



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

ANÁLISIS VALOR ESTRATÉGICO DE LAS FUNDICIONES CHILENAS

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y

DIRECCIÓN DE EMPRESAS

FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ MIRANDA

PROFESOR GUÍA:

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO

IVAN BRAGA CALDERÓN

SANTIAGO DE CHILE

2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE: Magíster en Gestión y Dirección de Empresas.

POR: Francisco Javier González Miranda

FECHA: 21/07/14

PROFESOR GUÍA: Luis Zaviezo Schwartzman

ANÁLISIS VALOR ESTRATÉGICO DE LAS FUNDICIONES CHILENAS

El mayor ganancial de un negocio se encuentra en el valor agregado que damos a sus productos. Por lo cual es clave, explotar aquellos sectores en donde se posean ventajas comparativas naturales. Considerando que las reservas de cobre que poseemos son mayoritariamente sulfuros (Aprox. 85%), la mirada país es contar con instalaciones que sean patrón en la industria metalúrgica fortaleciendo la producción de cátodos de cobre.

Hoy las fundiciones tienen como desafío el cumplimiento de la nueva normativa medio ambiental con un costo de implementación por sobre 1.500 MUSD. Por lo cual enfrentan un escenario en donde se podrían poner en práctica los planes de cierre de estas instalaciones, dada la inversión y falta de competitividad que no aseguran el retorno de la inversión a sus mandantes.

En contraparte, el mercado de concentrados de cobre corre el riesgo de quedar expuesto a un aumento de descuentos por ventas concentrados más “sucios” (As y Si), posible clasificación REACH de concentrados como cancerígenos por contenido de sílice respirable (MP 2,5) mayor a 0,1%, descuentos por lavado de barcos y falta de infraestructura logística, entre otros efectos menores. El análisis realizado indica que existe una gran cantidad de minerales de alto contenido de impurezas que serían inexplorables por las multas asociadas a su tratamiento y/o las restricciones del mercado en los próximos 50 años en la zona norte del país.

Se concluye que las fundiciones son necesarias, pero con el nivel de inversión que requieren para la implementación de la normativa es inviable para las que posean tamaño de procesamiento inferior a las 1.000 kt/a de concentrado fundido.

Una fundición es siempre mucho menos rentable que una explotación minera, por lo cual se propone cambiar el modelo de negocios de las operaciones integradas (Mina hasta Refinería), ya que el negocio metalúrgico es diferente al minero.

Una nueva fundición en Chile de alta tecnología, que trate de forma muy eficiente concentrados complejos puede cobrar la maquila internacional habitual más una parte relevante del delta de transporte marítimo y de la proyección de multas por impurezas. El productor tendría un mercado seguro y el fundidor marginaría algo razonable en contratos de largo plazo.

DEDICATORIA

A mis hijas Catalina y Leonor y en especial a mi esposa Patricia, sin el apoyo de ella este sueño no hubiese sido posible. Gracias por esas mañanas, tardes y noches en donde siempre encontré una sonrisa o una frase de apoyo para continuar y cumplir el objetivo final.

A Coprim, por haber confiado en mí, darme la oportunidad de ampliar mis conocimientos y dar un paso importante en mi carrera.

Quisiera terminar con un proverbio africano que indica lo siguiente: “si quieres ir rápido, camina solo. Si quieres llegar lejos, ve acompañado”, sé que acompañado de mi familia en los diferentes caminos que emprenda en mi vida, podré cumplir satisfactoriamente todos los objetivos que me trace, ya que ellas son mi fuerza para seguir adelante e insistir en alcanzar la meta, por más lejana se vea esta.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	DESCRIPCIÓN DE FUNDICIONES NACIONALES	4
3.	DESCRIPCIÓN NUEVA NORMATIVA MEDIO AMBIENTAL.....	19
4.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN NUEVA NORMATIVA.....	25
5.	COMPETITIVIDAD FUNDICIONES NACIONALES	29
6.	RESTRICCIONES VENTA DE CONCENTRADOS	35
7.	EVALUACIÓN NEGOCIO PARA MODELO FUNDICIÓN COMPETITIVA.....	39
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
10.	ANEXO A: DETALLE CAPEX	62
11.	ANEXO B: DETALLE OPEX	72
12.	ANEXO C: DETALLE EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	78

1. INTRODUCCIÓN

Al analizar la tendencia del cobre se puede inferir que este se ha convertido en un commodity íntimamente asociado al desarrollo de los países por medio de la intensidad de uso y la llegada de electricidad a una mayor cantidad de localidades.

El cobre se ha transformado en un actor la economía Chilena y tendría un lugar ganado en el mercado, ante la ausencia de un sustituto, sólo por la razón mencionada (desarrollo). Un hecho que demuestra que a medida que se muevan los polos de desarrollo en el mundo, el requerimiento de cobre se moverá hasta este nuevo punto. Es así como la historia indica que en conjunto con la revolución industrial en Estados Unidos y Europa a principios del 1900, los principales consumidores de cobre se encontraban en las regiones mencionadas, o bien como se ve el día de hoy, China se ha convertido en el mayor consumidor de cobre al estar en un fuerte desarrollo interno además de convertirse en la fábrica del mundo.

Como en todo negocio, sabemos que el mayor ganancial se encuentra en el valor agregado que damos a nuestros productos, de ahí se puede concluir que Chile podría ser idealmente un productor de artículos de uso final. Si bien los costos de mano de obra y el escaso desarrollo tecnológico para industrializarnos competitivamente como productores de automóviles, artículos electrónicos u otros, además de nuestra ubicación geográfica, atentan con esta idea, la vía lógica es fortalecer nuestra industria en aquellos sectores en donde poseamos ventajas comparativas, es decir, fortalecer la producción y exportación de cátodos de cobre.

Considerando que las reservas de cobre que poseemos son mayoritariamente sulfuros primarios y secundarios, y ante la ausencia de tecnologías hidrometalúrgicas para la obtención de cátodos desde minerales sulfurados de cobre que sean una real alternativa técnico-económica, la mirada país es contar con instalaciones que sean patrón en la industria, Fundiciones y Refinerías de Cobre de clase mundial.

En este último punto es donde se centran las mayores falencias. Basta con detenerse y observar los altos costos operacionales que han hecho que algunas operaciones se mantengan con flujos de caja negativos durante años, la falta de una cultura centrada en la captura de gases metalúrgicos, sumado a los problemas ambientales ocasionados por esto, ha establecido una mala relación con las comunidades. A lo anterior se agrega la

falta de innovación tecnológica en el que han caído nuestras operaciones, tienen a las Fundiciones y refinерías sin mejoras productivas significativas que logren cambiar sustancialmente su estado actual.

La estanqueidad mostrada desde el Convertidor Teniente en la creación de tecnologías propias de fusión o en el desarrollo de esta misma, la falta de joint ventures en el campo del aprovechamiento energético, y sobretodo el reforzamiento de una cultura basada en la captura de gases metalúrgicos, han ido en desmedro de la industria pirometalúrgica llevando a la boca de los expertos a decir.....no hay peor negocio que una fundición, su operación es sólo para cumplir un rol social, son una herencia no deseada.

Para ser productores de cátodos de clase mundial, tomando en cuenta la naturaleza de nuestros minerales, necesitamos que las operaciones no sean señaladas como un último eslabón con poca agregación de valor, sino considerada como parte de la integración vertical del negocio minero chileno y parte del desarrollo tecnológico para futura exportación de know how o actividades centradas capital. La visión de una industria con integración vertical es contrapuesta con la competitividad mostrada en la última década por las fundiciones.

Hoy las fundiciones tienen como desafío el cumplimiento de la nueva normativa ambiental que regula las emisiones de dióxido de azufre (95% captura y tratamiento SO₂), Arsénico (>95%) y control en chimeneas, fijando en cuotas máximas anuales las emisiones mencionadas para instalaciones existentes y poniendo estándares superiores para nuevas fundiciones. Cabe señalar que Europa, Estados Unidos y Japón, implementaron estándares medio ambientales similares hace 30 años, por lo cual esta norma es el primer intento para llegar al cumplimiento de los más altos estándares medio ambientales

Las instalaciones existentes para asegurar el cumplimiento de la norma deberán invertir, según datos del 2010, cerca de 1.500 MUSD para la implementación de soluciones sin cambios estructurales de sus procesos. La mayor parte de las instalaciones poseen cadenas tecnológicas de procesamiento que no cumplirían frente a un escenario más restrictivo (98% captura y tratamiento). Por lo cual enfrenta un escenario en donde se podrían poner en práctica los planes de cierre de estas instalaciones, dada la inversión y falta de competitividad que no asegura el retorno de la inversión a sus mandantes.

Pero qué pasaría si nosotros perdemos otro escalón en la cadena de valor y sólo nos dedicamos a producir concentrado de cobre; se corre el riesgo de quedar expuesto a un aumento de descuentos por ventas concentrados más “sucios” (As y Si), posible clasificación REACH de concentrados como cancerígenos por contenido de sílice respirable (MP 2,5) mayor a 0,1%, descuentos por lavado de barcos y huella de carbono en transporte marítimo, entre otros efectos.

Se puede pensar un cambio en el modelo de negocios optando por cerrar instalaciones y realizar joint ventures para maquilación de concentrado de cobre o bien crear filiales alrededor del mundo en donde el producir cátodos de cobre sea lo suficientemente competitivo y permisivo para procesar concentrados cada vez más altos en impurezas como arsénico, sin correr riesgos de una nacionalización o una alza desmedida en los cargos por tratamiento y refinación por pérdida del control en los eslabones finales de la cadena de producción del cobre refinado como cátodo.

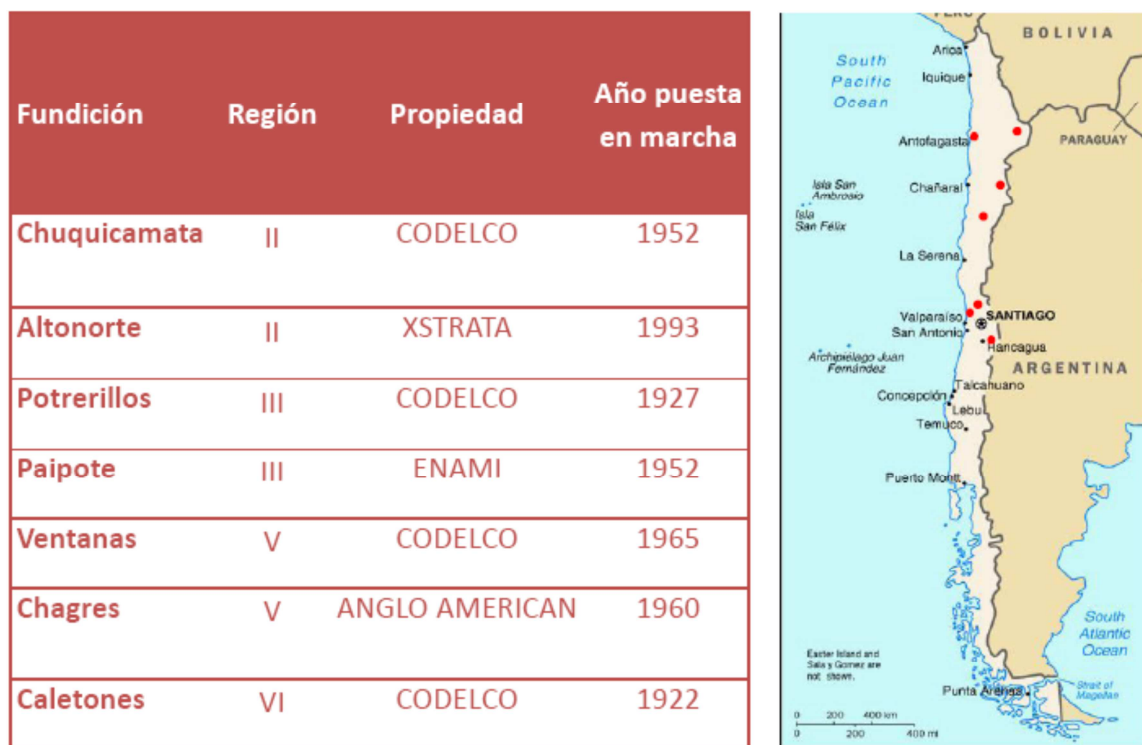
Somos líderes en reservas y explotación en la industria del cobre a nivel mundial y al parecer se nos ha olvidado el valor estratégico que nos aportan las Fundiciones y Refinerías de Cobre para nuestro país, el grado de obsolescencia tecnológico nos ha hecho perder competitividad y la vía es definirse como país exportador de cátodos, fortaleciendo la industria con el fin aprovechar sinergias de acuerdo a las zonas de explotación, realizar joint ventures tecnológicos y así disminuir los costos de operación, aprovechar nuestro know how para desarrollar nuevas tendencias en la industria y ser finalmente un referente mundial en exportación de tecnología y sobretodo en el modo de cómo operar de forma sustentable nuestras operaciones pirometalúrgicas.

El presente trabajo pretende determinar el valor estratégico de las Fundiciones y Refinerías de cobre mediante un análisis económico entre una instalación de altos estándares operacionales con respecto a un mercado con mayores restricciones para la exportación de concentrados de cobre, con el fin de dar un impulso a la industria y ser una herramienta que aporte a la discusión de una mirada país.

2. DESCRIPCIÓN DE FUNDICIONES NACIONALES

En Chile existen 7 fundiciones de cobre, la primera en entrar en operación fue la de Caletones (1922), perteneciente a la División Teniente de Codelco, mientras que la última en entrar en operación fue Altonorte (1993). A continuación se presenta una infografía que muestra las fundiciones Chilenas.

Figura 1. Fundiciones Chilenas, año puesta en marcha y localización.



A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las operaciones que se encuentran en operación en Chile.

Fundición Chuquicamata:

La fundición de Chuquicamata inició sus actividades en 1952 con dos hornos reverbero, 4 convertidores Peirce-Smith, dos hornos de ánodos y una rueda de moldeo. Esta instalación, fue la de más alta capacidad de fusión del país durante el año 2012, fundiendo 1.400 kta de concentrados propios, también presenta los mayores contenidos de Arsénico en concentrados, material que funde a través de dos líneas de proceso:

- El 55% del material se funde en un horno Flash, equipado con caldera recuperadora de calor para el enfriamiento de gases primarios, dos precipitadores electrostáticos para la limpieza de polvos y un sistema común con

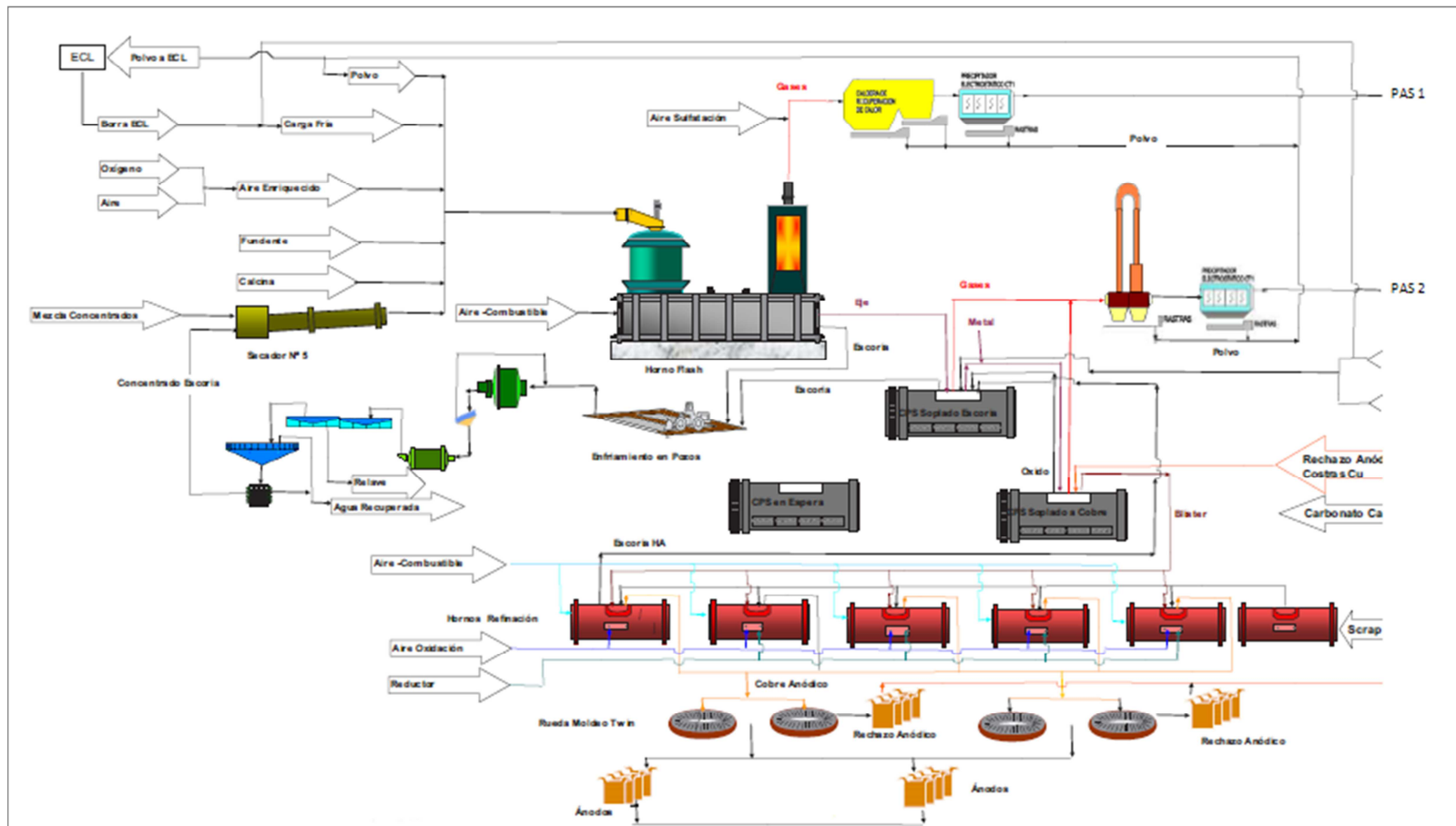
los gases primarios del CT y de dos CPS para la limpieza húmeda (cuatro módulos) y el tratamiento de gases en planta de ácido (tres plantas de simple contacto).

- El 45% restante se funde en un Convertidor Teniente, que cuenta con; campana primaria, enfriadores radiativos y precipitadores electrostáticos para la recuperación de polvos, que por su contenido de arsénico y otros metales, finalmente evacua del sistema para tratamiento externo.

La decisión de la fundición Chuquicamata de operar sólo una línea de fusión, para el cumplimiento de la nueva normativa ambiental, deteniendo el actual CT en operación para fundir el concentrado y la calcina proveniente de Ministro Hales (2014) solo en el horno flash (HF), tiene ventajas en mejorar la captura de elementos contaminantes (aproximadamente 93% de azufre), simplificar la coordinación de las operaciones de movimiento de puentes grúas, traspaso de líquidos, simplificación del manejo de gases y operación de las Plantas de Ácido (PAS) más holgada, con flujos de gases metalúrgicos más estables.

Con esta configuración tecnológica, la fundición proyecta alimentar 939 kt/a de concentrados de Chuquicamata y 411 kt/a de calcina, provenientes de concentrados de la Mina Ministro Hales, desarsenificados por el proceso de tostación previa. A continuación se presenta el diagrama de flujos de la Fundición Chuquicamata.

Figura 2. Diagrama de flujo opción optimización Fundición Chuquicamata. Fuente MMA.



Las emisiones calculadas para la configuración actual 2010 y para configuración futura 2013-2014 se indican en los siguientes gráficos:

Figura 3. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.

