

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

**“MODIFICACIÓN DE HORNO ANÓDICO N°3 A HORNO LIMPIEZA N°5  
PARA FUNDICIÓN DE COBRE CALETONES-CODELCO DIVISIÓN EL  
TENIENTE”**

**Memoria para optar al Título de:  
INGENIERO CIVIL MECANICO**

**ALUMNO : Felipe Benjamín Fuenzalida Reyes  
PROFESOR GUIA : Yunesky Masip Macia**

**2017**

## Dedicatoria

A mi Padre Ananías, a mi Madre Rebeca, y a mi esposa Yesenia Hernández e Hijos Monserrath, Gadiel y Ana Luz.

## Agradecimientos

A mi padre Ananía por depositar su confianza en mí y apoyar este sueño de convertirme en un profesional.

A mi madre Rebeca, mis hermanos, hermanas, familiares y amigos.

A mi esposa Yesenia Hernández, por su apoyo y constante soporte sobre todo en la recta final de este camino.

A CODELCO CHILE, División el TENIENTE, Fundición CALETONES, en especial a la Súper Intendencia de Mantenimiento y a su Jefe de Unidad Mantención Nave Don Pablo Delgado Navarro, por su tiempo, confianza y entrega en el apoyo técnico y de ingeniería en el proyecto.

Por sobre todo a mi Señor y Dios, eternamente agradecido; “La bendición, la gloria, la sabiduría, la acción de gracias, el honor, el poder y la fortaleza, sean a nuestro Dios por los siglos de los siglos. Amén”. (Apo 7:12 LBLA)

## Resumen

Cualquier equipo de proceso industrial, requiere mantenimiento en especial si se trata de equipos de fundición de cobre, los cuales están sometidos a altas temperaturas, ataques químicos, golpes, corrosión excesiva, para resguardar la integridad del equipo y mantener los niveles productivos. Un ejemplo de esto es lo que sucede en la Fundición Caletones de la División El Teniente, que por la operación en sí, se debía sacar a mantenimiento general los hornos de limpieza de escoria, con la salvedad que se debían reducir los actuales niveles productivos, dejando de percibir ingresos importantes, cada vez que estuviera un equipo fuera de la línea de producción. Debido a esto, se opta por la modificación de un Horno de refinación Anódica a un Horno de Limpieza de Escoria, con lo cual poder sacar al HLE defectuoso a mantención general, uno por vez según su estado, manteniendo los actuales niveles de producción, haciendo más eficiente la utilización de todos los hornos de la Fundición y creando una mayor capacidad de proceso de escoria, para el aumento de la producción en un futuro próximo.

La ejecución de este trabajo fue llevado a una licitación, para la cual Codelco, entrego una Base Técnica, para desarrollar los trabajos de la forma requerida por la División el Teniente y realizar la cotización de las partidas. El trabajo fue adjudicado por la empresa "Servicios industriales Pacoll", en la cual el autor de este escrito, fue el Supervisor General a cargo de todo el servicio, este fue ejecutado siguiendo la base técnica entregada, carta Gantt y aspectos acotados por el personal DET, a pesar de la incorporación de trabajos no contemplados inicialmente en la modificación del HREA N°3 al HLE N° 5, y proponiéndose modificaciones en la ingeniería básica inicial, estos se desarrollaron de buena manera y fueron entregados a DET en conformidad.

## INDICE

1.	INTRODUCCION .....	- 5 -
2.	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA. ....	- 9 -
2.1.	Codelco Chile .....	- 9 -
2.1.1.	Divisiones.....	- 9 -
2.1.2.	Plataforma estratégica. ....	- 11 -
2.2.	Historia división El Teniente.....	- 12 -
2.3.	Fundición Caletones .....	- 14 -
2.3.1.	Estructura orgánica fundición Caletones.....	- 14 -
2.3.2.	Superintendencia de mantenimiento. ....	- 14 -
2.4.	Proceso productivo fundición Caletones.....	- 15 -
2.5.	Disposición equipos en fundición Caletones.....	- 24 -
3.	ANALISIS DE LA SITUACIÓN. ....	- 26 -
3.1.	Evaluación económica.....	- 28 -
4.	DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS ACTUALES. ....	- 29 -
4.1.	Horno limpieza de escoria .....	- 29 -
4.1.1.	Descripción general.....	- 29 -
4.1.2.	Proceso horno limpieza de escoria. ....	- 33 -
4.2.	Horno de refinación anodica. ....	- 35 -
4.2.1.	Descripción general.....	- 35 -
4.2.2.	Proceso horno refinación anódica. ....	- 39 -
5.	ALCANCES DEL PROYECTO.....	- 41 -
5.1.	Bases Técnica .....	- 41 -
5.2.	Bases Administrativas .....	- 41 -
5.3.	Programa de ejecución y puesta en marcha.....	- 43 -
6.	EJECUCION DEL PROYECTO.....	- 45 -
6.1.	Modificación Boca de Carga .....	- 45 -
6.2.	Adaptación de boca de gases.....	- 56 -
6.3.	Construcción piquera de sangrado. ....	- 58 -
6.4.	Adaptación toberas inyección/quemador sumergido. ....	- 59 -

6.5.	Adaptación plataforma abatible. ....	- 62 -
6.6.	Trabajos adicionales .....	- 65 -
6.6.1.	Modificación de chispero y tapa de boca de carga .....	- 65 -
6.6.2.	Fabricación de ventanilla y adaptación quemador .....	- 67 -
6.6.3.	Fabricación y/o reparación de estructuras en HLE N° 5.....	- 67 -
6.6.4.	Reparación, cambio de piping o singularidades HLE N° 5 .....	- 69 -
6.6.5.	Construcción refractaria (con demolición) HLE 5 .....	- 71 -
6.7.	Calentamiento Controlado HLE-5 .....	- 76 -
6.8.	Informe dotacional .....	- 77 -
6.8.1.	Registro Dotacional Administración y Supervisión .....	- 78 -
6.8.2.	Registro Dotacional personal Mecánico. ....	- 78 -
6.8.3.	Registro Dotacional personal Refractario y Obras Civiles. ....	- 79 -
6.9.	Evaluación económica del proyecto. ....	- 80 -
7.	CONCLUSIONES.....	- 82 -
8.	NOMENCLATURA GENERAL .....	- 83 -
9.	BIBLIOGRAFIA. ....	- 83 -
10.	ANEXOS .....	- 85 -

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: PLANTA CONCENTRADORA COLON, DIVISIÓN EL TENIENTE .....	- 13 -
FIGURA N° 2: FUNDICIÓN CALETONES, DIVISIÓN EL TENIENTE .....	- 13 -
FIGURA N° 3: ESTRUCTURA ORGÁNICA FUNDICIÓN CALETONES.....	- 14 -
FIGURA N° 4: ESTRUCTURA ORGÁNICA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO, FUNDICIÓN CALETONES.....	- 14 -
FIGURA N° 5: PROCESO PRODUCTIVO FUNDICIÓN CALETONES. ....	- 15 -
FIGURA N° 6: ESQUEMA CONVERTIDOR TENIENTE .....	- 16 -
FIGURA N° 7: CONVERTIDOR TENIENTE, FUNDICIÓN CALETONES.....	- 17 -
FIGURA N° 8: ESQUEMA CONVERTIDOR PEIRCE-SMITH.....	- 18 -
FIGURA N° 10: CONVERTIDOR PEIRCE-SMITH.....	- 19 -
FIGURA N° 9: PROCESO CONVERTIDOR PEIRCE-SMITH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA INTERNO DE CONTROL.....	- 19 -
FIGURA N° 11: ESQUEMA HORNO LIMPIEZA DE ESCORIA. ....	- 20 -
FIGURA N° 12: HORNO LIMPIEZA DE ESCORIA. ....	- 21 -
FIGURA N° 13: ESQUEMA HORNO REFINACIÓN ANÓDICA. ....	- 22 -
FIGURA N° 14: HORNO REFINACIÓN ANÓDICA, FUNDICIÓN CALETONES. ....	- 22 -
FIGURA N° 15: RUEDA MOLDEO M28. ....	- 23 -
FIGURA N° 16: RUEDAS MOLDEO TWIN.....	- 24 -
FIGURA N° 17: DISPOSICIÓN GENERAL EQUIPOS FUNDICIÓN CALETONES. ....	- 25 -
FIGURA N° 18: BALANCE COBRE OPERACIÓN NORMAL, FUNDICIÓN CALETONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA INTERNO DE CONTROL.....	- 28 -
FIGURA N° 19: PASAJE SANGRÍA HORNO LIMPIEZA DE ESCORIA. ....	- 31 -
FIGURA N° 20: SISTEMA DE GIRO BOGIFLEX. ....	- 32 -
FIGURA N° 21: CAMPANA CAPTACIÓN GASES. ....	- 32 -
FIGURA N° 22: DIAGRAMA PROCESO HORNO LIMPIEZA ESCORIA.....	- 34 -
FIGURA N° 23: HORNO REFINACIÓN ANÓDICA, FUNDICIÓN CALETONES. ....	- 36 -
FIGURA N° 24: SISTEMA MOTRIZ HORNO REFINACIÓN ANÓDICA.....	- 37 -
FIGURA N° 25: TOBERAS INYECCIÓN. ....	- 38 -
FIGURA N° 26: PASAJE MOLDEO. ....	- 38 -
FIGURA N° 27: CANALES DE MOLDEO.....	- 39 -
FIGURA N° 28: ESQUEMA SISTEMA DE CONTROL INTERNO DIVISIÓN EL TENIENTE. ....	- 40 -
FIGURA N° 29: BISEL TIPO K.....	- 46 -
FIGURA N° 30: PARCHE MONTADO EN CASCO. ....	- 47 -
FIGURA N° 31: CORTE EN CASCO HORNO HREA.....	- 47 -
FIGURA N° 32: CORDÓN SOLDADURA. ....	- 48 -
FIGURA N° 33: CORDÓN SOLDADURA. ....	- 48 -
FIGURA N° 34: CORDÓN SOLDADURA. ....	- 48 -
FIGURA N° 35: NUEVA BOCA MONTADA.....	- 49 -
FIGURA N° 36: MONTAJE NUEVA BOCA.....	- 50 -
FIGURA N° 37: ÁREAS EQUIVALENTES 1 Y 2. ....	- 51 -
FIGURA N° 38: DLC ÁREA ANALIZAR.....	- 51 -
FIGURA N° 39: ÁREA DE SECCIÓN SOLDADA EN BISEL TIPO K.....	- 53 -
FIGURA N° 40: DCL SECCIÓN SOLDADA EN CASCO.....	- 55 -
FIGURA N° 41: PARCHE EN BOCA DE GASES.....	- 57 -
FIGURA N° 42: NUEVO VANO BOCA DE GASES Y NUEVO CAJÓN MONTADO.....	- 58 -
FIGURA N° 43: NUEVA BOCA DE GASES. ....	- 58 -
FIGURA N° 44: SOLDADURA DE PIQUERAS. ....	- 59 -
FIGURA N° 45: NUEVAS PIQUERAS.....	- 59 -
FIGURA N° 46: LINEAS DE SUMISTROS. ....	- 61 -
FIGURA N° 47: TOBERAS DE INYECCIÓN DE CARBONCILLO. ....	- 61 -
FIGURA N° 48: QUEMADOR SUMERGIDO.....	- 61 -
FIGURA N° 49: TRABAJOS DE OO.CC.....	- 64 -

FIGURA N° 50: PLAFORMA-CHISPERO.....	- 65 -
FIGURA N° 51: BOSQUEJO DE MODIFICACIÓN DE PLATAFORMA.....	- 65 -
FIGURA N° 52: TRABAJO DE MODIFICACIÓN DE PLATAFORMA.....	- 66 -
FIGURA N° 53: TAPA BOCA EN MODIFICACIÓN.....	- 66 -
FIGURA N° 54: QUEMADOR POR CULATA.....	- 67 -
FIGURA N° 55: MONTAJE QUEMADOR.....	- 67 -
FIGURA N° 56: PARRILLA DE REPASO.....	- 68 -
FIGURA N° 57: TAPA CABEZAL LADO SEWELL.....	- 69 -
FIGURA N° 58: SOPORTE TOPE.....	- 69 -
FIGURA N° 59: PERROS BOCA DE CARGA.....	- 69 -
FIGURA N° 60: LÍNEA DE AIRE DIÁMETRO 3”.....	- 70 -
FIGURA N° 61: TAPA TOBERA Y QUEMADOR.....	- 70 -
FIGURA N° 62: LÍNEA DE AIRE DIÁMETRO 3”.....	- 71 -
FIGURA N° 63: LÍNEA DE OXÍGENO DIÁMETRO 2”.....	- 71 -
FIGURA N° 64: CABEZAL DE HORNO ENLADRILLADO.....	- 73 -
FIGURA N° 65: ENLADRILLADO SECTOR BOCA.....	- 74 -
FIGURA N° 66: ENLADRILLADO BÓVEDA.....	- 74 -
FIGURA N° 67: TOTAL DE REFRACTARIO INSTALADO EN HLE 5.....	- 74 -
FIGURA N° 68: VENTILADOR.....	- 77 -
FIGURA N° 69: QUEMADOR.....	- 77 -
FIGURA N° 70: BOCA DE CARGA HORNO.....	- 77 -

## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: REACCIONES EXOTÉRMICAS DENTRO CONVERTIDOR TENIENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA INTERNO DE CONTROL.....	- 16 -
TABLA N° 2: CARACTERÍSTICAS HORNO LIMPIEZA DE ESCORIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS OBTENIDOS.....	- 30 -
TABLA N° 3: : CARACTERÍSTICAS HORNO REFINACIÓN ANÓDICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS OBTENIDOS.....	- 36 -
TABLA N° 4: DATOS PARA EL CENTROIDE Y MOMENTO DE INERCIA EN EL EJE Y DEL BISEL K.....	- 54 -
TABLA N° 5: : RESULTADO CENTROIDE Y MOMENTO DE INERCIA EJE Y BISEL K.....	- 54 -
TABLA N° 6: DATOS PARA EL CENTROIDE Y MOMENTO DE INERCIA EN EL EJE X DEL BISEL K.....	- 54 -
TABLA N° 7: RESULTADO CENTROIDE Y MOMENTO DE INERCIA EJE X BISEL K.....	- 54 -
TABLA N° 8: DETALLE ESTRUCTURAS FABRICADAS Y/O REPARADAS.....	- 68 -
TABLA N° 9: PESO HREA N° 3.....	- 75 -
TABLA N° 10: PESO HLE N° 5.....	- 76 -
TABLA N° 11: REGISTRO DOTACIONAL ADMINISTRACIÓN Y SUPERVISIÓN.....	- 78 -
TABLA N° 12: REGISTRO DOTACIONAL PERSONAL MECÁNICO.....	- 78 -
TABLA N° 13: REGISTRO DOTACIONAL PERSONAL REFRACTARIO Y OBRAS CIVILES.....	- 79 -
TABLA N° 14: COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	- 81 -

## 1. INTRODUCCION

Para el cierre de un proyecto de ingeniería dentro de las cosas que se deben considerar es un informe técnico que contenga el detalle de trabajos ejecutados finalmente, a partir de una pauta entregada y plasmada en una base técnica, tomada esta última de la ingeniería proyectada. Es habitual que dicha ingeniería descrita en los documentos sufra modificaciones, las cuales consiguen ser por distintos motivos y circunstancias. Dichas modificaciones pueden venir dadas en plena ejecución de los proyectos, donde muchas veces es por procesamiento de datos realizados bajo proyecciones medidas con instrumentos, que en la práctica contengan parámetros reales muy distintos o con diferencias significativas que ameritan el cambio. El presente informe pretende recoger el detalle de la ejecución de un proyecto de modificación de un Horno de Refinación Anódica a un Horno Limpieza de Escoria en la fundición Caletones, División El Teniente de Codelco, con la mirada preliminar de la base técnica entregada para ejecutar el proyecto y la mirada final de los trabajos realmente realizados debido a modificaciones técnicamente justificadas para concretar el objetivo de operar el nuevo Horno basculante en la limpieza de escoria del proceso pirometalúrgico de la fundición.

La motivación principal para desarrollar este tema de memoria proviene de la participación conjunta del equipo de trabajo (donde el realizador de este informe cumplió el cargo de Supervisor General) con el mandante (Superintendencia de Mantenimiento de la Fundición) en la modificación del proyecto para lograr la correcta transformación del horno.

El presente informe da a conocer primeramente los antecedentes generales del cliente, Codelco Chile, sus divisiones, plataforma estratégica, entre otros. También aborda la historia de la división El Teniente, esto para informar y mostrar la posición estratégica en el mercado del mandante del proyecto. Posteriormente se describirá de manera clara la causa raíz por la que surge el proyecto, la cual nace por dos razones; primero la mantención preventiva de los HLE existentes para el correcto funcionamiento de cada uno, no arriesgando a dañar el equipo ni sus componentes; segundo la operación de la fundición, donde el procesar la escoria proveniente del

proceso pirometalúrgico debe ser constante debido a los cumplimientos de metas de la producción global anual. Otro aspecto relevante del informe es la profundización en la descripción particular de cada horno en análisis, estos es un Horno de Refinación Anódica (HREA) y un Horno de Limpieza Escoria (HLE), de esta forma plasmar la diferencia que existe entre un reactor y otro, justificando claramente un proyecto de esta envergadura.

Es de vital importancia mencionar que la ejecución del proyecto, evidencia la gestión interna de la empresa que prestó el servicio, esto es Pacoll E.I.R.L., exponiendo de manera general los recursos técnicos y humanos dispuestos para la realización.

Las consideraciones económicas en la ejecución del proyecto es otro punto del informe, el cual se exhibe con la intención de revelar el costo total del proyecto para el mandante, esto es, lo que tuvo que cancelar al contratista.

Si bien inicialmente los resultados obtenidos en el proyecto fueron los esperados, es decir el reactor modificado pudo operar para el proceso de limpieza de escoria, esto pasó después de evaluar detalladamente los puntos propuestos en el análisis de terreno de la ingeniería, mostrando claramente que la base técnica y la ingeniería preparada para cumplir el objetivo de modificar el reactor no abarcó todas las variables técnicas necesarias para dejar operativo el horno, pasando esto principalmente por la imposibilidad de establecer el real estado interno del HREA N°3 mientras estaba operando, y también por el poco tiempo que contó el departamento de confiabilidad para preparar las modificaciones.

La organización del presente informe está de la siguiente manera:

CAPITULO 1: En primer lugar, una introducción del proyecto, objetivos generales, objetivos específicos con la causa raíz del proyecto, alcances del informe, entre otras.

CAPITULO 2: En el siguiente capítulo se hace mención a la empresa y su organización, localización y descripción del proceso.

CAPITULO 3: En este capítulo se analiza la situación por la cual se modificó el horno de refinación anódica a horno de limpieza de escoria

CAPITULO 4: Descripción de los equipos, con las características básicas del HREA (Horno Refinación Anódica) y las características básicas del HLE (Horno Limpieza Escoria).

CAPITULO 5: Este capítulo describe los alcances preliminares del proyecto, donde se entrega los comentarios generales de las bases técnica y bases administrativas que regulan el vínculo del servicio. Al programa de ejecución se le hace alusión, pero este está para su revisión en los anexos al final.

CAPITULO 6: Aquí podemos ver todos los trabajos desarrollados en detalle en la ejecución del proyecto. La evaluación económica para la elaboración del proyecto se muestra al final. También se apreciarán cálculos de comprobación que tienen relación con las modificaciones más significativas al diseño del equipo.

CAPITULO 7: En este capítulo se analiza las conclusiones del proyecto y se analizan las expectativas y mejoras propuestas para favorecer la operación del horno.

CAPITULO 8: En este capítulo se describe la nomenclatura usada en el desarrollo del proyecto, para consulta y clarificar de mejor manera la información.

CAPITULO 9: Aquí se puede observar la bibliografía utilizada como referencia para la confección del presente escrito.

CAPITULO 10: Aquí se pueden ver todos los anexos adjuntados al informe para optimizar el entendimiento del proyecto, los planos iniciales y finales, las bases técnicas y administrativas, el programa de ejecución y documentos técnicos.

## 2. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

### 2.1. Codelco Chile.

A través del decreto de Ley N° 1.350 del 1 de abril de 1.976, se creó CODELCO CHILE. En 1.971, a través de la modificación del Artículo 10 de la Constitución, se introdujo la posibilidad de nacionalizar la gran minería del cobre.

CODELCO es el primer productor de cobre del mundo y posee, además, cerca del nueve por ciento de las reservas mundiales del metal rojo. De manera que por el tamaño de sus instalaciones y el volumen de producción es considerada una de las compañías mineras más grandes del mundo.

