De las mediciones en la etapa carga- fusión

Como ya se planteó anteriormente, en el proceso de carguío se distinguen una serie de operaciones realizadas por los equipos de carga. La finalidad de esta sección es determinar el tiempo empleado en la carga, midiendo el rendimiento de la cargadora Junker.

A continuación, se especifica la carga ingresada al horno durante los meses de diciembre- enero- febrero.

Tabla 3-7. Restos trasladados a la nave de hornos

Tipo Producto	Traspaso diciembre		Traspaso enero		Traspaso febrero	
	Unid.	Peso (kg)	Unid.	Peso (kg)	Unid.	Peso (kg)
REST.CTTE.HVL.	20871	961981	27423	1258620	27903	1392617
REST.CTTE.TTE.	15588	684400	25456	1117434	28932	1383967
RES.CTTE.ANGLO AME	5629	254794	6179	266880	9669	492017
RES. CTTE.VENT	38476	1592110	35257	1596633	31967	1527789
RES.HM.VENT.	9078	985233	9418	1066785	8806	960326
SUB-TOTAL	89642	4478518	103733	5306352	107277	5756716

Fuente: Elaboración propia en base a Datos Codelco Intranet

Con los datos mencionados en el cuadro de arriba, se puede estimar el peso nominal por unidad de resto, lo que será empleado en el cálculo del tiempo de carga de la Junker.

Tabla 3-8. Peso nominal por unidad de resto

Tipo resto	PESO POR UNIDAD DICIEMBRE (KG)	PESO POR UNIDAD ENERO (KG)	PESO POR UNIDAD FEBRERO (KG)	PROMEDIO TIPO RESTO (KG)
HVL	46,09	45,90	49,91	47,30
TTE	43,91	43,90	47,84	45,21
ANGL AMER	45,26	43,19	50,89	46,45
VENT	41,38	45,29	47,79	44,82
PROMEDIO CARGA	44,16	44,57	49,11	45,94

Fuente: Elaboración propia en base a datos de carga Codelco Intranet

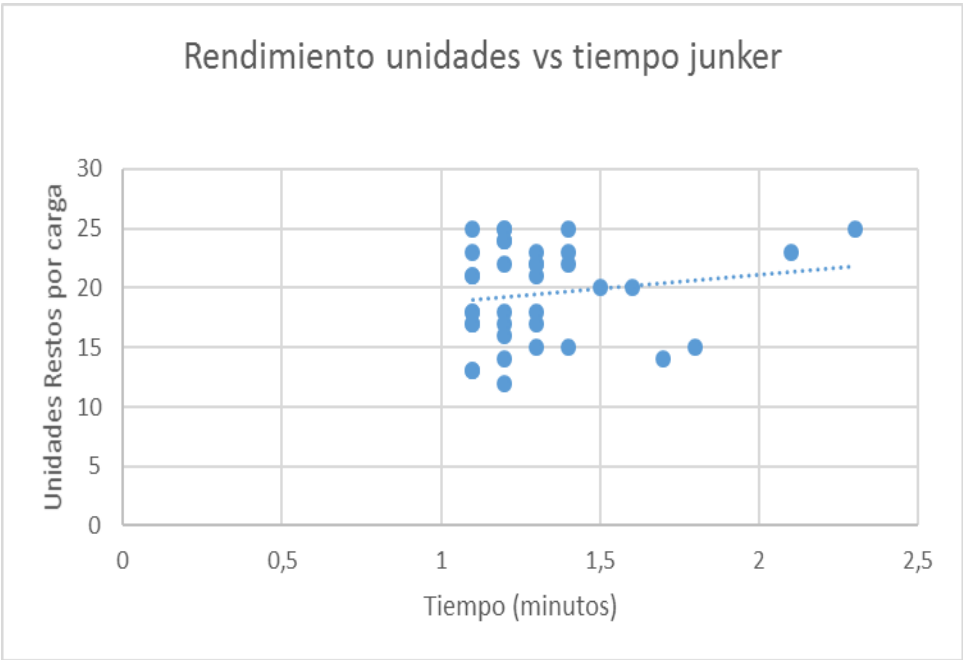
Se establece un promedio de 46 kg por unidad de resto. Este número es solo referencial ya que los restos no son estándar.

Durante el mes de marzo se realizaron observaciones al interior de la Nave de Hornos, donde se midieron los tiempos de carga y cantidad de unidades de restos por carga efectuados por la grúa horquilla. Al interior de la Nave, existen dos hornos de refino, cada uno en el sector norte y sur respectivamente. La carga, al distribuirse por todo el largo de la Nave de Hornos, se distinguen dos sectores de carga: sector norte y sector sur.

Al momento de efectuar la medición se trabajó con el horno sur, por lo que para el cálculo de los tiempos de carga se promediaron todos los datos obtenidos en ambos sectores, siendo el lado norte donde se calcularon los mayores tiempos de carga para una sola horquilla. Sin embargo, al trabajar las dos horquillas, se eliminó el factor de lejanía de la carga con respecto al horno (en este caso el lado norte), por lo que los tiempos de carga ya no se vieron afectados por el traslado de la horquilla a la frente de trabajo desde la Junker para cargar y traspasar dicha carga nuevamente a la Junker, ya que mientras hace dicho trabajo la Junker se encuentra haciendo la maniobra de carga al horno de refino.

En otras palabras, los datos tomados se calcularon en función de la Junker, ya que es en donde convergen los flujos de carga, formándose una especie de cuello de botella. Por lo tanto, se establece a la cargadora Junker como un equipo crítico en el procedimiento de carga, ya que es el único equipo directamente involucrado en el carguío de del horno ya que las horquillas, encargadas de traspasar la carga hacia la Junker, no pueden cargar directamente el horno y, además, al ser dos, no presentan problemas relevantes en el carguío ya que pueden relevarse mutuamente.

A continuación, los datos obtenidos en la observación del carguío de un grupo de retos con condiciones óptimas para la carga.



Fuente: Elaboración propia en base a datos medidos en terreno

Gráfico 3-1. Tiempo en minutos por carga efectuada

El promedio de unidades de restos por carga es de 20 unidades, mientras que el promedio en minutos por carga es de 1,32 minutos, esto es, 1 minutos con 19 segundos. Tomando el promedio de peso nominal por unidad de resto (46 kg), se establece un flujo de carga de 920 kg por cargada, que al relacionarla con el tiempo (1,32) da 697 kg por minuto, lo que se traduce en 42 toneladas por hora.

El cuadro a continuación muestra el estándar del carguío de restos efectuados por la Junker, por lo que es posible calcular el tiempo estimado de carga según el promedio tomado anteriormente.