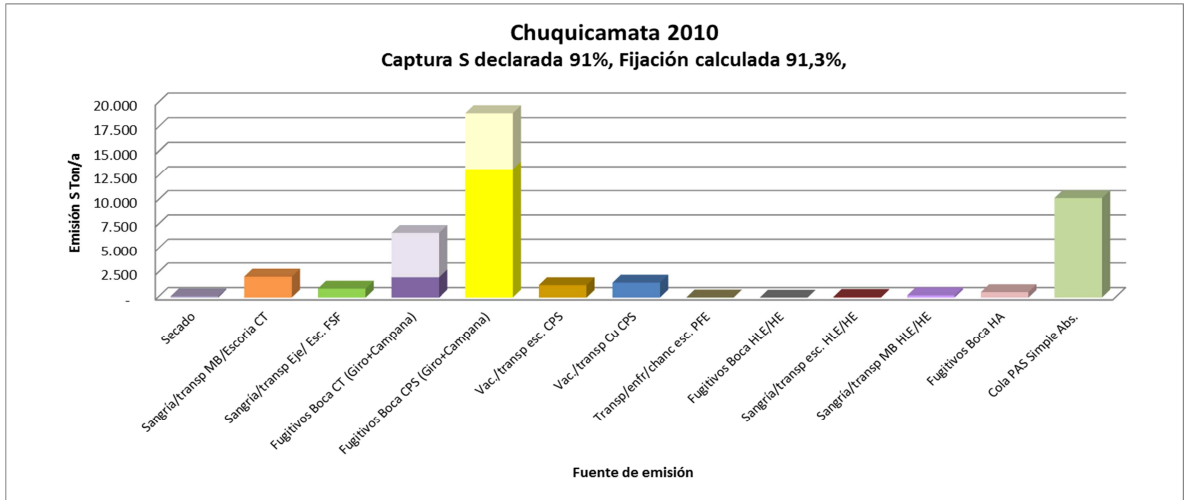
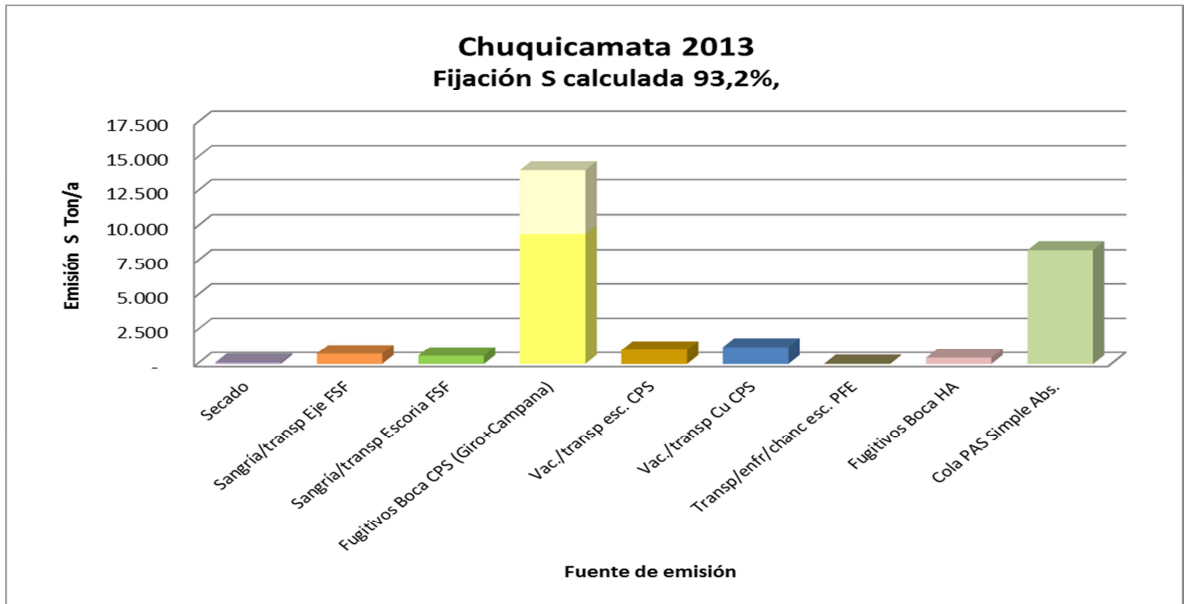


Figura 4. Capacidad de captura y fijación de S configuración futura.



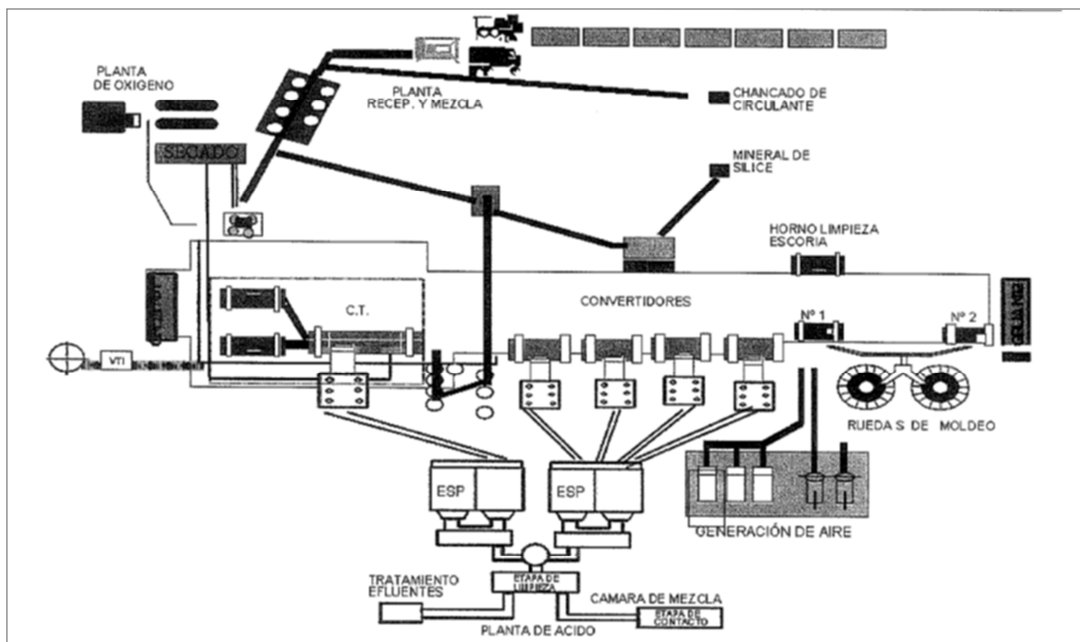
Fundición Potrerillos:

La Fundición Potrerillos inició sus operaciones el año 1927 con horno reverbero como fundición integrada a la Mina el Salvador.

Esta instalación, con una capacidad de fusión de 660 kta en el año 2012, procesa parcialmente concentrados propios, presentando el menor nivel de fijación declarado entre las instalaciones en análisis. Su equipamiento está constituido por un Convertidor Teniente de 5,0 m Ø y 22 m L, tres CPS de 3,9 m Ø y 9,15 m L, tres HLE para el tratamiento de escoria, dos hornos basculantes para refino y una planta de ácido de simple contacto. Su nave es comparativamente baja y para el transporte de materiales en caliente, opera con grúas puente de 75 t y tazas u ollas de alrededor de 8 m³.

Disposición general de equipos y sistema de manejo de gases primarios de fundición Potrerillos.

Figura 5. Esquema operativo Fundición Potrerillos.



El sistema de manejo de gases primarios considera el conjunto de equipos y ductos desde las campanas de los reactores, hasta el ingreso de los gases en la planta de limpieza y producción ácido sulfúrico.

Esta instalación cuenta con un sistema de captura de gases primarios, con succión desde una planta de ácido y apoyo de ventiladores de tiro Intermedio (VTI) en las líneas del CT y de los CPS, diseñado para capturar y conducir los gases provenientes del CT y un CPS en etapa de soplado. El sistema está constituido por campanas primarias en el CT (5m Φ * 22m L) y 3 CPS (4 m Φ * 9,1m L), las que se encuentran en estado deficitario y operan con capacidad limitada de succión, presentando a la fecha alrededor de 15 años en operación.

Para el enfriamiento de gases utilizan, tanto en el CT como en los CPS, cámaras con enfriadores radiantes que permiten el enfriamiento de los gases a alrededor de 400°C para la siguiente limpieza del polvo de los gases en precipitadores electroestáticos secos (2 disponibles para el CT y 2 para los CPS). La descarga y unificación de los gases se realiza en una conexión tipo pantalón, que permite la mezcla de gases CT y CPS, para alimentar la etapa de limpieza húmeda y lavado de gases y siguiente alimentación a la planta de contacto. El ácido débil impuro, producido en la etapa de limpieza, se trata en la planta de tratamiento de efluentes, generando un residuo arsenical.

Potrerillos también cuenta con un sistema básico de captura de gases fugitivos de la sangría de metal blanco del CT, los que son evacuados por chimenea, para mejorar el ambiente laboral.

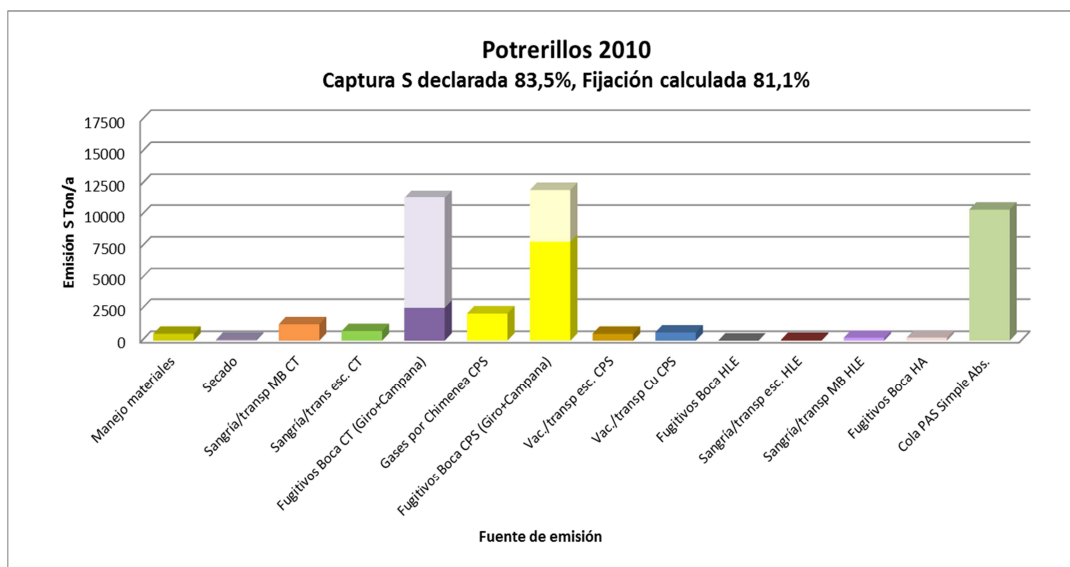
De acuerdo a la información de la Fundación Potrerillos, en general a inicios del año 2012 el estado del sistema de manejo gases primarios¹ es más precario aún y decreciente, evidenciando un alto grado de corrosión y un alto nivel de acumulación y arrastre de polvos hacia la PAS.

¹ Diagnostico Interno Fundación Potrerillos- Cochilco 2012, avalado en el diagnóstico por estudios y expertizaje de empresa de ingeniería.

Producto de las condiciones deficientes antes descritas, la Planta de Acido recibe gases con contenidos de polvo y SO₃ muy superiores a los de diseño, lo cual ha provocado un alto nivel de deterioro de sus componentes, tales como los precipitadores electrostáticos húmedos, la torre de secado y el reactor de conversión, poniendo en riesgo su continuidad operacional.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Figura 6. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



Fundición Ventanas:

La Fundición Ventanas inició sus actividades el año 1962 emplazada en el sector costero de la V región, cercana a centros poblados y agrícolas, siendo una fundición maquiladora para la pequeña y mediana minería de propiedad de la empresa nacional de Minería (ENAMI). Se inició con una capacidad de producción de 100 kt/ año de concentrado, basada en la operación de un horno de reverbero y tres convertidores Peirce-Smith, durante el año 2010, procesó 400 kta de concentrados.

A través de una configuración tecnológica constituida principalmente por un Convertidor Teniente como equipo de fusión (4 m Ø y 15 m L), tres CPS para la conversión (3 m Ø y

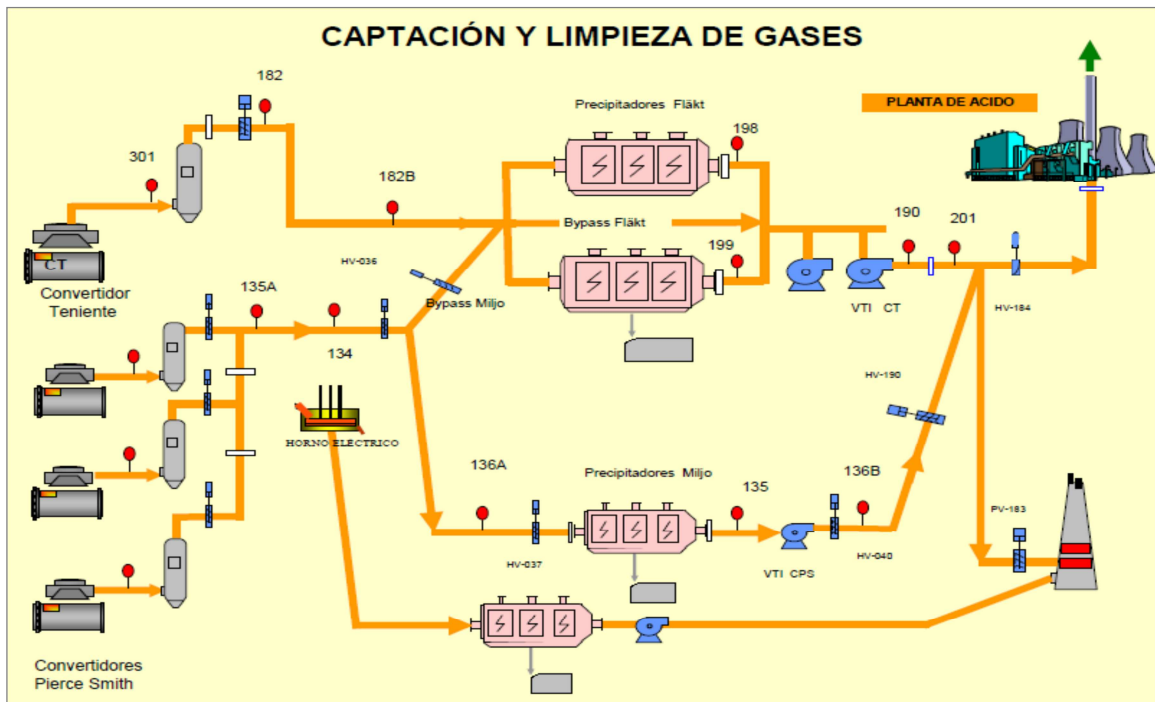
8 m L), un Horno Eléctrico para el tratamiento de escoria del CT, tres unidades de refino (dos tipo reverbero y una basculante) y una planta de ácido de doble contacto y absorción, potenciada recientemente en volumen y concentración.

Por condición particular y para el mejoramiento de la condición ambiental local, la fundición dispone de gas natural que usa en los procesos de secado y refino, captación de gases fugitivos en las sangrías del Horno Eléctrico, y limpieza para el material particulado mediante precipitadores electrostáticos de los gases evacuados del horno eléctrico. También dispone de un conveniente sistema de recepción y acopio de los concentrados procesados.

El sistema de manejo de gases considera el conjunto de equipos y ductos desde las campanas de los reactores, hasta el ingreso de los gases en planta de ácido sulfúrico.

En la figura a continuación, se muestra el esquema del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Ventanas.

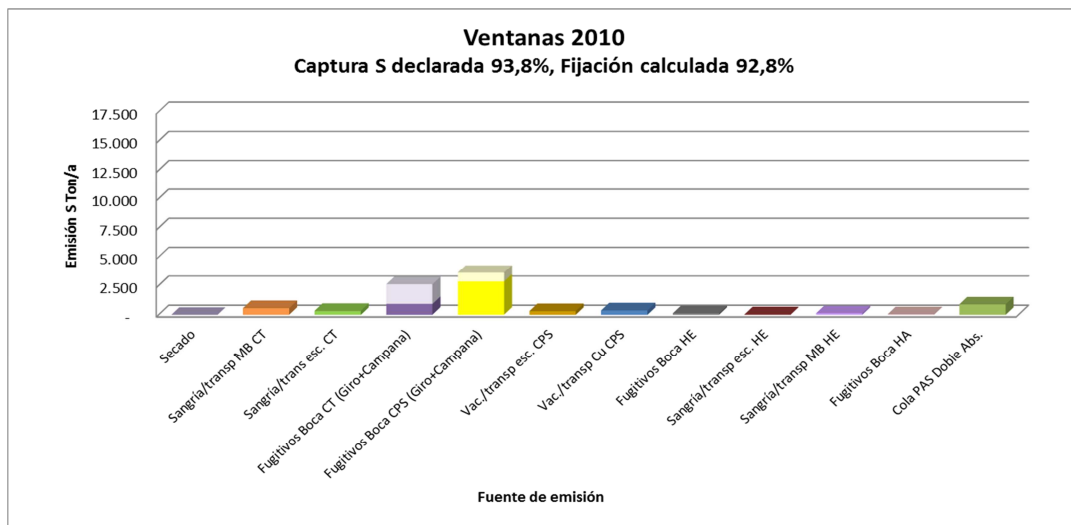
Figura 7. Esquema operativo del sistema de manejo de gases de Fundición Ventanas.



La fundición Ventanas con la configuración de equipos actuales, presenta una captación de azufre entre 93% y 94%, fundamentalmente por disponer de una PAS de doble contacto y doble absorción, no procesar polvos de precipitadores electrostáticos y la disminución de emisión de gases secundarios del CT, a consecuencia del aumento de la capacidad de tratamiento de gases de la PAS (125 a 140 kNm³/h).

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Figura 8. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



Fundición Caletones:

Constituye una de las instalaciones más antiguas del país, adscrita a la Mina El Teniente que bajo un sistema just in time la provee de concentrados normalmente limpios, los cuales procesa hasta cobre anódico y cobre refinado a fuego (2010), generando un producto directamente a ventas.

Durante el año 2010 procesó 1.372 kta de concentrados a través de dos Convertidores Teniente, de 5 m Ø y 22 m L, cuatro Convertidores Peirce Smith 4,65 m diámetro * 10,67 longitud (tres unidades) y uno de menor tamaño 3,96 m Ø y 10,67 m L, éste último posee un uso ocasional durante períodos de mantención de las otras unidades y no se encuentra conectado al sistema de enfriamiento, manejo y tratamiento de gases

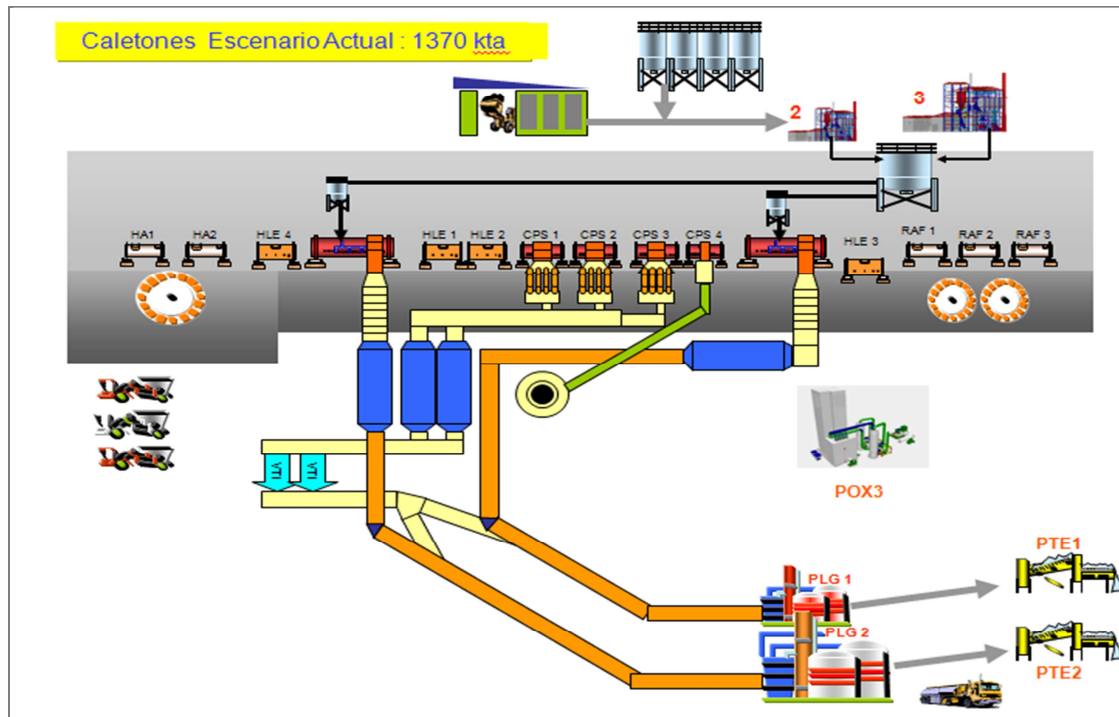
primarios de las dos plantas asimétricas de simple contacto, las cuales procesan en total un volumen de gases de 452 kNm³/hr, con contenido de gases no superiores al 9% de SO₂.