Tiene ocho divisiones (instalaciones y yacimientos de la gran minería del cobre), además de su Casa Matriz en la ciudad de Santiago.

#### 2.1.1. Divisiones.

- Chuquicamata: Ubicada en la comuna de Calama, Región de Antofagasta. Produce 339 mil toneladas de cátodos electro-refinados y electro-obtenidos con una pureza de 99,99 por ciento de cobre. También produce concentrado de molibdeno. Junto con esto, se obtienen otros subproductos, como barros anódicos (metales preciosos) y ácido sulfúrico.
- Radomiro Tomic: Ubicada en la comuna de Calama, Región de Antofagasta. Tipo de explotación: Mina a rajo abierto. Productos: Cátodos electro-obtenidos.  
Dotación propia 1.010 personas.
- Ministro Hales: Ubicada en la comuna de Calama, Región de Antofagasta. Tipo de explotación: Mina a rajo abierto (en construcción).  
Dotación propia: 498 personas.
- Salvador: Ubicada en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama. Esta División tiene a su cargo tres minas. Mina "Inca" de explotación subterránea, y las otras dos son "Campamento Antiguo" y "Damiana Norte" a rajo abierto. Salvador explota minerales oxidados y sulfurados a partir de los

cuales produce cátodos de cobre. Además produce molibdeno. También se obtienen barros anódicos y ácido sulfúrico.

Dotación propia: 1.528 personas.

- Andina: Ubicada en la comuna de Los Andes, Región de Valparaíso. Mina a rajo abierto y subterránea. Producción de 236 mil toneladas métricas anuales de concentrados de cobre.

Dotación propia 1.617 personas.

- Ventanas: Ubicada en la comuna de Puchuncaví, Región de Valparaíso. Fundición (desde 1964) y refinería electrolítica (desde 1.966). Producción de cátodos de cobre, lingotes de oro, granalla de plata y ácido sulfúrico. Dotación propia: 988 personas.

- Gabriela Mistral: Ubicada en la comuna de Sierra Gorda, Región de Antofagasta. La explotación se efectúa a rajo abierto, con camiones que operan en forma autónoma, extracción de óxidos de cobre, proceso de “hidrometalurgia del cobre” (proceso productivo está conformado por las etapas de chancado (primario, secundario y terciario), curado en tambores acidificadores, lixiviación en pilas dinámicas, disposición de ripios, extracción por solventes (SX), electro-obtención). Producción de cátodos electro refinados.

Dotación propia: 565 personas.

- El Teniente: Ubicada en la comuna de Rancagua y Machalí, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Explotación de la mina subterránea de cobre más grande del mundo y un Rajo ubicado inmediatamente al sur de la mina subterránea. Produce cobre en la forma de ánodos y concentrado de cobre. Como subproductos y resultado del procesamiento del mineral también se obtiene molibdeno en forma de concentrado y ácido sulfúrico.

Dotación propia: 5.064 personas.

### 2.1.2. Plataforma estratégica.

- **MISION.**

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

- **POLITICAS.**

Nuestra política forma parte esencial de una nueva estructura normativa, donde se destaca la implementación de estándares de seguridad y salud ocupacional, medio ambiente y comunidad, que definen el Codelco que queremos transformar en los próximos años.

- **VALORES.**

1. El respeto a la vida y dignidad de las personas es un valor central. Nada justifica que asumamos riesgos no controlados que atenten contra nuestra salud o seguridad.

2. Trabajar en Codelco es un orgullo, una gran responsabilidad y un enorme compromiso.

3. Valoramos y reconocemos a los trabajadores competentes, con iniciativa y liderazgo, que enfrentan los cambios con decisión y valentía.

4. Fomentamos el trabajo en equipo, la participación responsable y el aporte que proviene de la diversidad de experiencias y de las organizaciones de trabajadores.

5. Perseguimos la excelencia en todo lo que hacemos y practicamos el mejoramiento continuo, para estar entre los mejores de la industria.

6. Somos una empresa creativa, que se apoya en la innovación para generar nuevos conocimientos, crear valor y acrecentar nuestro liderazgo.

7. Estamos comprometidos con el desarrollo sustentable en nuestras operaciones y proyectos.

## 2.2. Historia división El Teniente.

En 1.905 William Braden adquirió los derechos del mineral, fundando la compañía Rancagua Mines con sede en Portland, Maine, Estados Unidos. Braden se asoció con Barton Sewell para dirigir la mina de cobre El Teniente. En 1.905 la compañía cambió su nombre a Braden Copper Company (Compañía Cuprífera Braden), con oficinas centrales en Nueva York.

Posteriormente el 95% de las acciones de Braden Copper Co. pasaron a manos de Kennecott Corporation, convirtiéndose en filial de esta última.

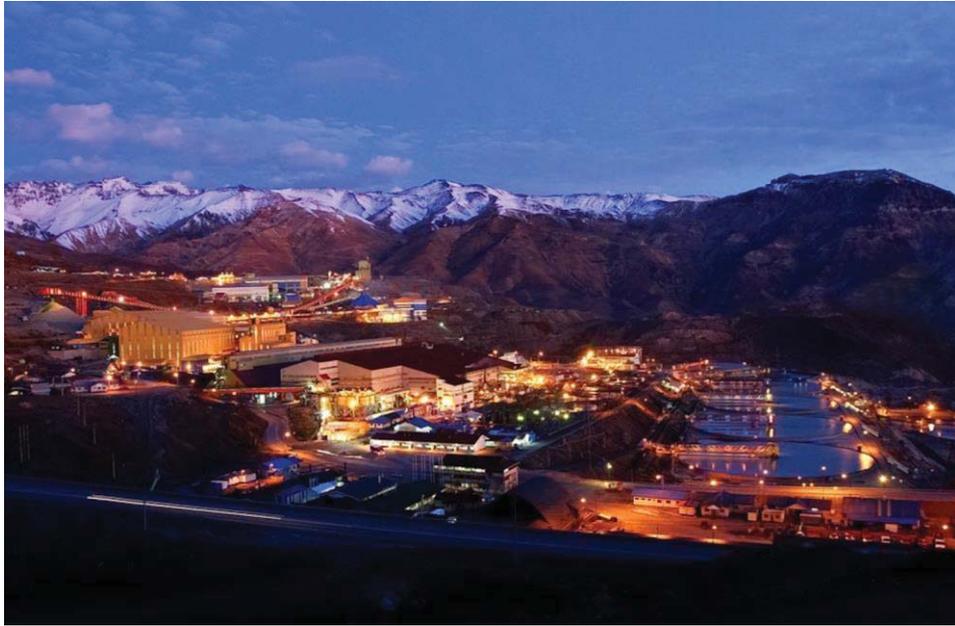
División el Teniente, se vio conformado a partir de 1.968, cuando el Estado Chileno adquirió el 51 por ciento de la propiedad de El Teniente, a través, del proceso de Nacionalización del Cobre.

La mina El Teniente que comenzó a ser explotada en 1.904, posee más de 3.000 kilómetros de galerías subterráneas, por lo que se considera la mina subterránea de cobre más grande del mundo. Por otra parte, en la década de 1.960 fue construida la carretera el Cobre especialmente para acceder a la mina. Sus instalaciones se ubican a 150 kilómetros al sur de Santiago, 49 Kilómetros al Este de Rancagua y a 2.500 metros sobre el nivel del mar.

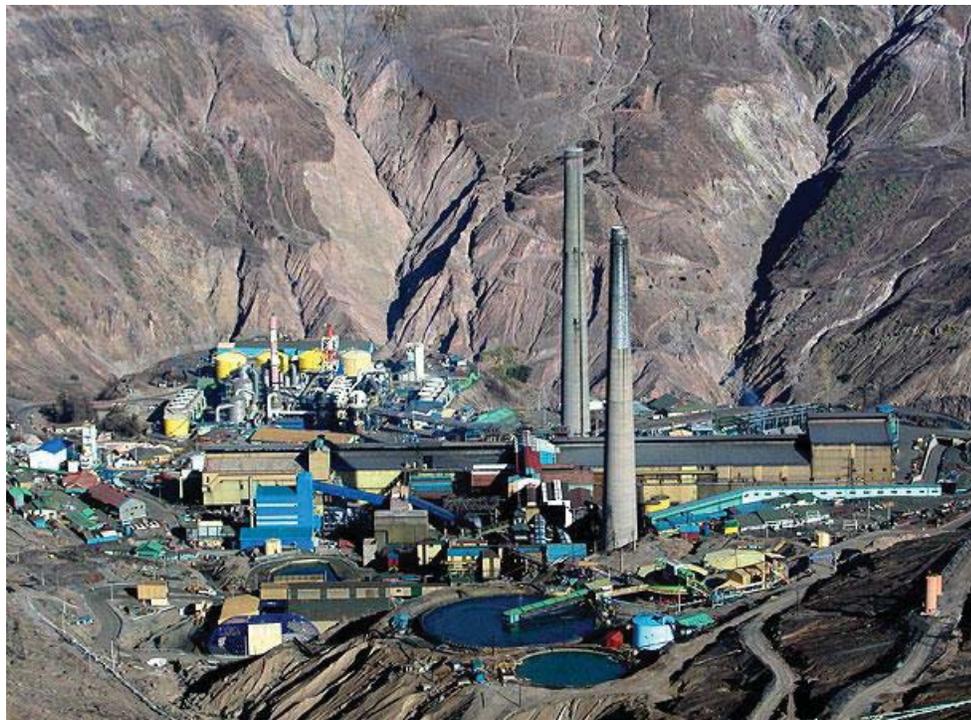
El Teniente produce alrededor de 450.390 toneladas métricas de cobre fino anuales de cobre en la forma de ánodos de cobre. Como resultado del procesamiento se obtienen 5.617 toneladas métricas de molibdeno. En 2.013 inició la explotación del Rajo Sur, primera explotación a cielo abierto de la División.

Por otra parte, el material estéril que quedó tras el proceso de concentración, es conducido en forma de relave a través de una canaleta de 86 kilómetros de longitud, que llega hasta el embalse Caren, ubicado en la Región Metropolitana.

En las figuras N° 1 y N° 2, a continuación, se muestran la planta concentradora de Colon y la fundición Caletones, respectivamente.



**Figura N° 1: Planta concentradora Colon, División El Teniente**

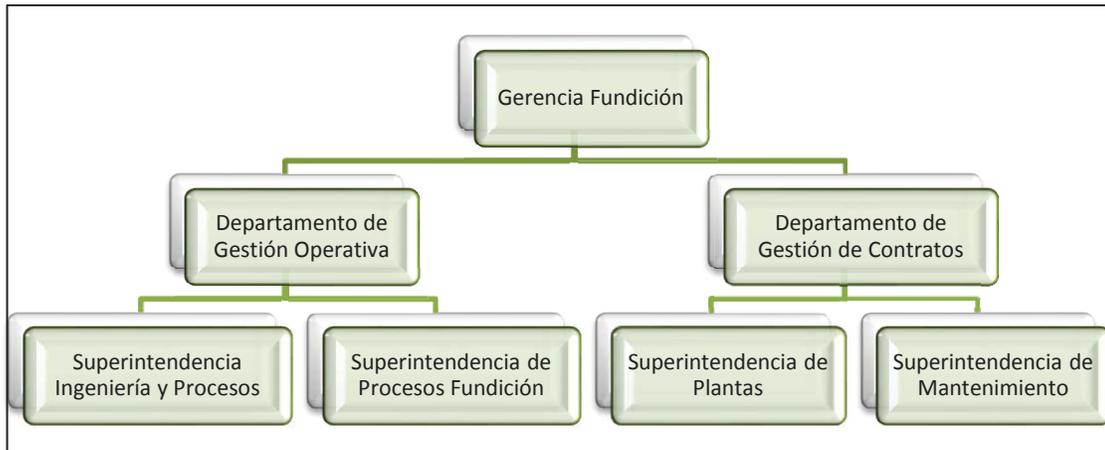


**Figura N° 2: Fundición Caletones, División El Teniente**

### 2.3. Fundición Caletones.

Fundición Caletones es la encargada en transformar el concentrado de cobre (30% pureza), proveniente desde la planta concentradora Colon, en ánodos de cobre de pureza 99,97%.

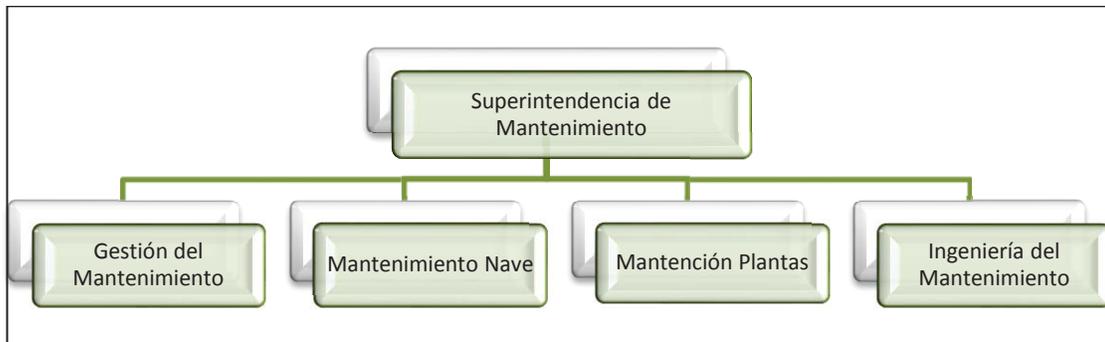
#### 2.3.1. Estructura orgánica fundición Caletones.



**Figura N° 3: Estructura Orgánica Fundición Caletones.**

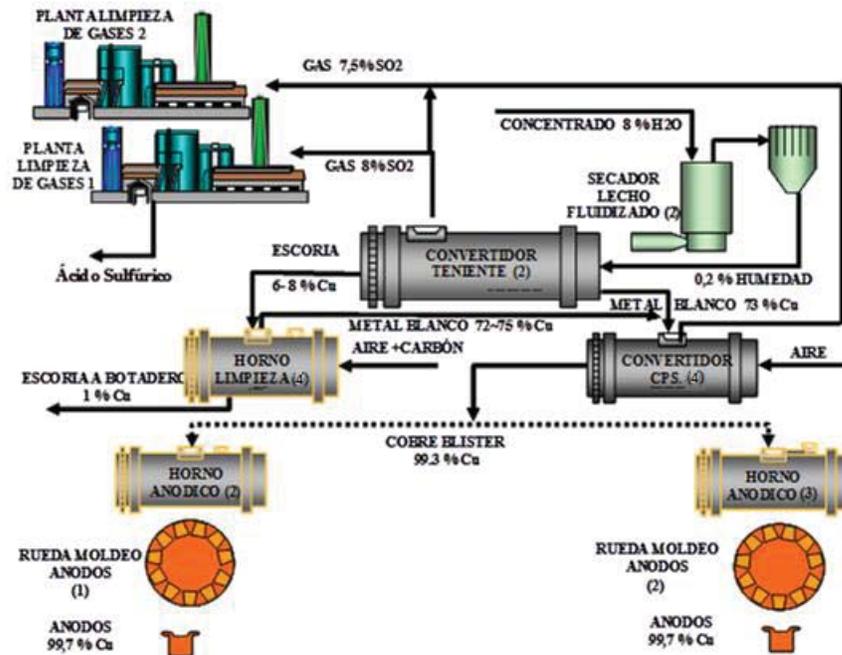
#### 2.3.2. Superintendencia de mantenimiento.

La Superintendencia de mantenimiento es la organización responsable de la mantención de los activos físicos de la Gerencia de Fundición (GFUN), y consta principalmente de dos unidades operativas y dos de gestión.



**Figura N° 4: Estructura Orgánica Superintendencia de Mantenimiento, Fundición Caletones.**

## 2.4. PROCESO PRODUCTIVO FUNDICIÓN CALETONES.



**Figura N° 5: Proceso Productivo Fundición Caletones.**

Desde planta concentradora Colon, por medio de un concentraducto (tubería para transportar concentrado de cobre, diámetro 24”), llega a la Fundición Caletones, concentrado de cobre húmedo, el cual ingresa en primera instancia a la planta de filtros, donde por medio de “filtros de mangas”, se estrujan, quitándoles gran parte de la humedad, quedando con una humedad del 8%, luego el concentrado ingresa a los secadores de lecho fluidizado (ver figura N° 5), donde por medio de una corriente de aire caliente, se secan, quedando con una humedad de 0,2%; momento en el cual ingresa a los Convertidores Teniente, equipos con funcionamiento continuo de dimensiones 5[m] de diámetro por 22[m] de largo, al cual ingresa concentrado seco, aire enriquecido (aire + 21% O<sub>2</sub>), carga fría y fundentes para controlar la temperatura. En la figura N° 6 se muestra un esquema del Convertidor Teniente (CT), en la tabla N° 1, se muestra las reacciones exotérmicas que tienen lugar dentro del horno las cuales le dan la temperatura de trabajo (1.200°C) con lo que se produce el cambio de fase de sólido a líquido y finalmente en la figura N° 7 se muestra al Convertidor Teniente.

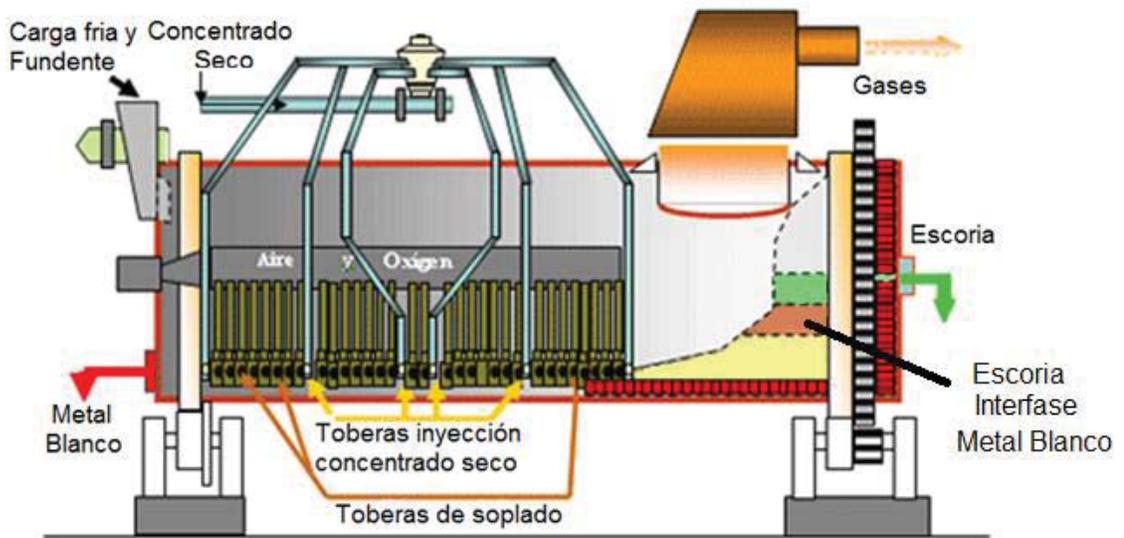


Figura N° 6: Esquema Convertidor Teniente

Reacción	$\Delta H \left[ \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right]$
$2\text{CuFeS}_2(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{FeS} + \text{SO}_2(\text{g})$	-47.540
$\text{FeS}_2(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{FeS} + \text{SO}_2(\text{g})$	-54.251
$\text{Cu}_5\text{FeS}_4(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = 5\text{Cu}_2\text{S} + \text{FeS} + \text{SO}_2(\text{g})$	-32.740
$2\text{CuS}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{Cu}_2\text{S} + \text{SO}_2(\text{g})$	-63.171
$\text{FeS}(\text{l}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeO} + \text{SO}_2(\text{g})$	-120.120
$3\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{Fe}_3\text{O}_4$	-70.582
$2\text{FeO} + \text{SiO}_2 = \text{Fe}_2\text{SiO}_4$	-9.600

Tabla N° 1: Reacciones Exotérmicas dentro Convertidor Teniente. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del sistema interno de control



**Figura N° 7: Convertidor Teniente, Fundición Caletones.**

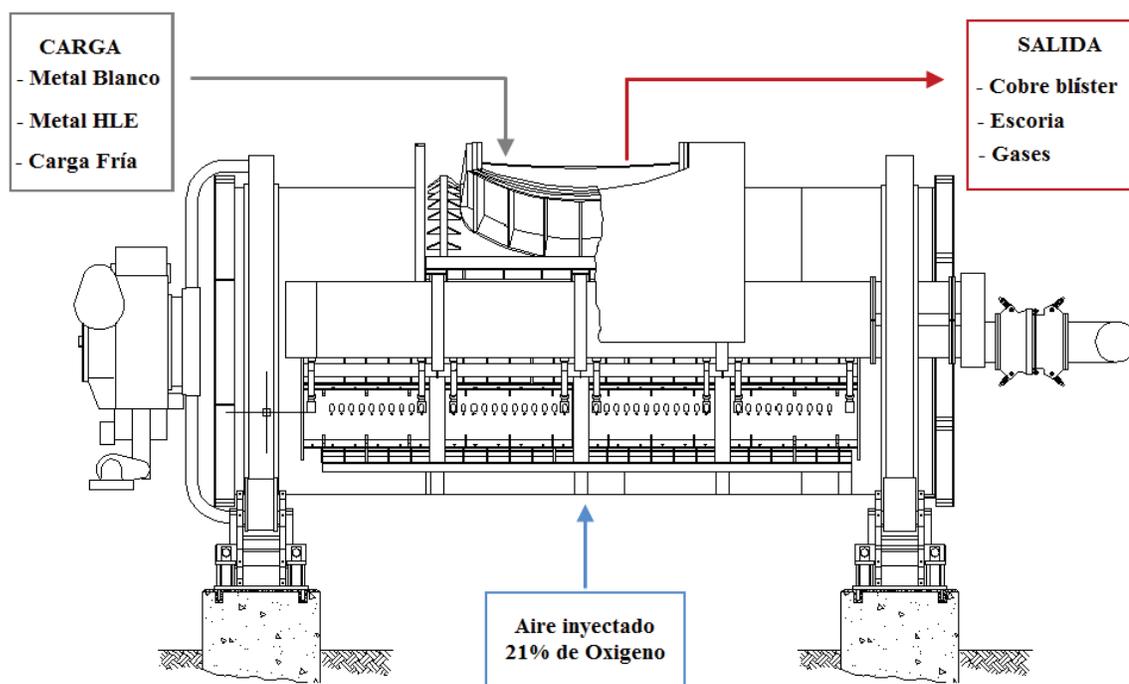
El signo negativo de las entalpías en las reacciones exotérmicas que tienen lugar dentro del convertidor Teniente, significa que liberan esta cantidad de energía, la cual es necesaria para el cambio de fase de los componentes que se le introducen al convertidor. Este equipo trabaja en forma continua, los elementos ingresan mediante correas transportadoras e inyección directa por medio de aire a presión. Lo que se obtiene de este proceso es un malta o eje, llamado metal blanco, la cual posee un 70% de cobre, escoria con un alto contenido de cobre, estas son dirigidas mediante tazas a los convertidores Pierce-Smith (CPS) y hornos limpieza de escoria (HLE) respectivamente y también se obtienen gases con alto contenido en dióxido de azufre ( $SO_2$ ), arsénico y otros contaminantes, los cuales son tratados en las plantas de manejo de gases, planta de efluentes y planta limpieza de gases, de donde se obtiene ácido sulfúrico el cual es comercializado.

