UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR- JOSÉ MIGUEL CARRERA

FACTIBILIDAD ECONÓMICA MEJORA CARGUÍO HORNO DE FUNDICIÓN EN CODELCO VENTANAS

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en Gestión Industrial

Alumno:
José Emanuel Benites Vásquez

Profesor Guía:
Ing. Cristian Pavéz

2019

Contenido

RESUMEN 3

INTRODUCCIÓN 4

CAPÍTULO 1: PROCESOS PRINCIPALES Y CARGUIO HORNO 6

1.1. GENERALIDADES 7

1.2. MACRO PROCESOS FUNDICIÓN 10

1.2.1. Unidad recepción y mezcla11

1.2.2. Unidad fundición 11

1.2.3. Unidad refinación a fuego 12

1.3. PROCESOS PRINCIPALES RAF Y CARGUIO HORNO 14

1.3.1 Descripción equipos rodante 14

1.3.2 Procesos principales RAF 18

1.4. Procedimiento de carguío actual 20

CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN PROBLEMA Y OPORTUNIDAD MEJORA 24

2.1. ANÁLISIS FODA Y PESTA 25

2.1.1 Análisis FODA. 25

2.1.2 Análisis PESTA. 27

2.2. ASPECTOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS 29

2.3. OPORTUNIDAD DE MEJORA 33

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DE INGENIERÍA 35

3.1. INTRODUCCIÓN 36

3.2. DE LAS MEJORAS PROPUESTAS 38

3.2.1. De la refinación electrolítica de scrap 38

3.2.2. De la fundición de scrap en los Convertidores 41

3.2.3. De la solución de ingeniería 45

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA 57

4.1 PROPUESTA ECONÓMICA. 58

CONCLUSIONES 63

BIBLIOGRAFÍA 65

RESUMEN

Keywords: Factibilidad económica- Mejora- Horno de fundición

El presente estudio de factibilidad económica 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 principales procesos de la División y el carguío actual del horno refino. Su finalidad es entregar un bosquejo genérico de las áreas y funciones en donde se realizará el trabajo de título.

El capítulo dos analiza el entorno de la división Codelco Ventanas junto al análisis externo e interno de la misma para plantear las estrategias a seguir. Junto con eso, analiza los aspectos cuantitativos y cualitativos en los cuales se presentará la oportunidad de mejora.

El capítulo tres se plantea la mejora propiamente tal, comparando distintas propuestas de mejora previas y determinando una que agregue valor según los aspectos y estrategias elaborados en el capítulo dos.

El capítulo cuatro evalúa la solución de ingeniería propuesta desde la perspectiva económica para determinar su factibilidad

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.

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.

INTRODUCCIÓN

La factibilidad económica 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 mantener la producción de cátodos de cobre utilizando el menor gasto posible.

Durante el año 2019, se ha visto un desplome considerable del valor del cobre a nivel mundial, principal materia prima de la economía chilena.

Si bien Codelco a principios del 2015 implementó un plan de ahorro que contemplaba la reducción de US$ 1000 millones, el escenario económico internacional no se ha mostrado favorable, contabilizando entre otros hitos, la llamada guerra comercial entre USA y China.

Lo anterior impulsó una política ambiciosa de reducción de costos un tanto desesperada por parte de CODELCO, puesto que se intentó en pocos años invertir en proyectos estructurales para la modernización de varios procesos cuando ya la crisis estaba instalada en la economía nacional. Crisis que se vio agudizada por el estallido social el pasado mes de octubre, y que llegó a niveles críticos en el actual escenario mundial, con la epidemia del COVID-19 deteniendo la producción de gigantes de la industria, afectando la demanda de cobre y elevando el precio del dólar a precios históricos que no se observaban en décadas.

No obstante, CODELCO ha mantenido el grueso de su línea productiva, si bien ha frenado temporalmente proyectos de inversión estructurales. Se vaticina que recién el 2021 la economía tendrá una leve mejora, por lo que la estrategia corporativa para el 2020 es resistir cuanto se pueda por mantener los costos bajos mientras se cumplen las metas productivas.

En el caso de Ventanas, si bien la crisis ha provocado el cese de algunos contratos con empresas externas y la ausencia de trabajadores dentro del grupo de riesgo, la producción se ha mantenido inalterada, promoviendo un ambiente de tranquilidad dentro de la incertidumbre del entorno.

Dentro de esta crisis se desenvuelve este estudio, que viene a sumar la urgencia que tiene Ventanas (y la industria en general) de promover la inversión en proyectos de mejora continua, reduciendo desperdicios y optimizando el trabajo, de manera tal de ser una empresa rápida al cambio, sobre todo frente a las transformaciones que sufrirá la industria mundial en los próximos meses.

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, entendiendo 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: Reducción de costos asociados al carguío de horno fundición.

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 procesos principales de la Fundición Ventanas y el carguío actual de horno refino obtenidos a partir de los documentos del Departamento de Refino a Fuego.

Segundo objetivo específico: Identificar las problemáticas del proceso carga-fusión para determinar los aspectos cuantitativos y cualitativos, junto a las estrategias para llevar a cabo la mejora a través de análisis FODA y PESTA.

Tercer objetivo específico: Proponer una solución de ingeniería que satisfaga las necesidades del área.

Cuarto objetivo específico: Evaluar económicamente la propuesta mediante un estudio económico.

CAPÍTULO 1: PROCESOS PRINCIPALES Y CARGUIO HORNO

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.

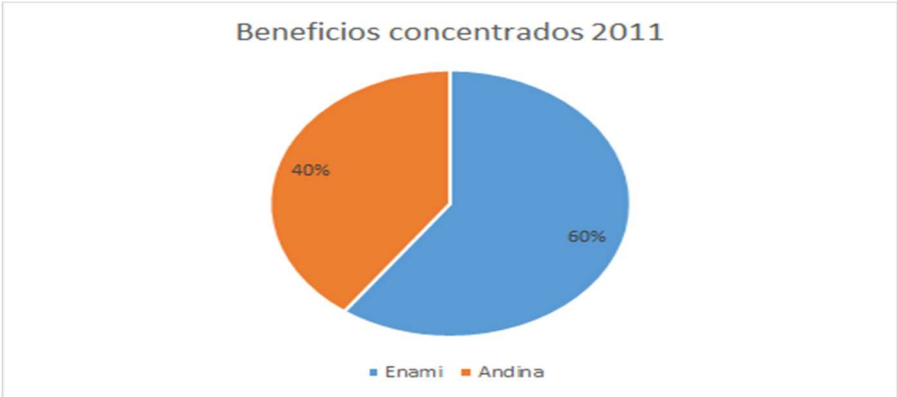
En la tabla se muestran los montos ingresados a la División, en miles de dólares, por los conceptos antes mencionados durante el período Jun-05/Sep-05, que correspondía al período en que Codelco absorbió a Ventanas.