Los gases de los CT, con tiraje directos desde las Plantas de ácido, son enfriados en cámaras de enfriamiento evaporativo, que incorporan un volumen de agua adicional al sistema, generando junto a la dilución por aire en las campanas primarias un alto volumen de gases a tratar de menor concentración.

Para el tratamiento de escoria, la fundición cuenta con cuatro hornos basculantes y cinco hornos de refino, que evacuan gases directamente a la atmosfera.

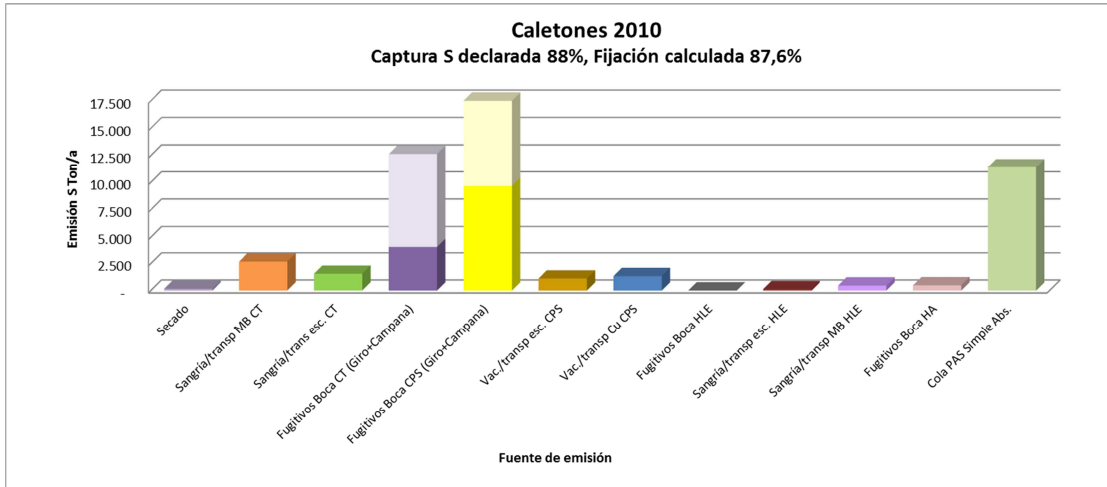
Con la configuración de equipos al 2010, declaró una captura y Fijación de 88% de S, fundamentalmente por la falta de conexión del CP4 al sistema Manejo de Gases Primarios, de disponer de dos PAS de simple contacto y por la condición general de su sistema de gases, con deficiencias para la operación de los CT.

Figura 9. Esquema operacional Fundición Caletones.



Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Figura 10. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



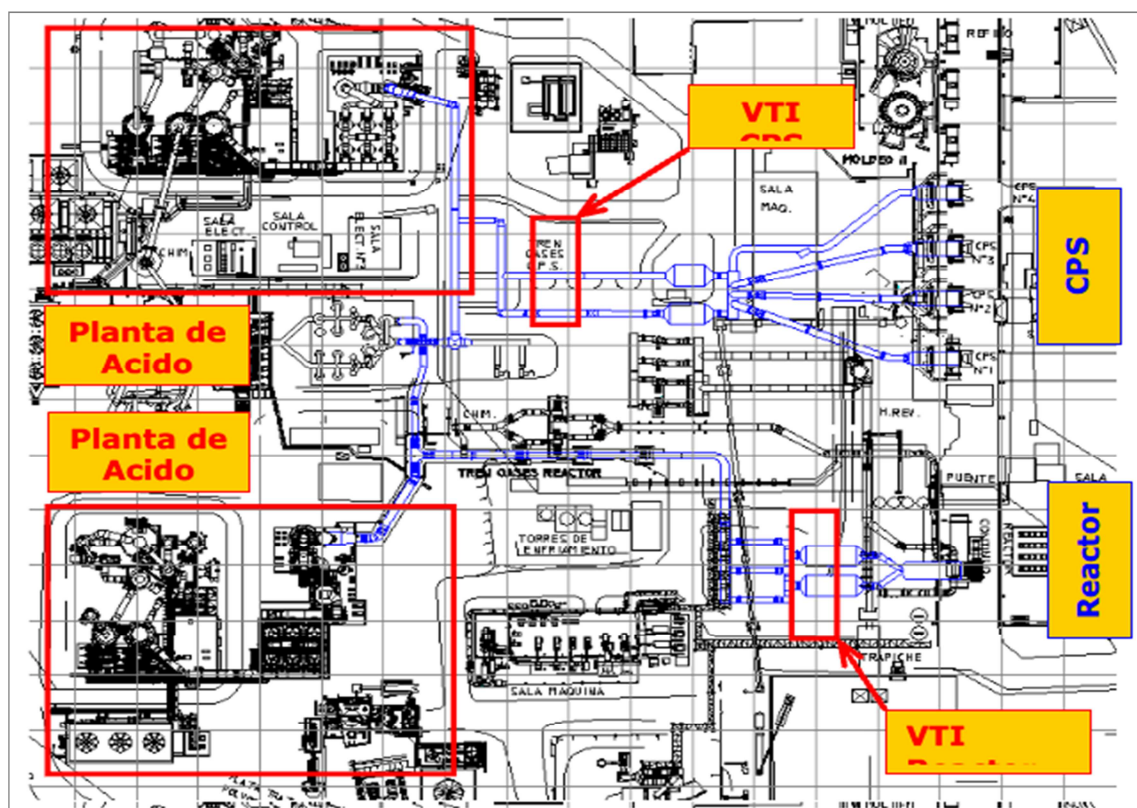
Fundición Altonorte:

La Fundición Altonorte, como unidad maquiladora, inició operaciones como empresa Refimet equipada con tostadores y una planta de lixiviación, instalando el año 1993 un horno de reverbero como unidad de fusión y equipos de segunda mano para el tratamiento de 203 kta de concentrados. (Fase 1) El año 1997 ya con parcial propiedad de Noranda (25%) inició una expansión para alcanzar 380 kt/a, durante el año 1998 Noranda adquiere el 100% de la empresa, a partir de eso denominada Altonorte.

Esta instalación, cercana a la ciudad de Antofagasta, con un nivel de fusión de 983 kta durante el año 2010, declara 93,7% de captura de SO₂, compatible con niveles óptimos de fijación alcanzables con solo el tratamiento de gases primarios de campanas del reactor Noranda que posee como unidad de fusión y de los gases de conversión, en los que ha incorporado un sistema de campanas secundarias para la captura de gases fugitivos, con un sistema de tratamiento de éstos, que a la fecha no se encuentra instalado.

La unidad de fusión similar al Convertidor Teniente, aunque de mayor tamaño 5,3 m Ø y 26,4 m de longitud y con mayores flujos de soplado cuenta con un sistema independiente de manejo y limpieza de gases; con enfriadores radiativos, precipitadores electrostáticos (dos unidades), VTI independientes, que alimenta también con los gases de los Convertidores Peirce Smith (4), de los cuales utilizaría dos unidades en soplado), dos plantas de ácido que dispone de 190 kNm³/hr cada una, la primera de simple contacto (96,3%) y la segunda de doble contacto con una eficiencia media informada de 99,2% . Esta instalación cuenta con un sistema de captura de gases fugitivos sobre la campana primaria del Reactor, él o los CPS en operación y las sangrías de metal y escoria del reactor. Los gases capturados, al 2010, son evacuados por chimenea medidos, con un flujo medio de 522.000 Nm³/h y 0,00435 % SO₂ ².

Figura 11. Esquema operacional Fundición Altonorte.

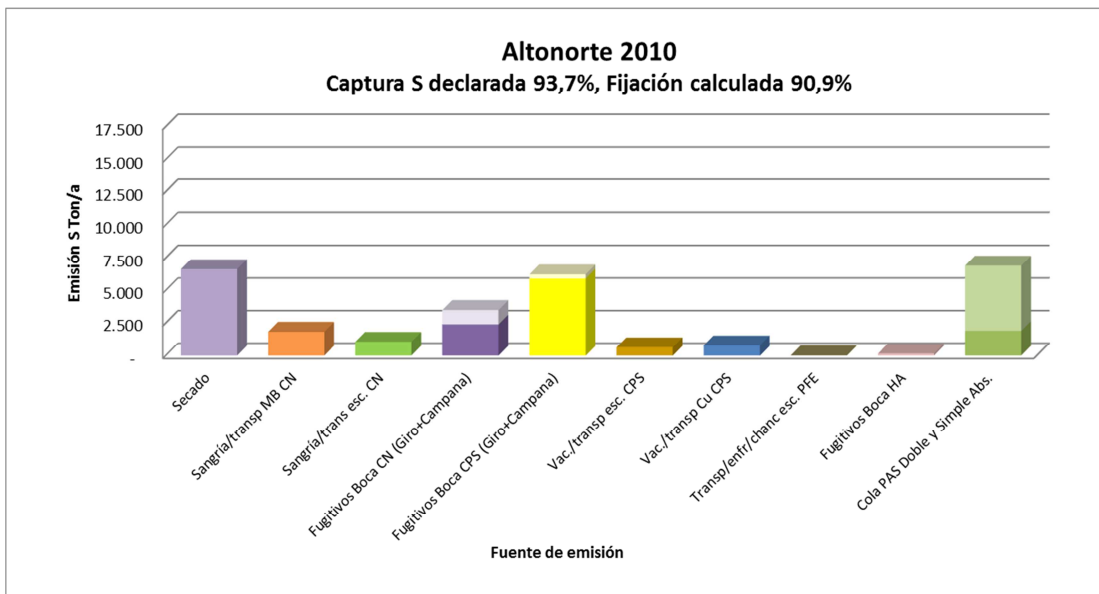


² Según DIA Altonorte Memoria de Cálculo, Inventario de Emisiones de SO₂, p.9 Rev. 26 Enero 2011.

En Diciembre del año 2011 Fundición Altonorte presentó una DIA por el proyecto “Cambios tecnológicos para la disminución de emisiones”, en cumplimiento de la Resolución exenta N° 174/2011 del 4 de Octubre del 2011 de la Comisión y como parte integrante del Plan de trabajo de Reducción de Emisiones desarrollado para introducir cambios tecnológicos para la disminución de emisiones en el secado de concentrados y en la producción de ácido, que les han permitido estimar emisiones para un nuevo plan de reducción de emisiones entre el año 2011 con 37.000+/- 500 t/a de SO₂ y el año 2015 de 24.000+/-1000 t/a de SO₂, equivalente a un nivel de 96,7% de fijación, para una fusión de 1.160 kt/a

La fundición Altonorte con la configuración de equipos existentes al año 2010, declaró una fijación de azufre de 93,6% y una emisión 19.979 t/a de S y 83,1 t/a de As.

Figura 12. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



Fundición Chagres:

Esta instalación ubicada en la comuna de Catemu, que procesó el año 2010 un total de 529 kta de concentrados de 31% de azufre y bajos contenidos de Arsénico, presentó la mayor fijación de Azufre 95,7% y arsénico, producto de su configuración tecnológica; con dos secadores de vapor, un horno de fusión flash, con recuperación de calor. El

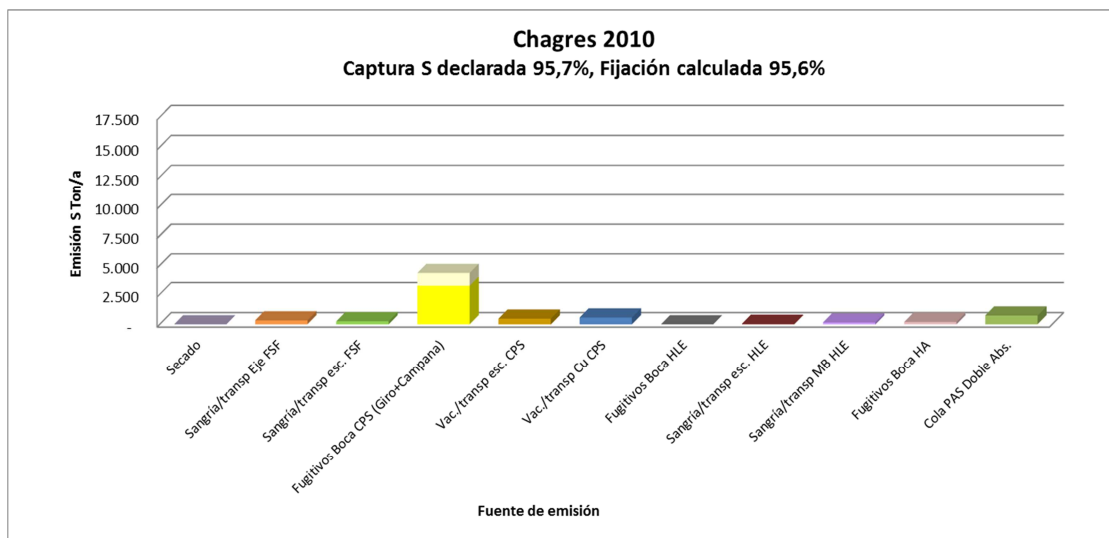
proceso de conversión batch lo realiza en CPS (cuatro unidades de menor tamaño (3,05 m Ø* 6,55 m L), con solo campanas primarias, disponiendo para el tratamiento de escorias dos HLE tipo Teniente y para el refinado dos hornos basculantes.

La nave relativamente ancha y de regular altura (95,6 m*21 m*16,5 m) opera con grúas de baja capacidad, lo que supedita el movimiento de materiales al uso de ollas o tazas de baja capacidad (4m³) y de potencial fuentes de emisiones fugitivas.

Para el tratamiento de gases de proceso cuenta con una planta de ácido (150 kNm³/h) de doble contacto y alta eficiencia informada 99,5%, alimentada con una mezcla de gases del Horno Flash y CPS con una concentración media de 12%, que sin embargo en promedio generaría emisiones por chimenea del orden de 950 mgr/Nm³ en SO₂.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Figura 13. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



Fundición HVL:

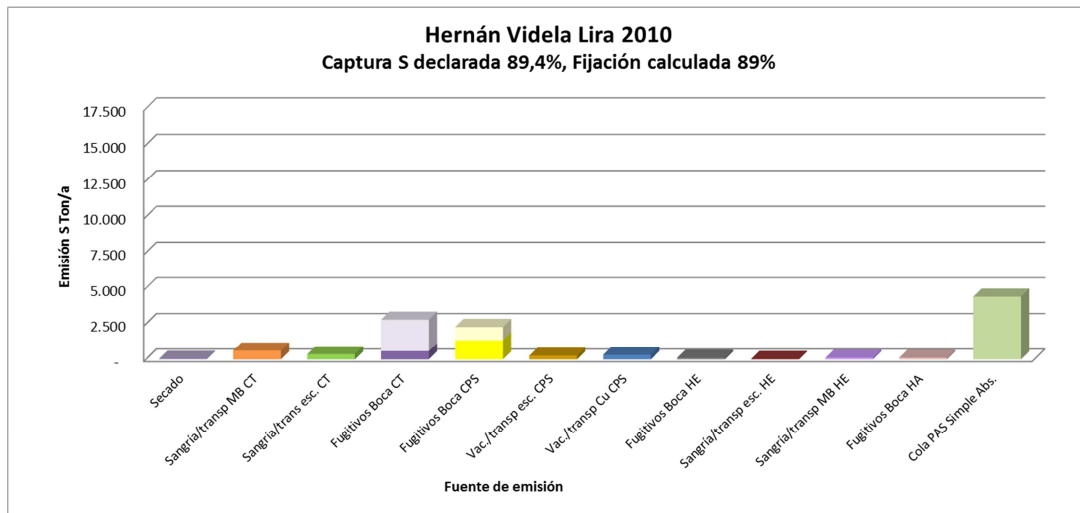
Esta instalación de ENAMI, aledaña a la ciudad de Copiapó y centros agrícolas, procesó el año 2010 un total de 322 kta de concentrados provenientes de la pequeña y mediana

minería, declaró una fijación de Azufre de 89,4%, producto de su configuración tecnológica y equipamiento.

La fundición dispone de un secador rotatorio, un Reactor tipo Teniente de 3,9 m Ø y 16 m L y de conversión batch realizada en uno de los dos CPS que posee, también, comparativamente de menor tamaño que los existentes en otras fundiciones (3,0 m Ø* 7,2 m L), con solo campanas primarias, disponiendo para el tratamiento de escorias de un Horno Eléctrico, para refino de un hornos basculante y para el tratamiento de gases primarios, dispone de dos antiguas plantas de ácido sulfúrico de contacto simple, potenciada para esa instalación, pero actualmente en estado deficitario, al igual que su sistema de manejo y enfriamiento de gases.

Para el tratamiento de gases cuenta con dos plantas de ácido (50 y 80 kNm³/h) de simple contacto y eficiencias informadas de 94% y 96%, ambas bajo estándar, las que son alimentadas con una concentración de gases de 8 a 8,5%, mostrando alta dilución en las campanas.

Figura 14. Capacidad de captura y fijación de S configuración año 2010.