Tabla 3-9. Tiempo carga fusión de un horno sólido a máxima capacidad

Nº Cargas	TON	Tiempo Fusión	Tiempo de carga
-----------	-----	---------------	-----------------

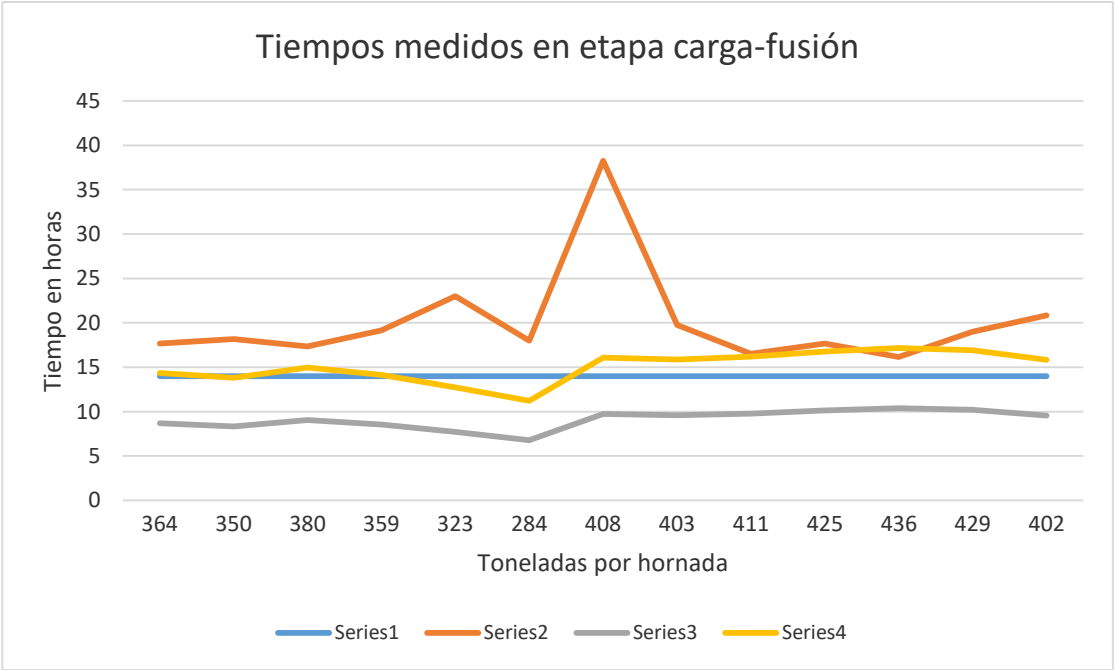
Primera carga	210	2,5 hrs.	5 horas
Segunda carga	160	1,5 hrs.	3 horas 48 minutos
Tercera carga	80	3 hrs.	1 horas 54 minutos
Total	450	7 horas	10 horas 42 minutos
Promedio en función toneladas		64,2 tn/hora	

Fuente: Elaboración propia en base a Cálculo basado en Informe Junker

Según el cuadro anterior, el tiempo estándar para la fusión de un horno completamente cargado con sólido es de 7 horas. El estándar total para la etapa carga- fusión de un horno con carga sólida (según cuadros anteriores) es de 14,5 horas, por lo que, por el mismo estándar, habría 7,5 horas dedicadas para la carga. Por lo tanto, el tiempo de carga- fusión real se establece en 17,7 horas, considerando las mediciones anteriores.

Por lo tanto, por cada 64,2 toneladas cargadas se necesita 1 hora de fusión teóricamente hablando. Obviamente, depende de las características de la carga y de la cantidad de combustible inyectado, ya que no son restos la única carga sólida empleada en el proceso, sino también ánodos y cátodos rechazados junto con rebaleses de cobre, lo que, al ser una carga más pesada y compacta, reducen el tiempo de carga.

A continuación, se muestra un gráfico de los hornos con carga sólida testeados en el primer trimestre del 2016 con las variables descritas.



Fuente: Elaboración propia en base a cálculos basados en tablas anteriores

Gráfico 3-2. Comparación distintos tiempos horno carga sólida, etapa carga/fusión

Línea Azul: Estándar. Curva Naranja: Etapa Real. Curva Amarilla: Etapa Estimada. Curva Ploma: Carga estimada.

El gráfico se construye basándose en las mediciones del horno con carga sólida durante el trimestre ya señalado. Se ha excluido el horno mixto ya que se busca establecer las mejoras en base a la carga sólida, ya que el líquido acelera la fusión por las propiedades mismas de ese estado. Lo relevante a resaltar es la diferencia que existe entre el estándar entregado por la División, el cual está basado en el consumo de combustible, y el tiempo real de la etapa completa, ya que en ningún horno medido se cumple.

Previamente se ha calculado otro estándar, al que se le llamó tiempo estimado, el cual fue confeccionado a partir de los tiempos de fusión por tonelada y las mediciones tomadas en terreno del tiempo real de carga.

Se ha estimado, por tanto, otra curva (amarilla) que varía dependiendo de las toneladas cargadas, a diferencia de la línea recta proyectada por el estándar, ya que es imposible igualar las condiciones para distintas toneladas cargadas. No obstante, las mediciones reales no satisfacen el estándar calculado, por lo que se ha procedido a analizar los equipos involucrados en el proceso, específicamente la máquina cargadora Junker la que, como previamente se ha señalado, es el equipo crítico de carga al interior del proceso.

3.2.3. De la criticidad de la Junker

Las fallas del equipo durante la etapa de carga, que es donde opera porque el resto del proceso queda detenido, afecta en el consumo de energía para mantener la temperatura del horno y en la continuidad de los moldeos generando pérdidas de producción.

De acuerdo a los antecedentes existentes, las cargadoras ya han cumplido ampliamente su vida útil recomendada por el proveedor, situación por la cual haría factible la evaluación del reemplazo de este equipo.

Se encuentra en operaciones con 210 roturas de eje de diferencial al año a un costo de US\$ 120 c/u y dos diferenciales al año a un valor de US\$ 40.000.- c/u.

Tabla 3-10. Fallas anuales más frecuentes de la Junker

Tipo falla	Cantidad de roturas	Costos anuales USD
------------	---------------------	--------------------

Rotura eje diferencial	210	25.200
Rotura de diferencial	2	80.000
Total	212	105.000

Fuente: Elaboración propia en base a Informe Junker, Codelco 2012

Lo anterior incide negativamente en el proceso de carguío del horno, ya que, como se describió en el capítulo anterior, el proceso queda detenido completamente si la Junker falla.

A continuación, se exhibe el análisis de criticidad de la Junker, provisto por el Departamento de mecánica de la División.

Tabla 3-11. Análisis de criticidad, Junker



Fuente: Informe Junker, Codelco 2012.

Basándose en el costo de las mantenciones durante los años 2007, 2008 y 2009 tomados del Informe Técnico del equipo Junker, se estimó que para los dos equipos se gastaron USD 212.745 y USD 226.658 para J1 y J2 (dos equipos cargadores) respectivamente.

3.3. CONCLUSIONES

Tomando los aspectos operacionales del capítulo 2, más los hallazgos y análisis del capítulo 3, se concluye que es prioritario, para la continuidad de la operación bajo el escenario económico y tecnológico actual y la mejora de todo el proceso en sí, el reemplazo del equipo cargador Junker por una unidad que se ajuste al estándar pedido por la División.

Que acorte los tiempos de carga y reduzca el consumo de combustible, automatizando el proceso y evitando los tiempos muertos ocasionados por las fallas de equipos.

A continuación, un resumen de costos encontrados. Si bien no es la finalidad hacer proyecciones económicas, sirve de guía para consideraciones de mejora.

Tabla 3-12. Tabla pérdidas por concepto de no- estándar y mantenciones

Item	Pérdidas anuales por no estándar (carga-fusión, combustible)	Pérdidas por fallas y mantenimiento de Junker anual	Total
Costos USD	99.012	251.467	350.482
Costos CLP	67.823.220	172.254.895	240.078.115

Fuente: Elaboración propia en base a Datos basados informe técnico Junker

De lo anterior, se desprende que es necesario reducir los tiempos de carga para corregir la pérdida causada por no cumplir el estándar en la etapa carga- fusión, y, además, generar un ahorro con respecto al mismo estándar. Por otro lado, al eliminar la Junker se reducirán los costos asociados a las mantenciones y reparaciones de un equipo ya obsoleto y se espera que los tiempos de carga se puedan estandarizar, al ya no existir tiempos muertos.

Dependerá, pues, de la mejora propuesta el cómo variarán las variables descritas en el capítulo. No obstante, aún queda una decisión que tomar y esta se deberá hacer a nivel corporativo y tiene que ver con la continuidad operativa de la División en relación al reproceso de scrap.