Los convertidores Pierce-Smith (CPS) son equipos de funcionamiento "Batch", es decir trabajan con lotes de trabajos, los elementos ingresan y salen por medio de tazas, su principio de funcionamiento es el mismo que el del convertidor Teniente, que por medio de la inyección de aire enriquecido (aire + 21%  $O_2$ ) convierte el metal blanco proveniente del convertidor Teniente en cobre blíster de pureza 99,93%, escoria fayalítica y gases los cuales son destinados a los Hornos de refinado

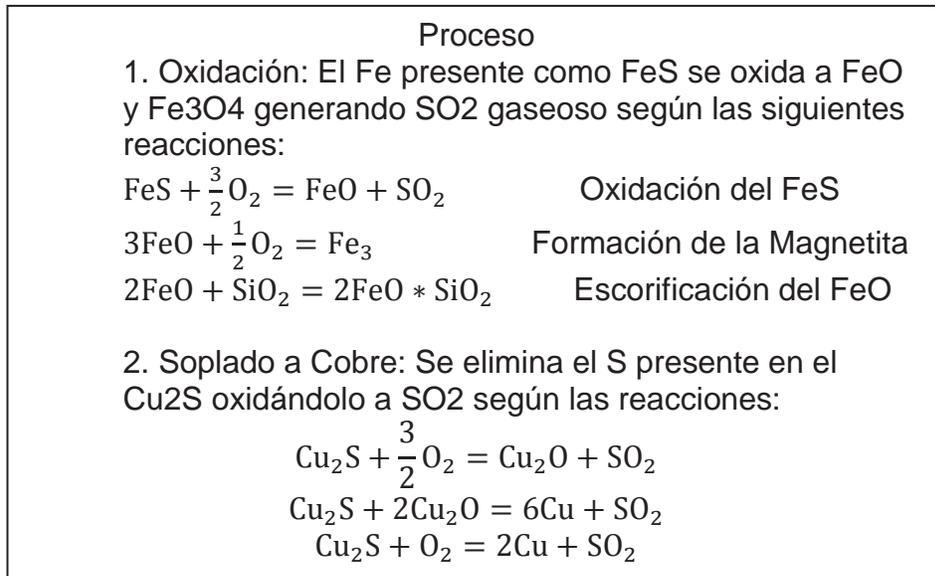
anódico, botadero de escoria y a las plantas de limpieza de gases respectivamente. Dentro del convertidor se producen reacciones exotérmicas al igual que en el Convertidor Teniente, estas dan el calor necesario para los cambios de fases, por este proceso la temperatura aumenta de manera descontrolada, haciendo necesario un sistema para controlarla, por este motivo al convertidor también se le agrega carga fría que puede ser: sílice por medio de una correa transportadora directamente en la boca de carga o por medio de una taza, también se usan de acreciones de cobre (restos de cobre en los fondos de tazas o campanas).

Las dimensiones de este convertidor son 4,5 [m] de diámetro por 11[m] de largo. Las figuras 8, 9 y 10 muestran un esquema del convertidor Pierce-Smith, el proceso del convertidor y una imagen del convertidor, respectivamente.

Es importante destacar que el metal proveniente de los HLE solamente se carga en los CPS cuando su porcentaje alcanza valores de 72% a 76% de Cu, y además cuando la carga de metal blanco proveniente de los CT es baja.



**Figura N° 8: Esquema Convertidor Pierce-Smith.**



**Figura N° 9: Proceso Convertidor Pierce-Smith. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del sistema interno de control**

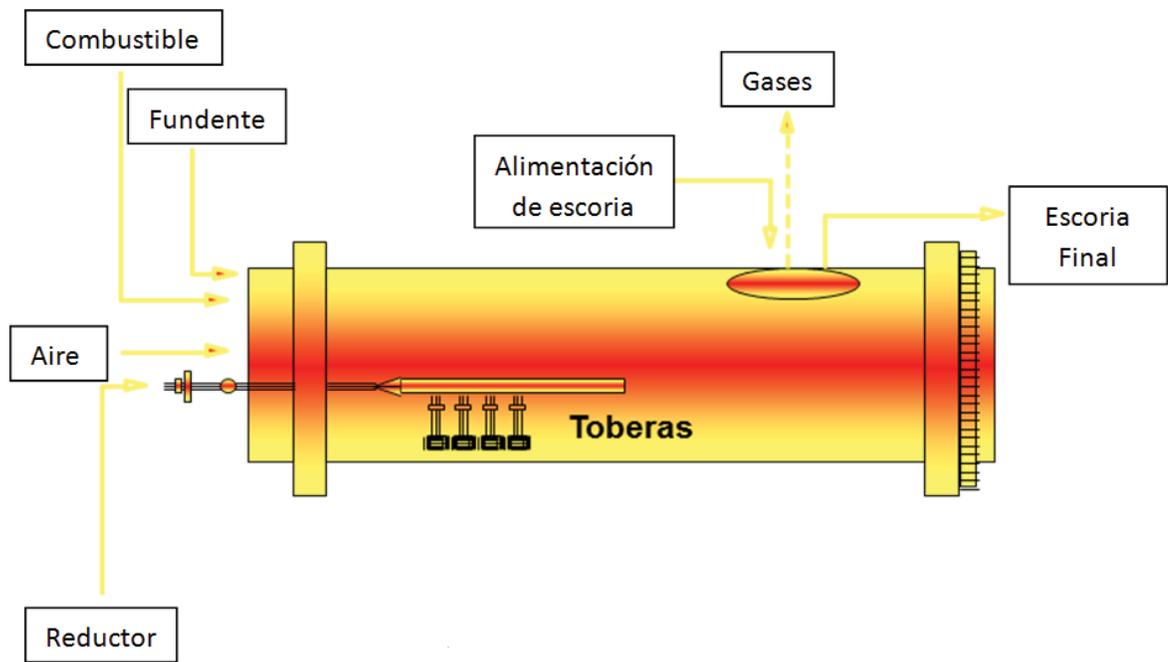


**Figura N° 10: Convertidor Pierce-Smith.**

El horno de limpieza de escoria (HLE), es usado para recuperar el cobre presente en la escoria proveniente de los Convertidores Teniente. Mediante la reducción del oxígeno, que se logra inyectando carboncillo por toberas y por la acción de un quemador aire-combustible (gas natural o diésel o enap 6), se separan las fases formando eje (70% Cu) y escoria (<0,017%Cu), siendo enviado a los Convertidores

Teniendo en cuenta y al botadero de escoria respectivamente, más adelante en el capítulo N° 4, se hablara en detalle del proceso químico, componentes, equipos asociados al Horno de Limpieza de Escoria.

En las figuras N° 11 y 12 se muestra un esquema del HLE y una imagen del mismo, respectivamente.

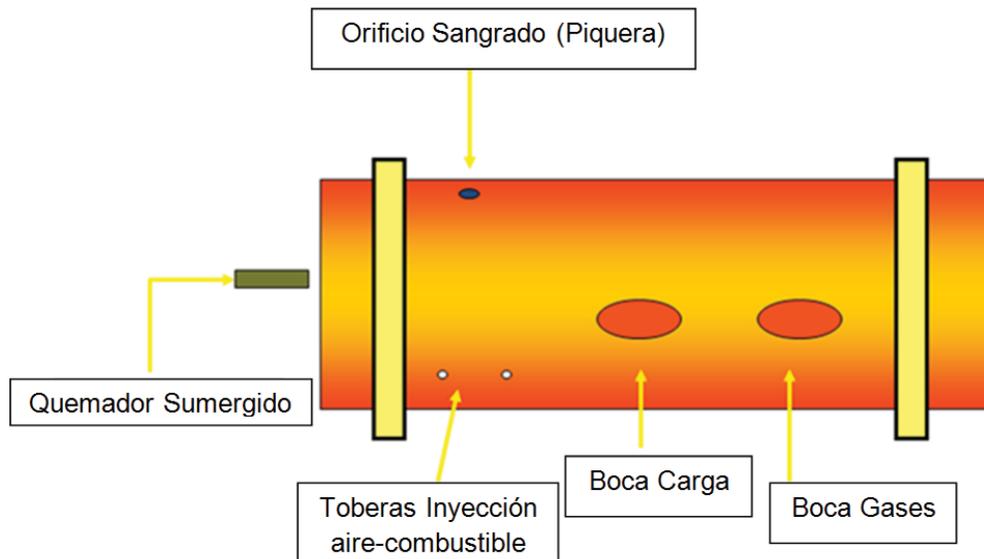


**Figura N° 11: Esquema Horno Limpieza de Escoria.**



**Figura N° 12: Horno Limpieza de Escoria.**

El ultimo horno en el proceso es el Horno de Refinado Anódico (HREA), el cual funciona mediante el sistema "Batch", por medio de tazas se le agrega el cobre blíster proveniente de los CPS, este horno por medio de oxígeno y mezcla aire-gas natural reduce las impurezas en el cobre blíster, produciendo el cobre anódico de 99,97% de pureza de cobre, escoria y gases, todo esto dirigido a Ruedas de moldeo, botadero escoria y medio ambiente, respectivamente, más adelante en el capítulo 4, se darán más detalles con respecto a las reacciones químicas, elementos del horno, equipos asociados, operación, etc. Las figuras N° 13 y 14, muestran un esquema del horno y una imagen del horno, respectivamente.



**Figura N° 13: Esquema Horno Refinación Anódica.**



**Figura N° 14: Horno Refinación Anódica, Fundición Caletones.**

El cobre anódico una vez listo es enviado a las ruedas de moldeo (RM), coordinando las operaciones de tal manera que ambos equipos (HREA y RM) estén preparados al mismo tiempo, colocando el HREA inclinado hacia adelante para que por una

“Piquera” (perforación para el sangrado) salga el cobre anódico, el cual es dirigido por unas canales hacia las ruedas de moldeo.

Las Ruedas de moldeo son equipos circulares, las cuales en su perímetro tienen moldes (negativos de los ánodos), en los que les llega el cobre anódico líquido a una temperatura promedio de  $1.200^{\circ}\text{C}$ , y por medio de enfriamiento con agua se solidifican en los llamados ánodos de cobre (99,97% Cu), producto principal de la División El Teniente. Estos son transportados hacia las refinerías de Chuquicamata o Ventanas, para producir los Cátodos de Cobre (99,99% Cu), producto de comercialización de Codelco Chile. En la figuras N° 15 y 16 se muestran las 3 ruedas de moldeo actualmente utilizadas en la Fundición Caletones.



**Figura N° 15: Rueda Moldeo M28.**



**Figura N° 16: Ruedas Moldeo Twin**

2.5. Disposición equipos en fundición Caletones.

En la actualidad la Fundición Caletones opera con los siguientes equipos:

- 2 Convertidores Teniente de 5 [mt.] x 22 [mt.].
- 2 plantas de  $H_2SO_4$  de 150  $KNm^3/hr.$  Y 280  $KNm^3/hr.$
- 3 plantas de Secado de Lecho Fluidizado.
- 2 plantas de Oxígeno de 400 [t/h] y 800 [t/h].
- 4 Convertidores Pierce Smith (3 conectados a PLG).
- 4 Hornos de Limpieza de Escoria.
- 2 Hornos de Refinación Anódica (lado Rancagua).
- 1 Rueda de moldeo de Ánodos (28 moldes).
- 3 Hornos de Refinación Anódica (lado Sewell).
- 2 Ruedas de moldeo de Ánodos (TWIN).

En la figura N° 17 se muestra la disposición actual de todos los equipos de la Fundición Caletones.

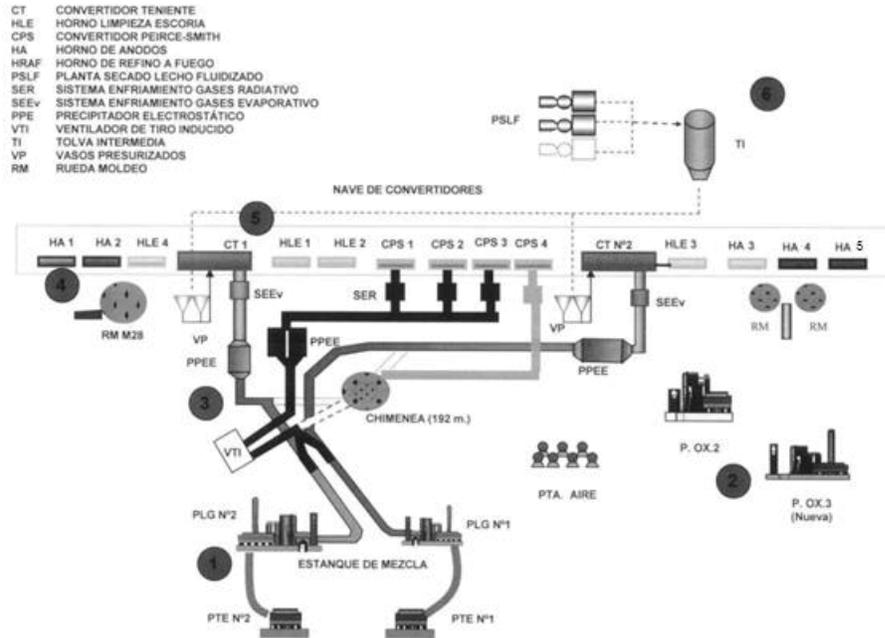


Figura N° 17: Disposición General Equipos Fundición Caletones.

### 3. ANALISIS DE LA SITUACIÓN.

En la Fundición Caletones de la División El Teniente de Codelco, operan 4 hornos limpieza de escoria (HLE), los cuales reciben escoria proveniente del Convertidor Teniente (CT), estos procesan 4.113 toneladas por día de escoria, lo que en dinero se traduce en 7.175 millones de pesos en ganancias, lo cual hace imperativo mantener los actuales niveles de producción.

Los hornos de refinación anódica, procesan 858 toneladas por día, lo que en dinero se traduce en 27.148 millones de pesos, esto lo hacen con 5 hornos.

En las inspecciones regulares que se realizan por el mantenimiento refractario y mecánico preventivo, se detectó que los HLE, presentaban un desgaste muy pronunciado en sus ladrillos refractarios y era necesaria la pronta mantención general de los mismos. Estos hornos hoy en día son los que más rápido se desgastan de todos los hornos con los que cuenta la Fundición Caletones, esto debido a condiciones operacionales nuevas las cuales han provocado reacciones químicas y metalúrgicas entre los ladrillos refractarios y la escoria, provocando la pronta degradación del manto refractario.

Todo esto se ve incrementado por el ritmo de producción a los que se ven sometidos los hornos de limpieza de escoria. El Convertidor Teniente, trabaja en forma continua, como se explicó en la sección 2.5, su producto se extrae de manera constante por medio de tazas, el metal blanco dirigido a los CPS y la escoria dirigida a los HLE, es decir estos hornos trabajan al mismo ritmo que el CT. La ley (cobre presente en el material) que tiene el concentrado seco inyectado a los CT es de 0,3093 lo que se traduce en una mayor producción de escoria con respecto a la de metal blanco, escoria que tiene que ser procesada en los HLE, la cual lista tiene una ley de 0,7; haciendo imperativo la extracción de ese cobre remanente, cobre que en cantidad es mayor al que se inyecta en los CT.

Debido a estas razones se hace imprescindible la utilización de todos los hornos limpieza de escoria con que cuenta Caletones, para mantener las actuales metas de producción y pensar en un futuro próximo en superarlas.

A los hornos de refinación anódica (HREA), les llega el cobre blíster proveniente de los CPS, el cual tiene una pureza de 98%. En la fundición se encuentran operando 4 Convertidores Pierce-Smith y 5 HREA, a la fecha del proyecto la operación de los HREA es muy irregular, debido a la dificultad para llenar estos 5 hornos con el producto de 4 convertidores y con el agregado de que hay que adicionar una cantidad mayor de cobre blíster a cada horno anódico considerando la escoria que se formará. Lo cual en la práctica provoca la utilización de 3 o 4 HREA durante un día normal de operación, usando muchas veces 1 HREA como reactor de traspaso o mantención de metal fundido (para almacenar cobre blíster o cobre anódico).

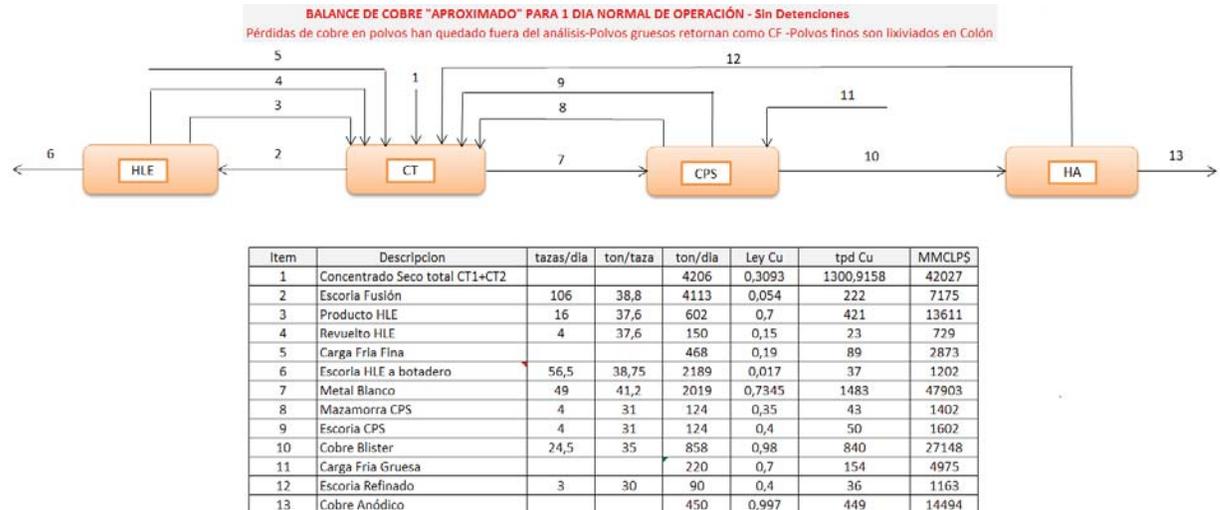
Por la disyuntiva de la necesidad de una pronta mantención general a los HLE y mantener los actuales niveles de producción y ganancias, se crearon varios escenarios:

- Sacar 1 HLE de la línea de producción a mantención general lo que involucraba bajar los ritmos de producción, lo que al final se traduce en dejar de percibir una cantidad millonaria de ingresos.
- Continuar operando con el horno en las condiciones paupérrimas en que se encontraba, comprometiendo su integridad y disminuyendo drásticamente la confiabilidad operacional del mismo. Esto traducido a que la falla se puede presentar en cualquier momento, perdiendo el control del mantenimiento.
- Convertir un HREA en HLE, así poder sacar al HLE defectuoso a mantención general, manteniendo los actuales niveles de producción, haciendo más eficiente la utilización de todos los hornos de la Fundición, y creando una mayor capacidad de proceso de escoria, para el aumento de la producción en un futuro próximo.