3. DESCRIPCIÓN NUEVA NORMATIVA MEDIO AMBIENTAL.

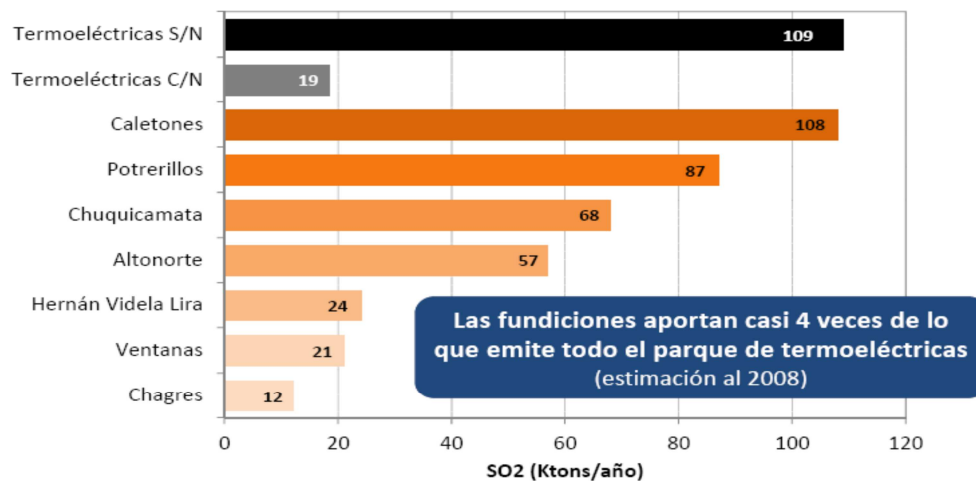
Las fundiciones de cobre generan emisiones al aire, tanto en forma fugitiva como a través de sus chimeneas. Estas emisiones se caracterizan por contener dióxido de azufre (SO₂), material particulado (MP) y sustancias tóxicas, como arsénico (As), mercurio (Hg), plomo (Pb) y cadmio (Cd), entre otros, lo que importa un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente. La normativa medio ambiental vigente para las fundiciones de cobre en Chile es la siguiente:

Figura 15. Normativa actual de fundiciones

Fundición	Decreto supremo que establece Plan	Límite de SO ₂ (ton/año)	Límite de MP (ton/año)	Año establecido para alcanzar el límite
Ventanas	D.S. 252/1992	90.000	1.000	1999
Paipote (HVL)	D.S. 180/1995	40.000	600	1999
Potrerrillos	D.S. 179/1998	100.000	5.500	2000
Caletones	D.S. 81/1998	230.000	1.987	2001
Chuquicamata	D.S. 206/2000	56.600	1.850	2003

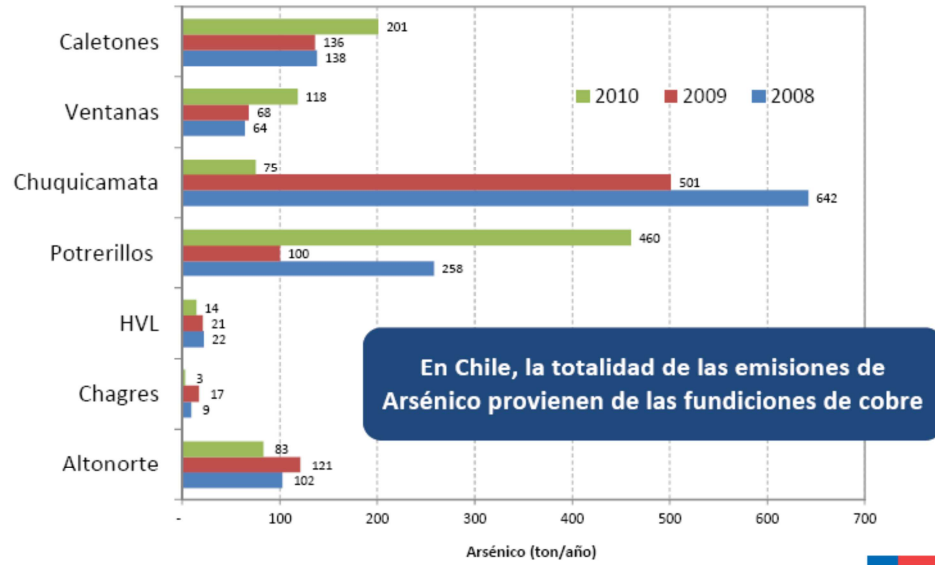
De acuerdo a un estudio llevado a cabo por el Ministerio de medio Ambiente (MMA), las emisiones de SO₂ al año 2008 presentan la siguiente incidencia comparativa con respecto a la industria termoeléctrica.

Figura 16. Incidencia emisiones SO₂ comparativa termoeléctricas.



De acuerdo a un estudio llevado a cabo por el MMA, las emisiones de As al año 2010 representan la siguiente incidencia comparativa.

Figura 17. Emisiones de As Fundiciones Chilenas



De acuerdo a las Figura 16 y Figura 17, las fundiciones generan importantes emisiones de contaminantes, los que tiene efectos en la salud humana y ambiental. Esto incluye emisiones fugitivas que resultan de la fusión y conversión -que incluyen As, SO₂, MP, Hg, Pb y Cd, entre otros- y emisiones por chimenea que derivan de operaciones unitarias, las que incluyen As, MP, SO₂ y Hg. A ello se suma la neblina ácida (SO₃) de las plantas de ácido y el polvo levantado desde el acopio del concentrado.

De acuerdo a información del año 2007, las fundiciones habrían contribuido con un 33% de las emisiones declaradas de MP del sector industrial y con un 58% del SO₂. Por su parte, al año 2008 las fundiciones aportaban casi cuatro veces lo que emitía de SO₂ todo el parque de termoeléctricas, y eso considerando un período anterior a la implementación de la norma que actualmente rige para estas centrales, la que debiera reducir sus emisiones a menos del 20% actual. Por último, la totalidad de las emisiones de As proviene de las fundiciones de cobre

Por otra parte, según evaluación de desempeño ambiental de Chile, realizada por la OCDE, concluyo que “las actividades de fundición de cobre todavía son causantes del grueso de las emisiones y debería reducir aún más”, recomendando desarrollar normas de emisión para reducir el dióxido de azufre y los contaminantes tóxicos. (OCDE – CEPAL, 2005. Evaluaciones de desempeño ambiental Chile, páginas 18-20-25 y 29.

Por lo cual Chile, mediante una mirada global de su industria asociada a fundiciones de cobre, acoge el informe y comienza a redactar una nueva normativa medio ambiental que solucione la problemática planteada por la OCDE.

Para ello fija como objetivo introducir una nueva norma que regule las emisiones de las fundiciones con el fin de proteger la salud de las personas y medio ambiente en todo el territorio nacional, esperando como resultados la reducción de las emisiones al aire de SO₂, As, MP y Hg, sin que ello implique el cierre de ninguna fundición, según señala el mismo Ministerio. Eso significó que aun cuando el mayor aporte de emisiones son fugitivas, no se impusieran cambios estructurales a la fusión y conversión.

El anteproyecto de norma (Recientemente publicada en diciembre 2013), establece exigencias diferenciadas para fuentes existentes y fuentes nuevas. En el caso de las existentes, se “congelan” las emisiones de SO₂, se impone un límite máximo de emisiones de SO₂ y As (en toneladas por año) en función de un 95% de captura y fijación y se establece un plazo máximo de 5 años para su cumplimiento (último trimestre 2018).

En el caso de las fuentes nuevas, se establece un límite de emisiones más exigente, equivalente a 98% de captura para el SO₂ y de 99,976% en el caso de las emisiones de As (Ni siquiera los métodos de muestreo llegan a la precisión establecida por la norma para As). A continuación se muestra los estándares fijados por el MMA para las fundiciones nacionales existentes y nuevas:

Figura 18. Nueva normativa Medio Ambiental Fundiciones.

Fuentes existentes:	
1.	Congelan emisiones anuales de SO ₂ , con la publicación de la norma
2.	Límites de emisión para el establecimiento en toneladas/año de SO ₂ y As y cumplimiento de captura de SO ₂ y As mayor o igual a un 95%
3.	Límites de emisión en chimenea para operaciones unitarias: Secador (MP), horno de limpieza de escoria (MP, As), planta de ácido (SO ₂).
4.	Plazo diferenciado de cumplimiento en 2 1/2 y 5 años, según tecnología de PA
5.	Medidas operacionales para reducir riesgo de eventos nubes tóxicas y control de concentrados resuspendidos.
6.	Eliminar humos visibles de horno de refino.

Fuentes nuevas:	
1.	Cumplimiento de captura de SO ₂ mayor o igual a un 98%
2.	Cumplimiento de captura de As mayor o igual a un 99,97% .
3.	Límites de emisión en chimenea para operaciones unitarias: secador (MP), horno de limpieza de escoria (MP, As), planta de ácido (SO ₂ , Hg).

Figura 19. Cuotas de emisión fundiciones existentes

Límite de SO₂ = Nivel de actividad x (1-0,95 de captación S) x contenidos de S en concentrados

Fundición	Emisión promedio 2007-2011 (ton/año)	Límite SO ₂ Norma (ton/año)
Hernán Videla Lira	23.000	12.880
Ventanas	18.800	14.650
Chagres	13.440	13.950
Potrerosillos	85.200	24.400
Altonorte	44.251	24.000
Caletones	118.600	47.680
Chuquicamata	91.100	49.700

Se calcula que con la norma de 95% de captura, la reducción de emisiones de SO₂ alcanzaría un 53% del total de las emisiones país, y la de As un 37%. Adicionalmente,

se lograrían reducciones significativas de los eventos de neblinas tóxicas y contaminación de suelos en zonas aledañas.

A continuación se presentan los resultados esperados con la implementación de la nueva normativa que regirá a las fundiciones nacionales existentes:

Figura 20. Reducción de emisiones de SO₂ nueva normativa.

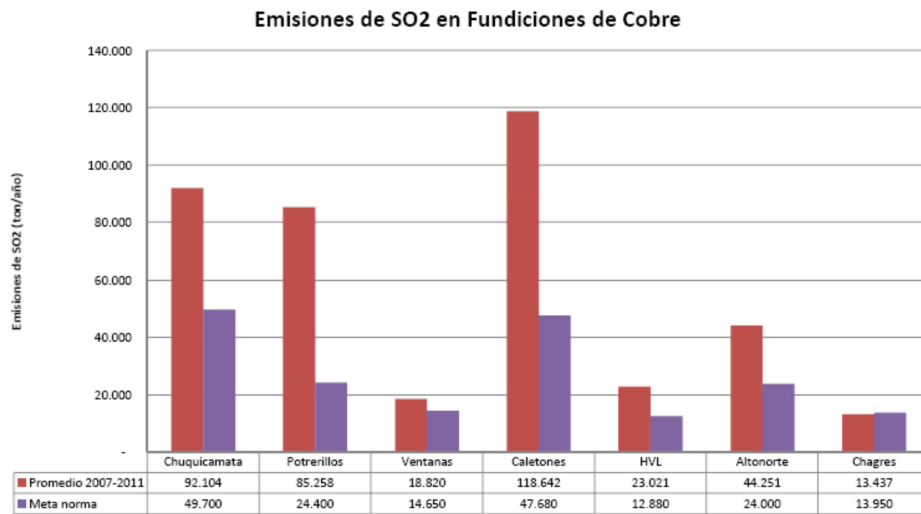
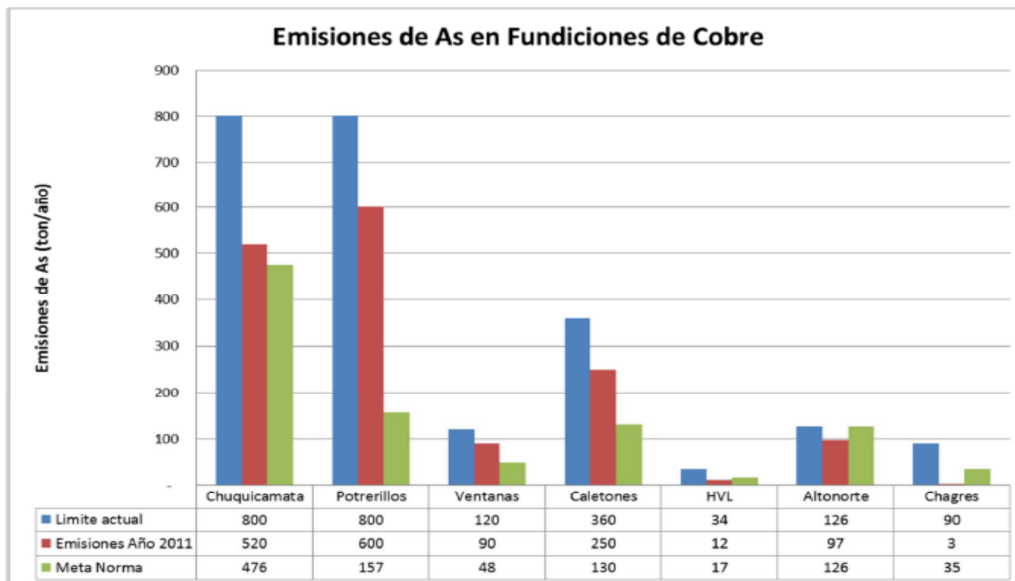
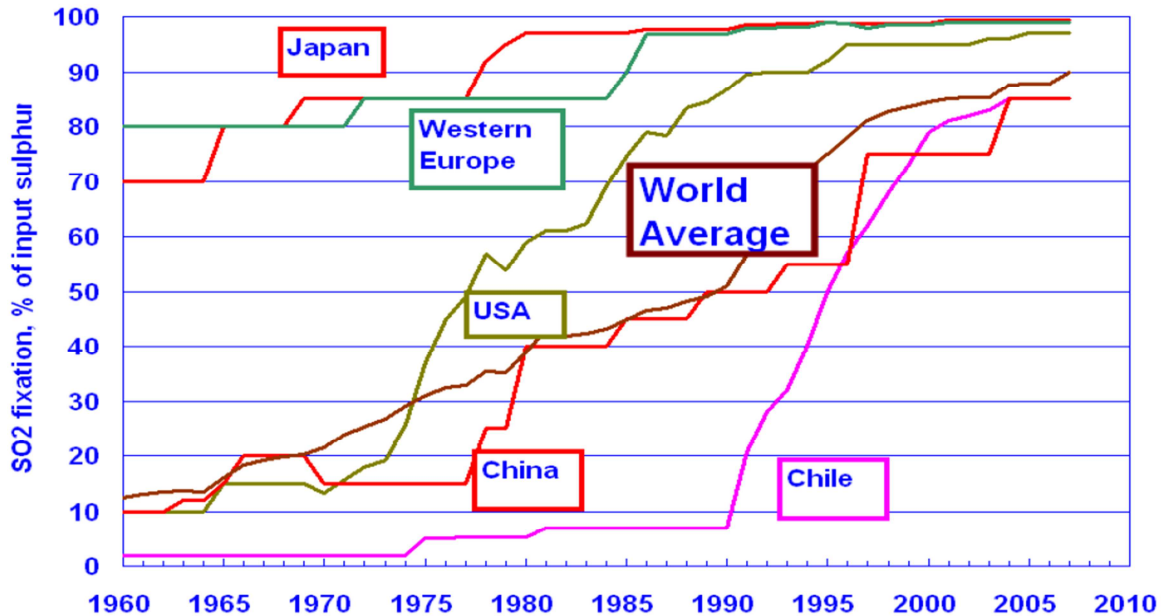


Figura 21. Reducción de emisiones de As nueva normativa.



A continuación se presenta una figura que indica la tendencia histórica que ha seguido la industria.

Figura 22. Tendencia global de regulación medio ambiental en captura de azufre.



Como se observa en la figura anterior, Japón y Europa hace 30 años que tienen adoptada una configuración tecnológica que permite asegurar un 95% de captura y fijación de gases metalúrgicos ricos en SO₂. También muestra que los estándares fijados en la nueva normativa medio ambiental, en el corto plazo, deberían ser reajustados hacia las mejores prácticas.

La situación en Chile difiere de la tendencia mundial y hace sólo 20 años que se están regulando las emisiones de gases metalúrgicos, lo cual va en contra del aumento de los créditos por generación de ácido sulfúrico y generación de energía eléctrica.

Lo anteriormente indicado hace suponer que la aplicación de esta normativa es sólo el primer paso para cumplir en el mediano plazo, con estándares de clase mundial. Por lo cual la implementación de esta debe ser siempre pensando en el paso posterior, que posee implementado el benchmarking de la industria (Japón y Europa).

4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN NUEVA NORMATIVA.

Para la evaluación de costos de inversión para cada fundición en operación, con el objeto del cumplimiento de la normativa medio ambiental vigente desde Diciembre del año 2013, se tomaron los siguientes supuestos:

- Los costos de inversión asociados a cada una de las medidas de control sobre las fuentes de emisiones, considerando la reposición de los nuevos equipos o plantas al término de su vida útil en el horizonte de evaluación de 25 años fue basada en antecedentes de estudios previos recepcionados del MMA y estimaciones propias de empresa de ingeniería (estudio de carácter público).
- El análisis independiente de los costos de inversión con y sin la aplicación de límites en chimenea, para determinar finalmente indicadores con y sin su inclusión, se realizó con el fin de establecer una línea base de implementación de costos actualizada al año 2012.
- La determinación del Valor total Actualizado de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE), así como las toneladas medias por año abatidas por proyecto individual para cada Fundición, fueron calculadas en base a los antecedentes disponibles en forma pública y antecedentes de orientaciones de proyectos de largo plazo de uso privado y con fines académicos.
- Determinación como medida de costo efectividad, del costo unitario por tonelada abatida, en base la relación CAE/tonelada media abatida con información resultante de la información recibida con fines académicos.
- Análisis complementario de los requerimientos de energía eléctrica y agua por escenario, consumos que, aunque incorporados a los costos de operación, no incluyen los costos de distribución interna de los nuevos requerimientos (instalación de nuevas líneas de transmisión u otro que se requiera).

En base a la información antes mencionada, contando con informes públicos emitidos por el ministerio de medio ambiente, se establecieron los siguientes valores actualizados de costos para la implementación de la nueva normativa ambiental promulgada en diciembre del 2013.

Figura 23. VAC de implementación de Normativa por Fundación (2010).

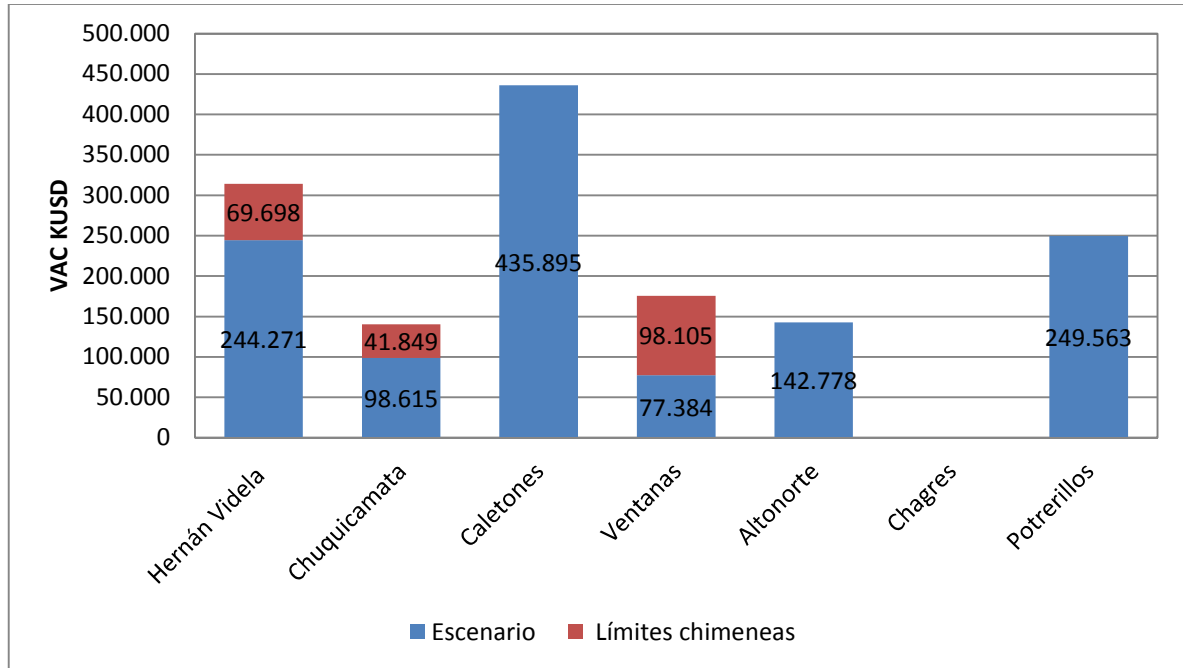


Tabla 1. Proyección de Costos en función de nivel de captura

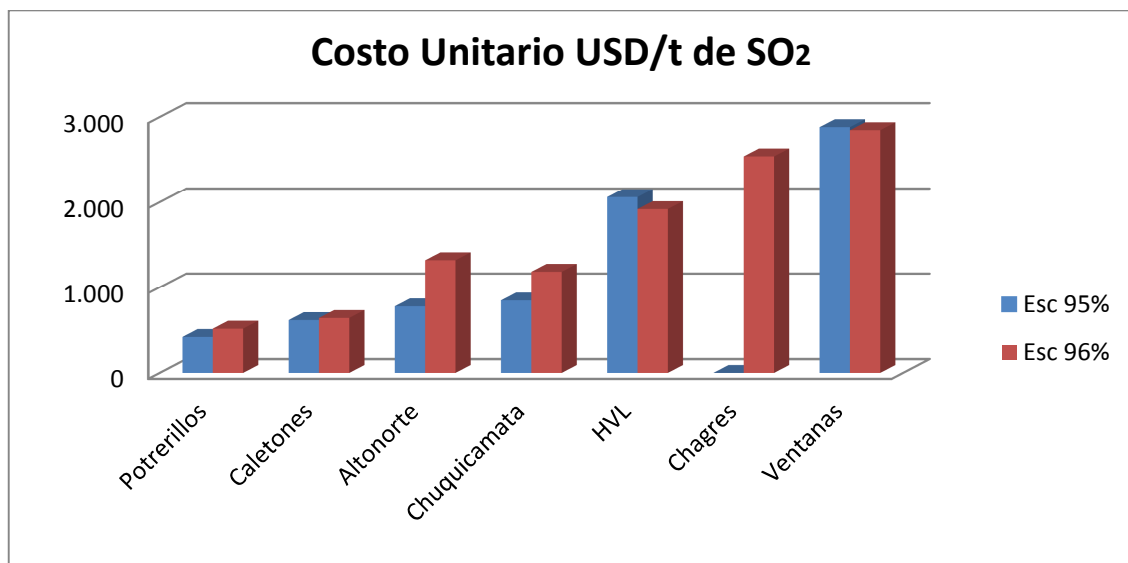
VAC (KUSD)	Hernán Videla	Chuquicamata	Caletones	Ventanas	Altonorte	Chagres	Potreriillos	Total 7 Fu (kUSD)
Fijación base SO2 %	89,2 ± 0,2	93,2 ± 0,3	87,8 ± 0,2	93,3 ± 0,6	92,7 ± 1,3	95,6 ± 0,07	82,3 ± 1,2	
Escenario	244,271	98,615	435,895	77,384	142,778		249,563	
Límites chimeneas	69,698	41,849	n/a	98,105	n/a	Cumple	n/a	209,652
Escenario 95% Total Acum	313,969	140,464	435,895	175,489	142,778	Cumple	249,563	1,458,159
Escenario	258,116	287,336	491,660	188,186	262,792	2,667	337,065	
Límites chimeneas	69,698	123,765	n/a	98,105	n/a	67,207	n/a	358,775
Escenario 96% Total Acum	327,814	411,101	491,660	286,291	262,792	69,874	337,065	2,186,598

De acuerdo a lo mostrado en las Figura 23 y Tabla 1, el costo de implementación global para todas las fundiciones en operación y afectas al cumplimiento de la normativa medio ambiental explicada en extenso en el capítulo 3 del presente informe, asciende a 1.458 MUSD, entendiendo que las medidas de inversión corresponde a lo declarado por cada una de las operaciones al año 2010.