CAPÍTULO 4: DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

4. DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

4.1. INTRODUCCIÓN

Al consultar la literatura en Internet, no se ha podido encontrar Memorias, Trabajos de Investigación o Tesis que traten directamente de alguna mejora en el carguío de restos (scrap) al horno de fundición, pero si se ha podido hallar estudios que hablan del tema y que fueron usados de respaldo para la investigación.

Al interior de la División, al consultar por bibliografía o estudios asociados al tema a tratar, se halló que, si bien existieron estudios previos donde se proponía una mejora al carguío, no se logró dar físicamente con el paradero de ellos, por lo que se incluirá la idea de mejora en el siguiente capítulo basado en la memoria de quienes llevan más tiempo en la División.

Al hablar de los estudios asociados al tratamiento de scrap proveniente de la refinación electrolítica, se halló una investigación originada el 2006 por el Departamento de Metalurgia de la Universidad de Santiago, que proponía refinar el scrap en electrolito, cortando de esa forma el proceso de transporte y carguío al horno de fundición ya que este significa gastos innecesarios para refinar un producto que ya se obtuvo de dicho proceso.

Sin embargo, el mismo estudio concluyó que no se cumplían los estándares de calidad para un cátodo comercial (producto de la refinación electrolítica del ánodo de cobre) por lo que se debía realizar más estudios de laboratorio.

No obstante, si bien no se encontraron estudios a los que se tuviera fácil acceso y que traten de forma directa el proceso de carguío de restos en la División Codelco Ventanas, si se encontró una pista que exige un poco más de investigación histórica.

Al consultar con el experto en seguridad don Pablo Gallardo, ex funcionario Enami, ex Prevencionista de Codelco y actual asesor de seguridad para la empresa contratista Araucanía LTDA, sobre los estudios que tuvieran relación con mejorar los procesos de fundición y electro refinación de la División, señaló al proyecto FURE Centro como el plan de inversión ideado para la modernización de la División.

Dicho proyecto contemplaba la inversión de USD 500 millones para modernizar la División Ventanas y así posicionarla como la tercera Fundición a nivel mundial en la producción de cátodos comerciales.

El proyecto FURE data desde hace casi 10 años, siendo el 2010 el año donde salió a la luz pública y en el cual se barajaban las opciones por parte de los ejecutivos de Codelco.

El proyecto FURE fue una propuesta diseñada por el Ejecutivo de Codelco, donde se pretendía invertir un capital de USD 500 millones para el mejoramiento de la Fundición de Caletones o Ventanas, noticia registrada por el diario La Tercera el 21 de julio del 2010 y que buscaba separar las labores de fundición y refinación de cobre.

En aquella instancia, se planteaba evaluar aumentar la producción a nivel mundial de las refinerías ya que, según la Editorial Editec en su diario Minería Chilena, éstas no habían presentado buenos resultados debido a su baja competencia, planteando como ejemplo las pérdidas en el 2009 por casi USD 6 millones por parte de la División Ventanas.

De lo anterior, se desprende el hecho que es más rentable operar las fundiciones integradas a la mina, ya que se ahorra en logística y traslado de concentrado, lo que no sería el caso de Ventanas. Sin embargo, no presentaba un buen negocio cerrar la Fundición ya que se perdía posición estratégica en la zona central, en el mercado de refinación de cátodos comerciales, por lo que, ya en esos años, se buscaba hacer más rentables los procesos involucrados.

Según las declaraciones que dio Acosta (Gerente General de Codelco Ventanas durante el 2010) al diario La Tercera, el proyecto FURE contemplaba aumentar la capacidad de la División en un 30%, volviéndola en la tercera Fundición a nivel mundial.

Según el escenario proyectado, en Ventanas se dejaría de fundir concentrado, por lo solo se dedicaría a refinar los productos que la fundición de Caletón procesaría ya que el proyecto también contemplaba volver más competente dicha Fundición, recibiendo los concentrados de Andina, El Teniente y la pequeña/mediana minería (trabajo que actualmente sigue desempeñando Ventanas), o también, se llevaría metal blanco a la V región para ser moldeado en Ventanas y luego ser refinados.

Sin embargo, según las mismas declaraciones, los plazos de ejecución y la decisión en sí no están establecidos, ya que los recursos destinados a Ventanas debían competir con el fuerte impulso que la estatal estaba dando a los cambios estructurales. Con la sola aprobación de la segunda fase de expansión de la División Andina (proyectada en esos años para el 2017) se haría necesario ampliar las capacidades de fundición y refinería de Ventanas.

Finalmente, Acosta estaba preocupado por dejar atrás las cifras rojas que caracterizaron la empresa en los años 2006 al 2009, proyectando un mejoramiento de las condiciones del mercado a partir del 2012, lo que se traduciría en mejoras en los precios.

Por lo que, si bien a causa del escenario adverso en cuanto a la economía nacional y el valor libra de cobre no se prevén inversiones o mejoras relevantes en los próximos años, el proyecto FURE aún no está descartado del todo, por lo que el sentido de este Trabajo de Título en cuanto a la prefactibilidad técnica en la mejora del carguío del horno de fundición cobra más relevancia en reducir los costos en medio de este ambiente adverso, para estar preparados al mejoramiento de los precios futuros.

4.2. DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

Durante la realización de este Trabajo de Título, se pudo investigar tres propuestas distintas, una de las cuales se logró llevar a cabo y cuyos resultados y aspectos se considerarán a lo largo del capítulo. De las otras dos, se procede a describir sus aspectos fundamentales y analizar las características necesarias para una mejora sustentable.

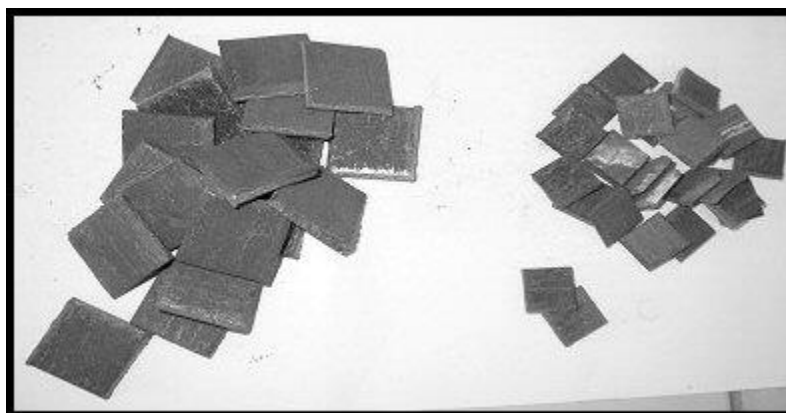
4.2.1. De la refinación electrolítica de scrap

Una de las mejoras que podría llevarse a cabo tiene que ver con la refinación del scrap de ánodos, en el mismo circuito de la nave electrolítica. Ya que la fundición de restos es un reproceso que utiliza un elevado consumo de combustible y tiempo (el escenario ideal es que solo exista fundición de concentrados), otras Divisiones han contemplado la posibilidad de eliminar la fundición de scrap, vendiendo la totalidad de éstos al extranjero.

En un estudio realizado el 2006 por el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Santiago de Chile en la División Chuquicamata, Codelco Norte, se establecieron los parámetros experimentales para la electrefinación de scrap particulado ya que, al igual que en Ventanas, éste presentaba un volumen considerable de carga circulante al interior de la División y que involucraba el consumo de grandes cantidades de combustible y tiempo que eran necesarios aminorar.