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

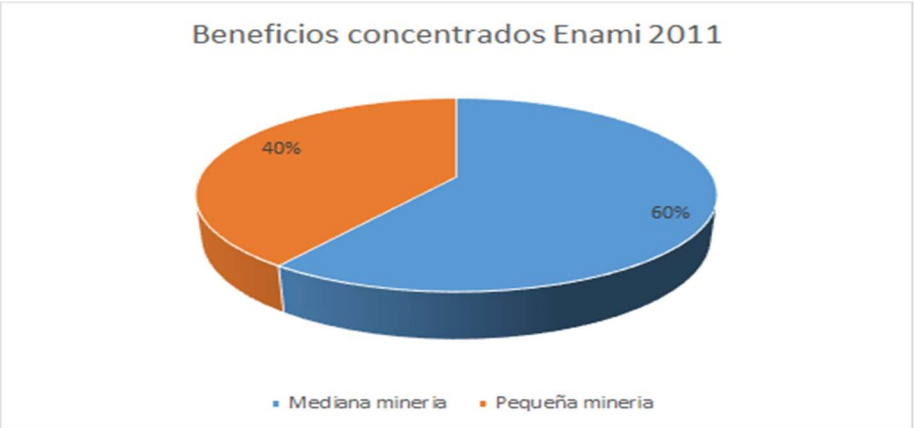
Fuente: Elaboración propia en base a Normas de emisiones FURE 2011

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

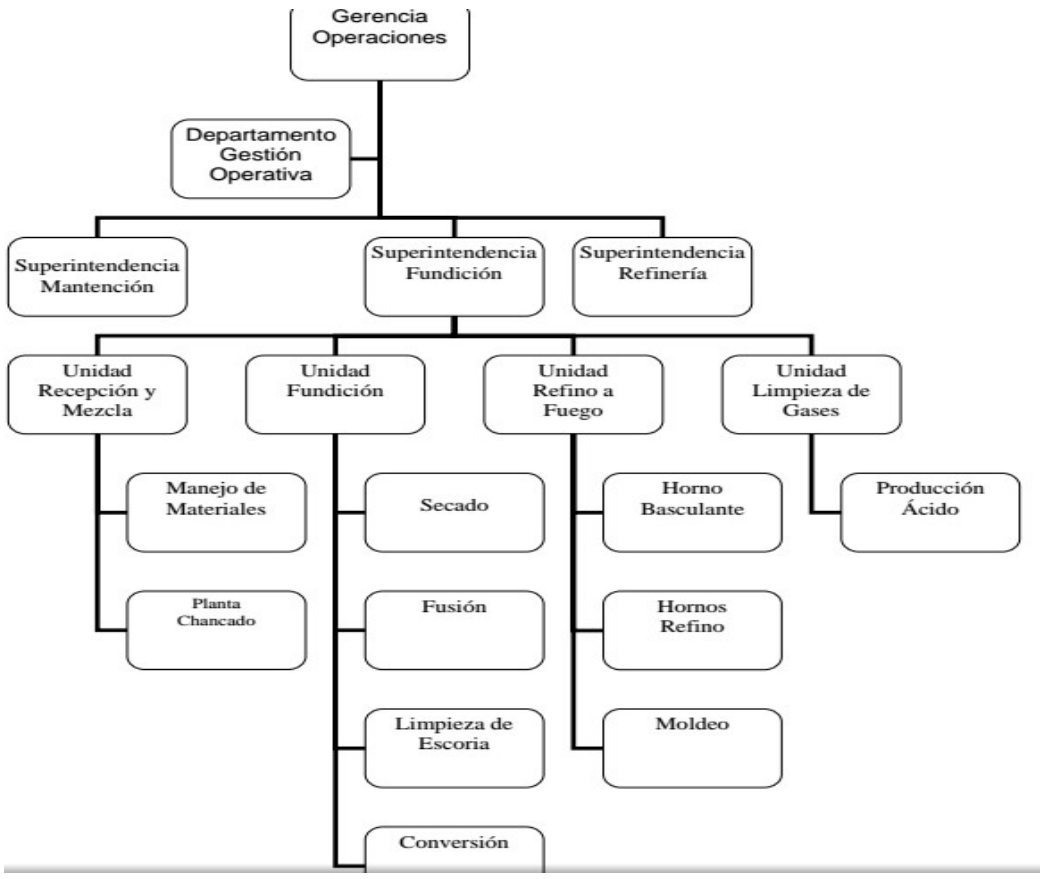
Tabla 1-3. Capacidad de producción

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%.

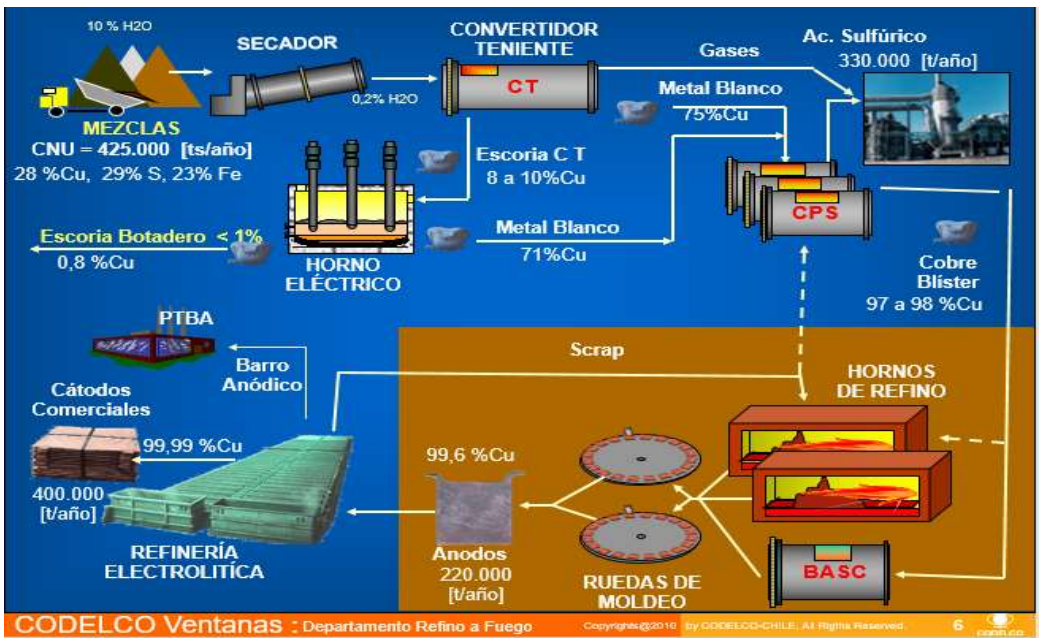
1.2.3. Unidad refinación a fuego

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.



Fuente: SIGESSO- SGA, Departamento Refino a Fuego 2014

Diagrama 1-2. 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

Figura 1-4. Unidades productivas principales División Ventanas

1.3. PROCESOS PRINCIPALES RAF Y CARGUIO HORNO

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 Julio del 2022. 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.

1.3.1 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 1-5. 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 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 1-6. 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 1-7. Imagen tomada en terreno del área de Equipo Rodante

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 1-8. 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

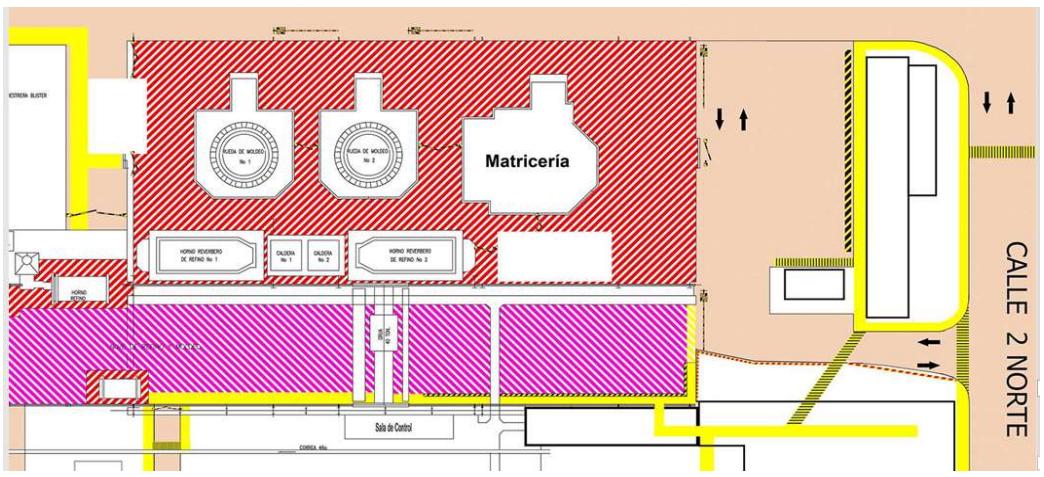
de energía. Sin embargo, en la División Ventanas constituyen la materia prima del carguío del horno de refino.