En el caso que la normativa medio ambiental fuese revisada, en el periodo legal fijado de 5 años para su revisión, y se solicitase el aumento de un 1% adicional a la base de un 95% de fijación de SO₂ solicitada por el estado, el costo de implementación asciende a 2.187 MUSD.

En ambos escenarios regulatorios mencionadas anteriormente, ya sea de un 95% de fijación de SO₂ o bien un 96%, el costo unitario por tonelada abatida de SO₂ es el siguiente:

Figura 24. CAE invertido por tonelada de SO₂ abatida por cada escenario regulatorio.



De acuerdo a lo mostrado en la Figura 24, el costo unitario por tonelada de SO₂ abatido, es mayor en las operaciones en donde se encuentra la fijación de SO₂ declarada más cercana al cumplimiento de la normativa, esto se debe a que cada medida a

implementar tiene un costo oportunidad más alto que las operaciones que poseen un mayor diferencial con respecto al límite de emisión fijado.

Cabe señalar que toda la información resumida y expuesta en este capítulo, se encuentra en extenso y en forma detallada en el informe http://www.sinia.cl/1292/articles-52008_EstudioCosto.pdf. El cual se encuentra citado, dentro de las referencias de la presente tesis.

Hoy las fundiciones tienen como desafío el cumplimiento de la nueva normativa medio ambiental con un costo de implementación por sobre 1.500 MUSD tal como fue indicado, esto sin mencionar el difícil escenario que se presenta para aquellas fundiciones que además de la inversión a realizar, tienen población circundante que rechaza el funcionamiento de estas instalaciones. Por lo cual enfrentan un escenario en donde se podrían poner en práctica los planes de cierre de estas instalaciones, dada la inversión y falta de competitividad que no aseguran el retorno de la inversión a sus mandantes.

5. COMPETITIVIDAD FUNDICIONES NACIONALES

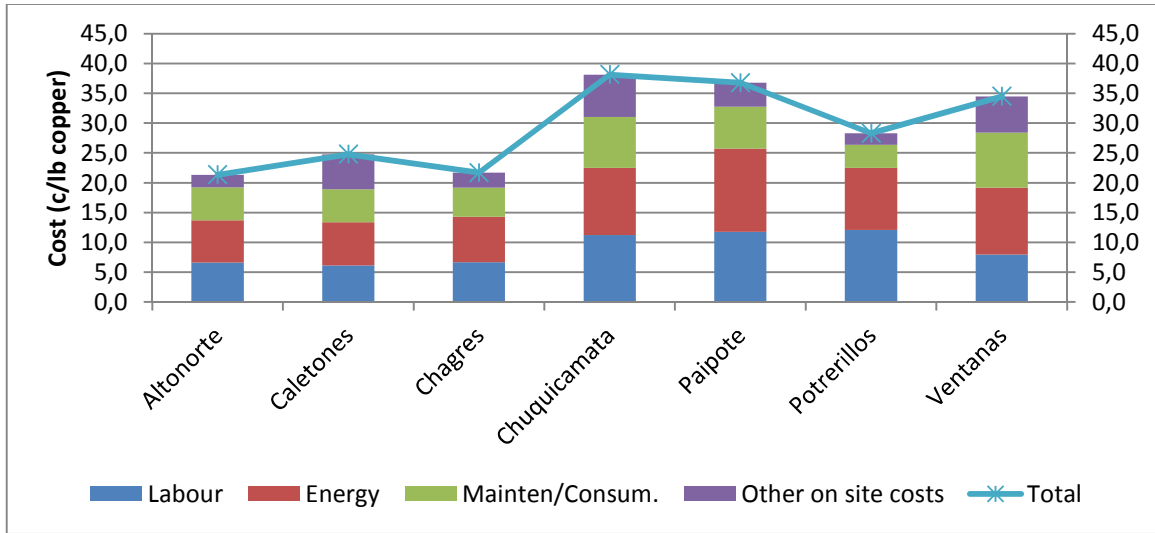
La competitividad de las fundiciones se mide principalmente por los costos operacionales de ellas, independientemente de los cargos por tratamiento con el que puedan operar en el mercado. Los costos operacionales están compuestos principalmente en cuatro grandes componentes: mano de obra, energía, mantención y otros gastos en terreno (generalmente servicios de terceros).

Para cada los componentes principales del costo operacional, se tiene una directa relación con la tecnología ocupada, ya que al ser menos actualizada implica mayor requerimiento de mano de obra, energía y mantención. Por otra parte, las tecnologías de menor desarrollo tecnológico generan una menor cantidad de créditos asociados a una mayor generación de energía eléctrica o vapor y menor cantidad de ácido sulfúrico producido. Es decir, una tecnología que asegure un mayor nivel de captura de gases metalúrgicos desde el proceso de fusión y/o conversión aumenta los créditos por ácido sulfúrico producido y recuperación de energía, los cuales disminuyen el costo neto de operación.

Las tecnologías utilizadas en las compañías que se definen como el benchmarking de la industria difieren total o parcialmente de las tecnologías que se utilizan en las fundiciones nacionales, por lo cual la posición competitiva de las fundiciones nacionales dista en muchos casos de encontrarse en el primer cuartil de indicadores de competitividad.

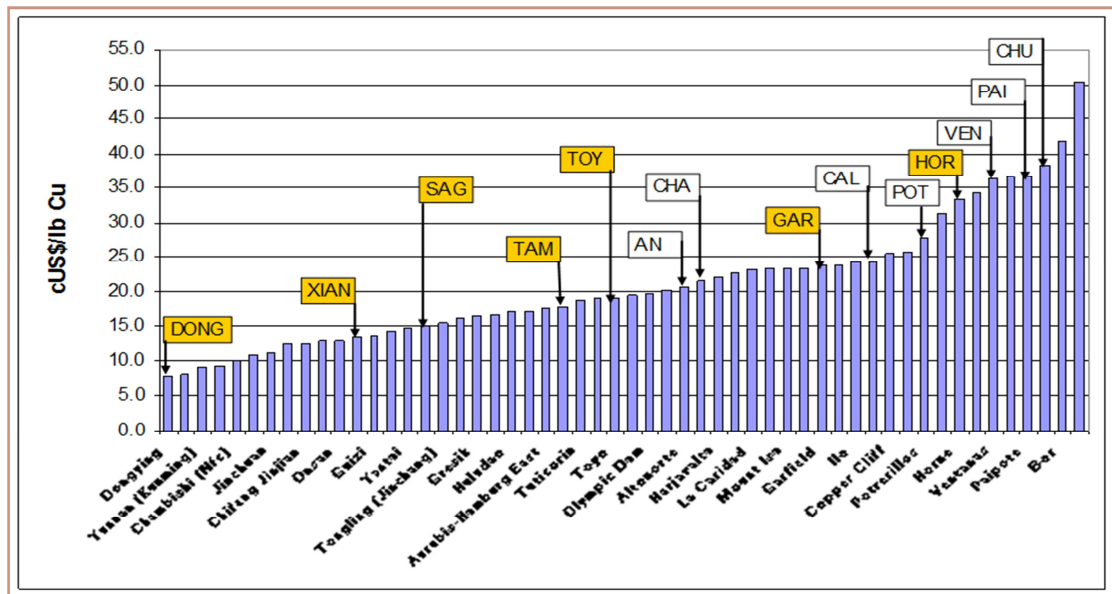
A continuación se presenta la Figura 25, en donde aparece el costo de operación de las fundiciones chilenas (Brook Hunt versión 2013).

Figura 25. Costos directos de operación Fundiciones Chilenas



Tal como se aprecia en la figura anterior, los costos operacionales van desde los 21,3 cUSD/lb Cu hasta los 38,1 cUSD/lb, estando en el límite inferior las fundiciones de Chagres y Altonorte y en el límite superior Chuquicamata. A continuación se presenta una mirada global del posicionamiento de las fundiciones chilenas en el mercado mundial.

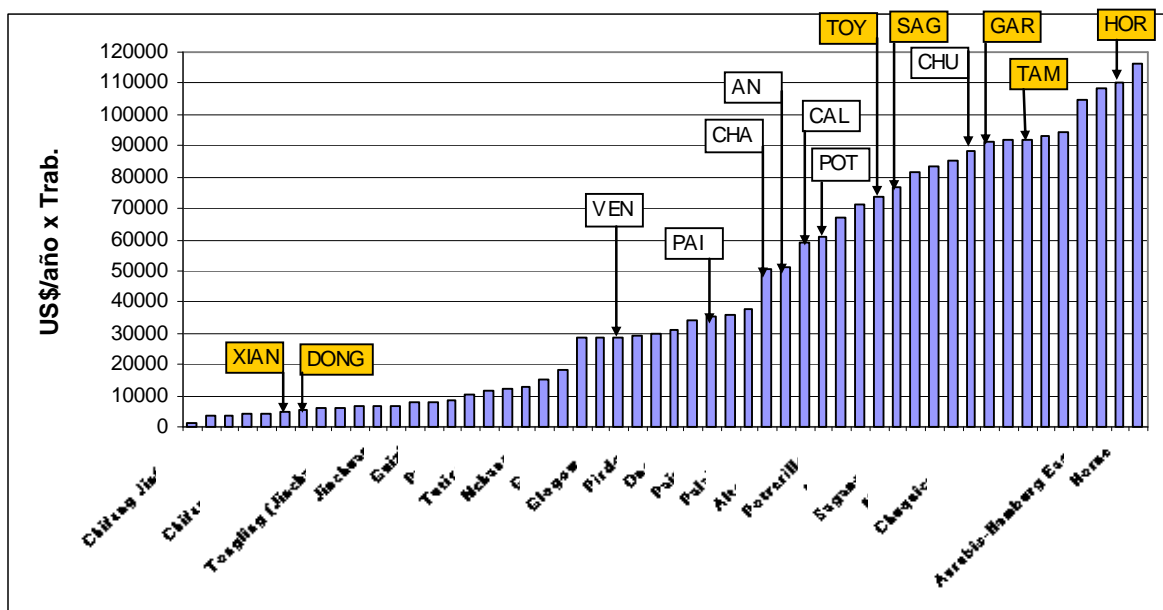
Figura 26. Costos directos de operación Fundiciones a nivel global.



Tal como se muestra en la Figura 26, las fundiciones Chinas y Japonesas son las que se encuentran en el primer cuartil de costos de operación destacando los casos de Dongying (8 cUSD/lb Cu), Guixi (14 cUSD/lb Cu), Saganoseki (15 cUSD/lb Cu), Tamano (17 cUSD/lb Cu) y Toyo (19 cUSD/lb Cu). Por su parte, las fundiciones nacionales se encuentran mayoritariamente en el cuarto cuartil, siendo Altonorte (21 cUSD/lb Cu) y Chagres (22 cUSD/lb Cu) las que poseen un menor costo de operación.

Tal como se planteó inicialmente, el costo operacional se encuentra basado principalmente en cuatro costos, agrupados en mano de obra, energía, mantenimiento y servicios de terceros. A continuación se presentan los costos asociados a mano de obra, expresados en remuneraciones anuales por hombre inscrito.

Figura 27. Costos de mano de obra promedio de fundiciones.

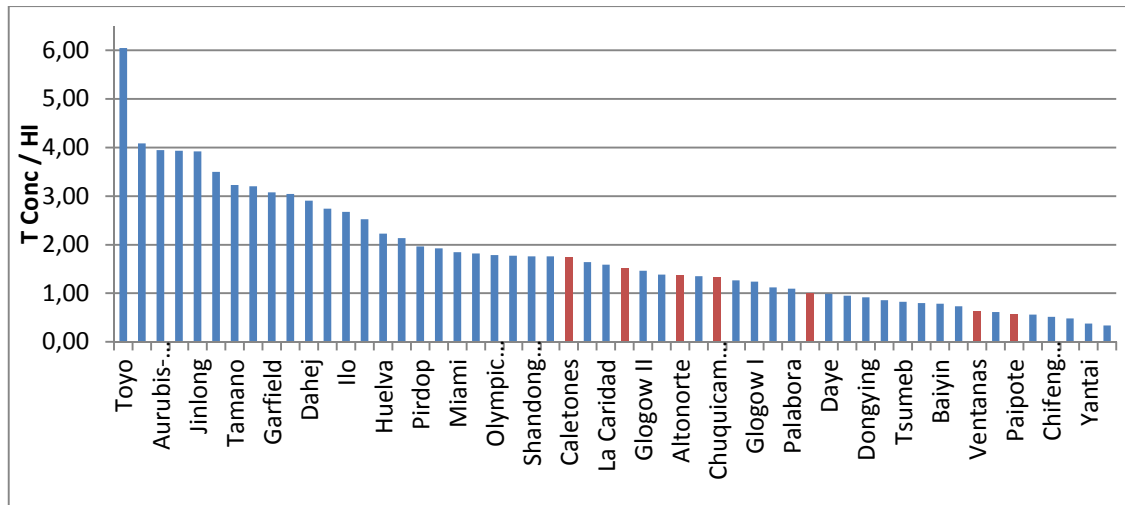


De acuerdo a lo visto en la Figura 27, el rango de remuneraciones promedio recibidas por los trabajadores de las fundiciones nacionales se encuentran entre los 30.000 USD/año y los 90.000 USD/año, estando en el límite inferior la fundición de Ventanas y en el límite superior la Fundición de Chuquicamata. Para las fundiciones japonesas de Saganoseki y Toyo se tiene un sueldo anual promedio de 77.000 USD/año y 74.000 USD/año respectivamente, cabe señalar que las remuneraciones percibidas en las

Fundiciones Chinas es imposible de replicar en Chile por lo cual no son mencionadas y se destacará el análisis de las fundiciones japonesas.

A continuación se presenta la Figura 28 en donde se muestra la productividad de cada fundición.

Figura 28. Toneladas de concentrado procesados por hombre inscrito

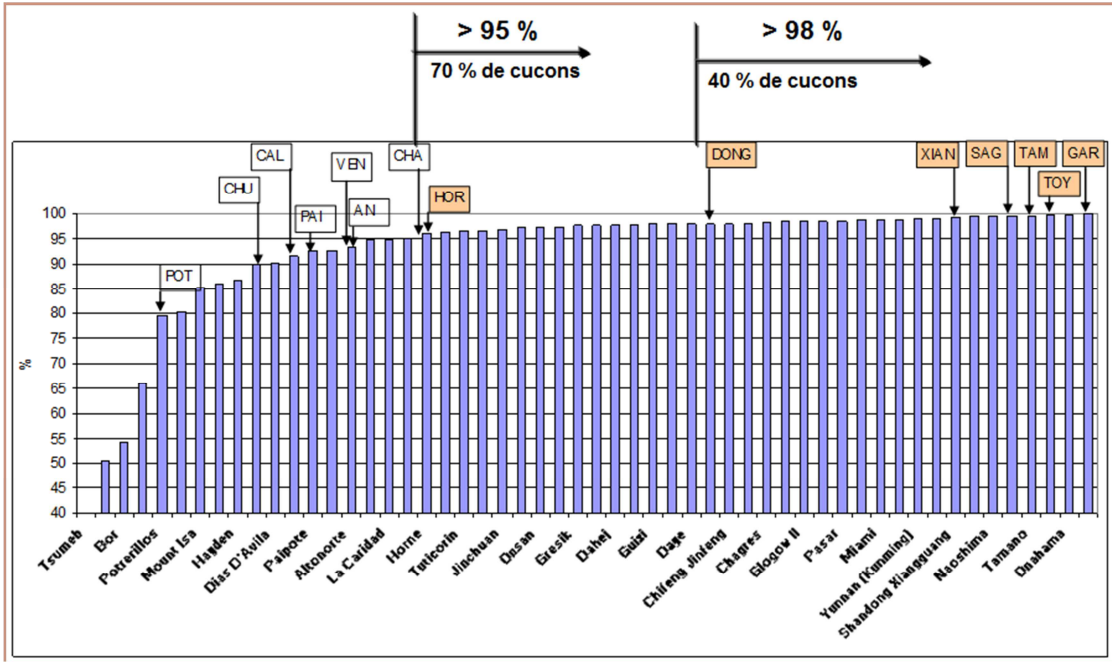


Tal como se muestra en la figura anterior, la productividad asociada a las fundiciones nacionales se encuentra entre el tercer y cuarto cuartil, destacando las fundiciones japonesas como el benchmarking de la industria, en donde la fundición de Toyo y Saganoseki destacan por tener una productividad de 6 tconcentrado/Hombre Inscrito y de 4 tconcentrado/Hombre Inscrito respectivamente.

Las fundiciones nacionales se encuentran entre 1,74 tconcentrado/Hombre Inscrito y 0,57 tconcentrado/Hombre Inscrito, estando en el límite superior de productividad la Fundición de Caletones y en el límite inferior la Fundición de Paipote.

Referido a la generación de créditos generados por cada fundición, se tiene que el mayor nivel de captura y fijación de gases metalúrgicos de fuentes primarias aumenta la producción de ácido sulfúrico. Lo antes indicado, es en concordancia con la tendencia mundial de aumentar fijación de azufre en función del cuidado medio ambiental y aumento de los créditos que mejoran el resultado neto de la operación.