Como ya se había planteado en este informe, de todas estas opciones se optó por la última, la de la transformación de un horno de refinación anódica a un horno de limpieza de escoria, donde se llevó a licitación el proyecto para buscar una empresa colaboradora (contratista) para la ejecución del servicio.

### 3.1. Evaluación económica

En la figura N° 18, se expone los costos e ingreso diarios en la Fundición Caletones.



**Figura N° 18: Balance cobre operación normal, Fundición Caletones. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del sistema interno de control**

De la figura N° 18 se obtiene que los HLE, tienen una producción diaria de 602  $\left[\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right]$  de productos y 150  $\left[\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right]$  de revuelto, lo que en dinero, usando los precios de cobre y dólar del día 25 de noviembre del 2015, da una suma de 14.340 millones de pesos.

Los HREA en un día normal de operación tienen una producción de 450  $\left[\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right]$  lo que equivale a la suma de 14.494 millones de pesos.

Es fácil darse cuenta la importancia que tienen los Hornos limpieza de escoria, su ingreso es casi el mismo de lo que se gana con los Hornos de Refinación Anódica, acá radica una de las razones principales para el objetivo de este trabajo y el proyecto desarrollado en la Fundición Caletones de la División El Teniente.

#### 4. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS ACTUALES.

En este capítulo se hablará sobre las características del horno de refinación anódica y del horno de limpieza de escoria, ambos usados actualmente en la fundición Caletones.

##### 4.1. Horno limpieza de escoria.

###### 4.1.1. Descripción general.

Los Hornos de Limpieza de Escorias, son reactores cilíndricos horizontales de acero revestido con material refractario, que tienen una sola boca para evacuar los gases de proceso, cargar la escoria que va a ser procesada y descargar la escoria final que va a botadero.

Los cabezales del Horno cuentan con tapas estructurales de acero, sujetas al manto por un sistema de pernos con resortes para absorber la dilatación.

Las pistas de rodado de los Hornos van montadas sobre un sistema de rodillos que permiten su giro. La pista hacia el lado del quemador va unida al sistema motriz mediante el sistema de transmisión flotante Bogiflex.

Todo el interior del Horno está revestido con ladrillos de cromo-magnesita de liga directa.

En la fundición Caletones de la División El Teniente, se encuentran actualmente operando 4 hornos de limpieza de escoria (HLE).

El horno es usado para recuperar el cobre presente en la escoria proveniente de los Convertidores Teniente. Mediante la reducción del oxígeno, que se logra inyectando carboncillo por toberas y por la acción de un quemador aire-combustible (gas natural, diésel, enap 6), se separan las fases formando eje (70% Cu) y escoria (<0,017%Cu), siendo enviado a los Convertidores Teniente y al botadero de escoria respectivamente.

En la tabla N° 2 a continuación se detallan las características del horno limpieza de escoria.

	<b>HLE N° 1 - 2 - 4</b>	<b>HLE N° 3</b>
<b>Diámetro Interno</b>	4,500 m	4,500 m
<b>Largo</b>	10,700 m	12,700 m
<b>Espesor del Refractario</b>	0,381 m	0,381 m
<b>Espesor del Aislante</b>	0,013 m	0,013 m
<b>Espesor Casco de Acero</b>	0,050 m	0,050 m
<b>Espesor Casco Sector Boca</b>	0,050 m	0,050 m
<b>Diámetro útil Interno</b>	3,610 m	3,610 m
<b>Área de la Boca</b>	2,2 [m <sup>2</sup> ]	2,2 [m <sup>2</sup> ]
<b>Capacidad de Carga Máxima, (t)</b>	155,0	195,0
<b>Placa Sangría Metal Blanco</b>		
<b>Número</b>	2	2
<b>Diámetro, (mm)</b>	76	76
<b>Material</b>	cobre	cobre
<b>Mampostería Refractaria</b>		
<b>Tipo</b>	Cromo-Magnesita	Cromo-Magnesita
<b>Espesor, (mm)</b>	381	381
<b>Toberas</b>		
<b>Número</b>	4	4
<b>Diámetro, (mm)</b>	63.5	63.5

**Tabla N° 2: Características Hornos limpieza de escoria. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos.**

Cada HLE está provisto de los siguientes equipos complementarios:

- 4 Toberas de inyección de 2 ½" de diámetro, de las cuales 2 se operan normalmente.
- 1 Quemador de petróleo Enap 6 o Diésel de alta eficiencia y bajo nivel de ruido, con capacidad de 9 L/min, normalmente opera con 5 L/min.
- 1 Soplador de baja presión (5 kPa) que suministra el aire para la combustión del petróleo del quemador.
- Una red de aire para la atomización del petróleo de alta presión (640 kPa) y una red de aire de respaldo de baja presión (139 kPa).

- Red de abastecimiento de oxígeno para enriquecer el aire de combustión del quemador.
- 1 Sistema de transmisión flotante para los HLE N° 3 y 4 y un sistema de transmisión directa para los HLE N° 1 y 2, ambos sistemas son del tipo Bogiflex, accionados por motores de corriente continua de distintas capacidades. El giro de emergencia se realiza mediante la energía entregada por un conjunto de baterías, que se conecta en forma automática al caer el suministro normal.
- Campana de captación de gases con revestimiento refractario y chimenea estructural para la evacuación de los gases.
- Sistema de Control Digital (PLC) complementado con instrumentación de terreno, para el control y monitoreo de las variables de proceso.
- Para el transporte de la Escoria Final a botadero, se dispone de tres camiones de transporte y 6 ollas de 700 pie<sup>3</sup> cada una (20 m<sup>3</sup>).

A continuación se presenta en las figuras N° 19, 20 y 21, las cuales representan a: pasaje de sangría, sistema de giro Bogiflex, campana captación gases, respectivamente.



**Figura N° 19: Pasaje sangría Horno Limpieza de Escoria.**



**Figura N° 20: Sistema de giro Bogiflex.**



**Figura N° 21: Campana captación gases.**

#### 4.1.2. Proceso horno limpieza de escoria.

En el proceso de Limpieza de Escorias se distinguen cuatro etapas: carguío, reducción, sedimentación y extracción de los productos.

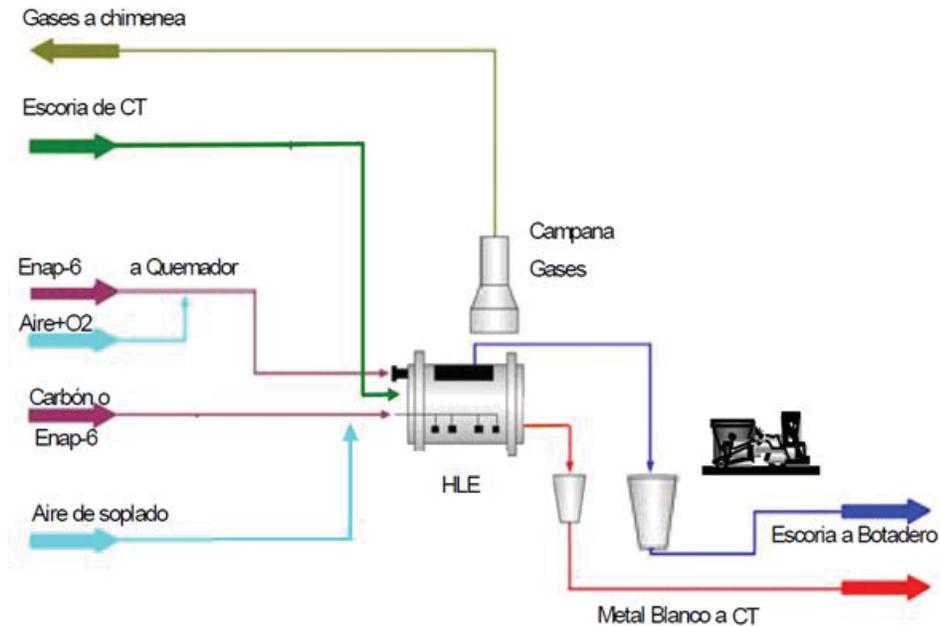
La etapa de reducción se lleva a cabo mediante la inyección de una mezcla de reductor y aire, en una razón de combustión sub estequiometría. Esta mezcla reductora se inyecta a través de toberas al baño fundido. El tiempo de reducción depende del contenido inicial y final de magnetita en la escoria, así como del flujo de la mezcla reductora. En la Fundición Caletones, se utiliza carboncillo como reductor y Enap-6 como alternativa.

En la etapa de sedimentación, el Horno se posiciona con sus toberas fuera de la línea del líquido y se deja reposar la escoria por un tiempo definido para permitir que se produzca la separación de las dos fases fundidas, Metal Blanco y Escoria Final. Luego de realizada la etapa de sedimentación, se procede a la extracción del Metal Blanco a través de un pasaje de sangría ubicado en el manto del Horno y posteriormente se extrae la Escoria a Botadero por la boca de evacuación de gases.

El Metal Blanco producido (65-70% Cu), es reciclado en estado fundido y transportado por tazas de 400 [pie<sup>3</sup>] movilizadas por medio de grúa-puente a los CT. Por su parte, la escoria final producida y con menos de 1% Cu, es transportada al actual botadero por medio de los camiones porta ollas (CATE), especialmente diseñados para este propósito.

Para mantener la temperatura de operación durante todas las etapas del proceso en niveles superiores a los 1.240°C, se utiliza un quemador que funciona con petróleo Enap 6 / aire / oxígeno, el que se encuentra instalado en la parte superior de la culata más alejada de la boca de evacuación de gases y de escoria, también existen 2 quemadores sumergidos en el piso del horno.

En la figura N° 22, se muestra un esquema de todo el proceso del HLE.



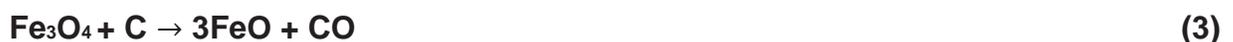
**Figura N° 22: Diagrama Proceso Horno Limpieza Escoria.**

La reducción de la magnetita de la escoria, se puede expresar genéricamente por la siguiente reacción química:



El carboncillo y Enap-6, que se usan como agentes reductores, están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno y algo de azufre. La combustión incompleta del reductor, por efecto de la reacción con el aire de inyección, genera monóxido de carbono

(CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), por lo tanto, las reacciones de reducción que se producen en la escoria son las siguientes:



Todas estas reacciones son endotérmicas (consumen calor) y por lo tanto, durante la reducción, se debe aportar calor al Horno mediante un quemador, para que la temperatura no disminuya.

El FeO producido se combina con la sílice libre que contiene la escoria de los Convertidores Teniente, formando el compuesto **2FeO SiO<sub>2</sub>** o fayalítica, según la siguiente reacción:



#### 4.2. Horno de refinación anódica.

##### 4.2.1. Descripción general.

Es un cilindro horizontal de acero, con cabezal y culata, revestido interiormente de ladrillos refractarios. Tiene una boca que permite cargar el cobre blíster y también evacuar la escoria. Su ubicación se encuentra levemente desplazada del centro del cilindro hacia la culata del quemador. La evacuación de los gases del proceso, se realiza a través de una abertura rectangular ubicada en el extremo opuesto del cabezal del quemador, e inmediatamente sobre ella, se encuentra la campana unida a una chimenea, por donde son evacuados los gases. Un quemador permite mantener la temperatura del cobre líquido en las diferentes etapas del proceso.

El Horno de Refinación Anódica (HREA) tiene dos (2) toberas, se emplean simultáneamente y se encuentran ubicadas cerca de los cabezales (lado sur del horno), permitiendo el ingreso de aire en la etapa de oxidación, la mezcla reductor–aire en la etapa de reducción y también son empleadas durante los escoriados para dirigir la escoria hacia la boca de descarga.

En la figura N° 23, se muestra una fotografía del HREA usado actualmente en la fundición Caletones y en la tabla N° 3 se detallan las características de este horno.



**Figura N° 23: Horno Refinación Anódica, Fundición Caletones.**

<b>Cantidad</b>		<b>5</b>
<b>Planos</b>		IG9-101304
<b>Dimensiones del Casco</b>	Diámetro	4.64 [m]
	Largo	10.67[m]
	Espesor	50[mm]
	Material	Acero 16Mo3
	Diámetro Toberas	2"
<b>Capacidad de proceso</b>		360 $\left[ \frac{\text{ton}}{\text{carga}} \right]$
<b>Mampostería</b>		Ladrillo Refractario de Cromo-Magnesita
<b>Sistema Motriz</b>	Tipo	Piñón-Corona
	Plano	IG9-84385 – IG9-84393
	Motor	MD-614, 100 HP General Electric
	Freno	Magnético, tipo TM 1985, Falk 15F
<b>Vida útil estimada</b>		15 años

**Tabla N° 3: Características Horno Refinación Anódica. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos.**

Cada HREA está provisto de los siguientes equipos complementarios:

- Quemadores duales (gas natural/petróleo) (Quemador por culata)
- Toberas inyección.
- Red de aire

- Red de abastecimiento de oxígeno para enriquecer el aire de combustión del quemador.
- Red de gas Natural.
- Red de Enap-6.
- Sistema Motriz, Piñón-Corona.
- Campana de captación de gases con revestimiento refractario y chimenea estructural para la evacuación de los gases.
- Sistema de Control Digital (PLC) complementado con instrumentación de terreno, para el control y monitoreo de las variables de proceso.
- Pasaje Moldeo (extracción cobre anódico hacia Ruedas de Moldeo).
- Canales Metal (Canales para dirigir el cobre anódico desde el horno hasta las ruedas de moldeo)

En las figuras N° 24, 25, 26 y 27, se muestra: Sistema motriz, toberas inyección, pasaje moldeo, canales de moldeo, respectivamente.



**Figura N° 24: Sistema Motriz Horno Refinación Anódica.**



**Figura N° 25: Toberas Inyección.**



**Figura N° 26: Pasaje Moldeo.**



**Figura N° 27: Canales de Moldeo.**

#### 4.2.2. Proceso horno refinación anódica.

La pirorefinación o refinación anódica tiene como objetivo reducir las impurezas desde valores superiores a 200ppm de azufre y 2.000ppm de oxígeno hasta contenidos inferiores a 20 ppm y 1.000ppm respectivamente. Para conseguir esto se realizan dos etapas discontinuas. La primera consiste en la oxidación, durante el cual el azufre es removido como  $SO_2$ , y una segunda etapa de reducción durante la cual el cobre es desoxidado.

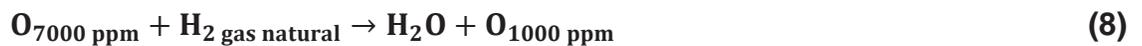
- Oxidación: Durante esta etapa, se inyecta aire al cobre fundido durante 1,5 a 2 horas. La gran parte del oxígeno del aire se disuelve en el cobre, ya que la solubilidad en este metal es de 1,5%, existiendo muy pocos metales que admiten una solubilidad más alta de oxígeno, por ejemplo, la plata. A continuación se muestra la ecuación general durante esta etapa:



Se puede observar que habrá un notorio incremento del oxígeno.

- Reducción: el oxígeno en exceso, disuelto durante la oxidación es reducido en esta segunda etapa. Ello es necesario pues este elemento, al ocurrir la solidificación, precipitara como  $\text{Cu}_2\text{O}$  (ello causa prácticamente el 6% en peso de óxido inclusionario en el cobre sólido, ya que a bajas temperaturas, la solubilidad del oxígeno es muy pequeña).

La refinación se hace por inyección de gas natural a través de toberas hasta que la concentración de oxígeno se haya reducido al orden de los 1000 ppm. Ello ocurre durante un lapso de 3,5 a 4 horas aproximadamente. A continuación se muestra la ecuación general para esta etapa:



En la figura N°28 se muestra la forma en la que se controlan los parámetros operacionales del HREA.

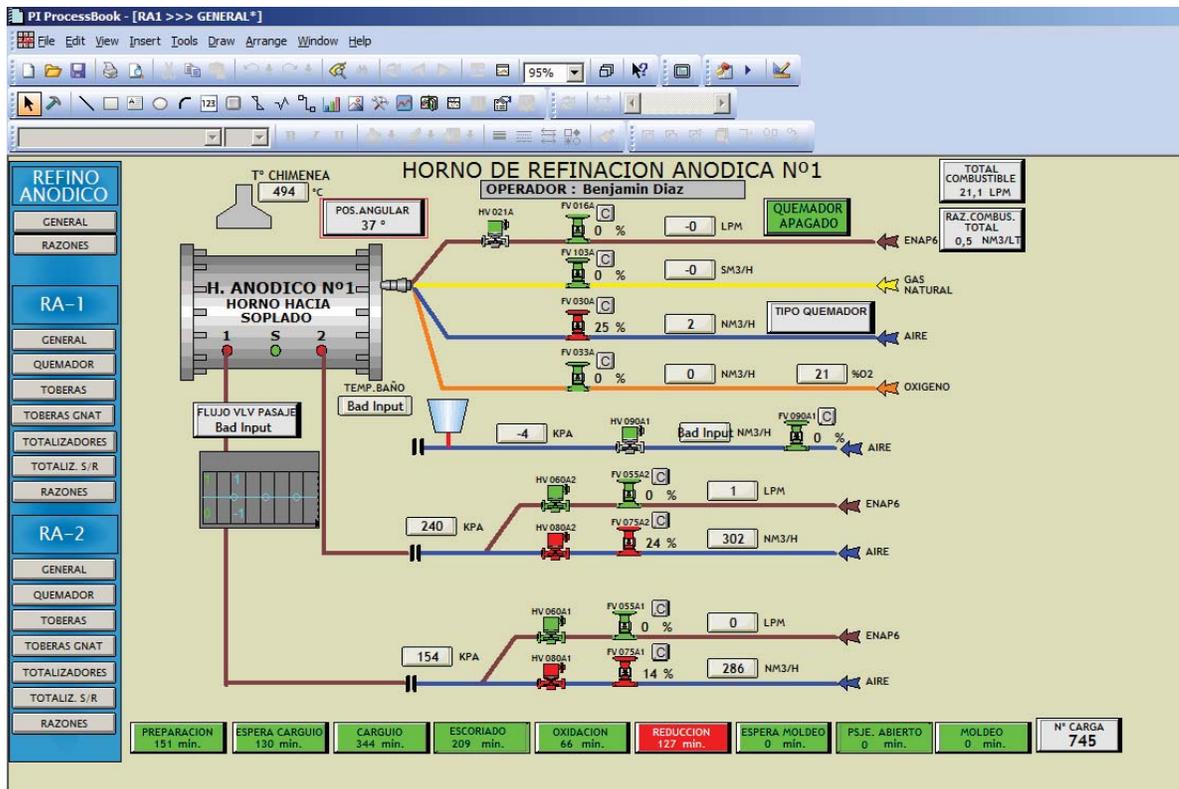


Figura N° 28: Esquema Sistema de control interno División El Teniente.

## 5. ALCANCES DEL PROYECTO.

En el capítulo 3: ANALISIS DE LA SITUACION, se detalló la situación por la cual atraviesa la Fundición Caletones de la División El Teniente de Codelco, en el cual se explicó por qué se tomó la decisión de modificar el Horno de Refinación Anódica N°3 al Horno de Limpieza de Escoria N°5. El proyecto se definió de corto plazo, rigiéndose principalmente por Bases Técnica, Bases Administrativas y Programa de ejecución y puesta en marcha, para el desarrollo del mismo.