Fuente: Patio acopio de restos, Nave de Hornos

Figura 1-9. Grupo de restos al interior de Nave de Hornos

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.



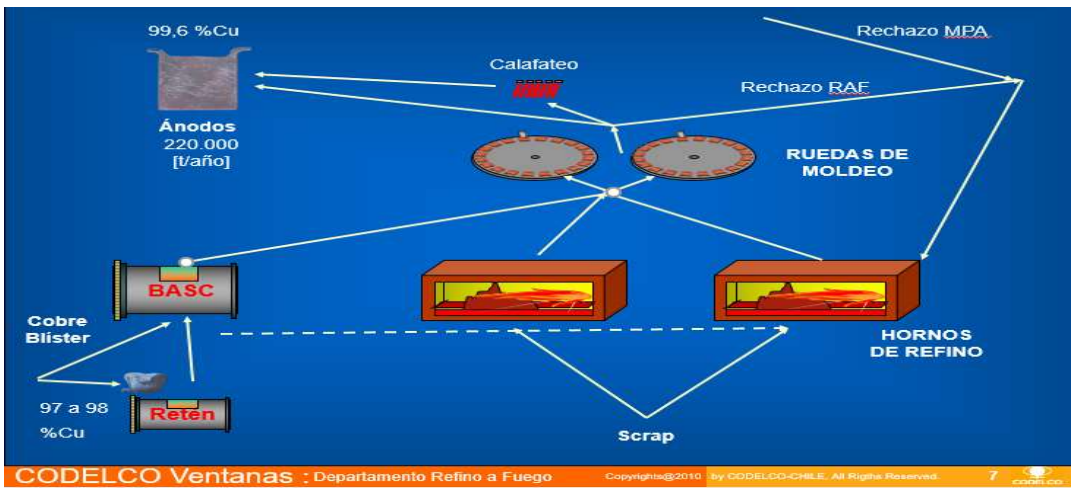
Fuente: SIGESSO 2014, Departamento de Refino a Fuego

Figura 1-10. Mapa de Tránsito Refino a Fuego

1.3.2 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. Según procedimiento interno PRF-034



Fuente: SIGESSO 2014, Departamento de Refino a Fuego

Diagrama 1-3. Proceso refino a fuego

1.3.2.1. Etapa 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 [m^3]. 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 [m^3].

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 [m^3] 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.

1.3.2.2. Etapa 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.

1.4. Procedimiento de carguío actual

1.4.1. 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 trasvasijar 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.

1.4.2. 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 voltee 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 1-11. Grúa horquilla sacando la puerta del horno previo a la carga

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 escaza 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 1-12. 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.

CAPITULO 2: IDENTIFICACIÓN PROBLEMA Y OPORTUNIDAD MEJORA

2.1. ANÁLISIS FODA Y PESTA

2.1.1 Análisis FODA.

El análisis interno del proyecto, desprendido de las iniciales F (fortalezas) y D (debilidades) es como sigue.

***Fortalezas*:**

1) Buen respaldo económico debido a los altos ingresos que ha tenido por la comercialización con China.

2) Alta valoración del talento humano (ingenieros de proyectos expertos y mano de obra calificada) para implementar mejoras con el mínimo de riesgo.

3) Codelco Ventanas cuenta con una buena reputación entre sus clientes comerciales, por lo que no es difícil encontrar accionistas que deseen invertir en sus proyectos.

4) Producto estrella (cátodos comerciales) que le permite tener una posición estratégica en el mercado de metales.

Debilidades:

1) Pérdidas desde el 2010 que han puesto en duda el funcionamiento del negocio.

2) Bajo nivel de automatización de los procesos que genera desperdicio (pérdida material y tiempo de trabajo) y riesgo del personal.

3) Mala imagen ambiental por los incidentes de contaminación registrados en la zona.

4) Bajo nivel tecnológico con respecto a la competencia debido a maquinaria obsoleta y procesos no automatizados.

El análisis externo del proyecto, desprendido de las iniciales O (Oportunidades) y A (amenazas) es como sigue.

Oportunidades:

1) Tendencia mundial hacia una minería verde lo que promueve proyectos de mejora.

2) Política a nivel corporativo de Codelco que fomenta y premia el ahorro en sus procesos.

3) Cambio del paradigma económico en el cual Chile debe invertir en tecnología para no depender, en gran medida, de los commodities.

4) Inversiones sistemáticas para mejorar la calidad medioambiental de los procesos de Codelco Ventanas.

Amenazas:

1) Escenario económico internacional fluctuante que elevaría el riesgo de invertir en proyectos de mejora.

2) Crisis política y económica en Chile que provocaría caída en la producción.

3) Cierre de parte de la fundición de Codelco Ventanas debido a las pérdidas económicas y la mala imagen medio ambiental de la división.

4) Crisis humanitaria por la Pandemia COVID- 19 que augura un mal escenario económico y social para todo el 2020.

Tabla 2-1

Análisis externo/Análisis interno	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	F1. O1. "Transformar los procesos actuales de fundición hacia plantas de clase mundial". F2. O3. "Elaborar concurso de proyectos de mejora para implementar en la división"	D1.O2 "Reducir costos de insumos en áreas críticas donde se pueda hacer una mejora". F2. O1 "Rediseñar los procesos actuales para reducir desperdicio "
Amenazas	F4.A3. "Mejorar la comunicación con la comunidad y la organización, de manera tal de promover la minería verde" F2.A1. "Promover proyectos de mejora que impliquen pequeñas inversión"	D1.A4 "Suspender actividades que no estén relacionadas directamente con la producción". D2.A2. "Automatizar procesos críticos para optimizar el tiempo de trabajo".

Fuente: Elaboración propia.

De la elaboración del FODA cruzado se desprenden las estrategias a seguir según el escenario analizado. Se usará dos criterios, puesto que la crisis humanitaria ocasionada por la pandemia del COVID-19 es reciente y ha venido a cambiar la manera en que se desarrolla la industria.

Por lo que, antes de la crisis humanitaria, la estrategia a seguir venía dada por D1.O2 "Reducir costos de insumos en áreas críticas donde se pueda hacer una mejora", ya que el Corporativo de Codelco había implementado desde ya unos años un plan de ahorro para todas las divisiones, de manera que, fomentando el ahorro, se apaleaba el alza del dólar y la caída del precio del cobre durante el 2015.

Luego, la siguiente estrategia F2.O1 "Rediseñar los procesos actuales para reducir desperdicio "se desprende de la anterior, puesto que ya desde el 2013 se arrastraba una caída del precio del cobre que hacía menester reducir los costos de producción, pero sin incurrir en una fuerte inversión.