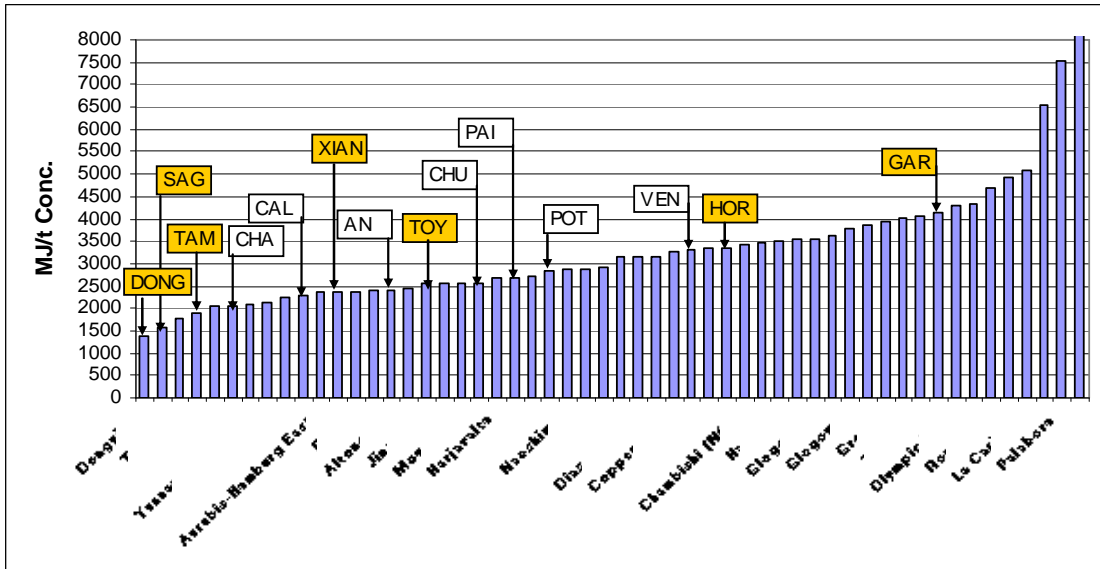
Figura 29. Fijación de azufre de las fundiciones a nivel mundial



Tal como se observa en la Figura 29, las fundiciones chilenas se encuentran entre el 80% y 95% de fijación de azufre en sus emisiones, lo cual va en contra de su estado de resultado neto. En el límite inferior de captura se encuentra la fundición de Potrerillos y en el límite superior se encuentra la fundición de Chagres. Como se observa en la figura anterior, las fundiciones japonesas poseen captura y fijación por sobre el 99%, lo cual mejora sus estándares medio ambientales y resultado económico.

Como parte integrante de los costos operacionales se tiene el consumo energético de cada operación, a continuación se grafica la posición competitiva de las fundiciones chilenas con respecto a sus pares.

Figura 30. Gasto total de energía por tonelada procesada



De acuerdo a lo observado en la Figura 30, las fundiciones nacionales presentan una posición competitiva con respecto a las operaciones que se consideran benchmarking en la industria, demostrando con esto que la gestión energética de las operaciones se encuentra en una posición cercana al óptimo, considerando que se tienen tecnologías que no generan créditos. Basado en esto, se considera que las operaciones de Chagres y Caletones se encuentran en el primer cuartil y el resto de las operaciones en el segundo cuartil.

De acuerdo a todas las figuras presentadas, los problemas de competitividad presentados por las fundiciones chilenas, recae en dos aspectos a mejorar ostensiblemente. Primeramente se debe mejorar la captura y fijación de azufre con el fin de solucionar problemas medio ambientales y además aumentar los créditos por generación de ácido sulfúrico.

Lo segundo y con mayor margen de mejora, las fundiciones nacionales aparecen con un margen de remuneraciones a la par de Japón o países con un costo de vida asociado a un país desarrollado, sin embargo la productividad basada en tonelada procesada por hombre inscrito, es igual a países en vías de desarrollo o menor aún.

6. RESTRICCIONES VENTA DE CONCENTRADOS

A continuación se presenta la visión de expertos en la industria del cobre, sobre las crecientes restricciones a la venta de concentrados que impactará negativamente el negocio minero.

Estado del arte (Juan Rayo, JRI)

Las empresas mineras avecindadas en la Segunda y Tercera Región del Norte de Chile tienen planes de desarrollo de sus yacimientos de minerales sulfurados que permiten asegurar producciones crecientes de concentrados durante 50 años.

En especial Codelco tiene planificado desarrollos relevantes en el Distrito Loa (RT, Chuqui, Subterráneo, MMH rajo y subterráneo, Quetena, El Abra (49% propiedad), entre otros) y en el Distrito Salado (remanentes DSAL, San Antonio, otros).

Asimismo, la minería privada también tiene planes de desarrollo relevantes en esa área, tanto por parte del Grupo AMSA (Esperanza, Esperanza Sur, Encuentro, otros), como en BHP (MEL, Spence sulfuros), y diversos desarrollos más (Sierra Gorda, otros).

Un aspecto distintivo de gran parte de los yacimientos indicados radica en la presencia relevante de subproductos (en especial Ag y Au) y lamentablemente también un creciente nivel de impurezas (As, Zn, otras).

Los yacimientos en explotación o en proyecto presentan bajas leyes de cabeza y que en muchos casos muestran una geometalurgia difícil, produciendo concentrados de relativa baja ley (20 a 25%) frente a las leyes del pasado reciente (28 a 32%).

Los niveles de As de diversos yacimientos son temporalmente superiores a 0.5%, lo que prácticamente impediría su exportación de acuerdo a las tendencias de regulación medioambiental (restricciones sobre 0.1 y 0.3% de As).

Luego, en las décadas del 20/30 habrá mucho más concentrados en la región, gran parte de los cuales no serían exportables, impactando fuertemente con el negocio minero.

Clasificación REACH de concentrados (Ecosea / Cochilco)

El cobre, como es sabido, es un elemento natural y micronutriente esencial para la vida. Si bien el ión (átomo con carga) de cobre disuelto en agua puede tener efectos nocivos bajo ciertas condiciones, esta característica es de escasa relevancia para las formas metálicas masivas del metal. Por lo tanto, el potencial de exposición humana o ambiental a iones de cobre asociado a formas metálicas masivas de cobre es prácticamente cero.

La situación para otros productos que contienen cobre es muy diferente. Por ejemplo, las sales de cobre y los productos de cobre en forma de polvos o partículas muy finas, representan un potencial importante de liberación de iones de cobre a medios acuosos, ya sea en el ambiente o al interior del cuerpo humano, y tienen clasificaciones de peligrosidad que reflejan ese potencial.

La situación de formas más impuras de cobre es aún más compleja, debido precisamente a la presencia de impurezas, muchas de ellas elementos o compuestos químicos que tienen perfiles de peligrosidad importantes para la salud humana y el medio ambiente (e.g., arsénico, plomo, níquel, sulfuro de plomo, etc.). En el sistema de clasificación de peligrosidad de sustancias químicas que predominará en el mundo, basta la presencia de un 0,1% de una sustancia peligrosa en una mezcla para clasificar a esta última como peligrosa.

Todas las formas menos puras de cobre que produce la industria (concentrados, calcinas, metal blanco, etc.) son consideradas mezclas, o preparaciones, en el nuevo sistema de clasificación.

Con la exportación única de concentrados de cobre se tiene el riesgo de quedar expuesto a un aumento de descuentos por ventas concentrados más “sucios” (As y Si), posible clasificación REACH de concentrados como cancerígenos por contenido de sílice respirable (MP 2,5) mayor a 0,1% (Silicosis).

Chile que como productor centra sus fortalezas en la producción de concentrados y cátodos se verá prontamente en un disyuntiva frente a un aumento en los costos por exportación de productos intermedios como el concentrado

Restricciones al transporte marítimo de concentrados (Cochilco / Varios autores)

La Organización Marítima Internacional (OMI) consideró en 2011 una propuesta de enmienda al Anexo V de la Convención MARPOL (convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques), con la finalidad de cambiar la clasificación de peligrosidad de cargas sólidas transportadas a granel. Tal modificación implicaba considerar los concentrados metálicos como peligrosos para el medio ambiente marino, sin base técnica que así lo respaldara y con implicancias en materia portuaria y de seguros asociados al transporte. A partir de lo anterior, Chile coordinó una posición país y, en conjunto con Noruega y Holanda, se elaboró una propuesta que resultó acogida.

Esta propuesta estableció un conjunto de criterios claros, objetivos y técnicos para determinar si los residuos de una carga sólida a granel (como el concentrado de cobre, por ejemplo) son perjudiciales para el medio ambiente marino. En el caso de residuos o agua proveniente de lavados de bodegas con cargas identificadas como perjudiciales para el medio ambiente marino, se estableció que no pueden ser descargados directamente al mar, sino que requieren un tratamiento en el puerto de descarga, lo que hace necesario contar con instalaciones adecuadas para tal efecto. La evaluación de la carga corresponde al expedidor, en función de lo cual los transportistas son llamados a notificar a las autoridades competentes, tanto del puerto de embarque como de destino. Esta autclasificación en la definición de peligrosidad de una sustancia se permitirá entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2014, período en que esta modificación se aplicará en forma voluntaria.

Miembros de la comisión trabajaron junto a las autoridades nacionales, en particular en el marco de la mesa ampliada público-privada liderada por la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), así como con organismos internacionales, de manera de aportar a la definición de la postura país respecto al tema. Se integró, además, la delegación nacional que participó en diversas reuniones de la OMI. Cabe señalar, que de acuerdo a

los especialistas esta medida incrementaría el costo de transporte en casi 20% por concepto de lavado de barcos y tratamiento de aguas de lavado, en la actualidad existen envíos de concentrados que ya han incurrido en gastos para la aplicación de estas medidas en puertos de destino.

Escenario futuro esperable

De acuerdo a los expertos en la materia, citados en el presente capítulo, el escenario de restricciones crecientes por normativas de contenidos de impurezas propias del mineral, sumado a las restricciones de clasificación en cuanto a extracción y transporte de concentrados de cobre, situarían a Chile en la siguiente proyección de producción:

Restricciones Ambientales Futuras

Se estima que para la década del 20/30 las restricciones de las leyes chilenas para cada fundición serán: Emisión máxima de As: 200 toneladas finas al año, Emisión máxima de S: 10.000 a 15.000 toneladas finas al año. Estas restricciones permitirán a Chile acercarse a las exigentes normativas internacionales previstas, considerando condiciones económicas futuras de tratamiento de concentrados (TC/RC: 50 a 70 cUS\$/lb Cu el cual incluye castigos por impurezas tolerables).

A continuación se presenta, la proyección de producción de concentrados en comparación a la capacidad de fusión del 2025 en adelante, considerando las restricciones indicadas anteriormente.

Tabla 2. Proyección de Producción de Concentrados vs Capacidad de fusión 2025 +

Concentrado total a producir :	16.000	KTCA
Concentrado fácilmente exportable : 9.000 KTCA	9.000	KTCA
Concentrado exportable con restricciones : 1.000 KTCA	1.000	KTCA
Concentrado no exportable : 6.000 KTCA	6.000	KTCA
Capacidad de tratamiento actual : 4.000 KTCA	4.000	KTCA

Déficit de tratamiento en Chile de concentrados 2025 en adelante:

Concentrados no exportables : 2.000 KTCA	2.000	KTCA
--	-------	------

7. EVALUACIÓN NEGOCIO PARA MODELO FUNDICIÓN COMPETITIVA.

El presente capítulo tiene por objetivo analizar la capacidad de fusión de concentrados de cobre, bajo una cadena tecnológica de procesamiento determinada, que permita viabilizar en forma competitiva el negocio fundición en Chile y lo posicione en el primer cuartil de costos, productividad, captura y fijación de emisiones y aprovechamiento energético.

La metodología propuesta para la evaluación de negocio fundición competitiva requiere de la proyección de costos de inversión (CAPEX, por sus siglas en inglés Capital Expenditures), costos de operación (OPEX, por sus siglas en inglés Operational Expenditures), modelo de ingresos esperados considerando hasta producción de cátodos y todo esto llevarlo a una estimación del Valor Actual Neto (VAN) para escenarios de fusión de 1.500 kta y 2.500 kta de concentrados.

Para el análisis se considera una configuración tecnológica basada en Horno de Fusión Flash (FSF, por sus siglas en inglés Flash Smelting Furnace), Horno de Conversión Flash (FCF, por sus siglas en inglés Flash Converting Furnace) y Planta de Flotación de Escorias (PFE). La configuración utilizada posee características probadas en la industria desde el punto de vista metalúrgico y es la que posee mejor retorno económico para capacidades de fusión superiores a 1.300 kta de concentrados.

CAPEX

Para el análisis realizado de la configuración tecnológica dada, se han establecido bases de estimación de costos de inversión para los escenarios 1.500 kta y 2.500 kta. A continuación se muestra en forma resumida el Capex para cada escenario de fusión proyectado, mayor detalle se puede ver en el Anexo A de la presente tesis.

Bases de estimación

A continuación se indican las bases de estimación de costos de inversión, con el respectivo desglose en costos directos, indirectos y contingencias.

Costos Directos

Los costos directos consideran costos de suministros, transporte, y construcción y montaje. Estos se constituyen con los siguientes ítems:

- Civil
- Estructural
- Mecánica
- Piping
- Electricidad
- Instrumentación
- Contrato llave en mano

El presupuesto para el suministro mecánico (equipos principales) se ha desarrollado con la siguiente estructura de quiebre:

- Sistema de Recepción, Alimentación y Preparación de Carga
- Fusión de concentrados
- Granulación de mata
- Limpieza de escoria
- Conversión
- Granulación de escoria
- Refino y Moldeo
- Manejo de gases y polvos metalúrgicos
- Servicios generales

Por otro lado, se han considerado los siguientes equipos con contrato llave en mano

- Planta de ácido sulfúrico
- Planta de efluentes
- Planta de oxígeno
- Planta de tratamiento de agua
- Planta de reciclaje de agua
- Sistema de generación de energía de emergencia
- Planta de flotación de escorias

Respecto a la estructuración de los costos directos del proyecto, es decir suministros, costos de transporte, construcción y montaje, se han utilizado los siguientes criterios para su estimación.

Tabla 3. Parámetros considerados determinación suministros costos directos.

ítem	Criterio
Civil	0,1% del costo suministro mecánico
Estructural	15,4% del costo suministro mecánico
Piping	7% del costo suministro mecánico
Electricidad	10% del costo suministro mecánico
Instrumentación	1,5% del costo suministro mecánico

Tabla 4. Parámetros considerados determinación costos de transporte.

ítem	Criterio
Mecánica	4,8% del costo suministro mecánico
Piping	1,6% del costo suministro mecánico
Electricidad	6% del costo suministro mecánico
Instrumentación	0,9% del costo suministro mecánico

Tabla 5. Parámetros considerados determinación costos de construcción y montaje.

ítem	Criterio
Movimientos de tierra	60% del costo de construcción y montaje de mecánico
Civil	110% del costo de construcción y montaje de mecánico
Estructural	70,3% del costo de construcción y montaje de mecánico
Arquitectura	38,4% del costo de construcción y montaje de mecánico
Mecánica	8,3% del costo suministro mecánico
Piping	62% del costo de construcción y montaje de mecánico
Electricidad	27,4% del costo de construcción y montaje de mecánico
Instrumentación	20,6% del costo de construcción y montaje de mecánico

Costos Indirectos

Los costos indirectos constituyen lo siguiente:

- Ingeniería: 15% del costo directo de equipos (no considera equipos con contrato llave en mano).
- Puesta en Marcha: 3% del costo directo de equipos (no considera equipos con contrato llave en mano).
- Costos del Dueño: 6% del costo directo.
- Infraestructura: 10% del costo directo.

Contingencias

Los costos de inversión para el estudio fueron estimados a nivel conceptual con una contingencia de \pm 30%.

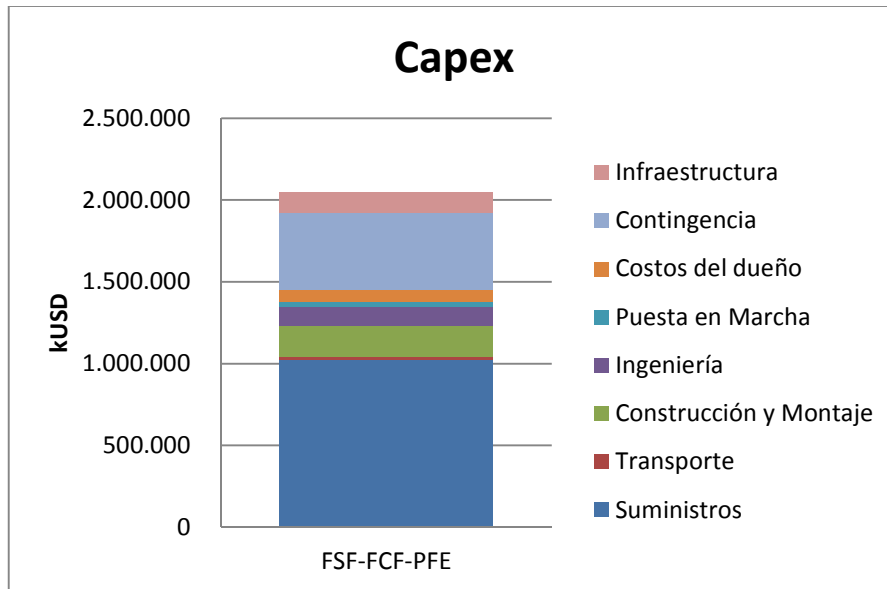
Costo de Inversión Alternativa fusión 1.500 kta de concentrados

El escenario de 1.500 kta de concentrados Este escenario considera una nueva fundición con localización a definir, utilizando configuración FSF-FCF-PFE. A continuación se muestra la tabla resumen de CAPEX.

Tabla 6. CAPEX alternativa 1.500 kta.

Descripción	FSF-FCF-PFE (1.500 kta) kUSD
Costo Directo	1.229.474
Suministros	1.022.186
Transporte	23.586
Construcción y Montaje	183.701
Costo Indirecto	343.264
Ingeniería	122.124
Puesta en Marcha	24.425
Costos del dueño	73.768
Infraestructura	122.947
Sub Total	1.572.738
Contingencias 30%	471.821
Total Inversión	2.044.560

Figura 31. Capex agrupado por naturaleza, alternativa 1.500 kta de concentrados



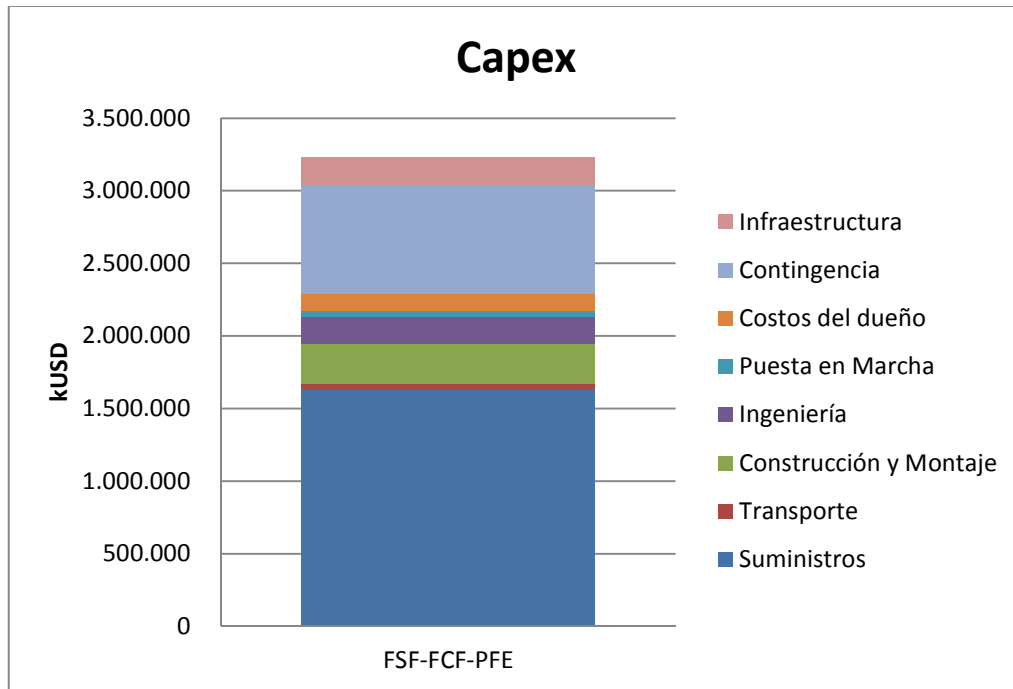
Costo de Inversión Alternativa fusión 2.500 kta de concentrados

El escenario de 2.500 kta de concentrados Este escenario considera una nueva fundición con localización a definir, utilizando configuración FSF-FCF-PFE. A continuación se muestra la tabla resumen de CAPEX.