El estudio, a grandes rasgos, buscaba identificar los parámetros de trabajo para la refinación del scrap junto con el correspondiente análisis químico de los cátodos finales y el barro anódico, para comprobar el cumplimiento de los estándares de control de calidad establecidos.

Para llevar a cabo la experimentación, se mantuvo la temperatura del electrolito entre 55- 65 °C, y se aplicó una velocidad de barrido de 5 mV/s, considerando un ciclo de 8 días como base y trozos de scrap anódico de 2X2 y 3X3, utilizando electrolito industrial y en condiciones normales de operación de una electrefinería convencional.



Fuente: CONAMET/SAM- 2006

Figura 4-1. Trozos scrap de ánodos

Luego, se procedió a realizar distintas pruebas con diferentes datos en las variables que componen el proceso (voltimetría lineal, con o sin agitación) para analizar los resultados obtenidos. De las pruebas realizadas, el número 8 fue la que presentó mejores condiciones de trabajo en términos de recuperación de cobre y eficiencia de corriente (97% y 91% respectivamente).

Sin embargo, el análisis químico de la prueba arrojó mayores cantidades de elementos como Bi y Sb, como también Cd, Ni, Sn y Zn que no están permitidos.

Tabla 4-1. Análisis químico prueba 8 (ppm) y Norma Codelco

Elemento	Norma CODELCO	Prueba 8
Ag	12	5
As	2	0,8
Bi	1	1,8
C	50	28
Cd	0	< 0,1
Fe	5	1
Ni	0	< 0,2
Pb	3	0,1
S	9	3
Sb	1	2,3
Sn	0	< 0,5
Te	1	< 0,2
Zn	0	< 0,4

Fuente: CONAMET/SAM- 2006



Fuente: CONAMET/SAM-2006

Figura 4-2. Cátodos finales prueba 8

En definitiva, bajo ninguna de las condiciones de trabajo experimentadas se logró obtener cátodos con un grado de pureza de calidad comercial, por lo, según las recomendaciones del estudio, una vez establecidos los parámetros óptimos de trabajo para la electro- refinación del scrap, se estudien los factores que están influyendo en la calidad química de los cátodos, como, por ejemplo, la dosificación de los aditivos.

En sí, fue un buen estudio para determinar la factibilidad de la refinación del scrap, eliminando el reproceso ya mencionado de fusión y moldeo de ánodos, lo que representa el 50% del gasto energético para su refinación, ya que el fin que se pretendía abarataba considerablemente los costos asociados a dicho proceso.

Sin embargo, en un comunicado oficial por parte de Codelco el jueves 18 de marzo del 2010, en su página web, se informaba sobre el cierre definitivo del Horno Vertical de la Refinería, también conocida como "Fundición de Cobre", en donde se procesaban los restos de ánodos, ánodos sobrantes y cátodos rechazados resultantes de la refinación electrolítica, con la finalidad de volver a producir ánodos de cobre para su reutilización en la Refinería.

No obstante, debido a los altos costos del proceso, se decidió fundir parte del scrap en la fundición de concentrados, comercializando el excedente.

Según el mismo comunicado, previamente a ésta decisión se llevaron a cabo diferentes pruebas (como la anteriormente señalada) para hacer competitivo este negocio, pero ninguno arrojó resultados positivos.

Si se quisiera imitar la decisión tomada por la División Norte en Ventanas, arrastraría una serie de conflictos sindicales al interior de la División ya que, entre otros factores, implicaría el despido masivo de trabajadores y el cierre de áreas

principales del proceso (RAF), junto con la necesidad de ampliar el patio de Productos Finales junto a la bodega de embarque.

Pero la razón principal es, como ya se ha establecido a lo largo de este trabajo de título, al tener un proceso antiguo y poseer unidades de fundición no actualizadas, la decisión de sólo fundir concentrado es inviable ya que todo el líquido obtenido de la Fundición necesariamente debe ser moldeado a través de los hornos reverberos y basculante al interior de la Nave de Hornos, lo que implicaría igualmente una implementación tecnológica para la obtención de un Horno Flash y la modificación del área para que, a partir de los convertidores o el Horno Flash, poder moldear directamente del sangrado de dichos hornos.

Sin embargo, la idea de procesar el scrap en la fundición de concentrados es una idea que se llevó a cabo durante este año y que será expuesta a continuación.

4.2.2. De la fundición de scrap en los Convertidores

El 12 de diciembre del 2015, se logró llevar a cabo una prueba en terreno en donde se midieron los tiempos de carga necesarios para despejar completamente los restos al interior de la Nave de Hornos. Dicha prueba se logró ejecutar mediante la coordinación entre el capataz de Araucanía (encargado de las maquinarias) y los encargados de la Fundición y RAF.

Durante el 2015 se dio lugar distintos movimientos sindicales por parte de los trabajadores contratistas de Codelco a nivel nacional, agrupados en la CTC (Confederación de Trabajadores del Cobre). Entre los meses de junio y julio se paralizaron las faenas por espacio de un mes producto de las manifestaciones por la negociación del Acuerdo Marco que la Estatal contrajo con la Confederación desde el 2007.

Dichas manifestaciones, además de las pérdidas monetarias, en la producción y en la mano de obra, fueron marcadas por la caída acelerada del cobre y la ejecución, de forma masiva, del plan de reducción de costos por parte de la Estatal.

En Ventanas, la calidad de los restos se vio afectada gravemente por la demora en los tiempos de cosecha y siembra de los cátodos, debido a la escasa disponibilidad de maquinaria. Lo anterior ocasionó que, a diciembre de dicho año, al interior de la Nave de Hornos y en el patio de la RAF, los grupos de restos quedaran desordenados en una especie de pilas como se muestra a continuación.



Fuente: Fotografía tomada en Patio RAF, Codelco Ventanas, 2015.

Figura 4-3. Restos amontonados en patio de RAF



Fuente: Fotografía tomada en Nave de Hornos, Codelco Ventanas, 2015.

Figura 4-4. Restos amontonados al interior de la Nave de Hornos

Ante la imposibilidad de cargar los restos al horno de la manera convencional, se ideó un procedimiento que fue coordinado con el capataz de Araucanía, la que consideraba el carguío de los restos mediante el uso de un cargador frontal y camiones tolva, para ser luego pesados en la romana de camiones ubicada en el sector Norte de la División.

Una vez establecido el peso de carga del camión tolva (comunicados al encargado de productos intermedios) se procedía a trasladarla al sector de carga fría del Convertidor Pierce Smith, ubicado en la Fundición.

El cargador frontal corresponde a un CAT, modelo 938h, con capacidad de balde de entre 2.m³ hasta 3m³ y peso operativo de 15.059 kg. Este, al iniciar la carga, se encontró con el impedimento que los restos resbalan entre el piso y las cuchillas del balde, obteniéndose un escaso rendimiento en la capacidad de carga. Además, se

desconocía totalmente la cantidad de grupos que componían la pila y su consiguiente peso.

Para corregir dicha dificultad, se optó por usar una grúa horquilla para facilitar el deslizamiento de los restos al interior del balde, como se muestra a continuación.



Fuente: Fotografía tomada durante carguío restos, Nave de Hornos, Codelco Ventanas, 2015

Figura 4-5. Cargador frontal y horquilla cargando conjuntamente los restos

Tabla 4-2. Datos de tiempo y toneladas carga mediante camión

Nº trayecto	Tiempo carga (min)	Tiempo traslado (min)	Total, tiempo (min)	Carga por trayecto (ton)
1	14	20	34	20,3
2	15	17	32	22,1
3	12	22	34	23,1
4	15	21	36	20,2
5	12	20	32	21,5
6	14	19	33	23,4
7	11	22	33	22,2
8	12	18	30	21,4
9	13	19	32	22,6
10	14	21	35	20,3
11	12	20	32	21,6
12	10	22	32	22,7
13	14	19	33	21,3
Total	-	-	427	282,7

Fuente: Elaboración propia en base a Mediciones en terreno

Los datos anteriores corresponden a la carga efectuada el 12 de diciembre del 2015. Se estima que los grupos involucrados totalizaban 8, calculados en base 819 unidades (por estándar) y a 46 kg por unidad, según el cálculo obtenido en el capítulo anterior.