Sin embargo, el estallido social junto a él estado de emergencia trajo a relucir la necesidad de reducir la jornada laboral sin sacrificar la producción, por lo que la estrategia D2.A2. "Automatizar los procesos críticos para optimizar el tiempo de trabajo", cobra especial relevancia para no tener tiempos muertos durante el turno

de trabajo. No obstante, luego del estallido mundial de la pandemia COVID-19 se da un segundo escenario en donde es prácticamente imposible implementar planes de mejora, por la caída de la demanda de cobre, los bloqueos aduaneros producto de la crisis sanitaria, el alza abrupta del dólar y la eventual crisis económica mundial.
La estrategia D1.A4 "Suspender actividades que no estén relacionadas directamente con la producción", es la actual a seguir. Pero no es un llamado a la inoperancia, sino a promover modelos de negocios que no dependan industrialmente de China, que es la tendencia global de las últimas décadas. La globalización, según los expertos, en la cual existían países productores de materias primas que, con el objeto de abaratar costos, precarizaban la calidad de vida de su población, ya no es sostenible en el nuevo escenario mundial, por lo que es necesario un cambio de paradigma en el modelo de negocio, de manera tal que lo más importante no sea producir al menor costo, sino hacerlo con responsabilidad y conciencia social. Asimismo, frente a una crisis mundial como ésta, se hizo evidente la fragilidad del modelo económico de la "aldea global": No es posible depender industrialmente de un único proveedor.

Para efectos prácticos de este trabajo de título, se seguirán las estrategias del primer escenario. Sin embargo, la eventualidad de llevar a cabo el ahorro propuesto pertenece a un escenario aún incierto que no es posible llevar a cabo en este momento, debido a la gran incertidumbre económica actual.

2.1.2 Análisis PESTA.

Político: Durante el 2019 se agudizó la crisis política que Chile viene sosteniendo hace varios años atrás, en que la ciudadanía tiene baja confianza en las instituciones y la falta de credibilidad del conglomerado político se ha visto. Esto ha llevado a una serie de medidas por parte del Gobierno para intentar recuperar la confianza de las personas.
Tal es el caso, que el presidente Sebastián Piñera anunció el cierre de la Fundición Codelco Ventanas debido a su mala imagen medio ambiental. Dicho cierre se llevaría a cabo antes del inicio de la COP 25 (que se llevaría a cabo en noviembre del 2019 en nuestro país) y que finalmente no ocurrió debido al estallido social el 18 de octubre del 2019. Debido principalmente a este estallido social, el escenario político ha estado marcado por discusiones que han detenido varios proyectos de inversión.

Económico: Desde un punto de vista interno, Chile se ha caracterizado por ser una economía estable y segura, con pocas crisis internas lo que ha generado la confianza internacional para invertir en el país. A pesar de eso, Chile sostiene una parte importante de su economía en la comercialización de materias primas, principalmente cobre, lo que le ha hecho especialmente vulnerable a variaciones del dólar y del petróleo. Debido al estallido social, el escenario económico del país cambió, pasando a generar mucha incertidumbre en cuanto a cuándo y como recuperar la normalidad.

El Gobierno ha sido cuestionado desde varios frentes. Por un lado, no ha podido mantener el orden y seguridad de manera tal de permitir la comercialización de productos tan básicos como los que se encuentran en un supermercado; mientras que desde otros sectores ha sido cuestionado por la represión y uso de fuerza desmedida por parte de la policía militar. En resumen, el escenario económico es complejo puesto que hay divisiones internas que no permiten desempeñar la productividad normal del país y, por ende, ha generado especulación en cuanto a si invertir en Chile sea una mala idea.
Para agudizar más el delicado escenario económico, la ahora crisis humanitaria provocada por la Pandemia del COVID-19 amenaza con un 2020 de contracción económica.

Social: Como ya se ha tratado anteriormente, a nivel local Codelco División Ventanas no cuenta con la aprobación de la comunidad en general, debido a los casos de contaminación causados por el dióxido de azufre, su principal contaminante, y que han llevado a casos de intoxicación como es el ocurrido hace unos años en una escuela de La Greda. La sensación social es que al empresariado no le importa la calidad de vida de las personas, sino que, en su afán por reducir los costos para maximizar la ganancia, no invierte en procesos amigables con el medioambiente y la población local. La llamada "zona de sacrificio" en la comuna de Puchuncaví, ha mantenido el debate en torno a la poca fiscalización por parte del Estado a las empresas que operar en Chile, para fomentar la Responsabilidad Empresarial Social. El estallido social agudizó la mala imagen de Codelco Ventanas, llegando incluso a eventos donde los pobladores locales han ido a apedrear las instalaciones de la estatal, en rechazo a la contaminación producto de la fundición. Sin embargo, la crisis social no es solamente externa desde el punto de vista divisional, sino también interna, puesto que el anuncio del Gobierno sobre el deseo de cerrar la Fundición de Codelco Ventanas ha llevado a movilizaciones sindicales y paralización de faenas llevadas a cabo durante los meses de Agosto y Septiembre. No obstante, con la suspensión de la APEC y la COP 25, la amenaza de cierre de la fundición disminuyó, puesto que la crisis socio- política en Chile llevó a mantener el negocio, esto es, no invertir en ningún proyecto, ya sea de inversión, cierre o mejora, hasta haber pasado la crisis.
Sumado a esto, la Pandemia COVID- 19 ha provocado que varias empresas, para resguardar su capital de la quiebra, hayan despedido y/o cesado sus funciones, ocasionando aumento del desempleo y precariedad en la calidad de vida de los ciudadanos chilenos, instaurando la incertidumbre sobre la población que ha visto mermado su ingreso económico.

Tecnológico: El proyecto presenta una baja complejidad tecnológica, puesto que no se trata de innovación, sino la incorporación de maquinarias hace tiempo ya usadas por la industria en la reutilización y reciclaje de materiales. No obstante, son maquinarias que se encuentran en China, ya que Chile no cuenta con una industria nacional en la fabricación de piezas y maquinarias, éstas se deben importar. Debido

al estallido social y la actual crisis mundial por al COVID-19, es imposible en el corto plazo importar desde China dichas maquinarias y, en el largo plazo, ésta crisis supone un cambio en el modelo económico mundial, por lo que hace aún más complejo el adquirir dicha tecnología.

Ambiental: Desde una perspectiva interna, el proyecto beneficia al orden y seguridad de la División al hacerse cargo de una problemática que pone en riesgo la seguridad de los trabajadores. A su vez, apuesta por el camino de la reutilización de materiales, promoviendo la incorporación de la mentalidad de "minería verde" a una División que se caracteriza por no ser amigable con el medioambiente. Puesto que los paradigmas económicos y sociales apuntan a una economía circular, esto es, una que se encargue de los residuos generados por el negocio para su reducción y/o aprovechamiento, el proyecto es atractivo desde una perspectiva medioambiental.

2.2. ASPECTOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

Considerando las tres estrategias desprendidas del análisis FODA, se analizarán los aspectos cualitativos y cuantitativos del proceso de carga- fusión con la finalidad de reducir o eliminar desperdicios, tomando así las tres acciones descritas: "Reducir, rediseñar, Automatizar".

Los aspectos cualitativos de la etapa cargan fusión:

a) De la 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.

b) Del rendimiento de la Junker: La máquina cargadora (Junker) es un equipo obsoleto y ya depreciado en relación con su vida útil, que genera elevados costos de reparación (se verá en los aspectos cualitativos) y, al ser operado manualmente, expone peligrosamente al operador a la entrada del horno.

c) De la experticia del operador: El óptimo desarrollo de la carga depende de muchos factores, entre ellos la calidad de la carga y el error humano; los cuales no son controlables. De allí la importancia de automatizar, ya que de esa forma se evitan tiempos muertos o disconformidades asociadas al mal manejo de la operación.

d) Riesgo asociado a la tarea: 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, existe exposición directa a la línea de fuego de los operadores involucrados, lo que ha provocado en distintas ocasiones, detenciones de la faena por hallazgos que vulneran la seguridad. Ejemplo de esto son las ocasiones en que, al producirse 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. 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 10 min, para luego ser reparada, lo que puede tardar entre 30 minutos y 1 hora más.