### 5.1. Bases Técnica

Para este fin, el personal de la división elaboró una Base Técnica, titulada: “MODIFICACION HORNO ANODICO N°3 A LIMPIEZA N°5 FUNDICION CALETONES”, con las cuales se puso en licitación el proyecto, para que empresas contratistas coticen lo expuesto en la base técnica con el fin de realizar de mejor manera el proyecto siguiendo al pie de la letra lo mostrado ahí y con la atenta supervisión de los coordinadores DET.

Esta base técnica es mostrada en el anexo N° 2, muestra en detalle el cómo quiere la empresa mandante, en este caso, la División El Teniente (DET) que se realicen las actividades, el detalle de estas actividades, que personal a utilizar, soldadura, segregación de las áreas, permisos especiales para el ingreso a las distintas áreas, duración del proyecto, premios y sanciones, aspectos relevantes en seguridad y calidad, así como los aspectos en los cuales el personal DET va a supervisar y tiene la total facultad para auditar y dar termino al contrato, si no se cumple con lo estipulado.

### 5.2. Bases Administrativas

En el documento: “**BASES ESPECIFICAS DE CONTRATACION (BEC)**”, de donde se desprenden las “**BASES ADMINISTRATIVAS GENERALES (BAG)**”, incluidas en el anexo N° 3, detallan aspectos legales, de contratación de personal, forma de pago, forma de fiscalización de la empresa mandante DET a la empresa contratista. También establece la comunicación formal entre las partes para garantizar el fiel desarrollo del proyecto.

Al momento de licitar, para ambos casos, la empresa contratista debe tener en cuenta todos los aspectos de estas bases, especialmente, el de duración del proyecto y el itemizado de actividades a realizar, para poder proyectar cuanto y que personal se va a requerir, y así poder dar un estimativo en tiempo y dinero, los cuales serán presentados a la empresa mandante DET, para su aprobación. Es imperativa la correcta realización de este punto, un cobro excesivo puede significar la no adjudicación de la licitación, por otra parte un cobro incorrecto pone en riesgo la rentabilidad del proyecto.

El modo de cotizar es siguiendo el itemizado mostrado en la base, usar la cubicación mostrada, ya sea en kilos, unidades o metros lineales, proyectar personal a requerir (capataz, mecánicos, soldadores, refractaristas, etc.). Una vez aprobado esto por parte de DET, se envía la carta de pronto inicio de actividades, para que la empresa ganadora del concurso firme el contrato formal y empiece a coordinar lugar para la instalación de la faena, alimentación de los trabajadores y a contratar al personal, capacitarlo en los equipos a intervenir, modo de trabajo, medidas de seguridad, gestión a realizar antes de cada actividad, modo de acceso a las instalaciones. Una vez terminado el tiempo legal estipulado para esto, se envía por parte de DET a la empresa contratista una carta de “inicio de actividades”, con la cual la empresa contratista está facultada para iniciar los trabajos a realizar, siguiendo lo estipulado en la Base Técnica y Bases Administrativas. Para esta parte se programan reuniones diarias con el coordinador DET, para disponer ingresos, maquinaria extra a usar (grúa pluma, mini cargadores, camiones tolva, etc.), tratar las actividades a realizar por parte de la empresa contratista durante el día, ver los avances del día anterior y lo más relevante es ver el avance general y atraso de los trabajos. En base a esto el planificador DET, entrega una “Carta Gantt del proyecto”, la cual el planificador Contratista debe llevar un registro del avance real de las partidas ahí descritas, compararlo con el avance proyectado y ver los avances y atrasos, establecer una forma de mitigar estos atrasos si existieran, de ser necesario generar una nueva carta Gantt o agregar a la existente las actividades no contempladas inicialmente. Además, se debe llevar un registro de la asistencia de trabajadores, tiempo usado en

las distintas actividades para finalmente elaborar los estados de pago para que DET, cancele al Contratista por la entrega sistemática de los trabajos. La carta Gantt inicial referida es mostrada en el anexo N° 4, la cual muestra el paso a paso de todas las actividades con su fecha y hora de inicio, así como la fecha y hora de termino real y proyectada, % de avance de cada trabajo usada en la modificación del HREA N° 3 al HLE N° 5.

### 5.3. Programa de ejecución y puesta en marcha

Los trabajos preliminarmente se acotaron a:

- Modificación boca de carga:
- Adaptación boca de gases
- Construcción piquera de sangrado
- Adaptación toberas de Inyección/quemador sumergido
- Adaptación plataforma abatible
- Construcción refractaria (con demolición)
- Gastos reembolsables
- Contingencias

Trabajos que según la carta Gantt inicial en el anexo N° 4, se llevarían a cabo en 21 días de corrido, esto es considerando turnos continuos de 24 horas. En caso de retrasos el plazo final no debe exceder los 30 días.

Programación establece en la reunión de arranque que:

- La coordinación en terreno por parte de DET serán el Jefe de turno mecánico.
- De lunes a viernes se realizarán reuniones diarias entre el Programador DET y su contraparte de la empresa colaboradora, sumándose de ser necesario, Supervisión, SSOMA (Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente) y Administración de ambas partes, esto es DET y empresa ejecutora del proyecto.

El trabajo concluye con la recepción integra del proyecto por parte de DET, no considerando el tiempo de calentamiento controlado del equipo mediante sistema HOT WORK.

Finalmente, en el capítulo 6, donde se describe la ejecución del proyecto, se evidenciarán los trabajos efectivamente ejecutados, ya que, debido a requerimientos operacionales y modificaciones en la ingeniería, se agregaron tareas.

## 6. EJECUCION DEL PROYECTO.

La ejecución del proyecto estuvo a cargo de la empresa: “**Servicios Industriales Pacoll E.I.R.L**”, en la cual el autor del presente escrito fue el Supervisor General a cargo del servicio.

Tal como se mencionó anteriormente, el proyecto según la carta Gantt inicial anexo N° 4, estaba proyectado para que tuviera una duración de 21 días de trabajo continuo, con la ejecución solamente de las partidas indicadas en la Base Técnica.

Por inspecciones realizadas por el personal del área “Mantenimiento Refractarios DET”, se llegó a la decisión de demoler todo el manto refractario del horno y no una parte (piquera moldeo, boca gases) como se había especificado en un inicio, la incorporación de un parche (plancha de acero) en la boca de gases y con ello la fabricación de una nueva boca de gases. Estas situaciones provocaron un cambio en la programación de los trabajos, evidenciado en una nueva carta Gantt mostrada en el anexo N° 1: “Carta Gantt final”, llegando finalmente a 21,5 días corridos, esto sin evidenciar los retrasos ni contingencias que comentaremos al final, producto de trabajos adicionales. A continuación, con una descripción de cada partida se detallarán las tareas.

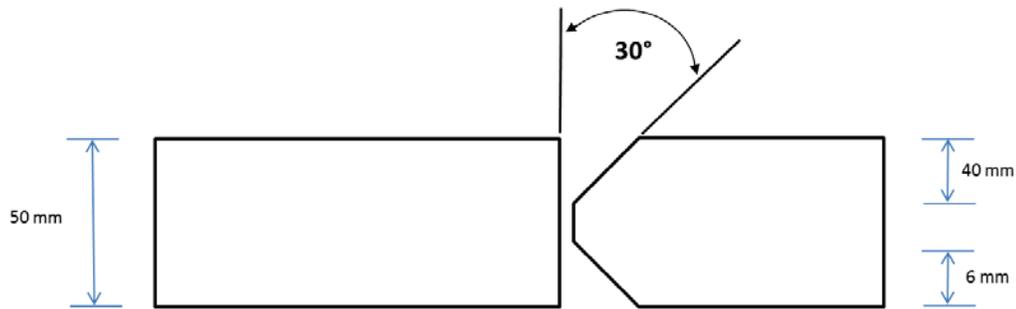
### 6.1. Modificación Boca de Carga

De la descripción de cada equipo, detallada en el capítulo 4 de este informe, se desprende que las bocas de cargas de ambos equipos no son coincidentes en su forma ni en su emplazamiento sobre el manto del horno. Por ello una de las modificaciones relevantes es la nueva boca de carga, para que quede como un horno de limpieza de escoria.

Para desplazar boca de carga, y dar la nueva ubicación según los planos de ingeniería detallados en el anexo N° 13: “Plano: MODIFICACIÓN CASCO 28072014”, se realizó un parche de 9,75 [m<sup>2</sup>], que cubrió la abertura actual del horno. Previamente se realizó el dimensionado y trazado de este en el casco, guiados por los planos mencionados, el biselado de la virola, dimensionado, montaje y emplantillado de dos parches. Según los requerimientos de la Unidad de

Confiabilidad DET, se debe proponer bisel para el parche y materiales de aporte para soldar los mismos, mediante método de soldadura SMAW (arco manual) y GMAW (MIG).

Para este efecto se propuso realizar a la virola un bisel tipo K, con un pequeño talón según lo describe la figura N° 29.



**Figura N° 29: Bisel tipo K.**

Este bisel se logró en terreno mediante un cortador de oxicorte magnético (rana magnética).

En relación al tipo de aporte de soldadura a utilizar en los métodos antes mencionados, se realizó un análisis de los tipos de acero a unir. DET, mediante la unidad de confiabilidad informa que el casco es de acero 16Mo3 y la virola de Acero ASTM A36. El acero del casco es aleado al cromo-molibdeno y se conoce como 15Mo3 según la norma DIN y 16Mo3 según la norma EN. Se trata de un acero resistente a al calor para uso en recipientes de presión y que, según lo investigado, este acero al contar con molibdeno retarda el creep (fluencia lenta). El acero de la virola no requiere mayor análisis, tratándose de un acero común, de buena soldabilidad (ASTM A36). Por ello, y revisando catálogos de proveedores se propone como aporte para el cordón raíz electrodo E7018-A1 diámetro 3,2 [mm] (1/8”), y para cordón de terminación alambre tubular Indura 71V de 1,6 [mm] (1/16”), el cual debe ser soldado con gas inerte de 80% de argón y 20% de CO2. Ambos aportes contienen entre sus composiciones molibdeno.

En las figuras N° 31, se muestra el casco del horno después de haber retirado la boca de carga existente y el resultado del corte para instalar el parche. En la figura N° 30 se ve el parche montado, listo para ser emplantillado y soldado al manto.



**Figura N° 30: Parche Montado en Casco.**



**Figura N° 31: Corte en Casco Horno HREA.**

Una vez emplantillados los parches, y ejecutado el cordón raíz, se aplicó la soldadura de relleno para la unión de estos, como se muestra en las figuras N° 32, 33 y 34.



**Figura N° 32: Cordón Soldadura.**



**Figura N° 33: Cordón Soldadura.**



**Figura N° 34: Cordón Soldadura.**

Luego de esto se realizó el montaje de la boca de carga, ya prearmada. Se perforó para la instalación de pernos y corte de la boca. La boca además de ser apornada, fue sujeta al casco con escuadras soldadas, que cumplen la función de sujetar la boca si los pernos se cortan en la operación y a su vez de planchas de sacrificio para amortiguar el golpe de las ollas de cobre en la boca cuando se efectúa la carga de material fundido. Los trabajos mecánicos realizados en la boca, se ejecutaron en paralelo con la construcción refractaria del horno, esta actividad es mostrada en las figuras N° 35 y 36, con la salvedad de evitar trabajos cruzados para evitar eventos de seguridad, en donde se detiene un trabajo para dar paso a otro. Preliminarmente debía reponerse solamente el refractario retirado en el sector de la boca, y como se mencionó anteriormente, por inspección del personal DET del área refractaria, se decidió demoler de manera parcial el horno, dejando solamente la mampostería refractaria de la parte inferior del horno, en toda su extensión. El detalle del trabajo refractario se describirá más adelante.



**Figura N° 35: Nueva Boca Montada.**



**Figura N° 36: Montaje Nueva Boca.**

Al ser este ítem una de las modificaciones estructurales más significativas en el proyecto, para efecto de este informe, evaluaremos los esfuerzos a los que será sometida la nueva estructura, aplicados por la dilatación interna de los ladrillos refractarios.

Para la obtención de las fuerzas provocadas por la expansión de los ladrillos refractarios en contacto con el casco del horno, se toma los datos obtenidos en la tesis de grado: “Proceso de calentamiento controlado en hornos fundición de Caletones” (1).

Para partir con el análisis, se toman las dilataciones de los ladrillos refractarios en todo el contorno del área que ocupa el parche de la boca de carga, datos obtenidos del anexo N° 7 (1). Para obtener las fuerzas se ocupa el procedimiento mostrado en la página 76 del documento antes referido:

$$F_{lad} = E * A * \delta_{ladrillos}$$

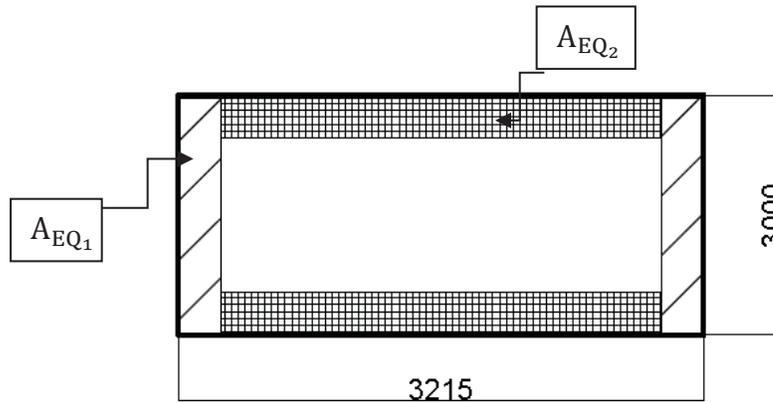
De la página 64:

$$E = 6,16 \text{ [GPa]}$$

Se analizará el efecto de esta fuerza para una zona sin parche y la misma zona pero con parche y su soldadura correspondiente, para esto se toma la misma área para los cálculos la que corresponde a:

$$A_{EQ_1} = 3[m] * 0,0508[m] = 0,1524[m^2]$$

$$A_{EQ_2} = 3,215[m] * 0,0508[m] = 0,163[m^2]$$



**Figura N° 37: Áreas Equivalentes 1 y 2.**

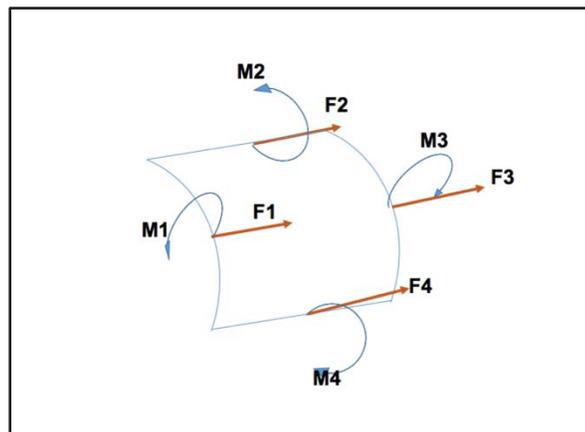
Estas zonas corresponden a los lados del parche, que irán soldados, estas áreas serán analizadas para llevar a cabo la comparación entre resistencias.

El parche antes descrito tiene unas dimensiones de: 3.215 [mm] x 3.000 [mm]

Realizando los cálculos de fuerza a partir de las deformaciones de los ladrillos en la zona de soldadura, obtenemos los resultados mostrados en el anexo N° 25.

- Caso 1: Casco del horno sin parche

Diagrama de cuerpo libre.



**Figura N° 38: DLC Área Analizar.**

De estos se obtienen las fuerzas netas en cada sector:

$$F_1 = 587.699,7[\text{N}]$$

$$F_2 = 413.070,6[\text{N}]$$

$$F_3 = 369.926,6[\text{N}]$$

$$F_4 = 413.070,6[\text{N}]$$

De la misma manera se obtienen los momentos flectores en cada sector:

$$M_1 = F_1 * 1,6075[\text{m}] = 944.727,2[\text{N} * \text{m}]$$

$$M_2 = F_2 * 1,5[\text{m}] = 619.605,9[\text{N} * \text{m}]$$

$$M_3 = F_3 * 1,6075[\text{m}] = 594.657,1[\text{N} * \text{m}]$$

$$M_4 = F_4 * 1,5[\text{m}] = 619.605,9[\text{N} * \text{m}]$$

Se obtienen los esfuerzos:

$$\tau_1 = \frac{F_1}{A_{EQ_1}} = 3,85[\text{MPa}]$$

$$\tau_2 = \frac{F_2}{A_{EQ_2}} = 2,53[\text{MPa}]$$

$$\tau_3 = \frac{F_3}{A_{EQ_1}} = 2,43[\text{MPa}]$$

$$\tau_4 = \frac{F_4}{A_{EQ_2}} = 2,53[\text{MPa}]$$

Para obtener los esfuerzos por momentos flectores, es necesario obtener los momentos de inercia de cada área. Se usa la siguiente fórmula para obtenerlos:

$$I_{yy} = \frac{1}{12} * b * h^3$$

$$I_{1,3 yy} = \frac{1}{12} * 0,0508 * 3^3 = 0,1143 \left[ \frac{\text{m}^4}{\text{m}} \right]$$

$$I_{2,4 yy} = \frac{1}{12} * 0,0508 * 3,215^3 = 0,1406 \left[ \frac{\text{m}^4}{\text{m}} \right]$$

$$\sigma = \frac{M_f * c}{I} \rightarrow \sigma_1 = 2,1 * 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\sigma_2 = 1,12 * 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\sigma_3 = 1,32 * 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\sigma_4 = 1,12 * 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Analizando los resultados obtenidos de los esfuerzos normales y flectores, se encuentra que el sector más exigido es el número 1.

$$\sigma_1 = 2,1 * 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \qquad \tau_1 = \frac{F_1}{A_{EQ1}} = 3,85[\text{MPa}]$$

Esfuerzo resultante.

$$\tau_r = \sqrt{\sigma_1^2 + \tau_1^2} \rightarrow \tau_r = 3,86[\text{MPa}]$$

El material del casco del horno es el acero 15Mo3, especificado en este escrito. De las propiedades de este acero, se obtiene la resistencia a la tracción:

$$S_{y_{15\text{Mo}3}} = 570[\text{MPa}]$$

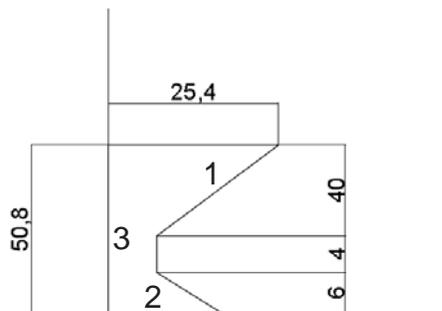
Luego mediante la siguiente expresión obtenemos el factor de seguridad:

$$\tau_r = \frac{0,6 * S_y}{F.S} \rightarrow F.S = \frac{0,6 * S_y}{\tau_r} = \frac{0,6 * 570 * 10^6}{3,86 * 10^6} = 88,47$$

A continuación, se dispondrá a analizar el caso N° 2, en el que se efectuaran los cálculos necesarios para obtener el factor de seguridad del trabajo de parche y soldadura de este al casco del horno.

- Caso 2: Análisis sector parche con soldadura.

La soldadura del parche se realiza en forma de K, a continuación, se presentan los cálculos necesarios para obtener el centroide de esta.



**Figura N° 39: Área de sección soldada en bisel tipo K.**

Para conseguir el centroide de la soldadura es necesario obtener las áreas, centroides y momentos de inercia de estas.

	$A_i$	$Y_i$	$A_i * Y_i$	$I_i$	$y$	$A * y^2$
1	161,29	25,4	4096,766	135,492	2,5743	1068,872
2	462	23,33	10780	13695,99	0,507633	119,0535
3	31,2	2	62,4	187,4773	-20,8257	13531,75
$\sum_i$	654,49		14939,17	14018,96	-17,7438	14719,67

**Tabla N° 4: Datos para el centroide y momento de inercia en el eje y del bisel K.**

Luego:  $\bar{Y} = \frac{\sum A_i * Y_i}{\sum A_i}$  y  $I_{yy} = I_i + \sum A * y^2$

$\bar{Y}$	22,82 [mm]
$I_{yy}$	28.738,63 $\left[\frac{mm^4}{mm}\right]$

**Tabla N° 5: Resultado centroide y momento de inercia eje y bisel K.**

	$A_i$	$X_i$	$A_i * X_i$	$I_i$	$x$	$A * x^2$
1	161,29	1,5875	256,0479	34.685,95	6,796918	7.451,291
2	462	10,875	5.024,25	41.066,67	-2,49058	2.865,785
3	31,2	6,641667	207,22	62,4	1,742752	94,76011
$\sum_i$	654,49		5.487,518	75.815,02	6,049088	10.411,84

**Tabla N° 6: Datos para el centroide y momento de inercia en el eje x del bisel K.**

$\bar{X}$	8,39 [mm]
$I_{xx}$	86.226,85 $\left[\frac{mm^4}{mm}\right]$

**Tabla N° 7: Resultado centroide y momento de inercia eje x bisel K.**

Para los siguientes cálculos se utilizará la expresión L que corresponde al largo total de la soldadura (suma de todos sus lados).