Tabla 7. CAPEX alternativa 2.500 kta.

Descripción	FSF-FCF-PFE (2.500 kta) kUSD
Costo Directo	1.947.319
Suministros	1.630.419
Transporte	36.059
Construcción y Montaje	280.841
Costo Indirecto	535.614
Ingeniería	186.702
Puesta en Marcha	37.340
Costos del dueño	116.839
Infraestructura	194.732
Sub Total	2.482.933
Contingencias 30%	744.880
Total Inversión	3.227.813

Figura 32. Capex agrupado por naturaleza, alternativa 2.500 kta de concentrados



OPEX

Para el análisis realizado de la configuración tecnológica dada, se han establecido bases de estimación de costos de operación para los escenarios 1.500 kta y 2.500 kta. A continuación se muestra en forma resumida el Opex para cada escenario de fusión proyectado, mayor detalle se puede ver en el Anexo B de la presente tesis.

Bases de estimación

A continuación se indican las bases de estimación de costos de operación, de acuerdo a la estructura de quiebre supuesta, agrupando para cada ítem costos variables y fijos. Las bases de estimación utilizadas se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8. Bases de estimación Opex

N°	Ítem	Indicador	
		Valor	Unidad
1.	Fundición		
1.1	Costos Variables		
1.1.1	General		
	Equipo de Protección Personal	86,2	USD/persona
1.1.2	Secado de Concentrado		
	Combustible	0,38	MBTU/t conc.
1.1.3	Fusión de Concentrado		
	Combustible	0,049	MBTU/t conc.
	Caliza	19	kg/t conc.
	Sílice	147	kg/t conc.
1.1.4	Conversión		
	Combustible	0,11	MBTU/t conc.
1.1.5	Refino y Moldeo		
	Combustible	0,64	MBTU/t ánodo
1.1.6	Energía Eléctrica		
	Fundición	0,385	MWh/t conc.
1.1.7	Planta de Flotación de Escoria		
	Isobutil xantato de sodio	400	g/t conc.
	Espumante	30,000	g/t conc.
1.2	Costos Fijos		
	Refractario		
	Horno de Fusión	0,27	kg/t conc.
	Horno Eléctrico	0,11	kg/t conc.
	Horno de Conversión	0,74	kg/t blíster
	Horno de Refino a Fuego	1,30	kg/t blíster
	Suministros de Operación	23	USD/t ánodo
	Suministros de Mantenición	18,70	USD/t conc
	Transporte de escoria de descarte	0,088	USD/t esc.desc.
	Disposición de escoria de descarte	12	USD/t esc.desc.
	Mano de Obra directa	542	Operadores
	Mano de Obra indirecta	271	Operadores
2.	Planta de Ácido		
2.1.	Costos Variables		
	Combustible	0,06	MBTU/t acido
2.2.	Costos Fijos		
	Reemplazo de Catalizador	0,15	USD/t acido
	Otros Suministros	1,9	USD/t acido
3.	Planta de Tratamiento de Efluentes		
3.1.	Costos Variables		
	Químicos	0,53	USD/t ánodo
	Cal	0,20	t/t ánodo
3.2.	Costos Fijos		

N°	Ítem	Indicador	
	Suministros de Mantenición	0,354	USD/t acido
	Disposición de yeso/solido	0,022	t/t acido
4.	Suministro y distribución de agua		
	Costos Variables		
	Agua de make-up	4,10	m ³ /t conc.
	Costos Fijos		
	Suministros de Mantenición	0,72	USD/t ánodo

Contingencias

Los costos de operación para el estudio de tesis fueron estimados con una contingencia de $\pm 5\%$.

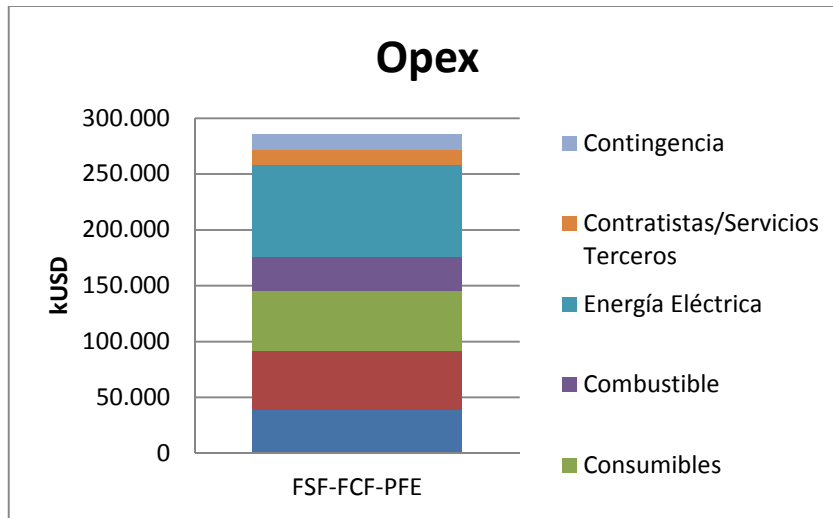
Costo de Operación Alternativa fusión 1.500 kta de concentrados

El escenario de 1.500 kta de concentrados considera la configuración FSF-FCF con planta de flotación de escorias (PFE). Cabe señalar que los costos no consideran la depreciación de activos como crédito, ni tampoco créditos por generación de energía eléctrica, o generación de ácido sulfúrico. A continuación se muestra la tabla resumen.

Tabla 9. OPEX alternativa 1.500 kta

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)
Mano de Obra	28.724
Mantenición	31.623
Consumibles	32.490
Combustible	17.945
Energía Eléctrica	49.434
Contratistas/Servicios Terceros	10.053
Contingencia 5%	8.513
Total Costos de Operación (Directos)	178.781
Total USD/t conc	119
cUSD/lb ánodos	20,4

Figura 33. OPEX alternativa 1.500 kta desagregado por naturaleza.



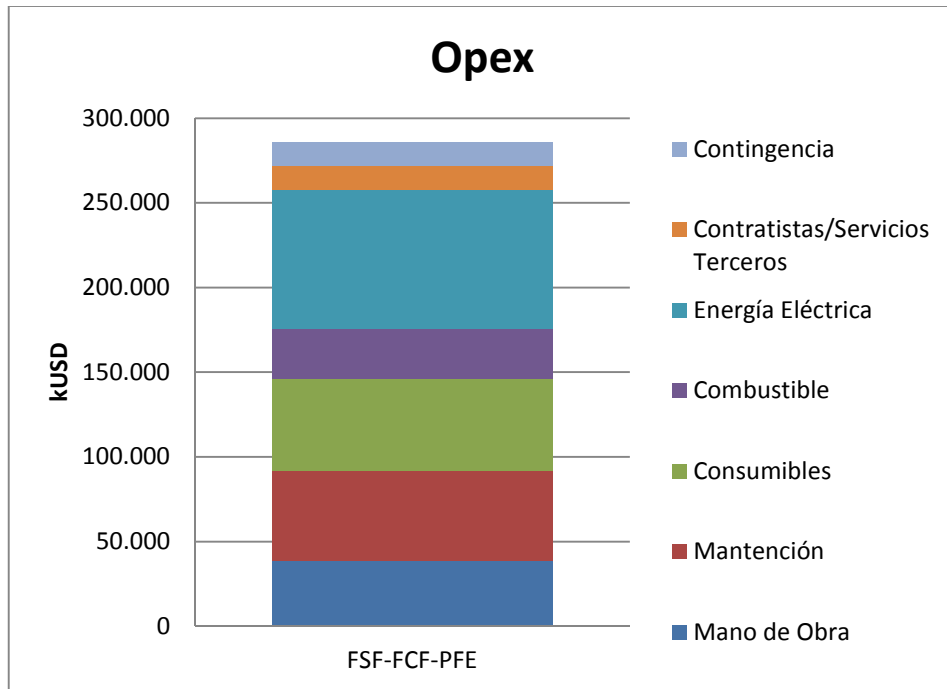
Costo de Operación Alternativa fusión 2.500 kta de concentrados

El escenario de 2.500 kta de fusión de concentrados considera la configuración FSF-FCF con planta de flotación de escorias (PFE). Cabe señalar que los costos no consideran la depreciación de activos como crédito, ni tampoco créditos por generación de energía eléctrica, o generación de ácido sulfúrico. A continuación se muestra la tabla resumen.

Tabla 10. OPEX alternativa 2.500 kta

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)
Mano de Obra	39.026
Mantenimiento	52.704
Consumibles	54.132
Combustible	29.908
Energía Eléctrica	82.390
Contratistas/Servicios Terceros	13.659
Contingencia 5%	13.591
Total Costos de Operación (Directos)	285.410
Total USD/t conc	114
cUSD/lb anodos	19,5

Figura 34. OPEX alternativa 2.500 kta desagregado por naturaleza.



MODELO DE INGRESOS

Para el análisis realizado de la configuración tecnológica dada, se ha establecido un modelo de ingresos por concepto de procesamiento de concentrados hasta ánodos y posterior pago de maquilación por llevarlos hasta cátodos grado A para los escenarios 1.500 kta y 2.500 kta. A continuación se muestra en forma resumida las bases del modelo de ingresos para cada escenario de fusión proyectado.

Bases de estimación del Modelo de Ingresos

A continuación se indican las bases del modelo de estimación de ingresos.

Tabla 11. Bases de estimación de ingresos, Disponibilidad

Ítem	Valor	Unidad
Disponibilidad	7.920	h/año

Tabla 12. Bases de estimación de ingresos, leyes

Commodity	Valor	Unidad
Cu	27,6	%
Ag	83,8	gr/t
Au	5,1	gr/t

Tabla 13. Bases de estimación de ingresos, recuperación

Commodity	Contractual		Calculada		
	Deducción gr/t (%)	Recuperación %	Fundición %	Refinería %	FURE Total %
Cu	(3,65)	96,35	98,5	99,8	98,3
Ag	20	78,70	98,5	95,8	94,3
Au	0,5	90,20	98,5	95,8	94,3

Tabla 14. Bases de estimación de ingresos, Precio commodities largo plazo

Commodity	Precio Largo Plazo USD/Oz (cUSD/lb)	Precio Largo Plazo USD/t
Cu	(290)	6.392
Ag	14,9	479.100
Au	930	29.903.537

Tabla 15. Bases de estimación de ingresos, precio ácido sulfúrico y energía eléctrica largo plazo

Ítem	Valor	Unidad
Precio Ácido Sulfúrico	100	USD/t
Precio EE	85,6	USD/MWh

Tabla 16. Bases de estimación de ingresos, precio transporte a puerto largo plazo

Ítem	Valor	Unidad
Precio Flete Cátodo	75	USD/t
Precio flete Ánodo	30	USD/t
Precio flete ácido	10	USD/t
Transporte Concentrados	71,4	USD/t

Tabla 17. Bases de estimación de ingresos, cargos por tratamiento y premios largo plazo

Cargos y premios	USD/t (cUSD/lb)	USD/t
TC	110	110
RC Total	(11)	242
RC RAF	(3)	61
Premio Cátodo - Flete		97

Tabla 18. Bases de estimación de ingresos, cargos por maquilación largo plazo

Cargos Maquilación	Valor	Unidad
RC Cu	140	USD/t
RC Ag	0,25	USD/Oz
RC Au	5	USD/Oz

Ingresos operacionales alternativa fusión 1.500 kta de concentrados

El escenario de 1.500 kta de fusión de concentrados considera la configuración FSF-FCF con planta de flotación de escorias (PFE). El modelo de ingresos considera la generación de ingresos por concepto de cargos tratamiento y premio de cátodo, ingresos por recuperación metalúrgica e ingresos por créditos por generación de energía eléctrica y ácido sulfúrico. A continuación se muestra la tabla resumen para el escenario planteado.

Tabla 19. Ingresos por concepto de cargos tratamiento y premio de cátodo

Ingreso	Valor	Unidad
Ánodos Producidos	407.680	t/año
Ingresos TC	165.000.000	USD/año
Ingresos Trans. Concentrados	80.357.143	USD/año
Ingresos RC RAF	24.709.470	USD/año
Δ Ingresos RC ER	4.822.852	USD/año
Premio Cátodo	8.951.017	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	283.840.482	USD/año

Tabla 20. Ingresos por concepto de recuperación metalúrgica

Ingreso	Valor	Unidad
Δ Rec. Metalúrgica Cu	7.974	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Ag	19,66	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Au	0,32	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Cu	49.849.592	USD/año
Δ Rec. Metalúrgica Ag	9.258.889	USD/año
Δ Rec. Metalúrgica Au	9.423.046	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	68.531.527	USD/año

Tabla 21. Ingresos por concepto generación de energía eléctrica y ácido sulfúrico

Ingreso	Valor	Unidad
Ácido Producido t/a 98%	1.484.098	t/año
Ingreso Ácido	138.409.809	USD/año
Transporte Ácido	-14.840.981	USD/año
Energía Eléctrica Producida	109.466	MWh/año
Ingreso Energía Eléctrica	9.370.265	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	132.939.093	USD/año

Tabla 22. Total Ingresos

Ítem	Valor	Unidad
Total Ingreso	485.311.102	USD/año

Ingresos operacionales alternativa fusión 2.500 kta de concentrados

El escenario de 2.500 kta de fusión de concentrados considera la configuración FSF-FCF con planta de flotación de escorias (PFE). El modelo de ingresos considera la generación de ingresos por concepto de cargos tratamiento y premio de cátodo, ingresos por recuperación metalúrgica e ingresos por créditos por generación de energía eléctrica y ácido sulfúrico. A continuación se muestra la tabla resumen para el escenario planteado.

Tabla 23. Ingresos por concepto de cargos tratamiento y premio de cátodo

Ingreso	Valor	Unidad
Ánodos Producidos	679.466	t/año
Ingresos TC	275.000.000	USD/año
Ingresos Trans. Concentrados	133.928.571	USD/año
Ingresos RC RAF	41.182.451	USD/año
Δ Ingresos RC ER	8.038.086	USD/año
Premio Cátodo	14.918.361	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	473.067.470	USD/año

Tabla 24. Ingresos por concepto de recuperación metalúrgica

Ingreso	Valor	Unidad
Δ Rec. Metalúrgica Cu	13.290	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Ag	32,76	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Au	0,53	tfinos/año
Δ Rec. Metalúrgica Cu	83.082.653	USD/año
Δ Rec. Metalúrgica Ag	15.431.482	USD/año
Δ Rec. Metalúrgica Au	15.705.076	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	114.219.211	USD/año

Tabla 25. Ingresos por concepto generación de energía eléctrica y ácido sulfúrico

Ingreso	Valor	Unidad
Ácido Producido t/a 98%	2.473.497	t/año
Ingreso Ácido	237.349.682	USD/año
Transporte Ácido	-24.734.968	USD/año
Energía Eléctrica Producida	182.443	MWh/año
Ingreso Energía Eléctrica	15.617.109	USD/año
Sub Total Ingreso Cargos y Premio	228.231.822	USD/año

Tabla 26. Total Ingresos

Ítem	Valor	Unidad
Total Ingreso	815.518.503	USD/año

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la evaluación económica de los escenarios 1.500 kta y 2.500 kta, se consideraron lo expuesto en los puntos anteriores, es decir Capex, Opex e ingresos operacionales, con esto se construyó una evaluación económica para una fundición competitiva (primer cuartil) con altos estándares de productividad y rentabilidad con foco en el sistema de manejo de gases (ejemplo japonés). A continuación se muestra en forma resumida las bases consideradas para la evaluación económica.

Bases de estimación Evaluación Económica

A continuación se indican las bases consideradas para la evaluación económica.

Tabla 27. Bases de evaluación económica.

Ítem	Valor	Unidad
Horizonte de evaluación	25	años
Periodo de inversión	5	años
Costo entrenamiento operadores antes operación	350.000	USD/año
Capacidad de producción último año inversión	60	%
Costo Plan de cierre Escenario 1.500 kta	300	MUS\$
Costo Plan de cierre Escenario 2.500 kta	400	MUS\$
Tasa de descuento privada	10	%
Tasa de descuento proyecto	8	%
Tasa de descuento social	6	%
Depreciación	10	años

Evaluación económica alternativa fusión 1.500 kta de concentrados

La evaluación económica consideró Capex, Opex e ingresos operacionales de la alternativa de fusión 1.500 kta, A continuación se muestran los resultados para diferentes tasas de descuento.

Tabla 28. Evaluación económica según tasa de descuento alternativa 1.500 kta

Item	VAN (kUSD)	IVAN
Tasa descuento 6%	525.320	0,352
Tasa descuento 8%	143.950	0,109
Tasa descuento 10%	-97.995	-0,084

Evaluación económica alternativa fusión 2.500 kta de concentrados

La evaluación económica consideró Capex, Opex e ingresos operacionales de la alternativa de fusión 2.500 kta, A continuación se muestran los resultados para diferentes tasas de descuento.

Tabla 29. Evaluación económica según tasa de descuento alternativa 2.500 kta

Item	VAN (kUSD)	IVAN
Tasa descuento 6%	1.559.651	0,665
Tasa descuento 8%	813.566	0,393
Tasa descuento 10%	323.438	0,176

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones de la tesis llevada a cabo.

Conclusiones

En Chile existen 7 fundiciones de cobre y de acuerdo a un estudio llevado a cabo por la OCDE el año 2005, se concluyó que “las actividades de fundición de cobre todavía son causantes del grueso de las emisiones y debería reducir aún más”, recomendando desarrollar normas de emisión para reducir el dióxido de azufre y los contaminantes tóxicos.

De acuerdo a información del año 2007, el Ministerio de Medio Ambiente, determinó que las fundiciones habrían contribuido con un 33% de las emisiones declaradas de MP del sector industrial, un 58% de las emisiones de SO₂ y la totalidad de emisiones de arsénico.

El Ministerio de Medio Ambiente presentó en diciembre 2013 una nueva normativa que regula las emisiones de Material Particulado, SO₂ y As, estableciendo exigencias diferenciadas para fuentes existentes y fuentes nuevas. En la normativa se establece un plazo máximo de 5 años para el cumplimiento de las fuentes existentes.

De las 7 fundiciones de concentrados de cobre, la Fundición Chagres de AngloAmerican es la única que no deberá modificar sus operaciones de captura y tratamiento de gases metalúrgicos, en función del cumplimiento de la nueva normativa medio ambiental.

El costo de implementación de la normativa asciende a 1.458 MUSD, entendiendo que las medidas de inversión corresponden a lo declarado por cada una de las operaciones al año 2010.

El costo unitario por tonelada de SO₂ abatido, es mayor en las operaciones en donde se encuentra la fijación de SO₂ declarada más cercana al cumplimiento de la normativa, esto se debe a que cada medida a implementar tiene un costo oportunidad más alto que las operaciones que poseen un mayor diferencial con respecto al límite de emisión fijado.

La competitividad de las fundiciones se mide principalmente por los costos de producción de ellas, los que están compuestos principalmente en cuatro grandes componentes: mano de obra, energía, mantención y otros gastos en terreno (generalmente servicios de terceros). Todos los componentes aportan a la conformación de indicadores de productividad, en los cuales las fundiciones nacionales están con un importante margen respecto a las fundiciones que son el benchmarking de la industria.