El tiempo de caga total (carguío más traslado) se estimó en 7,11 horas lo que, al compararlo con el cálculo real el horno visto el capítulo anterior, no presenta una mejora sustentable, como se muestra en el cuadro a continuación.

Tabla 4-3. Comparación carga real Junker y carga estimada con camión

Toneladas/hr (Carga real)	Toneladas/hr (Carga camión)
42 ton/hr	39,72 ton/hr

Fuente: Elaboración propia en base a Mediciones realizadas en terreno

El principal factor adverso para la carga mediante el uso de camión y cargador frontal es el tiempo de traslado. Ya que el recorrido involucra el pesaje en la romana, es imposible acortar los tramos. Sin embargo, si existiese el conocimiento de la cantidad de carga previamente, se podría acortar el traslado en 7 minutos aprox. El resto del traslado involucra el trayecto hacia la fundición y la descarga de restos en la zona de carga fría de los Convertidores.

4.2.2.1. Ventajas y desventajas

De las ventajas:

- Se elimina completamente la cargadora Junker, fomentando un ahorro importante a causa de las típicas roturas.
- Se logra cargar restos sin la necesidad que estén debidamente ordenados, solucionando con esto la demora en ordenar cada unidad de manera que puedan caber por la entrada del horno.
- Eliminación de los peligros asociados al carguío del horno ya que no hay operador enfrentado a la línea de fuego.
- Ahorro de combustible por concepto de pérdida de calor. Ya que no se necesita cargar las horas anteriormente establecidas con la puerta abierta, no existe pérdida de calor al interior del sistema.

- De manera específica, al fundir los restos en los Convertidores, el tiempo de fusión se reduce considerablemente a 2 horas. Por lo tanto, el traspaso de éstos al horno de fusión se haría en forma líquida, lo que reduciría el tiempo de carga fusión considerablemente.

De las desventajas:

- Se necesita la implementación de un cargador frontal y un camión tolva, ya que éstos no son parte del área y fueron usados de forma exclusiva para eliminar los restos mal acopiados.
- No presenta una real mejora en el acortamiento del tiempo al cargar los restos con los parámetros considerados.
- Presenta un retroceso en el proceso de fundición, ya que, al fundirse en los concentrados, la alta pureza de los restos se contamina con los elementos presentes en los concentrados de cobre.
- Gran dificultad para ser cargados al Convertidor Pierce Smith, ya que el procedimiento implica el llenado de una olla de 6m³ por parte del cargador, lo que conlleva mayor cantidad de cargas al no ocupar óptimamente la capacidad de la carga.
- Al ser un reproceso, implica gasto energético innecesario en función de las unidades productivas actuales.



Fuente: Fotografía en Fundición, Codelco Ventanas, 2015.

Figura 4-6. Olla cargada (idealmente) en el sector de carga fría CPS

4.2.3. Del estudio de pre- factibilidad técnica

Al analizar las diferentes opciones tanto de los estudios revisados e implementados proyectos nacionales y bibliografía, se llegó a la conclusión que, de continuar el escenario económico actual (la opción más probable), no existe inversión en proyectos que no son parte del planeamiento estructural de la Estatal Codelco.

Esto es, se ha dado prioridad a aquellos proyectos necesarios para la actualización y modernización de las Divisiones en base a la legislación vigente y escenario económico actual. Tal caso es el nuevo nivel mina de El Teniente, Chuquicamata subterránea y el mayor proyecto medio ambiental de Ventanas para captar el 95% de la emisión de gases.

Por lo que la factibilidad de implementar cualquier mejora, al menos en el corto plazo, se ve mermada por la poca inversión extranjera y el mayor endeudamiento.

Este fenómeno se debe a que Codelco apenas ha capitalizado un 10% de sus excedentes, versus un 36% aproximado del mercado industrial, aumentando considerablemente su deuda debido a la poca inversión captada.

No obstante, según el escenario económico actual y los constantes mandatos de parte del presidente ejecutivo de la Estatal, se busca realizar mejoras en pos del aumento de la productividad y la reducción de costos. En esos parámetros, aumentar productividad y reducir costos, es que la mejora propuesta en este estudio de prefactibilidad debe ajustarse a las necesidades particulares de la División, las cuales han sido ampliamente descritas en los capítulos anteriores y que se resumen en estas variables:

- Aspectos operacionales: Esto es, el procedimiento actual de carga del horno, junto con los tiempos muertos, automatización y aspectos de seguridad.
- Del consumo de combustible: Al gasto de combustible por sobre el estándar calculado para la etapa carga- fusión del horno.
- Del tiempo de trabajo: Esto es, la reducción o aumento de tiempo empleado en el carguío del horno.
- De los equipos involucrados: Referido a las fallas ocasionadas por equipos obsoletos. Aunque también está asociado a las variables descritas anteriormente ya que genera gastos en combustible, poca automatización y riesgos en la secuencia de la carga.

4.2.3.1. ¿Qué es un estudio de pre- factibilidad?

a. Estudio de pre- factibilidad: Diseño preliminar de un proyecto que conlleva la determinación de requerimientos tecnológicos y la selección de alternativas tecnológicas. En esta etapa de la pre- inversión se requiere información sobre las características, limitaciones, costos de capital y operación y la evaluación (ex ante)

de las alternativas tecnológicas de construcción y operación (técnicas existentes), así como sobre restricciones económicas, sociales, políticas, culturales, ambientales y legales.

b. Estudio de factibilidad: Análisis comprensivo de los resultados financieros, económicos y sociales de una inversión (dada una opción tecnológica- estudio de pre-factibilidad). En la fase de pre- inversión, la eventual etapa sub- siguiente es el diseño final del proyecto (preparación del documento de proyecto).

c. Factores de producción: (en economía ortodoxa) insumos de un proceso productivo, tradicionalmente son: tierra, trabajo y capital (que generan ingreso: renta, salario y ganancia)”

Fuente: Martínez, Eduardo. Ciencia, tecnología y desarrollo. Caracas: Editorial Nueva Sociedad, 1994. pp. 511- 522.

Según las definiciones anteriores, el estudio de pre- factibilidad técnica para la mejora del carguío del horno de fundición corresponderá a la alternativa tecnológica a implementar, a las opciones de financiamiento (mayoritariamente acotado al ahorro potencial) y al diseño preliminar al interior de la División.

Tomando en cuenta las variables descritas anteriormente, se establece la siguiente idea para mejorar las condiciones de carga actual.

4.2.3.2. De la mejora del carguío del horno de fundición mediante la implementación de una planta de reciclaje de scrap

Desde el punto de vista de los aspectos operacionales, es necesario automatizar el proceso de carga. Esto generará ahorro en los tiempos de carga y mayor control en las variables toneladas/ hora, junto con el control de los peligros asociados a la tarea realizada y a las máquinas involucradas. Para lograr esto, se pensó en una manera en que los restos puedan ser cargados al horno sin la utilización de equipos rodantes y personal expuesto a la línea de fuego.