$L = 185,767$  [mm].

Diagrama de cuerpo libre.

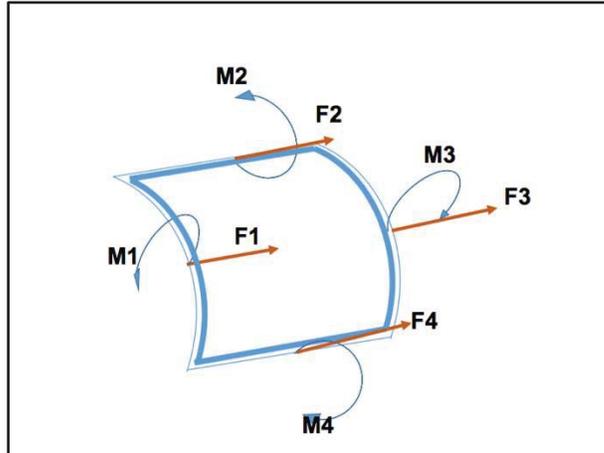


Figura N° 40: DCL Sección Soldada en Casco.

Esfuerzo normal.

$$P = \frac{F}{L}$$

$$P_1 = 3.163,64 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$P_2 = 2.223,6 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$P_3 = 1.991,35 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$P_4 = 2.223,6 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Esfuerzo flector.

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$\sigma_1 = 7,5 * 10^5 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$\sigma_2 = 4,92 * 10^5 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$\sigma_3 = 4,72 * 10^5 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$\sigma_4 = 4,92 * 10^5 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Analizando los resultados obtenidos de los esfuerzos normales y flectores, se encuentra que el sector más exigido es el número 1.

$$\sigma_1 = 7,5 * 10^5 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$P_1 = 3.163,64 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Esfuerzo resultante.

$$\tau_r = \sqrt{\sigma_1^2 + P_1^2} \rightarrow \tau_r = 750.006,67 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

La soldadura es realizada con el sistema MIG tubular de 1,6 [mm] de diámetro. De las propiedades de esta soldadura, se obtiene la resistencia a la tracción:

$$S_{yMIG} = 573[\text{MPa}]$$

Para obtener el factor de seguridad de esta zona, es esencial obtener el esfuerzo admisible con el que trabaja la soldadura. Para esto se emplea la siguiente expresión que usa la teoría de fallas de Von Mises.

Por la naturaleza de las fuerzas aplicadas, estas actúan en su mayoría sobre el lado horizontal del cordón de soldadura total, el que tiene un espesor de 50,8 [mm], como fue soldada con alambre de 1,6 [mm] de diámetro, para efectos del trabajo de soldadura el espesor con el que queda depositada es de 1,6 + 4 [mm]= 5,6 [mm], por lo cual:  $\frac{3.000 [\text{mm}]}{5,6 [\text{mm}]} = 535,71$  cordones.

Esfuerzo admisible.

$$S_{yadm} = \frac{\tau_r}{0,707 * a} = \frac{750.006,6724}{0,707 * (50,8 * 535,71)} = 38,981 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = 38,981 * 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Finalmente.

$$S_{yadm} = \frac{0,6 * S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{0,6 * 573 * 10^6}{38,981 * 10^6} \rightarrow F.S. = 8,819$$

De esta manera queda demostrado que los esfuerzos ejercidos por la mampostería refractaria en la dilatación térmica sobre el manto no afectarán el diseño del equipo, y tampoco con la nueva estructura adosada.

## 6.2. Adaptación de boca de gases

La segunda modificación fue la nueva boca de gases. Debido al nuevo trazado de la boca de gases, se convino desmontar el cajón de la boca de gases existente para poder parchar la abertura inicial que funcionaba en el HREA N° 3, esto no estaba contemplado inicialmente en las bases técnicas. Al igual que la ubicación de la boca

de carga, se realizó el trazado de la boca de gases según planos de ingeniería detallados en el anexo N°13 “Plano: MODIFICACIÓN CASCO 28072014”. Este parche se realizó con plancha de 2”, de acuerdo a procedimiento de parche en casco idéntico al del sector de la boca de carga, mismo bisel tipo K de la figura N° 29 y materiales de aporte para soldar virola, cubriendo un área total de 2.360 x 1.340 [mm], equivalente a 3,2 [m<sup>2</sup>] aproximadamente (ver figura N° 41). Una vez instalado el parche, se realizó la apertura de la nueva ubicación de la boca de gases, realizando posteriormente el montaje del cajón (ver figura N° 42), fijando al casco con unión soldada por interior y exterior (soldadura E7018-A1). La boca de gases debió ser adaptada para ser operativa en un horno limpieza escoria, para esto se tuvo que achicar el área de liberación de gases (ver figura N° 43). Debido a esta modificación se hizo un vano más pequeño y se completó con ladrillos refractarios hasta llegar a la altura del cajón. El espacio entre el casco y la parte superior del cajón se llenó con ladrillos y concreto refractario. Finalmente, se debió instalar una plancha como tapa de este cajón, la cual fue sujeta al cajón mediante clips (planchas de acero doblado y soldado como se aprecian en la figura N° 43). Para realizar estos trabajos fue necesario el desmontaje y posterior montaje de la campana de gases.



**Figura N° 41: Parche en Boca de Gases.**



**Figura N° 42: Nuevo Vano Boca de Gases y Nuevo Cajón montado.**



**Figura N° 43: Nueva Boca de Gases.**

### 6.3. Construcción piquera de sangrado.

Se realizó la instalación de dos piqueras de sangrado bajo la parte inferior de la boca de carga. Estas piqueras fueron provistas por DET y para su instalación fue necesario realizar un corte en el casco además de la demolición interior de los ladrillos en la zona a intervenir. La demolición del enladrillado debió ser de manera tal que permitiera construir la nueva mampostería refractaria con el respectivo pasaje de sangría para la salida del metal blanco.

El montaje de las piqueras consistió en un emplantillado y posterior unión con soldadura de las piqueras al casco. El material de Aporte de Soldadura ocupado fue E7018-A1 diámetro 3,2 [mm] (1/8"). Una vez realizada la soldadura de raíz de esta

unión, se realizó la construcción refractaria de los cajones, mientras en paralelo se continuó con soldadura de relleno de las piqueras al casco.

En las figuras N° 44 y 45, se muestra el proceso de soldadura y el resultado final, respectivamente. Cada piquera lleva instalada en su salida una placa de cobre con un agujero de 2", la cual hace las veces de soportación del refractario instalado en ellas, y cumple la función de contener el tapon de greda que evita que el metal fundido escurra.



**Figura N° 44: Soldadura de piqueras.**



**Figura N° 45: Nuevas piqueras.**

#### 6.4. Adaptación toberas inyección/quemador sumergido.

Para la operación del HLE es necesario la inyección de aire-carboncillo el cual se hace a través de toberas, para separar las distintas fases del baño de cobre fundido y por las cualidades termodinámicas del proceso es necesaria la

utilización de un quemador sumergido, el cual como lo dice su nombre se encuentra por la parte inferior del horno, sumergido en el baño, este cumple la función de mantener la temperatura del baño de líquido.

Se montó el piping necesario (ver figura N° 46) desde el costado del cabezal del horno (Lado Rancagua), hasta un punto de acople final al horno. Cabe destacar que estas líneas entre sus componentes tienen “unión giratoria”, la cual permite el movimiento rotatorio del horno sin el desacople de la misma.

Las toberas de inyección al igual que el quemador, van montados directamente al casco del horno (ver figura N° 47), posterior a un trabajo de perforación de la mampostería refractaria y sellado de la abertura.

El quemador sumergido por su parte debe quedar con el piping necesario para el abastecimiento de gas natural, petróleo diésel y aire. Las líneas quedaron montadas en el siguiente esquema:

- Línea de Aire 3” enriquecida con oxígeno, directamente acoplada al quemador del horno (ver figura N° 48), con reducción a 2”, válvula de retención 2” #150 conexión wafer; válvula de corte de bola 3 cuerpos inox 316 de 1” NPT.
- Línea de Gas natural 3” con reducción a 2”, válvula de retención 2” #150 conexión wafer; válvula de bola 2” conexión flanges #150, la cual reduce a 1” finalizando con un acoplamiento rápido donde se enlaza el flexible que irá al quemador del horno.
- Línea de petróleo de 1”; válvula de bola 3 cuerpos inox 316 de 1” NPT finalizando con un acoplamiento rápido donde se enlaza el flexible que irá al quemador del horno.



**Figura N° 46: Líneas de suministros.**



**Figura N° 47: Toberas de inyección de carboncillo.**



**Figura N° 48: Quemador sumergido.**

#### 6.5. Adaptación plataforma abatible.

Para la extracción del producto del interior del horno mediante tazas es necesaria la instalación de una plataforma abatible nueva, que permite la abertura del pasaje de sangría, el cual se sella con greda, y con la misma levantada, permite la extracción de la taza mediante grúa puente. Para describir esta tarea se transcribe lo solicitado en la base técnica, destacado en negrita, y a continuación se detalla los trabajos efectivamente realizados:

Se deberá habilitar la nueva plataforma de sangrado del horno, la cual será provista por DET (División El Teniente). Para lograr lo anterior, los trabajos a realizar son:

- **Demolición muro de hormigón armado, reconstrucción de armadura e instalación de soportes de plataforma y grout de nivelación. Involucra además armadura y hormigonado del sector, y blindaje en plancha de 1". En resumen, todas las obras civiles para instalar de manera adecuada la plataforma.**

En el lado Rancagua de la plataforma, según el anexo N° 14 "Plano: PLANO DE FORMA 28072014", se debió demoler desde la elevación de piso *EL.1569.723*, 2080 [mm], y el vano de apertura en el piso fue de 300x1.520 [mm]. Se debió demoler el muro existente y el piso en dimensiones mayores a las descritas anteriormente y reacondicionar la enfierradura de estas de modo que la plataforma pivoteara de manera segura. Esto se realizó porque el hormigón armado existente data de mucho tiempo atrás, por ende, presentaba mucha fragilidad. Para reponer el hormigón demolido adicional, se propuso un hormigón preparado H30, que da una resistencia de 300 [kg/cm<sup>2</sup>], para dar una base sólida mejor a la existente.

- **Demolición de soporte de plataforma antigua e instalación de nuevo soporte, manteniendo el estándar o diseño del actual.**

Se retiraron los soportes de la plataforma abatible existente que servía para operar el horno cuando era HREA. Luego de demoler el sector, descrito en el

punto anterior, se montaron los nuevos soportes según el anexo N° 9 “Plano: DESCANSO MONTAJE 28072014”. Estos soportes hacen de pivotes para la nueva plataforma abatible. Los puntos de montaje fueron dados por topografía de empresa colaboradora externa, para que coincidiera exactamente con el montaje de la respectiva escala de acceso, justo al otro costado del horno, y a su vez con el soporte sobre el cual descasará la plataforma durante la operación.

- **Corte de muro lado sewell para instalación de escalera de acceso. Considera remate de armadura estructural y terminación de presentación.**

Justo al otro costado (Lado Sewell del horno), frente a los nuevos soportes pivote, se demolió de igual manera el piso y el muro, generando un vano en el piso de 1.665x840 [mm], y el muro una profundidad de 1.700 [mm]. Para este efecto no se tuvo que demoler adicionalmente lo descrito, ya que la función principal de esta apertura era para instalar escalera de acceso a la nueva plataforma abatible. Solamente se ejecutaron terminaciones de presentación.

- **Instalación de soporte de plataforma en lado libre**

Según descripción del anexo N° 9 “Plano: DESCANSO MONTAJE 28072014”, en el detalle “1”, se procede a montar soporte previamente fabricado por DET. Este tiene el propósito de soportar la plataforma abatible una vez que esta es bajada para la operación del horno. Este fue adosado al muro mediante 20 pernos de 1” de diámetro por 16” de largo, pasante en el muro.

- **Instalación de escala y fabricación de barandas.**

Después de haber realizado la apertura del vano en el piso de 1.665x840 [mm], y en el muro de una profundidad de 1.700 [mm] (descrito más arriba), se montó la respectiva escalera de acceso mostrada en el anexo N° 11 “Plano: ESCAL DISEÑO 28072014” y las barandas de protección del sector, las cuales eran un requerimiento de seguridad para evitar la caída de distinto nivel. La escalera fue provisión de Pacoll, diseñada por DET.

- **Montaje de plataforma, chispero, y ajustes de terreno de estos elementos para su correcto funcionamiento.**

Se ejecutó el pre-armado de la plataforma según descripción de la misma en el anexo N° 7 “Plano: BARANDA PTA”, donde se montó: El chispero, el cual cumple la función de proteger al operador de la proyección de metal fundido en la apertura y cierre del pasaje de sangría de metal blanco. Eficientemente las ventanillas del chispero debieron quedar cada una frente a frente a las respectivas piqueras; Las barandas, las cuales fueron montadas, igual manera en lo descrito en el plano antes mencionado, con la finalidad de proteger de toda caída libre de las personas que transiten en la plataforma.

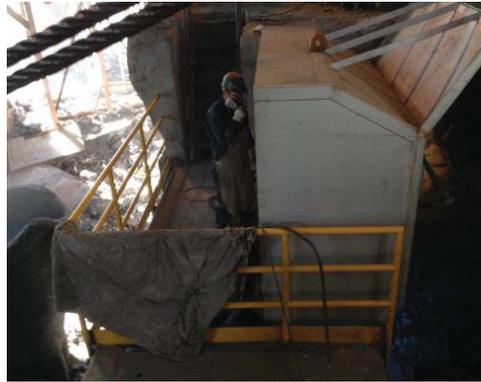
- **Montaje y adaptación y pruebas de funcionamiento de ser necesaria de sistema de accionamiento de izaje plataforma.**

En la prueba del montaje se detectaron diversas desviaciones relevantes para la operación. La más importante de todas fue que la distancia de chispero a la piqueta de sangría no fue aprobada por el Jefe de Operaciones, quien debía dar el visto bueno, desde el punto de vista técnico y de seguridad. Este error radicó en que el chorro de metal fundido iba a golpear de lleno en dicho chispero, lo cual eleva la probabilidad de dañar con este metal fundido a las personas que estuvieran en la plataforma durante la operación.

Parte de este proceso es mostrado en las figuras N° 49 y 50.



**Figura N° 49: Trabajos de OO.CC.**

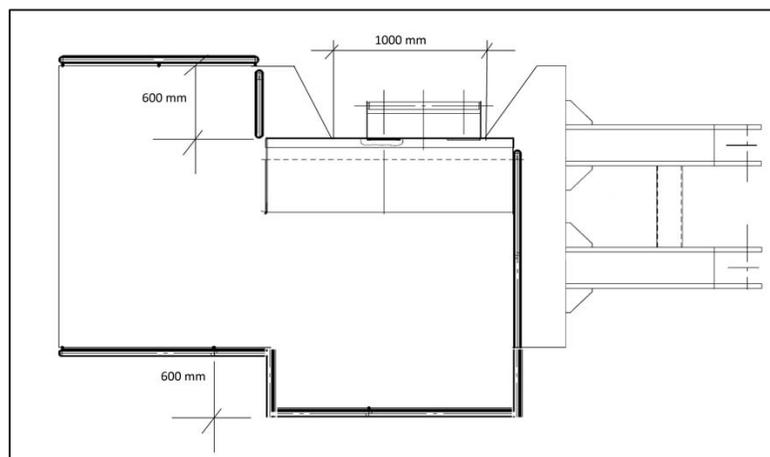


**Figura N° 50: Plataforma-chispero.**

## 6.6. Trabajos adicionales

### 6.6.1. Modificación de chispero y tapa de boca de carga

Como se mencionó anteriormente, debido a la cercanía de la plataforma abatible con el horno, específicamente con las piqueras de sangrado de metal blanco, se realizó una modificación en el chispero (plancha que protege al operador de “chispas” que puedan ser expulsadas del proceso de fusión-conversión del cobre y en la sangría de metal fundido), desplazándose este hacia el interior de la plataforma con el fin de aumentar la distancia entre el operador y las piqueras. Según el esquema de la figura N°51 la plataforma quedó con la siguiente modificación:



**Figura N° 51: Bosquejo de modificación de plataforma.**



**Figura N° 52: Trabajo de modificación de plataforma.**

Luego de esta modificación, la plataforma fue nuevamente montada y aprobada por jefe de operaciones DET para la operación.

Además, se tuvo que modificar la tapa de la boca de carga, la cual inicialmente funcionaba para un horno anódico y esta no era capaz de cubrir las nuevas dimensiones de la boca de carga del horno limpieza escoria. En la figura N° 53 se muestra parte del proceso de modificación de la tapa boca en la etapa de dimensionado y soldadura.



**Figura N° 53: Tapa boca en modificación.**

### 6.6.2. Fabricación de ventanilla y adaptación quemador

Se construyó una ventana en el cabezal lado Sewell, dejando espacio a la instalación de un quemador, el cual fue modificado por personal Pacoll.

En las figuras N° 54 y 55, se muestra al quemador y el instante de su montaje respectivamente.



**Figura N° 54: Quemador por culata.**



**Figura N° 55: Montaje quemador.**

### 6.6.3. Fabricación y/o reparación de estructuras en HLE N° 5

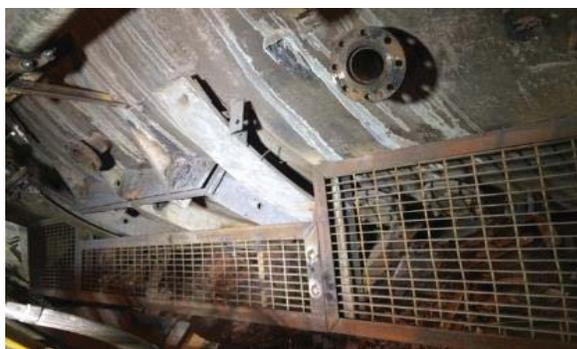
Dentro de los trabajos ejecutados, se debió realizar la fabricación de algunas estructuras, las que fueron cuantificadas en [kg]. Dentro de los trabajos realizados se encuentra la fabricación y montaje de las parrillas de repaso (figura N° 56), la reparación de la tapa ubicada en cabezal Sewell (figura N° 57), la fabricación e instalación del soporte de tope instalado en lado Sewell de la plataforma de operaciones (figuras N° 58), según anexo N° 19 "Plano: SOPORTE 28072014", la fabricación de planchas y medias lunas en la parte inferior del cajón de boca de

gases (para ajustar al casco), la fabricación e instalación de perros para sujeción de boca de carga (ver figura N° 59) y la adaptación de la escalera de acceso a la plataforma de operaciones. La mayor parte de estos trabajos no son respaldados por diseños de ingeniería, solamente con adaptaciones de terreno, es por ello para efecto de este informe se mencionan someramente.

El detalle de los kg fabricados y/o reparados se adjunta a continuación:

<b>Fabricación y montaje de parrilla de repaso [kg]</b>		<b>104,13</b>
<b>Soporte de tope plataforma de acceso [kg]</b>		<b>383,18</b>
<b>Plancha ajuste inferior cajón boca de gases [kg]</b>		<b>101,41</b>
<b>Reparación de tapa de cabezal L/S [kg]</b>		<b>37,66</b>
<b>Desmontaje y montaje de cajón de boca de gases [kg]</b>		<b>1079,58</b>
<b>Instalación de perros en boca de carga [kg]</b>		<b>482,80</b>
<b>Adaptación escala de plataforma [kg]</b>		<b>611,24</b>
<b>TOTAL [kg]</b>		<b>2800,00</b>

**Tabla N° 8: Detalle estructuras fabricadas y/o reparadas.**



**Figura N° 56: Parrilla de repaso.**



**Figura N° 57: Tapa cabezal lado Sewell.**



**Figura N° 58: Soporte tope.**



**Figura N° 59: Perros boca de carga.**

#### 6.6.4. Reparación, cambio de piping o singularidades HLE N° 5

Se realizaron trabajos de reparación y fabricación de piping, utilizando HH (horas hombre). Específicamente los trabajos realizados fueron la fabricación y habilitación de una línea de oxígeno de 2" (figura N° 63), la fabricación e instalación de una tobera (figura N° 61), la fabricación y habilitación de una línea de aire de 3" (figuras N° 60 y 62). También se han realizado trabajos singulares

que han sido cuantificados en horas hombre involucradas en la tarea, dentro de los cuales se encuentra la fabricación e instalación de una protección de pasillo de punzado, la reparación de la plataforma lateral en la campana de gases y la instalación de placas orificio en la línea de aire.