En cuanto a los aspectos cuantitativos, existen tres factores a considerar en la etapa carga- fusión. Estos son: la criticidad de la máquina cargadora (Junker), el sobre consumo de gas natural por no cumplimiento del estándar y el tiempo empleado en la etapa carga- fusión, relacionado con el factor anterior.

Si bien estos factores están relacionados entre sí, desde un punto de vista económico se dividirán en dos: la criticidad de la Junker (los costos anuales de mantenimiento) y el gasto de combustible en el tiempo de carga (traducido en términos monetarios)

De la criticidad de la Junker

Las fallas del equipo durante la etapa de carga afectan en el consumo de energía para mantener la temperatura del horno y en la continuidad de los moldeos generando pérdidas de producción. Es un equipo que se usa solamente en esta etapa, siendo inútil para cualquier otra función.

De acuerdo con los antecedentes existentes, las cargadoras ya han cumplido ampliamente su vida útil recomendada por el proveedor (se adquirieron en la inauguración de la planta en la década del 60). Puesto que ya no existe el modelo en el mercado, se ha alargado su vida útil excesivamente a través de reparaciones anuales según se describirán a continuación.

Tabla 2-2. 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 puesto que 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.

Análisis de Criticidad

Sistemas Junkerath	TMEF (-)	TMPR (Horas)	Impacto (Horas)
Hidráulico	5	1	5
Eléctrico	150	0,2	30
Control			0
Traslación	120	0,75	90
Frenos	6	0,1	0,6
Total	281	0,5125	125,6

Anual Horas
72

Fuente: Informe Junker, Codelco 2012.

Imagen 2-1. Análisis de criticidad

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.

Pérdidas monetarias en la etapa de carga.

Siguiendo la estrategia establecida, la etapa carguío- fusión del horno refino es donde se concentra el mayor consumo de combustible, por ende, es el lugar donde se han analizado los desperdicios para implementar una mejora.

Puesto que el horno está quemando combustible constantemente, la demora en el proceso de carga aumenta el tiempo en que este se encuentra fundiendo, por lo que ahí la criticidad de la Junker juega un papel fundamental.

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 Nm^3/Hda			Consumo Nm^3/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

Imagen 2-2. Datos de horno refino

Según el cuadro anterior, en el primer trimestre del 2016 no se cumplió ningún estándar del tiempo establecido para cada etapa, y por ende, en el consumo de combustible, por lo que repercute monetariamente como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3-5. Diferencias consumo real y estándar etapa carga-fusión

Meses	m^3/mes (real)	USD consumo real	m^3/mes (estándar)	USD consumo estándar	Pérdida en USD
Ene-16	447.134	147.554	441.300	145629	1.925
Feb-16	511.626	168.836	427.500	141.075	27.761
Mar-16	404.754	133.568	395.100	130.383	3.185

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

Si bien este trimestre fue particularmente malo, no obstante, es una buena muestra de la falta de control en el proceso, afectado por la nula automatización del carguío y las habituales fallas de la Junker.

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 rebalses de cobre, lo que, al ser una carga más pesada y compacta, reducen el tiempo de carga.

2.3. OPORTUNIDAD DE MEJORA

Considerando las estrategias establecidas por el análisis FODA y el entorno donde se encuentra Codelco Ventanas otorgado por el análisis PESTA, es prioritario reducir los desperdicios hallados en la etapa carguío- fusión, la cual es considerada crítica por ser la etapa con más gasto energético.

Este desperdicio está relacionado por el actual sistema de trabajo en donde la continuidad de la operación está basada en una única maquinaria: cargadora Junker.

Por ende, se propone el rediseño del actual sistema de trabajo que involucre el cambio del equipo crítico por unidades modernas y reemplazables, que abaraten costos de mantenimiento y que ofrezcan un mayor grado de automatización.

De esta manera, existe oportunidad de mejora que agregue valor al proveer un área de trabajo ordenada y segura, evitando la exposición directa del personal con material incandescente, que mejore el carguío manual a uno con mayor grado de

automatización y más rápido, reduciendo el gasto energético por debajo del estándar requerido, beneficiando el ahorro.

Tabla 2-12. Tabla pérdidas por concepto de no- estándar y mantenciones

Item	Pérdidas año 2016 por no estándar (carga-fusión, combustible)	Pérdidas por fallas y mantenimiento de Junker anual	Total
Costos USD	49.979	210.000	259.979

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

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DE INGENIERÍA

3. DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

3.1. 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 de 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.

En el escenario proyectado, Ventanas se dejaría de fundir concentrado, por lo solo se dedicaría a refinar lo productos que la fundición de Caletones 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 durante los años 2016 al 2018, el proyecto FURE aún no está descartado del todo.

Sin embargo, ya entrado el 2020 el precio del cobre no mejorará, producto de las distintas crisis que han desencadenado en una contracción del precio de la libra al bajar la demanda y aumentar el precio del dólar, deteniéndose varios proyectos a la espera de circunstancias más favorables para la economía.

3.2. 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.

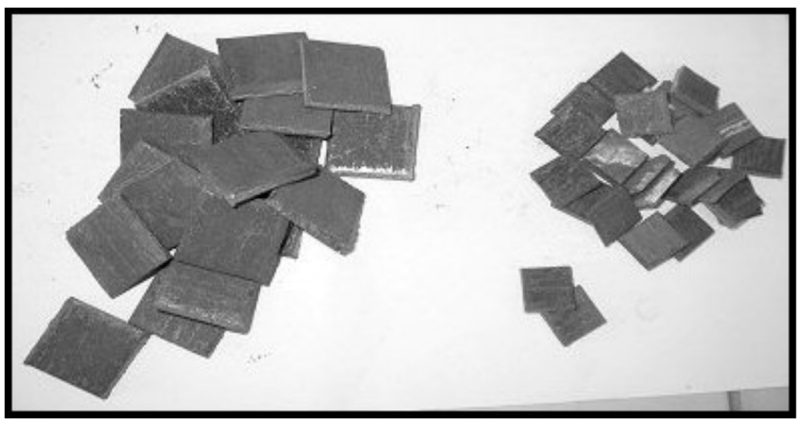
3.2.1. De la refinación electrolítica de scrap

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 electro refinación 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 electrorefinería convencional.



Fuente: CONAMET/SAM- 2006

Figura 3-1. Trozos scrap de ánodos

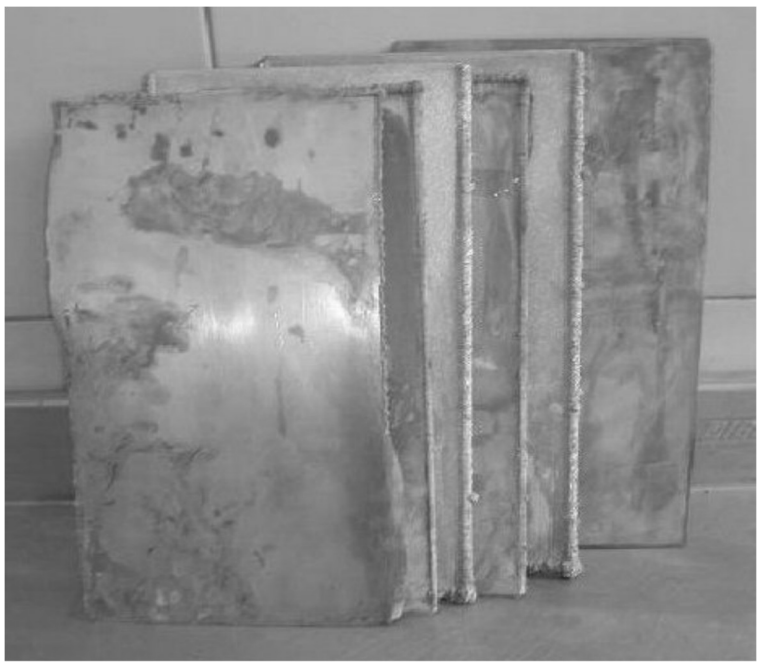
Luego, se procedió a realizar distintas pruebas con diferentes datos en las variables que componen el proceso (voltametría lineal, con o sin agitación) para analizar los resultados obtenidos. De las pruebas realizadas, el número 8 fue la que presentó mejores condiciones de trabajo en términos de recuperación 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 3-1. 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 3-2. 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 le 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.