Los inconvenientes hallados para este caso guardan relación con las características del horno de fundición, el cual es un reverbero (característico por su alta toxicidad y discontinuado en prácticamente todo el mundo), ya que la entrada de carga se hace mediante dos puertas de 1,6 metros de alto por 1,2 metros de ancho y éstas, a su vez, están ubicadas en la cara frontal del horno, haciendo difícil una carga desde altura (como en el caso de un alto horno de la industria siderúrgica y los hornos verticales hallados en Chuquicamata).

Además, se encuentra el poco rendimiento de la carga al ser comparada con los equipos, ya que, como se comprobó anteriormente, la carga promedio rodea la tonelada de peso, mientras que la capacidad asciende a las 3 toneladas. Asociado a este impedimento, la calidad de la carga está asociada al orden de las unidades que la componen (restos) lo que incide negativamente en el tiempo empleado de carga.

En primera instancia, se consideró el uso de correas transportadoras para acelerar el proceso de carga, efectuándose de forma directa al horno de fundición, aumentando el rendimiento de carguío en función de toneladas/ horas y eliminando la cargadora Junker. Lo anterior se presentó como el escenario ideal, ya que presenta una alternativa bastante económica al eliminar un equipo con altos costos de mantenimiento y cuya criticidad incide directamente en los tiempos muertos hallados. No obstante, no se puede controlar el orden de la carga al ser ingresada a la entrada del horno y no disminuye el desgaste de las colleras y material refractario al interior de este ocasionado por la caída de carga sólida, junto con la no disminución del tiempo empleado en la fusión.

Considerando el consumo de combustible, al establecerse como crítica la etapa carga- fusión al ser donde mayor consumo de combustible se registró, se propuso, en primera instancia, comprimir los restos mediante el uso de una unidad compactadora, con el propósito de aprovechar el máximo rendimiento de la cargadora. Sin embargo, no tiene una factibilidad real debido a que, si bien se reduce el tiempo de carga, el de fusión aumentaría considerablemente al cargar sólidos más compactos y con menor superficie de contacto.

Se ha establecido para esta instancia, que existe una relación directa entre el tiempo de carga y el consumo de combustible, por lo que se contempló la idea de reducir los restos a una granulometría tal que no solo sea fácil la carga mediante correas transportadoras, sino también para acopiar de mejor manera la carga ya que, actualmente, cada grupo de restos ocupa aproximadamente 16m² sin tener la posibilidad de apilamiento.

En cuanto a las horas empleadas, se sabe que en un turno normal de trabajo se cosechan 3 grupos de restos (considerándose un turno de 12 horas). En muchas ocasiones se ha comprobado que no existe disponibilidad inmediata para el carguío de restos, no existe lugar para almacenamiento debido al gran espacio que se ocupa por grupo y el procedimiento actual no es capaz de procesar de manera continua los restos provenientes de productos intermedios.

Finalmente, desde los aspectos relacionados a los equipos, se ha establecido un gran gasto en mantenimiento de la Junker, por lo que se consideró el recambio de dicho equipo, obsoleto desde hace ya varios años, y la implementación de una unidad que pueda satisfacer las variables anteriormente señaladas.

Por lo tanto, se concluye la necesidad de implementar equipos trituradores de metal para la reducción del scrap a un tamaño que sea fácilmente manejable, transportable mediante correas transportadoras, apilable para aumentar la capacidad de almacenamiento mediante capachos o containers y que reduzca considerablemente el tiempo para la etapa carga- fusión, como así del gasto de combustible y la reducción de los gastos por concepto de mantenimiento de la cargadora.

Los equipos trituradores de metal son ampliamente usados en la industria del reciclaje de chatarra, mayoritariamente asociados a las siderúrgicas. A continuación, se presenta la cotización realizada.

4.2.3.3. Cotización equipos trituradores de metal

Tabla 4-4. Datos de contacto Empresa proveedora

Nombre	Henan Fengde Machinery Manufacturing CO., LTDA
Dirección	West 4th ring Chemical Industry road of Zhengzhou city, Henan province
Cell/wechat	+86-15890635872
Skype	Allen.lee7882
Email	hnfdjx01@163.com

Fuente: Confección en base a Mensaje Alibaba desde la Empresa a Autores



Fuente: Cotización provista por Empresa proveedora

Figura 4-7. Foto de empresa proveedora

Henan Fengde Machinery Manufacturing es una gran empresa manufacturera situada en Zhengzhou, China. Es especialista en la fabricación de equipos usados en la conminución de distintos materiales, ya sean estos: roca, metal, plástico, entre otros.

Según lo hallado en las variables estudiadas, se ha estimado conveniente el triturar el scrap para su fácil almacenamiento en capachos rectangulares de hierro, como containers, y su siguiente disposición a ser cargados mediante el uso de correas transportadoras.

A continuación, la cotización realizada a la empresa anteriormente mencionada sobre la máquina trituradora:

Tabla 4-5. Cotización máquina trituradora

No.	Description	Quantity	Unit Price (USD)	Total Price (USD)
1	Name : FD-1800 shredder machine Model: FD1800 Origin: Zhengzhou- China (100% brand new)	4 set	69215.00	276920.00
Total (USD) CFR QINGDAO PORT, CHINA				276920.00

Fuente: Elaboración propia en base a Cotización proporcionada por Henan Fengde

Tabla 4-6. Descripción equipo FD1800

Product name	Shredder
model	1800
brand	FD
Motor power	55kw*2
Weight	18t
dimension	3.5m*2m*2m
capacity	20t/h
Final size	10cm
Mantention	1% of price
Feed size	2mx2m
Raw material	Copper plate and waste metal steel scrap. Cars and others metal machines

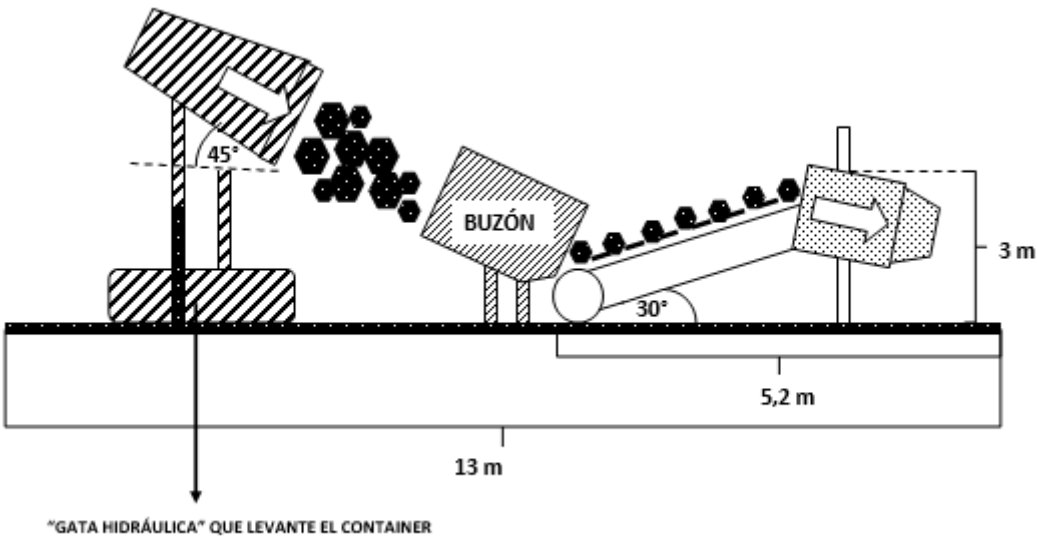
Fuente: Elaboración propia en base a Cotización realizada por Henan Fengde

4.2.3.4. Pre- diseño de la planta de reciclaje

A continuación, se muestra un mapa referencial de la RAF, donde se describirá el circuito planteado para la trituración de scrap.

alta capacidad (100 toneladas por hora) y que, para aprovechar al máximo el rendimiento, cargarán el horno por ambas puertas, esperando alcanzar rendimientos de 200 toneladas por hora.