**Figura N° 60: Línea de aire diámetro 3".**



**Figura N° 61: Tapa tobera y quemador.**



**Figura N° 62: Línea de aire diámetro 3''.**



**Figura N° 63: Línea de oxígeno diámetro 2''.**

#### 6.6.5. Construcción refractaria (con demolición) HLE 5

Ahora abordaremos el tema del enladrillado refractario, ya que inicialmente se proyectaba realizar la reconstrucción del sector de la boca de carga, sin embargo, el ladrillo en este sector tenía un espesor muy bajo y en gran parte de la bóveda, por lo que se determinó demoler la bóveda completa, gran parte de la guata y espalda del horno más la mitad de los cabezales. También se demolió la zona de las piqueras, lo que estaba contemplado desde el inicio.

Una vez realizada la demolición manual, se llevaron a cabo los trabajos en el sector de la boca, preparación y posterior instalación de parche (descritos anteriormente). Una vez terminados los trabajos mecánicos en el sector de boca de carga, se procedió con la construcción refractaria, la cual se realizó de acuerdo al procedimiento de construcción refractaria, que toma como referencia el plano

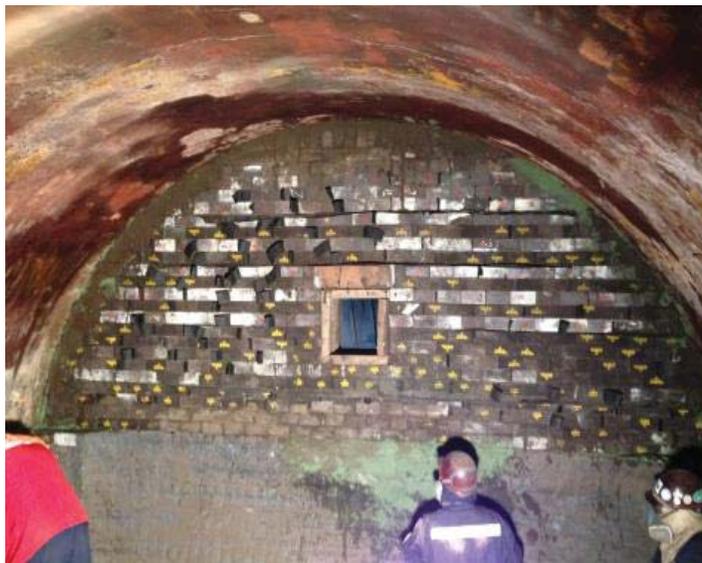
del anexo N° 22 “Plano: SEY-PLA-156120-00 HLES”, más ajustes de terreno guiados por el jefe de turno Refractario. Instalándose una cantidad de 21.338 equivalentes, técnicamente la mampostería refractaria va dispuesta en el horno según lo definido por la unidad de mantenimiento fundición y su área refractaria, de la siguiente manera:

- Cuña de 15”x6”x(4”-3” 11/32”) en todo el piso, principalmente en la media caña inferior del horno, hasta la línea de toberas en el sector de la espalda del manto, como lo describe la sección B del plano anexo N° 22.
- Cuña de 18”x6”x(4”-3” 3/16”) a continuación en el manto específicamente en el sector de la bóveda, como lo describe la sección B del plano anexo N° 22.
- Cuña de 15”x6”x(4”-3” 11/32”) en la parte superior, a continuación de la hiladas de cuñas de 18”, como lo describe la sección B del plano anexo N° 22, hasta el sector de la boca de carga.
- En los cabezales recto de 18”x6”x3” en la horizontal y luego recto de 12”x6”x3” amarrado con el mismo reto de 12” cruzado en su extensión de 6”, esto resulta que una hilera horizontal de 18”, justo por encima de la anterior. Esto se hace de manera intercalada, para darle firmeza al enladrillado.
- Manta cerámica de 1”, en todo el manto del horno, antes de instalar el ladrillo refractario. Tiene el propósito de ayudar el aislamiento térmico del manto de acero del horno. En la bóveda van instaladas junta de dilatación según la especificación del anexo N° 22, de 1/8” cada 8 hiladas por lo general, sumado a juntas de 1/16” cada 12” longitudinales. En los cabezales de usa junta de dilatación de 1/16” cada 8 hiladas. Estas compensan las dilataciones del refractario cuando se calienta para la operación.
- La composición química del material refractario usado en los hornos de pirorefinación son del tipo básicos, descritos en el catálogo del proveedor de los anexos N° 23 y 24, TATA y TCKY, los cuales se usan

alternadamente en los cabezales de los hornos y solamente TCKY en todo el tambor.

- La diferencia máxima que debe haber entre corrida de ladrillo es de 3", y los espesores mínimos para decidir demolición de ladrillo es de 10" a 12".
- El valor equivalente en el cálculo de refractario montado es 1 equivalente = 101,25 [in<sup>2</sup>], aproximadamente 5,25 [kg](esto depende del peso específico de cada ladrillo según su composición).

En la figura N° 64 se muestra el cabezal lado Sewell en su totalidad terminado.



**Figura N° 64: Cabezal de horno enladrillado.**

En figuras N° 65 y 66 se muestra el proceso de enladrillado del horno y en la figura N° 67 se muestra la forma en la que se contabilizan y se cobra la instalación de ladrillos refractarios.



Figura N° 65: Enladrillado sector boca.



Figura N° 66: Enladrillado Bóveda.

HORNO HLES. N° 5				
FECHA: 06 - AGOSTO - 2014				
CONSIGNACIÓN EQUIVALENTES CONTEO REALIZADO CON MANUEL CERPA JARA.			EMPRESA PACOLL	
CÓDIGO	FORMATO DE MATERIAL	FACTOR EQUIV.	CANTIDAD	EQUIVALENTES
26267	LAD. REFRACTARIO 12"X6"X3"	2,13	445	948
16091	LAD. REFRACTARIO 18"X6"X3"	3,2	110	352
26272	LAD. Cuña 15"X6"X4"X(3-11/32") TCKI	3,264	268	875
26275	LAD. Cuña 18"X6"X4"X(3-3/16") TCKI	3,833	4636	17.771
10503	Concreto Grueso	0,302	700	211
10460	Concreto basico	0,302	1600	483
10507	Mortero basico	0,302	1700	513
26276	LAD. Cuña 18"X4"X(4"X3-3/16") TCKI	2,626	70	184
			<b>TOTAL EQUIVALENTES</b>	<b>21.338</b>

Figura N° 67: Total de Refractario Instalado en HLE 5.

Por otra parte, este trabajo de modificación en el horno varía el peso total del equipo cuando opera. Por ello evaluaremos cual es la variación total de la siguiente forma.

En la modificación del HREA 3 a HLE 5, en todos los cambios que se efectuaron también se produjo uno en el peso, por los equivalentes refractarios colocados de una manera diferente a la inicial, aparte de toda la parte mecánica extra.

A continuación, se analizará el cambio en el peso y las reacciones en los polines.

Para efectuar esta verificación en la carga que debe soportar los polines, se calculará el peso total del horno cuando estaba como HREA y finalmente cuando se transformó como limpieza de escoria.

El peso del casco no se considera ya que para ambos casos es el mismo, lo que se busca es verificar el aumento de la carga del horno.

El peso de los elementos mecánicos del horno de refinación anódica, es un promedio de los kilos de estructuras instalados en los mantenimientos generales de los hornos HREA 2 y HREA 1.

Los datos de los kilos de cobre en 1 carga de cada horno, son obtenidos con personal encargado de la operación de cada horno.

### **Horno de refinación anódica N° 3**

<b>Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>kg</b>
<b>Total equivalentes instalados</b>	41388	217.287
<b>Elementos mecánicos</b>	-	7.505,85
<b>Peso cobre en 1 carga</b>		210.000
<b>Total</b>		434.792,85

**Tabla N° 9: Peso HREA N° 3.**

### Horno de limpieza de escoria N° 5

Ítem	Unidad	kg
<b>Total equivalentes instalados</b>	41158	216.079,5
<b>Elementos mecánicos</b>	-	2.188,76
<b>Peso cobre en 1 carga</b>		232.800
		451.068,26

**Tabla N° 10: Peso HLE N° 5.**

Lo que se traduce en fuerza:

$$F_{\text{HREA } 3} = 434.792,85 * 9,8 = 4.260.969,93 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{HLE } 5} = 451.068,26 * 9,8 = 4.420.468,95 \text{ [N]}$$

Nos podemos dar cuenta que la fuerza del peso total del horno de limpieza de escoria N° 5 es mayor al del horno de refinación anódica N° 3, lo que se traduce en una mayor resistencia por parte de los polines. Elementos que soportan el peso total del tarro y permiten su giro.

El aumento en el peso del HLE 5 se debe principalmente a la mayor cantidad de carga que es capaz de trabajar, ya que la cantidad de equivalentes y elementos mecánicos instalados es similar.

Este aumento en el peso, a pesar de ser de un valor considerable, no es un gran incremento comparado con el peso de cuando era horno de refinación anódica.

### 6.7. Calentamiento Controlado HLE-5

Un ítem importante en la mantención mecánico-refractaria de los hornos del proceso pirometalurgico es el calentamiento controlado. En este contrato inicialmente no se contempló, por razones administrativos y posteriormente se agregó a las partidas finales. Por esta razón se describe en un punto aparte. Esto se lleva a cabo posterior a la construcción refractaria. Se realizó un calentamiento controlado utilizando quemadores de convección, el cual permite la dilatación más uniforme de todos los ladrillos refractarios del horno con la inyección de aire caliente en todo el interior del horno, siguiendo los incrementos de temperaturas indicados por personal DET,

descrito en una curva de calentamiento. Este se extendió por 42,5 horas alcanzado los 1200°C.

En las figuras N° 68 y 69, se muestran el ventilador del equipo “HOT-WORK”, y al quemador de convección respectivamente. Cuando se alcanzan los 800°C, temperatura medida en base a termocuplas instaladas en lugares estratégicos del horno, se retira la “tapa boca”, momento en que se produce la despresurización del horno, momento mostrado en la figura N° 70.



**Figura N° 68: Ventilador.**



**Figura N° 69: Quemador.**



**Figura N° 70: Boca de carga horno.**

#### 6.8. Informe dotacional

Para efectuar los trabajos en la modificación del horno anódico a horno limpieza escoria, se trabajó principalmente con dos cuadrillas claramente identificadas y diferenciadas por especialidad. La cuadrilla de obras civiles y refractarias, y la

cuadrilla de personal mecánico. A continuación, se adjuntan tablas con resumen de HH utilizadas en la modificación de horno anódico a HLE N° 5.

### 6.8.1. Registro Dotacional Administración y Supervisión

NOMBRE		CARGO	RUT	DIAS JULIO	HH JULIO	DIAS AGOSTO	HH AGOSTO
MONTENEGRO HORMAZ.	ROXANA PAZ	ADC	15.092.593-2	0	0	0	0
FUENZALIDA REYES	FELIPE	SUP. GRAL	15.067.046-2	20	240	12	140
SEPULVEDA ORTEGA	DANILO ALEXIS	SUP MEC	15.226.473-9	0	0	6	70
CERPA JARA	MANUEL JESUS	SUP REF	11.442.658-K	14	164	4	48
COLLAO GARCIA	DIEGO ARIEL	PLANIFICACION	17.567.527-2	19	228	11	132
VERA QUERO	FREDY ESTEBAN	SERNAGEOMIN B	15.526.699-6	12	144	4	40
AREVALO PASTEN	JOHAN ALONSO	APR	16.917.583-7	20	234	12	144
REBOLLEDO CORNEJO	OLGA	APR	11.981.497-9	18	214	12	144
REINOSO ORELLANA	DIEGO ALONSO	APR	16.792.284-8	0	0	4	48
PEREZ ALVAREZ	ELIAS MARCEL	SUP. TERRENO	11.519.500-K	19	224	11	132
MORALES PEREZ	SERGIO	SUP. TERRENO	9.821.996-K	20	228	7	84

**Tabla N° 11: Registro dotacional administración y supervisión**

### 6.8.2. Registro Dotacional personal Mecánico.

NOMBRE		CARGO	RUT	DIAS JULIO	HH JULIO	DIAS AGOSTO	HH AGOSTO
AGUILERA OVALLE	RODOLFO	M1	16.402.025-8	20	216	12	136
ARAYA ARAYA	ALEX ISAAC	M2	18.015.435-3	19	204	7	76
ARAYA GUERRA	ALEXIS	OPERADOR	15.754.711-9	7	84	5	60
ARAYA PEREZ	PABLO ANDRES	M2	15.125.949-9	15	170	9	108
BECERRA CABEZAS	ALEXIS ANDRES	M1/ELEC	14.199.904-4	7	82	11	132
CASTILLO ROJAS	VALENTIN	SOLD	10.731.109-2	19	218	11	132
GONZALEZ VALENZUELA	CARLOS	M1	17.504.727-1	19	218	10	120
GONZALEZ VALENZUELA	MANUEL	M2	18.650.232-9	18	208	11	128
IBACETA PONCE	ALEJANDRO	M2	15.552617-1	0	0	2	24
MADRID TAPIA	FELIPE DANIEL	M1	16.230.615-4	19	228	11	132
MENA ASTORGA	MARIO	M1/ELEC	11.992.313-1	20	234	11	132
MORALES VASQUEZ	MAXIMILIANO	M2	19.130.507-8	19	224	11	132
OLIVARES ARANCIBIA	WILLIAM	M2	19.271.615-2	19	218	9	108
RIQUELME RIQUELME	ALDO YAMIL	SOLD	14.204.210-K	17	196	12	144
SALAZAR CARRASCO	RENE ENRIQUE	SOLD	6.642.737-4	18	198	12	140
SALAZAR ESPINOZA	ALEX	M1	13.568.105-9	19	214	12	140
TURRES ORTIZ	ADOLFO	SOLD	14.416.663-9	17	194	8	96
VALDIVIA LOPEZ	JAIME	M1	9.416.635-7	20	228	12	140
VERGARA AVENDAÑO	MARCELINO	SOLD	13.983.351-1	19	212	10	120
VILLALOBOS BUGUEÑO	JAVIER	M1	13.186.979-7	19	216	12	140

**Tabla N° 12: Registro dotacional personal mecánico.**

### 6.8.3. Registro Dotacional personal Refractorio y Obras Civiles.

NOMBRE		CARGO	RUT	DIAS JULIO	HH JULIO	DIAS AGOSTO	HH AGOSTO
BERNAL RUIZ	ALVARO	M1	16.403.407-0	4	40	4	48
CONTRERAS VILLEGAS	MAURICIO	MM	15.648.145-9	12	136	4	48
CORNEJO TOLEDO	MARIO	CALENT.	17.947.093-4	3	36	7	82
DUQUE NUÑEZ	NICOLAS	M2	16.492.515-3	4	40	12	144
GOMEZ MUÑOZ	JORGE ANDRES	MM	12.300.608-9	14	158	4	48
GONZALEZ LEIVA	CARLOS	MM	10.882.517-0	15	170	4	48
GONZALEZ MUÑOZ	SEGUNDO	MM	10.253.287-2	14	158	4	46
MADRID YAÑEZ	BRIAN	M2	16.495.843-4	4	48	12	144
MARTINEZ ESPINOZA	RICARDO IBAR	MM	14.270.906-6	13	148	4	48
MELLA GONZALEZ	LUIS OMAR	M2	10.896.906-7	3	28	4	48
MUÑOZ PEREZ	JOSE EDGARDO	CAP	7.136.282-5	14	160	4	48
MUÑOZ UBILLA	EDGARDO	M1	15.219.744-6	13	148	4	48
OLIVA RAMIREZ	JUAN ALFREDO	MM	11.986.500-K	14	158	4	48
OSÉS MENDOZA	JUAN CARLOS	MM	15.855.051-2	14	158	4	48
OYARZUN OSORIO	OMAR	M2	18.723.521-9	14	150	4	48
PEREZ NILO	ARTURO	MM	9.741.960-4	4	48	4	48
TAPIA CARVAJAL	PATRICIO	CAP	15.080.500-7	4	40	4	48
TOLEDO PEREZ	ROBERT ANDRES	M1	17.395.575-8	14	150	4	48
VALLEJOS PEÑAILILLO	MARCELO	MM	12.383.281-7	4	40	4	48

**Tabla N° 13: Registro dotacional personal refractorio y obras civiles.**

## 6.9. Evaluación económica del proyecto.

La evaluación económica del proyecto viene dada por las partidas según los ítems descritos en las bases técnicas del mismo, y estos fueron abordados de la siguiente manera.

- El proyecto no considera Gastos Generales como ítem, así que los gastos de la mano de obra indirecta junto con los otros gastos generales, fueron contemplados como un porcentaje de cada partida, desarrollando posteriormente la suma final de los mismos, para evidenciar el cobro.
- Según lo descrito en las bases técnicas, se tuvo que configurar un análisis de precio unitario por cada partida, también denominado en las bases como ECO-02.
- Si bien, cada partida tiene un valor global, DET agrega dos ítems de montos preestablecidos llamados "Contingencias" y "Gastos reembolsables". Se desconoce el procedimiento con que se establece el monto de cada uno de estos ítems, entendiéndolo que son atribuciones del mandante, pero están destinados principalmente para cubrir trabajos y requerimientos adicionales del proyecto. En resumen, el proyecto total cotizado y con el cual se licitó concluyó en los valores que describe siguiente tabla:

<b>COSTO TOTAL MANO DE OBRA, MATERIALES Y EQUIPOS</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Mano de Obra</b>	\$ 57.420.629
<b>Materiales</b>	\$ 3.745.000
<b>Equipos</b>	\$ 6.895.000
<b>Gastos Generales</b>	\$ 25.574.850
<b>Utilidades</b>	\$ 13.612.126
<b>Costos Reembolsables</b>	\$ 10.000.000
<b>Contingencias</b>	\$ 20.000.000
<b>Valor Total Neto</b>	\$ 137.247.604
<b>19% IVA</b>	\$ 26.077.045
<b>Valor Total</b>	\$ <b>163.324.649</b>

**Tabla N° 14: Costo total del proyecto.**

## 7. CONCLUSIONES

Los fines buscados en esta memoria se lograron en pleno, ya que las descripciones del proceso junto con el detalle general del proyecto ejecutado quedaron plasmadas en él. El trabajo se llevó a cabo de forma muy grata, destacando la buena disposición del personal de CODELCO CHILE, División EL TENIENTE, Fundición CALETONES, específicamente del área de mantención. Con el presente informe se consiguió algo que es muy complejo alcanzar en la industria actual, que es la combinación del trabajo de ingeniería, con lo referido a los conocimientos que poseen los operarios y mantenedores de los equipos, mancomunado entre empresa colaboradora y empresa mandante. En este trabajo queda constancia de conocimientos prácticos transmitidos por generaciones de mantenedores y operadores, los cuales de no ser recopilados a tiempo son perdidos tras el retiro de estos trabajadores.

Por otra parte, es necesario en este apartado indicar con una mirada crítica conclusiones desde dos perspectivas: Primero, como meta cumplida, la satisfacción del cliente por el trabajo ejecutado, al haber desarrollado el proyecto íntegramente como fue solicitado; Segundo, como fin único del proyecto, el contar en la línea de operación con un HLE adicional en condiciones normales de operación, para ejecutar mantención anual de los otros HLE de la Nave de Fundición. En base a lo primero se mostró que Pacoll E.I.R.L. cumplió con todas las indicaciones del cliente, preliminarmente plasmadas en la base técnica del proyecto, y luego en las modificaciones en la ejecución del mismo, junto con los ítems agregados, contando con los recursos solicitados en el momento oportuno. Además, en los aspectos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente dio respuesta satisfactoria a lo descrito en las políticas divisionales del mandante. En base a lo segundo, si bien el horno consiguió operar como HLE en la línea de producción, pero la poca información entregada en la base técnica con una ingeniería carente de información relevante obligó sobre la marcha modificar trabajos, los cuales tuvieron que ser abordados con los recursos presentes en el momento, ya que el plazo debía cumplirse para proseguir con las mantenciones antes mencionadas, encareciendo el servicio, y evidenciando poca prolijidad en la preparación del proyecto.