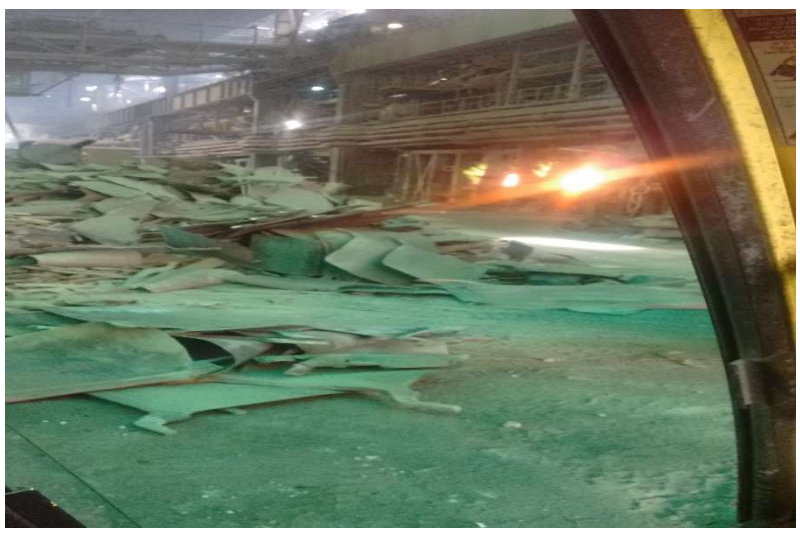
Sin embargo, la idea de procesar el scrap en la fundición de concentrados es una idea que se llevó a cabo durante este año y que será expuesta a continuación.

3.2.2. 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.

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

Figura 3-3. Restos amontonados en patio de RAF



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

Figura 3-4. 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.m^3 hasta 3m^3 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 3-5. Cargador frontal y horquilla cargando conjuntamente los restos

Tabla 3-2. Datos de tiempo y toneladas carga mediante camión

N° 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

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 3-3. 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.

3.2.2.1. 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 $6m^3$ 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 3-6. Olla cargada (idealmente) en el sector de carga fría CPS

3.2.3. De la solución de ingeniería

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.

3.2.3.1. 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 $16m^2$ 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.

Tabla 3-4. 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 3-7. 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.

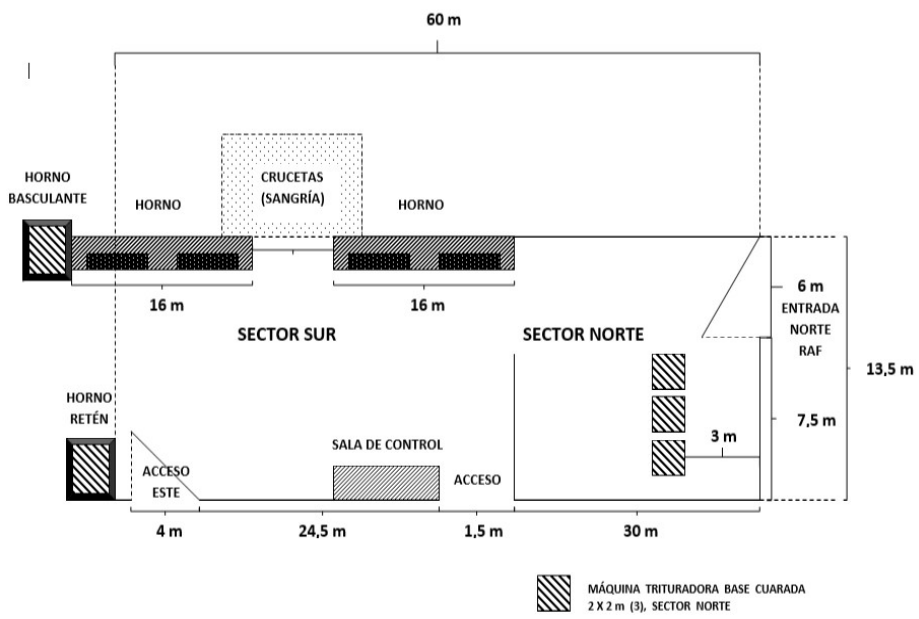
Tabla 3-6. Descripción equipo FD1800

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

3.2.3.2. 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.



Fuente: Confección en base a datos tomados en Nave de Hornos.

Figura 3-8. Mediciones en terreno plano RAF

En el sector sur, los tres cuadrados representan las máquinas trituradoras, las cuales tendrán una capacidad total (según la información proporcionada por el fabricante) de 60 toneladas por hora.

Lo anterior permite una producción continua de material para ser cargado en el horno, ya que la cosecha de restos se realiza tres veces por turno y cada 2 horas y media aproximadamente.

Sin embargo, la mayor parte del tiempo, los grupos de restos son almacenados al interior de la RAF y en el patio de productos intermedios, lo que produce, eventualmente, una sobre acumulación de estos, ya que cada grupo ocupa, en promedio, 35 m^2 de superficie. Por lo que se propone la utilización de tachos metálicos de 1,5 metros de alto, 2 metros de ancho y 3 metros de largo, los cuales tienen la ventaja de poder ser apilados para aprovechar de mejor manera la superficie. La densidad del scrap triturado se estimó comparándose con la densidad aparente de la chatarra, la cual oscila entre 1,5 ton/m^3 y 2,5 ton/m^3 dependiendo del grado de compactación. Para los 9 m^3 de un tacho, se calcula 18 toneladas aproximadamente, los cuales serán cargados mediante una grúa horquilla de alto tonelaje y almacenados tanto en el sector norte como en el sector sur de la RAF.

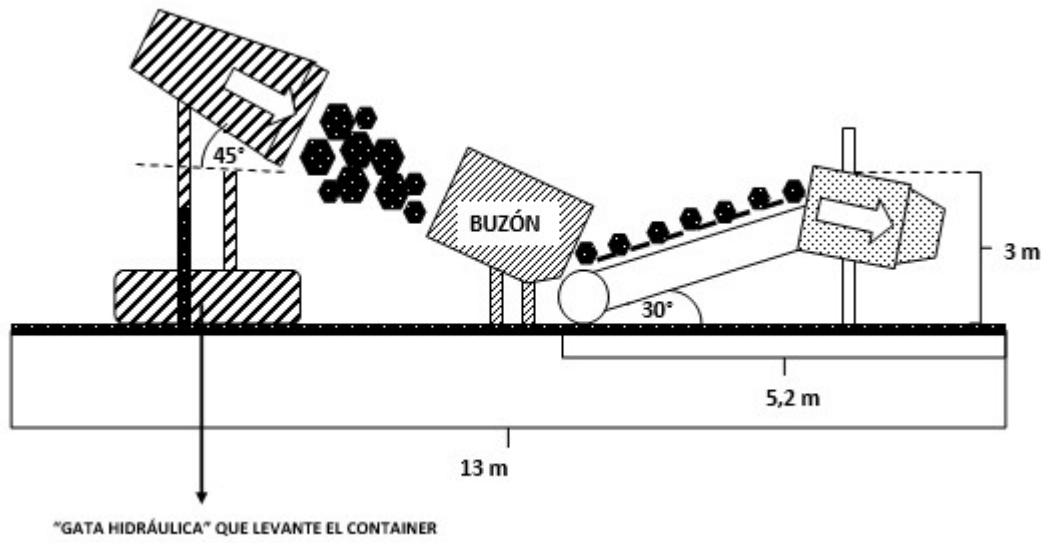
Por lo tanto, para 35 m^2 donde se almacenan, actualmente, alrededor de 35 toneladas de restos, podrán caber 216 toneladas (considerando apilar de a dos tachos, con 12 totales).