A continuación, se muestra el pre- diseño del sistema de transporte el que cargará los restos sin la necesidad de una intervención directa por parte de los operadores. Con esta implementación se satisfacen las necesidades halladas en términos de aumento de las toneladas por hora, reducción de las horas empleadas en el carguío, mejoras en la seguridad del personal y reducción del uso de combustible, lo que será expuesto a continuación.



Fuente: Confección en base a Pre- diseño dimensionado en Nave de Hornos.

Figura 4-9. Pre- diseño sistema de transporte

Para el pre- diseño del sistema de transporte, es necesario la correcta elección de la unidad alimentadora (buzón) y las correas transportadoras.

A continuación, se presentan las características generales de los equipos pertenecientes a la empresa Maquinarias Colina.

Tabla 4-7. Características Alimentador Grizzly

Modelo	Alimentación máxima	Rendimiento	Potencia motor (kw)	Peso sin motor (ton)
ZSW 380 x 95 II	500 mm	96-160 ton/h	11	4,2

Fuente: Maquinarias Colina, página web.



Fuente: Maquinarias Colina, página web.

Figura 4-10. Alimentador Grizzly

Tabla 4-8. Características correas transportadoras

Modelo	Ancho cinta (mm)	Largo (mt)	Potencia motor (kw)	Capacidad (ton/h)	Velocidad cinta (mt/seg)
650 x 12	650	12	7,5	131-323	1,3 - 1,6
800 x 12	800	12	11	278-546	1,3 - 1,6

Fuente: Maquinarias Colina, página web.

4.2.3.5. Comparación proceso carguío actual y mejora propuesta

En el tercer capítulo, se estimaron los consumos del horno en términos de combustible y horas. Se calculó el tiempo de carga promedio y el tiempo de fusión promedio de la etapa carga fusión, con la cual se logró acercar al estándar establecido. Sin embargo, se concluyó otros factores involucrados que tenían directa relación con la criticidad de la Junker.

La etapa carga- fusión de la forma actual de carguío de restos, se compone de dos variables. La primera tiene que ver con el tiempo de carga medido en terreno y la segunda relacionada con el tiempo de fusión entregado por estándar de un horno de 450 toneladas.

El principal problema hallado en la estimación del estándar es que no varía en función de las toneladas cargadas, por lo que no es representativo. Según las estimaciones realizadas, se considera un rendimiento de carga de 42 toneladas por hora y de fusión de 64,2 toneladas por hora (explicado en el tercer capítulo).

Por lo tanto, se ha establecido la siguiente ecuación para el cálculo de las horas empleadas en la etapa de carga- fusión, las cuales están en función de las toneladas cargadas.

$$T(ton) = \frac{Ton}{42\ ton/hr} + \frac{Ton}{64,2\ ton/hr}$$

Siendo T= tiempo en horas y Ton= toneladas a cargar

Desarrollando la ecuación.

$$T(ton) = \frac{106,2\ Ton}{2696,4\ ton/hr}$$

Para el cálculo de las horas empleadas en la etapa carga- fusión con la mejora implementada, se ha establecido la siguiente ecuación de tiempo (horas) en función de las toneladas cargadas.

$$T(ton) = \frac{Ton}{200\ ton/hr} + \frac{Ton}{64,2\ ton/hr}$$

Siendo T, tiempo en horas y Ton, toneladas a cargar.

Desarrollando la ecuación.

$$T(ton) = \frac{264,2\ Ton}{12840\ ton/hr}$$

A partir de los tiempos estimados en la mejora de la etapa carga- fusión, se ha logrado establecer la mejora en términos de combustible y, posteriormente, de dólares ahorrados. Para el cálculo del combustible ahorrado, se estimó la cantidad de combustible por hora, en cada hornada dependiendo del tipo de horno cargado (mixto o sólido). Según la tabla a continuación, el consumo de combustible para un horno con carga sólida es mayor que al requerido en uno con carga mixta.

Tabla 4-9. Combustible por hora en distintos tipos de hornos

Consumo carga sólida	1536 m³/hora
Consumo carga mixta	1485 m³/hora

Fuente: Elaboración propia en base a estimaciones de datos Codelco Intranet

Los distintos valores de consumo de combustible se deben a que, en un horno mixto, la etapa carga- fusión se ve acelerada por el trasvasije de líquido, mientras que la misma etapa en un horno sólido toma más tiempo tanto en el carguío como en la fusión.

Al multiplicar la ecuación para el cálculo de las horas empleadas en la etapa carga- fusión con el consumo de combustible en horas, según el tipo de horno, se obtiene las siguientes ecuaciones para el cálculo de combustible en función de las horas empleadas.

$$C(T) = \frac{264,2 \text{ Ton}}{12840 \text{ ton/hr}} \times 1536 \text{ m}^3/\text{hr}$$

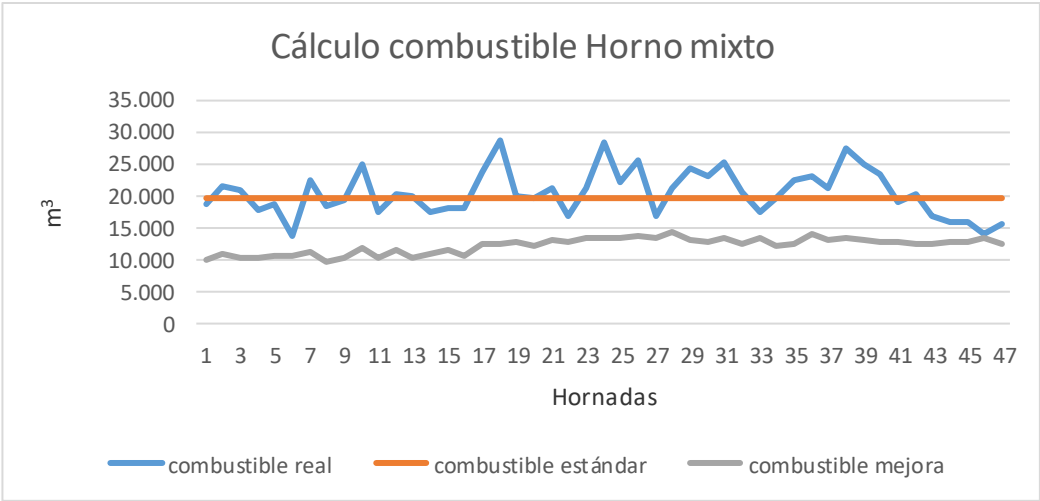
, para un horno con carga sólida.

$$C(T) = \frac{264,2 \text{ Ton}}{12840 \text{ ton/hr}} \times 1485 \text{ m}^3/\text{hr}$$

, para un horno con carga mixta.

Donde C, combustible en m³ y T, toneladas.