Después de haber participado del proyecto como supervisor general, se propone al mandante la necesidad imperiosa de contar con una normalización de las redes de fluidos de toda la fundición. Igualmente, el poder contar con ingeniería básica a la hora de implementar componentes únicos en este tipo de hornos, como por ejemplo lo es el quemador sumergido, porque tal como se mencionó anteriormente, de no contar con la experiencia de operadores y mantenedores presentes en la fundición, habría sido más complejo el implementar dicho quemador en el nuevo horno de limpieza escoria. Mucha de la información recopilada en este informe fue compilada en el desarrollo del proyecto, así como la ingeniería descrita en el mismo. Existe información de diseño y de ingeniería del proyecto que no fue entregada a la empresa ejecutora, porque no era parte de la realización del mismo. Por último, los datos de la evaluación económica del proyecto fueron proporcionados por la empresa colaboradora, la cual se reservó información del estudio de costo considerándola confidencial, pero declarando que el proyecto presentó una utilidad final del 18% del total, concluyendo de esta manera que fue rentable.

## 8. NOMENCLATURA GENERAL

CT: Convertidor Teniente.

CPS: Convertidor Pierce-Smith.

HLE: Horno Limpieza de Escoria.

HREA: Horno refinación anódica.

DET: División El Teniente.

FUCO: Fusión Conversión

REMO: Refinado y Moldeo

## 9. BIBLIOGRAFIA.

1. **Catalán Cuevas, Francisco.** *Proceso de calentamiento controlado en hornos fundición de Caletones.* Quilpue, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso : Tesis de grado, 2016.

2. **Mecánica de Materiales.** 8va. Edición Russell C. Hibbeler. Editorial Pearson.

**3. Manual Operaciones - Intranet Codelco División El Teniente.** *GFUN-AND-R-101; GFUN-AND-I-008; GFUN-AND-I-007; GFUN-AND-I-003; GFUN-HLE-I-004; GFUN-HLE-I-003.*

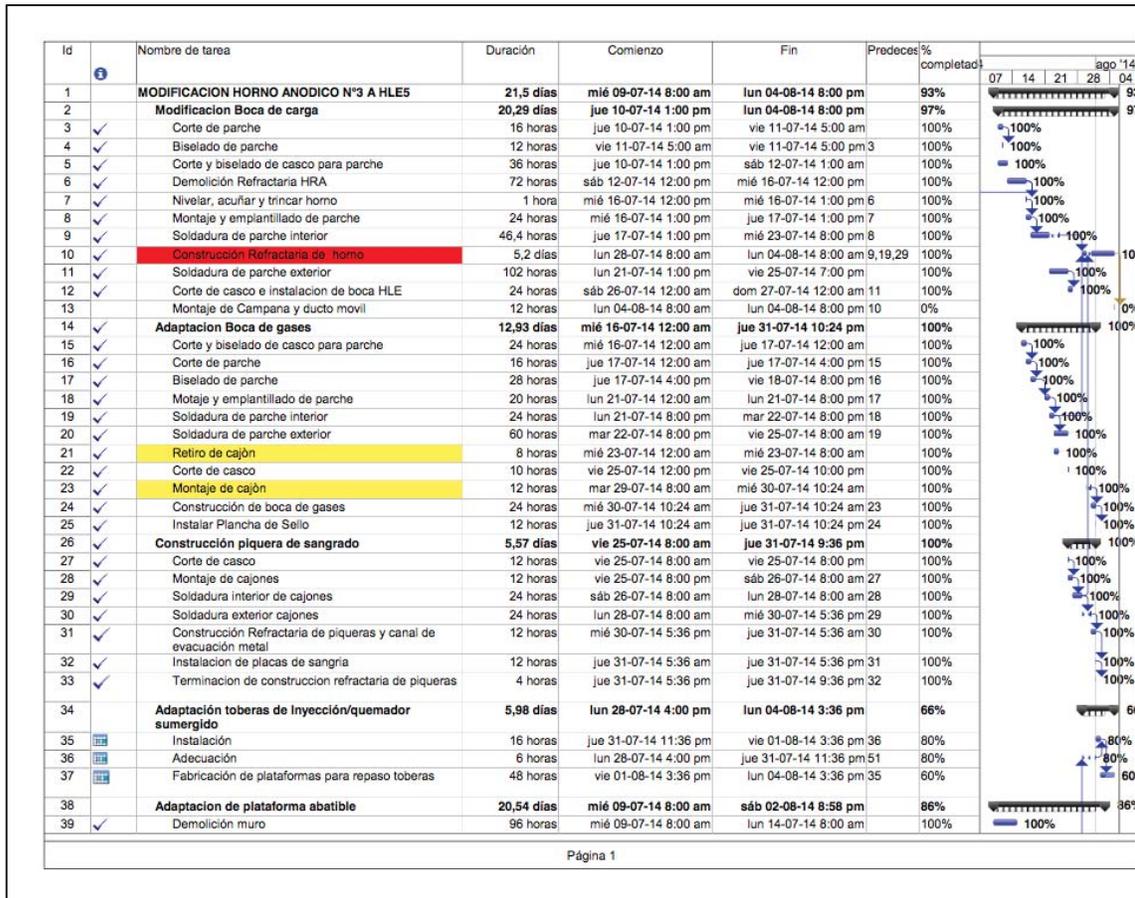
**4. Apunte “Análisis de Esfuerzos”.** *Profesor Juan Patricio Castillo Alvarez. ICM-PUCV*

**5. Bases Técnicas “Modificación Horno Anódico N°3 a Limpieza Escoria N°5 Fundición Caletones”** *GFUN-LIC-490 Junio 2014.*

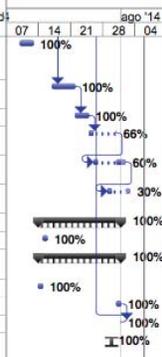
## 10. ANEXOS

1. Programación – Carta Gantt final
2. Bases Técnicas Modificación HREA3 a HLE5
3. Bases Especificas de Contratación BEC14-2147
4. Programación – Carta Gantt Inicial
5. Contrato 4501468783 720
6. Plano: PLANTA 28072014
7. Plano: BARANDA PTA
8. Plano: CHISPERO 28072014
9. Plano: DESCANSO MONTAJE 28072014
10. Plano: ELEV, CORTES 28072014
11. Plano: ESCAL DISEÑO 28072014
12. Plano: ETAPAS 28072014
13. Plano: MODIFICACIÓN CASCO 28072014
14. Plano: PLANO DE FORMA 28072014
15. Plano: PLATAFORMA EN CASCO 28072014
16. Plano: PLATAFORMA-FABRICACIÓN\_28072014 MODIFICACIÓN
17. Plano: PLATAFORMA, REPASO TOBERAS FABRICACIÓN
18. Plano: SITUACIÓN EXISTENTE 08072014
19. Plano: SOPORTE 28072014
20. Plano: UBICACIÓN TOBERAS 28072014
21. Plano: GPRO-GP8-155984-01
22. Plano: SEY-PLA-156120-00 HLES
23. Catalogo TCKY
24. Catalogo TATA
25. Fuerza por dilataciones de los ladrillos refractarios en el área del parche de la boca de carga.

# 1. Programación – Carta Gantt final



Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predeces	% completad	
40	Corte de muro y plataforma de hormigón armado para instalación de escalera de acceso.	60 horas	mié 09-07-14 8:00 pm	sáb 12-07-14 8:00 am		100%	
41	Construcción de muro, losa y fundación de hormigón armado	84 horas	mié 16-07-14 12:00 pm	mar 22-07-14 12:00 am	6	100%	
42	Fraguado de hormigón	72 horas	mar 22-07-14 12:00 am	vie 25-07-14 12:00 am	41	100%	
43	Instalación de soporte de plataforma (después de fraguado el hormigón)	24 horas	vie 25-07-14 12:00 am	mié 30-07-14 4:10 pm	42	66%	
44	Instalación de escala y fabricación de barandas	48 horas	sáb 26-07-14 12:00 am	vie 01-08-14 11:22 am	43	60%	
45	Montaje de plataforma y chispero, y ajuste de terreno de estos elementos	48 horas	mar 29-07-14 12:00 am	sáb 02-08-14 8:58 pm	44	30%	
46	<b>Trabajos mecanicos anexos</b>	<b>14,83 días</b>	<b>lun 14-07-14 12:00 am</b>	<b>jue 31-07-14 8:00 pm</b>		<b>100%</b>	
47	Desmontaje de tapachispas existentes	12 horas	lun 14-07-14 8:00 pm	mar 15-07-14 8:00 am		100%	
48	<b>Desmontaje, fabricación y montaje de tramos dañados de línea de 6"</b>	<b>14,83 días</b>	<b>lun 14-07-14 12:00 am</b>	<b>jue 31-07-14 8:00 pm</b>		<b>100%</b>	
49	Desmontaje	8 horas	lun 14-07-14 12:00 am	lun 14-07-14 8:00 am		100%	
50	Fabricación	24 horas	mié 30-07-14 8:00 am	jue 31-07-14 8:00 am		100%	
51	Montaje	12 horas	jue 31-07-14 8:00 pm	jue 31-07-14 8:00 pm	50	100%	
52	Montaje de puerta de toberas costado pasillo	6 horas	mar 29-07-14 2:00 pm	mar 29-07-14 8:00 pm		100%	



2. Bases Técnicas Modificación HREA3 a HLE5



Bases Tecnicas  
Modificacion HREA3 a

3. Bases Especificas de Contratación BEC14-2147



14-2147 Bases  
Específicas de Contra

#### 4. Programación – Carta Gantt Inicial

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre: % completad
1	<b>MODIFICACION HORNO ANODICO N°3 A HLE5</b>	<b>21 días</b>	<b>mié 09-07-14 8:00 am</b>	<b>sáb 02-08-14 8:00 am</b>	<b>39%</b>
2	<b>Modificación Boca de carga</b>	<b>10,92 días</b>	<b>jue 10-07-14 8:00 am</b>	<b>mié 23-07-14 6:00 am</b>	<b>23%</b>
3	✓ Corte de parche	16 horas	jue 10-07-14 1:00 pm	vie 11-07-14 5:00 am	100%
4	✓ Biselado de parche	12 horas	vie 11-07-14 5:00 am	vie 11-07-14 5:00 pm	100%
5	✓ Corte y biselado de casco para parche	36 horas	jue 10-07-14 1:00 pm	sáb 12-07-14 1:00 am	100%
6	Emplantillado de parche	22 horas	sáb 12-07-14 1:00 am	sáb 12-07-14 11:00 pm	4,5 0%
7	Soldadura de parche	138 horas	sáb 12-07-14 11:00 pm	sáb 19-07-14 5:00 pm	6 0%
8	Corte de casco e instalacion de boca HLE	24 horas	sáb 19-07-14 5:00 pm	lun 21-07-14 5:00 pm	7 0%
9	Construcción refractaria	36 horas	lun 21-07-14 5:00 pm	mié 23-07-14 5:00 am	8 0%
10	<b>Adaptación Boca de gases</b>	<b>1,75 días</b>	<b>mié 16-07-14 12:00 am</b>	<b>jue 17-07-14 6:00 pm</b>	<b>0%</b>
11	Demolición parcial e instalación de colleras	24 horas	mié 16-07-14 12:00 am	jue 17-07-14 12:00 am	0%
12	Instalar Plancha de Sello	18 horas	jue 17-07-14 12:00 am	jue 17-07-14 6:00 pm	11 0%
13	<b>Construcción piquera de sangrado</b>	<b>4,67 días</b>	<b>mié 23-07-14 5:00 am</b>	<b>lun 28-07-14 9:00 pm</b>	<b>0%</b>
14	Corte de casco	16 horas	mié 23-07-14 5:00 am	mié 23-07-14 9:00 pm	9 0%
15	Instalación de cajón	36 horas	mié 23-07-14 9:00 pm	vie 25-07-14 9:00 am	14 0%
16	Construcción Refractaria de piqueras y canal de evacuación metal	60 horas	vie 25-07-14 9:00 am	lun 28-07-14 9:00 pm	15 0%
17	Instalación de placas de sangría	24 horas	sáb 26-07-14 9:00 pm	lun 28-07-14 9:00 pm	16C 0%
18	<b>Adaptación toberas de Inyección/quemador sumergido</b>	<b>1,58 días</b>	<b>sáb 19-07-14 8:00 am</b>	<b>lun 21-07-14 10:00 pm</b>	<b>0%</b>
19	Instalación	16 horas	sáb 19-07-14 8:00 am	dom 20-07-14 12:00 am	0%
20	Adecuación	6 horas	lun 21-07-14 12:00 am	lun 21-07-14 6:00 am	19 0%
21	Fabricación de plataformas para repaso toberas	16 horas	lun 21-07-14 6:00 am	lun 21-07-14 10:00 pm	20 0%
22	<b>Adaptación de plataforma abatible</b>	<b>21 días</b>	<b>mié 09-07-14 8:00 am</b>	<b>sáb 02-08-14 8:00 am</b>	<b>69%</b>
23	Demolición muro	174 horas	mié 09-07-14 8:00 am	jue 17-07-14 2:00 pm	95%
24	Corte de muro y plataforma de hormigón armado para instalación de escalera de acceso.	138 horas	jue 17-07-14 2:00 pm	jue 24-07-14 8:00 am	23 95%
25	Instalación de soporte de plataforma (después de fraguado el hormigón)	24 horas	lun 28-07-14 8:00 am	mar 29-07-14 8:00 am	24F 0% hore
26	Instalación de escala y fabricación de barandas	48 horas	mar 29-07-14 8:00 am	jue 31-07-14 8:00 am	25 0%
27	Montaje de plataforma y chispero, y ajuste de terreno de estos elementos	48 horas	jue 31-07-14 8:00 am	sáb 02-08-14 8:00 am	26 0%

5. Contrato 4501468783 720



4501468783 720  
ctto firmado.pdf

6. Plano: PLANTA 28072014



-PLANTA  
28072014.pdf

7. Plano: BARANDA PTA



BARANDAS PTA.pdf

8. Plano: CHISPERO 28072014



CHISPERO  
28072014.pdf

9. Plano: DESCANSO MONTAJE 28072014



DESCANSO  
MONTAJE 28072014.

10. Plano: ELEV,CORTES 28072014



ELEV,CORTES  
28072014.pdf

11. Plano: ESCAL DISEÑO 28072014



ESCAL DISEÑO  
28072014.pdf

12. Plano: ETAPAS 28072014



ETAPAS  
28072014.pdf

13. Plano: MODIFICACIÓN CASCO 28072014



MODIFICACION  
CASCO 28072014.pd

14. Plano: PLANO DE FORMA 28072014



PLANO DE FORMA  
28072014.pdf

15. Plano: PLATAFORMA EN CASCO 28072014



PLATAFORMA EN  
CASCO 28072014.pdf

16. Plano: PLATAFORMA-FABRICACIÓN\_28072014 MODIFICACIÓN



PLATAFORMA-FABRI  
CACION\_28072014 M

17. Plano: PLATAFORMA, REPASO TOBERAS FABRICACIÓN



PLATAFORMA, REPA  
SO TOBERAS FABRIC

18. Plano: SITUACIÓN EXISTENTE 08072014



SITUACION  
EXISTENTE 08072014

19. Plano: SOPORTE 28072014



SOPORTE  
28072014.pdf

20. Plano: UBICACIÓN TOBERAS 28072014



UBICACION  
TOBERAS28072014.ϕ

21. Plano: GPRO-GP8-155984-01



GPRO-GP8-155984-0  
1.pdf

22. Plano: SEY-PLA-156120-00 HLES



SEY-PLA-156120-00  
HLES.pdf

## 23. Catalogo TCKY



**YINGKOU BL MINING CO., LTD.**



### ... TECHNICAL DATA SHEET...

<b>PRODUCT:</b>	<b>Direct-bonded Magnesia Chrome Bricks</b>
<b>DESCRIPTION:</b>	High Strength, erosion resistance, corrosion resistance, good slag resistance and thermal shock stability.

<b>BRAND NAME:</b>	<b>TK-ZHMGe-16</b>
--------------------	--------------------

<b>CHEMICAL ANALYSIS: (%)</b>			
<b>Mgo</b>	(Magnesia)	>min %	67
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	(Chrome)	>min%	16
<b>SiO<sub>2</sub></b>	(Silica)	<max %	1.5
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	(Alumina)	<max %	5.0
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	(Iron)	<max %	8.0
<b>CaO</b>	(Calcium)	<max %	2.0
<b>Others</b>	-	<max %	-

<b>PHYSICAL PROPERTIES:</b>			
<b>Cold Crushing Strength</b> (as supplied)	(Mpa)	min	50
<b>Apparent Porosity</b> (as supplied)	(%)	max	17
<b>Bulk Density</b> (as supplied)	(g/cm <sup>3</sup> )	min	3.10
<b>Refractoriness Under Load</b> (as supplied)	(°C)	min	1700
<b>Thermal Shock Resistance</b> at 950°C air cooling	(x)	min	-

<b>PRIMARY APPLICATIONS:</b>
Smelting furnace, non-ferrous industry, steel making EAF, converter, AOD, VOD, refining ladle, glass kiln, firing zone of cement kiln.

<b>Dimensional Tolerance:</b>
MAX 200mm +/-1.5mm, 201-300mm +/-2.0mm, MIN 300mm +/- 2.5mm

*The Technical Data in this publication is given for guidance only and is compiled from quality control results from normal production methods/ specimens and is subject to normal process and raw material variations. Whilst every care is taken in the preparation of these figures, they are approximate and should not be used for specification purposes.*

**Yingkou BL Mining Co; Ltd.**

Tangchi Town, Dashiqiao City, Liaoning Province, China, PC. 115104.  
Tel No.: +86 417 54209011/12/13 Fax No.: +86 417 5429000

**Dalian Office:**

Unit 16A Press Palza, 15 Minkang Street, Zhongshan District, Dalian, China, PC: 116001.  
Tel No.: +86 411 82123011/12/13 Fax No.: +86 411 82123010

E.mail: tcky-dl@163.com  
(Army - Export Director)

E.mail: tckycl@yahoo.com  
(Export Department)

Website: [tcky.com.cn](http://tcky.com.cn)

## 24. Catalogo TATA

TATA REFRACTORIES LIMITED



Leadership with trust

### Hoja de Definición de Producción

**Nombre del Producto:** Tata CRXS

**Descripción del Producto:** Ladrillo de Magnesia Cromo hecho a base de Magnesio de alta pureza, magnesia cromo co-clinker y mineral de cromo.

**Aplicación:** Hornos de Fundición y Conversión en la industria del cobre.

PROPIEDADES DE CONTROL: TATA CRXS				
Análisis Químico (Base Calcinado)	Unidad por Peso	Valor Medio		Método de Prueba
		Típico	Límite	
MgO	%	61.38	≥ 58.0	Por XRF
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	21.93	≥ 20.0	
SiO <sub>2</sub>	%	0.68	≤ 0.8	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	9.03		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6.24		
CaO	%	0.63		
Propiedades Físicas	Unidad			
Densidad de la carga	gm/ cc	3.18	≥ 3.15	ISO 5017:1998
Porosidad App.	Vol. %	17.1	≤ 18.0	ISO 5017:1998
CCS	Kg/cm <sup>2</sup>	525	≥ 400	ISO 10059-2: 2003
PROPIEDADES COMPLEMENTARIAS (SÓLO PARA INFORMACIÓN)				
Propiedades	Unidad	Típico	Límite	Método de Prueba
RUL (ta) 2Kg/cm <sup>2</sup>	°C	1750	1720	IS 1528 – Parte 2
Hot MOR a 1500 C°	Kg/cm <sup>2</sup>	45		ISO 5013:1985
PLC a 1600°C/2 Horas	%	+0.19		ISO 2478:1987
Expansión térmica a 1000°C	%	+ 0.86		IS 1528 ( parte 19):1991
Control de Dimensiones	AQL 6.5% para dimensiones críticas ( ISO 5022)			
Vida Útil	12 meses desde la fecha de fabricación			

**\*\* Los datos técnicos típicos mostrados están basados en resultados promedio de la producción de muestras y están sujetos a variaciones normales en pruebas individuales. Por lo tanto no puede ser tomado como especificación.**

**\*\* La especificación anterior es válida solamente para elementos sólidos prensados.**

Información de contacto: P.O – Distrito de Belpahar - Jharsuguda Orissa, Pin - 768218, India.

Teléfono: 94+6645+250286

Departamento de información: División Tecnológica