Esto significa una mejora en términos de espacio y disposición de restos para la carga, ya que no habría necesidad de buscar de realizar mayores movimientos.

Para cargar dichos tachos, se ha contemplado el uso de un dispositivo hidráulico basculante, una especie de "gata hidráulica" para que haga deslizar la carga al buzón de descarga, el cual traspasará dicha carga a correas transportadoras de

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 3-9. 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 3-7. 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 3-10. Alimentador Grizzly

Tabla 3-8. 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.

3.2.3.3. 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. Esto quiere decir que, luego de cargado el horno a una tasa de 42 toneladas cada hora, se procede a una etapa de fusión que demorará dependiendo la cantidad total de carga, dividido en 64,2 toneladas por hora.

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 3-9. Combustible por hora en distintos tipos de hornos

Consumo carga sólida	1536 m^3/hora
Consumo carga mixta	1485 m^3/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.

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

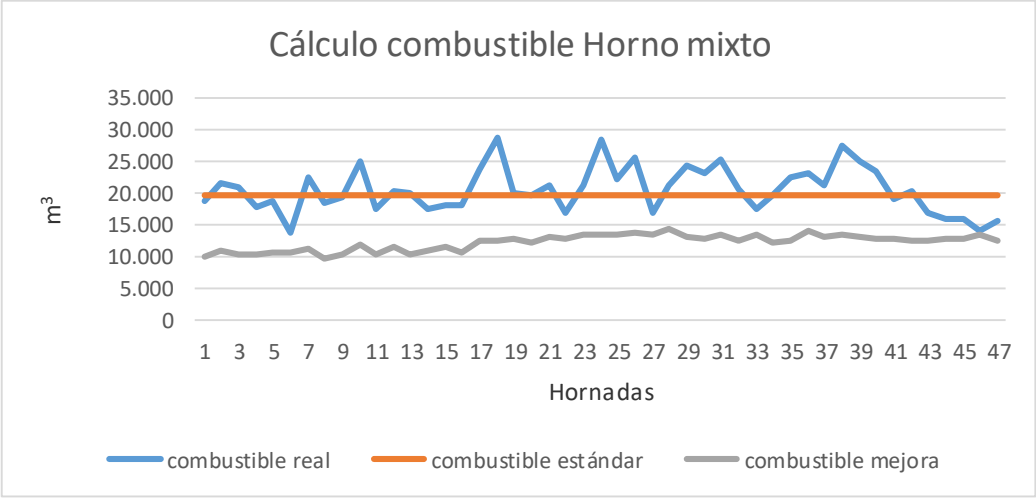
, para un horno con carga sólida.

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

, para un horno con carga mixta.

Donde C, combustible en m^3 y T, toneladas.

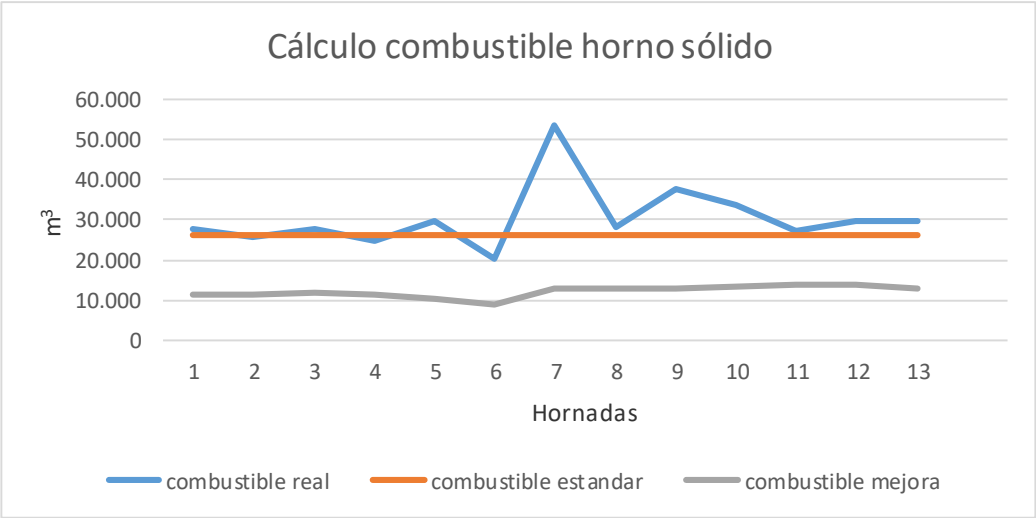
Al reemplazar las toneladas cargadas en los hornos medidos en las ecuaciones de la mejora implementada, se obtienen nuevos valores de combustible en metros cúbicos, los cuales corresponden al consumo de la etapa carga- fusión de la mejora implementada. Al comparar estos valores con aquellos medidos en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



Fuente: Confección en base a Cálculos de datos Codelco Intranet

Gráfico 3-1. 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 3-2. Comparación horno sólido vs mejora propuesta

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 PROPUESTA ECONÓMICA.

Considerando los análisis FODA y PESTA asociados a la División Ventanas, este año 2020 no muestra un futuro auspicioso para los proyectos que requieren gran inversión. La inestabilidad social y económica que atraviesa el país, sumado a los cuestionamientos sistemáticos a la División en materias medio ambientales y presupuestarios, han frenado momentáneamente proyectos de mejoramiento y/o modernización.

Un último componente de riesgo se ha sumado a la ecuación: el COD-19, coronavirus que prácticamente ha paralizado los intercambios de bienes en el mundo.

Por lo anterior, la propuesta está orientada en reducir los gastos del proceso de carga en dos variables: el consumo de combustible y los costos de mantenimiento. Al reducir el tiempo de carguío también se verá reducido el gasto de Nm^3/h; lo que a su vez está correlacionado con las fallas que presenta la cargadora "Junker", cuyo mantenimiento anual es elevado al tratarse de una máquina obsoleta (su fabricación está discontinuada y su vida útil caducada hace 40 años).

Por lo tanto, el proyecto se evaluará en función del ahorro que genera frente al presupuesto del área intervenida.

La cotización de la planta de reciclado propuesto en el capítulo 3 es como sigue:

Tabla 4-1. 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 4-2. Costos equipo y traslado desde China

Item	US$
POB	276.860
Seguro	5.568
Flete	1.543
CIF (total)	283.971
Otros insumos	148650
Instalación	14540
Capacitaciones	1700
Total	448.861

Fuente: https://www.asia-trade.cl/calculadora-costos-importacion/

En el capítulo anterior, se planteó la propuesta de ingeniería que aprovechaba la ineficacia del proceso carga-fusión en el cumplimiento del estándar para generar un ahorro. Esto principalmente por la nula automatización del proceso de carguío que ocasionaba gastos energéticos por retrasos relacionados principalmente por la Junker, la que a su vez tenía un excesivo costo de mantención anual.

Además, se propuso un nuevo estándar en gasto de combustible, al reducir el tiempo de carga. A continuación, se detalla el ahorro anual estimado.