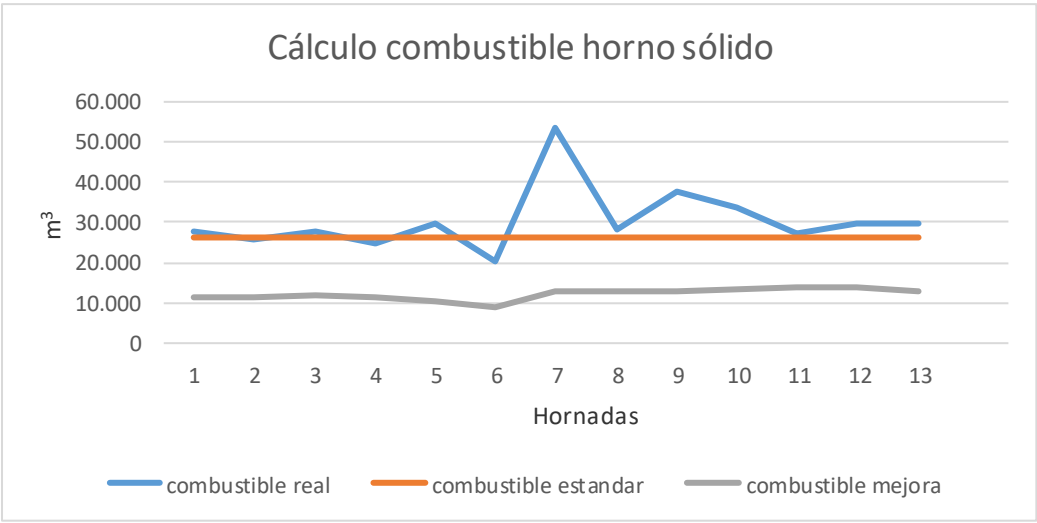
Al reemplazar las toneladas cargadas en los hornos medidos en las ecuaciones de la mejora implementada, se obtienen nuevos valores de combustible en metros cúbicos, los cuales corresponden al consumo de la etapa carga- fusión de la mejora implementada. Al comparar estos valores con aquellos medidos en el consumo real de la etapa carga- fusión, se obtienen los siguientes gráficos.



Fuente: Confección en base a Cálculos de datos Codelco Intranet

Gráfico 4-1. Comparación horno mixto vs mejora propuesta

Como se puede apreciar, las mediciones reales del horno tienden a escapar del estándar y no forman una línea horizontal ya que depende de las toneladas cargadas.



Fuente: Confección en base a Cálculos de datos Codelco Intranet

Gráfico 4-2. Comparación horno sólido vs mejora propuesta

4.2.3.6. Ahorro proyectado

A continuación, se muestran dos tablas, las cuales contienen los gastos anuales actuales de la etapa carga fusión por no cumplimiento del estándar; y el ahorro proyectado, el cual es la diferencia entre los gastos reales de la etapa carga fusión y la mejora propuesta, más el ahorro por concepto de mantenimiento de la Junker.

Tabla 4-10. Gastos en dólares etapa caga- fusión por no cumplimiento de estándar

Item	Pérdidas anuales por no estándar (carga-fusión, combustible)	Pérdidas por fallas y mantenimiento de Junker anual	Total
Costos USD	99.012	251.467	350.479
Costos CLP	67.823.220	172.254.895	240.078.115

Fuente: Elaboración propia en base a Cálculo de las mediciones Codelco Intranet e Informe de Junker

Tabla 4-11. Gastos en dólares consumo real vs mejora implementada

Item	Combustible real etapa carga-fusión	Consumo mejora etapa carga-fusión	Ahorro estimado combustible +Mantenimiento Junker
Costos USD	1.435.196	771.976	663.220 + 251.467 =914.687
Costos CLP	983.109.260	528.803.560	454.305.700+ 172.254895 =626.560.595

Fuente: Elaboración propia en base a Cálculo de las mediciones Codelco Intranet y mejora implementada

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al terminar este trabajo de título, se concluye que el proceso productivo de la División Ventanas posee varios tramos donde es necesaria la modernización, como se expone en el primer objetivo específico de los macro procesos de la División. Específicamente al interior de la Nave de Hornos, el proceso de carguío actual presenta varios aspectos críticos, siendo la cargadora Junker uno de los principales.

Del estándar establecido para las horas y consumo de combustible involucrado en la etapa carga- fusión, se concluye que no representa el comportamiento real de dicha etapa, ya que no varía según las toneladas cargadas por lo que es menester la reformulación de dicho estándar.

Al lograr calcular el tiempo de carga real, es posible establecer las mejoras necesarias para la disminución cuantitativa del tiempo empleado, así como también el consumo de combustible, ya que éste está directamente relacionado al tiempo (considerando un caudal constante). Lo anterior da cumplimiento a los objetivos específicos segundo y tercero, los cuales explican el proceso de carga y fusión al interior de la RAF, y la determinación de las variables a considerar para implementar una mejora.

De la mejora propuesta, los recursos para su implementación se recuperarían con el ahorro proyectado y sustentado en el capítulo 4. Sin embargo, está supeditado a la voluntad de la Estatal en la inversión inicial para su factibilidad.

El pre- diseño mostrado reconoce varias falencias propias de una pre-factibilidad técnica. Su principal intención ha sido el bosquejar el sistema más simple y efectivo para mejorar la carga del horno en términos de tiempo y consumo de combustible. Se recomienda un estudio de factibilidad técnica que se centre en los cálculos técnicos del diseño de correas, del buzón y la máquina basculante.

Con todo, el pre- diseño muestra el ahorro esperado el cual supera con creces la inversión inicial, al no solo eliminar la Junker (junto con los altos costos por mantención), sino también reducir el estándar calculado, traducándose en un ahorro del consumo de combustible. De esta forma, el cuarto objetivo específico cumple su finalidad de presentar una mejora que genere ahorro en las variables descritas en el objetivo anterior.

Se recomienda estudiar la viabilidad de traer una máquina trituradora de chatarra para realizar una prueba preliminar, esto es, comprobar fehacientemente la capacidad de la máquina y el cálculo de la densidad aparente.

No obstante, cualquier mejora o propuesta para cambiar el proceso actual de carga está sujeto a las intenciones de la Estatal por abaratar costos. Esto significa un aspecto a favor y a la vez en contra para la implementación de la mejora. Por un lado, la implementación se traduciría en ahorros considerables para la empresa. Por otro, la misma implementación necesitaría una inversión inicial, cuyo cálculo no es parte de este estudio pero que, al menos, superaría los USD 270.000.

Por lo tanto, los objetivos específicos enunciados en la introducción cumplieron su finalidad en los distintos capítulos, los cuales ponen de manifiesto la poca inversión en cuanto a modernización que ha tenido la planta en su proceso productivo y la posibilidad de generar un ahorro significativo en el carguío de restos.

La implementación de una planta de reciclaje para el reproceso de scrap suple la necesidad de la Mandante por reducir los costos de producción, sobre todo en un sub producto que muchas veces es comercializado al exterior y no aprovechándose en la misma línea productiva. De lo anterior, el objetivo general de mejorar el carguío del horno, cumple las expectativas en cuanto a reducir costos y automatizar el proceso, proveyendo seguridad y modernización a un proceso que ha sido escasamente mejorado desde la inauguración de la División Ventanas.

BIBLIOGRAFÍA

FREDES, GUTIERREZ, Control de Gestión, Chile: memoria para optar al Título de Ingeniero Comercial, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006.

ROMO, Félix PRF- 006, Tratamiento cobre blíster, Chile: Departamento de Refino a Fuego Codelco Ventanas, 2014.

ROMO, Félix PRF- 034, Operaciones Horno Refino, Chile: Departamento de Refino a Fuego Codelco Ventanas.

VARGAS, CIFUENTES, SIMPSON, HERRERA, Refinación electrolítica de scrap particulado, Chile: Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile, 2006.

GALLARDO, Pablo P- SSOH 02, Operacional Grúa Horquilla, Chile: Departamento seguridad Araucanía, Codelco Ventanas 2012.

ROMO, Félix Tablas Enero-Marzo 2016, Consumos del horno, Chile: Departamento de Refino a Fuego, Codelco Ventanas 2016.

ROMO, Félix SIGESSO-SGA, Chile: Departamento de Refino a Fuego, Codelco Ventanas 2014