Tabla 4-3. Pérdidas consumo combustible 2016

Consumo m3 combustible etapa carga-fusión 2016			
	Consumo real	Estandar	Diferencia
Enero	447134	441300	-5834
Febrero	511626	427500	-84126
Marzo	404754	395100	-9654
Abril	435332	433212	-2120
Mayo	454676	434321	-20355
Junio	484566	475898	-8668
Julio	476364	473212	-3152
Agosto	421931	423733	1802
Septiembre	411874	412877	1003
Octubre	456021	454324	-1697
Noviembre	499830	485893	-13937
Diciembre	442334	437622	-4712
Total			-151450
Total USD			$ -49.979

Fuente: Intranet Codelco Ventanas.

Tabla 4-3. Gastos en dólares consumo real vs mejora implementada

Item	Combustible real etapa carga-fusión	Consumo mejora etapa carga-fusión	Ahorro estimado combustible +Mantenimiento Junker
USD	1.435.196	771.976	873.220

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

Tabla 4-4. Ahorro anual mejora propuesta.

Item	USD
Consumo real etapa carga-fusión anual (a)	1.435.196
Consumo mejora etapa carga-fusión anual (b)	771.976
Ahorro consumo combustible (a-b=c)	663.220
Costo anual mantenimiento Junker (d)	210.000
Costo anual mantenimiento mejora (e)	166.116
Ahorro anual mantenimiento (d-e=f)	85.351
Total, ahorro anual (c+f=g)	748.571
Costo total mejora (h)	448.861
Margen (g-h=i)	299.710

Fuente: Cálculos propios basados en cotización y costos de RAF.

Según lo recopilado en el 2016, hubo una pérdida de USD 49.979 solamente por un exceso gasto de combustible debido al no estándar del tiempo empleado en el carguío según el procedimiento actual. Esto no considera otras pérdidas como lo son el oxígeno y la energía eléctrica, así como el carbón involucrado en la etapa de carga, por lo que la pérdida declarada es apenas el inicio de otras problemáticas del área, lo cual promueve el empleo de estudios futuros.

La propuesta económica se basa en generar un margen en el costo del combustible en la etapa actual y el presupuesto del mantenimiento anual de la cargadora Junker, al incorporar la solución de ingeniería del capítulo anterior. Este margen es el ahorro proyectado para el primer año del proyecto, pudiendo capturar USD 299.710. Se ha enfocado en abaratar costos siguiendo las estrategias elaboradas en el capítulo dos, puesto que las instalaciones, equipos, personal y otros insumos como la energía se aprovecharán de las ya instaladas, intentando así reducir el costo de la inversión.

No obstante, la inversión inicial de USD 448.861 aún presenta varios ajustes que es menester realizar, puesto que los equipos cotizados no han sido probados en terreno, por lo que su real capacidad es desconocida dentro del ambiente de trabajo al cual serán sometidos. De la misma manera, el uso de energía se ha asumido como el mismo presupuestado para la cargadora Junker, intentando así reducir las variables comparativas solo a la eficiencia del tiempo de trabajo y el gasto de combustible. Hacer el mismo trabajo en menor tiempo, reduciendo el desperdicio ocasionado por la baja automatización del proceso y el escaso control de este. En cuanto a la automatización y control, es otro aspecto que considerar de este proyecto. Puesto que este estudio es un avance preliminar que considera la tecnología necesaria para implementar la mejora y los costos globales de la misma, existen otros costos que contemplan la implementación de un plan de gestión de calidad que establezca los estadísticos necesarios para el control adecuado del nuevo proceso, así como los nuevos procedimientos de trabajo, elaboración de planes de seguridad y nuevas metas de producción.

En cuanto a la inversión inicial del proyecto, es conocido que CODELCO no tiene dentro de sus políticas realizar inversiones grandes (entendiendo que una inversión a gran escala ronda los USD 500 millones, que sería el costo para modernizar completamente la unidad de Refino a Fuego), por lo que esta inversión, al ser inferior a USD 1 millón estaría dentro de la estrategia propuesta en el capítulo dos. Sin embargo, es posible contratar una empresa contratista que se haga cargo del proyecto, aunque no sería ideal, puesto que allí se sumarían los costos mencionados anteriormente (contratación y capacitación de personal nuevo, adquisición de equipos, costo de instalaciones, mayor costo de mantenimiento, el margen de ganancia de la empresa contratista dada por la tasa de descuento, etc). Por lo cual, no sería atractivo el proyecto desde un punto de vista ahorrativo comparado a la opción inicial.

Una vez superado el primer año, el nuevo presupuesto para la mejora implementada tendrá el alivio de no tener los desperdicios hallados en el área, lo que abarataría los costos en USD 748.571 anuales. Puesto que la finalidad del estudio es la reducción de costos, no se propuso la idea de un negocio, para lo cual se necesitan otros datos no disponibles como el costo de producir una unidad de resto reprocesado (unidad puede ser en cantidades, toneladas, ánodos resultantes), el precio de una unidad de ánodo reprocesado para ser vendido a la siguiente área que transformará dicha entrada en un producto final llamado cátodo comercial. Así como las metas de producción del área traducidas en cuántas hornadas mensuales son requeridas y el presupuesto destinado para ello. Si se contara con dichas cifras, sería posible realizar el flujo de caja del proyecto y valorizar monetariamente la mejora desde un punto de vista comercial, esto es, generar ganancia por un aumento de la producción a un menor costo.

Finalmente, Codelco ha paralizado momentáneamente los proyectos de inversión en la División Ventanas, por lo que, si bien es posible reducir considerablemente el presupuesto de combustible e impactar positivamente en los costos de producción, es necesario de capital para llevar el proyecto a cabo. Considerando el escenario actual, no hay inversión posible que haga factible la mejora propuesta, hasta que pase la crisis. No obstante, una vez identificados los problemas de la etapa analizada y establecidas las estrategias para reducir costos, rediseñar el proceso y automatizar el carguío del horno, es cuestión de esperar a que el clima económico sea favorable.

CONCLUSIONES

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.

En el capítulo dos se analizó externa e internamente el lugar donde se llevará a cabo la mejora junto al entorno en donde se desenvolverá el proyecto. Se hace notorio que el clima económico no es favorable para proyectos de inversión. Sin embargo, el identificar las estrategias es clave para saber identificar los desperdicios del área y la oportunidad de mejora a la espera de un mejor escenario económico.

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; así como también establecer a la cargadora Junker como un equipo responsable de los desperdicios hallados en el área y que impide un mejor uso de los recursos, por lo que es menester modificar el proceso de carga.

De la mejora propuesta, en el capítulo tres, se concluye que existe la tecnología requerida para reducir los costos y automatizar el proceso de carga, los cuales están contenidos en la solución de ingeniería. 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. Sin embargo, es menester realizar un prototipo de la planta y testearla en terreno para establecer los puntos de control del proyecto.

El capítulo cuatro compara los costos de mantenimiento según el carguío actual y el consumo de combustible con la mejora propuesta, estableciendo una reducción sustancial de los costos en términos de gasto combustible y mantenimiento anual. A pesar de eso, se reconocen costos de puesta en marcha y de gestión de manera tal de llevar el proyecto a una prueba preliminar que no se consideran en la inversión propuesta; a pesar de eso, el ahorro potencial es atractivo. Puesto que se propuso una reducción de costos, no se elaboró un plan de negocio que considere el flujo de caja del proyecto, según los datos faltantes descritos en el capítulo mencionado. No obstante, es necesario una inversión inicial que, según el escenario económico actual, vuelve inviable el proyecto

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 subproducto 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