La productividad de las fundiciones japonesas indica que se tiene casi 4 toneladas fundidas por hombre inscrito, mientras que las fundiciones nacionales en promedio tienen 1 tonelada fundida por hombre inscrito. En la misma línea, la remuneración de los trabajadores nacionales es en promedio, la misma que la de los operadores japoneses.

La totalidad de las fundiciones japonesas posee tecnologías de procesamiento que aportan créditos al costo final que disminuyen el costo de producción, situándolas en su mayoría en el primer cuartil de costos, principalmente por la mayor captura de SO_2 (generación de H_2SO_4) y energía eléctrica. Por su parte, las fundiciones nacionales (en general) adolecen de recuperación de energía y su bajo nivel de captura de SO_2 , comparativamente con fundiciones japonesas, disminuyen los créditos posibles.

Con la exportación única de concentrados de cobre se tiene el riesgo de quedar expuesto a un aumento de descuentos por ventas concentrados más “sucios” (As y Si), posible clasificación REACH de concentrados como cancerígenos por contenido de sílice respirable (MP 2,5) mayor a 0,1%, descuentos por lavado de barcos y huella de carbono en transporte marítimo, entre otros efectos.

La capacidad logística para el almacenamiento, transporte, carguío y despacho en barcos de concentrados de cobre con características de material peligroso o cancerígeno no están implementados y su costo no está dimensionado, sin mencionar el escenario de pérdida de un escalón en la integración vertical de procesamiento de minerales de cobre sulfurados hasta cátodos.

La evaluación económica indica que los márgenes de rentabilidad para una nueva instalación son aceptables por sobre 1,5 Mt de capacidad de fusión, llegando a una

capacidad máxima probada de 2,5 Mt de concentrados fundidos. En este escenario, los montos de inversión se encuentran entre los 2.000 MUSD y 3.200 MUSD.

Los costos operacionales, contando el crédito por ácido sulfúrico y energía eléctrica producida ascienden para una fundición de 1,5 Mt de concentrados fundidos a 20,4 cUSD/lb Cu y para una fundición de 2,5 Mt de concentrados fundidos a 19,5 cUSD/lb Cu, situando ambas alternativas en el primer cuartil de costos de producción.

Los indicadores de rentabilidad económica para una fundición de 1,5 Mt de concentrados fundidos entregan un VAN entre los - 97.995 kUSD y los 525.320 kUSD aplicando una tasa de descuento de 10% y 6% respectivamente. El IVAN del escenario proyecta indicadores entre los -0,084 y los 0,352 aplicando una tasa de descuento de 10% y 6% respectivamente.

Los indicadores de rentabilidad económica para una fundición de 2,5 Mt de concentrados fundidos entregan un VAN entre los - 323.438 kUSD y los 1.559.651 MUSD aplicando una tasa de descuento de 10% y 6% respectivamente. El IVAN del escenario proyecta indicadores entre los 0,176 y los 0,665 aplicando una tasa de descuento de 10% y 6% respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la conclusión final de la presente tesis es la siguiente:

Las fundiciones nacionales que poseen una capacidad de fusión bajo 1 M de toneladas de concentrado de cobre fundido y tienen que invertir en mejoras operacionales para cumplir obligaciones de la nueva normativa, no serán capaces de asegurar un retorno al mandante.

Una fundición es siempre mucho menos rentable que una explotación minera, por ello son poquísimos los privados que se han interesado en implementar una. La creciente exportación de concentrados desde Chile así lo indica.

Existe una gran cantidad de minerales de alto contenido de impurezas que serían inexplotables o inexportables por las multas asociadas a su tratamiento y/o las restricciones del mercado.

Tomando en cuenta esta realidad, desde el punto de vista normativo, y de acceso futuro a mercado, el cobre metálico altamente puro presenta una serie de ventajas en comparación con formas menos puras, como el concentrado u otros productos intermedios.

Una nueva fundición en Chile de alta tecnología, que trate de forma eficiente concentrados complejos puede cobrar la maquila internacional habitual más una parte relevante del delta de transporte marítimo y de la proyección de multas por impurezas.

El productor tendría un mercado seguro y el fundidor marginaría algo razonable en contratos de largo plazo (sería un win-win).

Una parte relevante los concentrados que se producirán en la Zona Norte de Chile no tienen posibilidad de ser tratados en las fundiciones actuales ni tampoco pueden ser exportados sin una inversión mayor.

A continuación se presentan las recomendaciones de la tesis llevada a cabo.

Recomendaciones

Todas las fundiciones con población circundante y con capacidad menor a 1 M de toneladas de concentrado fundido no poseen el retorno de inversiones que el mandante requiere. Se propone activar planes de cierre y emprender una nueva fundición que posea un alto estándar de desempeño.

Se recomienda desarrollar desde la ingeniería conceptual, una nueva fundición que sea capaz de procesar el excedente de concentrados ocasionado por el cierre de las operaciones propuestas y fijar una nueva operación de altos estándares.

Para lograr una nueva operación, se debe formar una sociedad anónima abierta, según las leyes chilenas, para materialización el emprendimiento de la Nueva Fundición.

En Chile la empresa minera que tiene la mayor experiencia en fundiciones es Codelco (4 fundiciones) y, dispone de minerales futuros complejos que la obliga a liderar el negocio.

Codelco, sólo o con otra(s) empresas mineras integradas, crearía(n) la nueva empresa fundidora y asumiría todos los costos asociados a los estudios pre inversionales, adquisición de terrenos, negociación de contratos de tecnología, tramitación de permisos, contratos de suministros, etc. Su aporte sería cercano al 10% del capital total de la empresa (300 a 400 MUS\$).

La nueva empresa se abre a la bolsa de comercio de Chile para captación de fondos de inversión que entienden en el negocio planteado y que estén dispuestos a invertir en un negocio relativamente seguro (bajo riesgo) y rentabilidades atractivas pero menores a las de la industria minera.

El negocio deberá prosperar si se tiene asegurado al menos el 70% del abastecimiento de concentrado para los primeros 5 años. El saldo se captura por negocios con los privados exportadores y los excedentes de la mediana minería.

Codelco y otras mineras privadas aumentan su participación por un flujo parcial de concentrados sin cobro hasta controlar sobre el 40% de las acciones. Se prevé que Codelco queda como controlador de la empresa.

El saldo del Capex lo consiguió la sociedad desde la banca nacional, idealmente desde las AFP, que tienen varias veces acumulado lo que requiere la nueva Fundición.

Constituye un negocio industrial y no un negocio minero, al igual que en el hierro, la industria minera se separó de la industria metalúrgica. Vale decir, no depende de las variaciones de los precios de los metales y podría ser altamente atractivo para inversionistas no-mineros y en especial para las AFP (los montos de inversión de la nueva FU son inferiores al 20% del capital acumulado de las AFP).

En el futuro, Chile puede disminuir o eliminar su déficit habitual de ácido sulfúrico. Es decir, la nueva FU implica la producción de alrededor de 1,5 a 2,5 millones de toneladas

anuales de ácido sulfúrico adicional, de costo reducido, que podrían activar proyectos de lixiviación de minerales de baja ley en la Segunda y Tercera Región.

La ubicación de la nueva FU reactiva el uso del ferrocarril del Norte (que está habilitado), para el manejo de más de 4 millones de toneladas por año (concentrados, cátodos, ácido, otras), evitando colapsar las carreteras con camiones de productos mineros.

La mejor solución posible, parece ser una FU entre 1.500 KTCA - 2.500 KTCA ubicada en el Valle Central de la Segunda Región, con tecnología moderna y alta eficiencia metalúrgica y productividad.

9. BIBLIOGRAFÍA

Las referencias a utilizar en el proyecto de título son las siguientes.

- Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de Fundiciones de Cobre, http://www.sinia.cl/1292/articles-52008_EstudioCosto.pdf.
- Brookhunt – Wood Mackenzie 2010 / 2013, centro de estudios globales asociados a fundiciones de cobre.
- Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre, Marcelo Fernández, Conferencia Pyrotech 23.04.2013.
- Desafíos Ambientales de las Fundiciones de Concentrados de Cobre, Marcelo Fernández, Conferencia Pyrotech 23.04.2013.
- Una mirada integral de como las fundiciones abordarían los nuevos estándares medioambientales, Francisco González, Conferencia IIMCH 21.08.2012.
- Desafíos en la fijación de azufre y principales tópicos en el diseño de sistemas de manejo de gases, Francisco González, Conferencia Pyrotech 23.04.2013.
- Nueva Fundición en Chile “Estrategia para la Materialización y Financiamiento”, Juan Rayo, JRI Ingeniería, Conferencia Pyrotech 23.04.2013.
- La Legislación REACH de la Unión Europea y las Exportaciones Mineras Chilenas: Un Análisis de Impacto, COCHILCO, www.panoramaminero.com.ar/107-149-reach.pdf
- Cobre Metálico vs Concentrado, Ecosea, Noviembre 2009, http://www.ecosea.cl/pdfs/cobre_metalico_vs_cobre_particulado.pdf
- Norma para Fundiciones de Cobre: ¿Demasiadas Exigencias?, 14.09.2012, http://www.lyd.com/wp-content/files_mf/tp1079normadefundiciones.pdf.

10. ANEXO A: DETALLE CAPEX

Tabla 30. CAPEX desagregado por naturaleza alternativa 1.500 kta.

Descripción	Suministro (kUSD)	Transporte (kUSD)	Construcción y Montaje (kUSD)	Total (kUSD)
Costos Directos				
Movimientos de tierra	0	0	22.554	22.554
Civil	453	0	41.349	41.802
Estructural	69.745	0	26.426	96.170
Arquitectura	0	0	14.434	14.434
Mecánica	452.889	21.739	37.590	512.217
Piping	31.702	348	23.306	55.356
Electricidad	45.289	1.304	10.300	56.893
Instrumentación	6.793	196	7.743	14.732
Costos equipos	606.871	23.586	183.701	814.159
Contrato llave en mano	415.315	0	0	415.315
Total Costos Directos	1.022.186	23.586	183.701	1.229.474
Costos Indirectos				
Ingeniería (15% Costos Directos equipos)				122.124
Puesta en Marcha (3% Costos Directos equipos)				24.425
Costos del dueño (6% Costos Directos)				73.768
Infraestructura (10% Costos Directos)				122.947
Total Costos Indirectos				343.264
Sub Total				1.572.738
Contingencias 30%				471.821
Total				2.044.560

Tabla 31. Detalle CAPEX por suministros principales alternativa 1.500 kta.

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)	Descripción
Manejo de materiales	64.068	
Almacenamiento de concentrado	13.347	Sistema de almacenamiento, alimentación y transporte de materiales; sistema de control de polvo concentrado.
Mezcla de concentrado	10.518	Preparación de carga
Secado concentrado	14.519	Secador; sistema de alimentación y transporte; sistema de gases
Almacenamiento mata	2.962	Sistema de almacenamiento, alimentación y transporte de materiales de conversión; sistema de control de polvo mata.
Mezcla mata	2.734	Preparación de carga
Molienda y secado mata	18.659	Sistema de molienda, secado y transporte de mata
Chancado circulantes	1.328	
Producción mata	344.693	
Horno fusión	159.464	Horno de fusión (1); ollas mata y escoria.
Granulación mata	18.336	
Limpieza escoria	7.168	Ollas y transportador escoria
Planta de flotación de escorias	132.333	Contrato llave en mano
Manejo de gases y polvos de fusión	27.392	Caldera (1), precipitador electrostático (1), ventilador de tiro (1), sistema manejo de polvos.
Conversión y producción de ánodos	164.311	
Horno conversión	107.144	Horno de conversión; olla blister
Granulación escoria	7.887	
Manejo de gases y polvos de conversión	24.141	Caldera (1), precipitador electrostático (1), ventilador de tiro (1), cámara de mezcla, sistema manejo de polvos.
Refino y moldeo	25.139	Horno de ánodos (2), Rueda de moldeo 150t/d; sistema de enfriamiento
Plantas anexas	272.253	

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)	Descripción
Planta de ácido sulfúrico	191.658	Contrato llave en mano
Planta de oxígeno	72.638	Contrato llave en mano
Planta de efluentes	7.956	Contrato llave en mano
Servicios	22.879	
Aire de planta	2.314	
Sistema generación de energía de emergencia	2.112	Contrato llave en mano
Sistema manejo de agua	5.840	
Planta de reciclaje de agua	4.502	Contrato llave en mano
Planta tratamiento de agua	4.116	Contrato llave en mano
Sistema manejo de combustible	3.996	
Total	868.204	

Tabla 32. Detalle CAPEX suministro equipos por área de trabajo alternativa 1.500 kta.

Equipo	USD	Descripción equipo
Manejo de materiales		
Sistema cubierto de alimentación materiales	2.440.376	Transporte de materiales a almacenamiento
Almacenamiento cubierto de material	3.206.315	Para almacenar concentrado, sílice, circulantes y otros
Sistema cubierto de transporte materiales a mezclar	2.539.440	Transferir materiales a planta de mezcla de concentrado
Sistema de control polvo concentrado	5.161.032	controlar polvo dentro de edificio
Planta mezcla concentrado	9.964.464	
Sistema de alimentación de concentrado húmedo	553.455	Alimentar a secador
Secador de concentrado	12.763.115	
Sistema transporte concentrado seco	1.755.508	
Planta chancado circulantes	1.327.709	
Sistema cubierto de alimentación de materiales a FCF	211.491	
Almacenamiento cubierto de materiales FCF	779.229	

Equipo	USD	Descripción equipo
Sistema cubierto de transporte materiales FCF a mezclar	837.218	
Sistema de control polvo mata	1.134.412	
Planta mezcla mata	1.972.838	
Sistema de almacenamiento y alimentación a molienda mata	761.588	
Sistema de molienda mata	11.423.821	
Sistema secado mata	6.854.293	
Sistema de transporte mata	381.342	
Producción mata		
Sistema de alimentación FSF		
horno FSF	156.492.808	
Sistema agua enfriamiento primario FSF		Incluido en paquete FSF
Hornos de retención rotatorio		Incluido en Sistema de granulación de mata
Sistema de granulación mata	17.694.697	
Sistema agua enfriamiento granulación mata	641.473	
Planta de flotación de escoria	132.333.047	
Ollas mata y escoria	2.970.837	
Ollas escoria descarte	2.708.075	
Transportador olla escoria descarte	4.459.618	
caldera	19.597.727	
Precipitador electrostático	4.096.715	
Ventilador tiro inducido FSF	885.660	
Sistema manejo de polvo	2.812.204	
Conversión y producción de ánodos		
Alimentación sílice, circulantes		Incluido en paquete FCF
Horno de conversión Flash FCF	106.601.218	
pasaje		Incluido en paquete FCF
ollas blister	542.636	
Sistema agua enfriamiento FCF		Incluido en paquete FCF
caldera	12.929.854	
Precipitador electrostático	4.155.744	
Ventilador tiro inducido FCF	898.422	
Sistema manejo de polvo	3.428.328	
Cámara de mezcla	2.728.940	
Hornos de ánodos	14.078.323	2
Sistema agua enfriamiento HA	593.315	
Rueda de moldeo	9.873.988	(1), 140t/h

Equipo	USD	Descripción equipo
Sistema enfriamiento agua rueda de moldeo	593.315	
Granulación escoria	7.426.738	
Sistema agua enfriamiento granulación escoria	460.246	
Plantas anexas		
Planta de ácido sulfúrico	191.658.148	
Planta tratamiento gases de cola PAS		
Planta de oxígeno	72.416.171	
Sistema agua enfriamiento Pta oxígeno	222.114	
Planta tratamiento efluente	7.956.408	
Servicios		
Sistema aire alta presión	2.314.196	Servicios y aire instrumentación
Sopladores aire baja presión		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema agua enfriamiento sopladores baja presión		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema generación de energía		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema agua enfriamiento generación de energía		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema generación de energía de emergencia	2.111.502	
Sistema de agua enfriamiento secundario	954.298	
Sistema agua incendios	2.519.574	
Sistema de distribución y almacenamiento de combustible	3.703.518	
Unidad dispensación diesel	146.315	
Unidad dispensación petróleo	146.315	
Estación suministro agua	412.099	
Planta tratamiento de agua	4.115.617	
Sistema distribución y almacenamiento de agua industrial principal	76.513	
Planta de agua potable	71.144	
Planta tratamiento agua desmineralizada	1.110.116	
Planta agua residual	696.212	
Planta reciclaje agua	4.502.017	

Tabla 33. CAPEX desagregado por naturaleza alternativa 2.500 kta.

Descripción	Suministro (kUSD)	Transporte (kUSD)	Construcción y Montaje (kUSD)	Total (kUSD)
Costos Directos				
Movimientos de tierra	0	0	34.480	34.480
Civil	692	0	63.214	63.906
Estructural	106.626	0	40.399	147.025
Arquitectura	0	0	22.067	22.067
Mecánica	692.374	33.234	57.467	783.075
Piping	48.466	532	35.630	84.628
Electricidad	69.237	1.994	15.746	86.977
Instrumentación	10.386	299	11.838	22.523
Costos equipos	927.781	36.059	280.841	1.244.682
Contrato llave en mano	702.637	0	0	702.637
Total Costos Directos	1.630.419	36.059	280.841	1.947.319
Costos Indirectos				
Ingeniería (15% Costos Directos equipos)				186.702
Puesta en Marcha (3% Costos Directos equipos)				37.340
Costos del dueño (6% Costos Directos)				116.839
Infraestructura (10% Costos Directos)				194.732
Total Costos Indirectos				535.614
Sub Total				2.482.933
Contingencias 30%				744.880
Total				3.227.813

Tabla 34. Detalle CAPEX por suministros principales alternativa 2.500 kta.

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)	Descripción
Manejo de materiales	90.725	
Almacenamiento de concentrado	18.901	Sistema de almacenamiento, alimentación y transporte de materiales; sistema de control de polvo concentrado.
Mezcla de concentrado	14.894	Preparación de carga
Secado concentrado	20.560	Secador; sistema de alimentación y transporte; sistema de gases
Almacenamiento mata	4.195	Sistema de almacenamiento, alimentación y transporte de materiales de conversión; sistema de control de polvo mata.
Mezcla mata	3.872	Preparación de carga
Molienda y secado mata	26.423	Sistema de molienda, secado y transporte de mata
Chancado circulantes	1.880	
Producción mata	519.173	
Horno fusión	265.028	Horno de fusión (1); ollas mata y escoria.
Granulación mata	25.965	
Limpieza escoria	10.150	Ollas y transportador escoria
Planta de flotación de escorias	187.394	Contrato llave en mano
Manejo de gases y polvos de fusión	30.635	Caldera (1), precipitador electrostático (1), ventilador de tiro (1), sistema manejo de polvos.
Conversión y producción de ánodos	252.664	
Horno conversión	178.437	Horno de conversión; olla blister
Granulación escoria	11.169	
Manejo de gases y polvos de conversión	37.426	Caldera (1), precipitador electrostático (1), ventilador de tiro (1), cámara de mezcla, sist. manejo de polvos.
Refino y moldeo	25.633	Horno de ánodos (2), Rueda de moldeo 150t/d; sistema de enfriamiento
Plantas anexas	501.923	
Planta de ácido sulfúrico	319.430	Contrato llave en mano
Planta de oxígeno	171.226	Contrato llave en mano
Planta de efluentes	11.267	Contrato llave en mano
Servicios	30.526	
Aire de planta	3.277	

Descripción	FSF-FCF-PFE (kUSD)	Descripción
Sistema generación de energía de emergencia	2.990	Contrato llave en mano
Sistema manejo de agua	8.270	
Planta de reciclaje de agua	4.502	Contrato llave en mano
Planta tratamiento de agua	5.828	Contrato llave en mano
Sistema manejo de combustible	5.659	
Total	1.395.011	

Tabla 35. Detalle CAPEX suministro equipos por área de trabajo alternativa 2.500 kta.

Equipo	USD	Descripción equipo
Manejo de materiales		
Sistema cubierto de alimentación materiales	3.455.762	Transporte de materiales a almacenamiento
Almacenamiento cubierto de material	4.540.393	Para almacenar concentrado, sílice, circulantes y otros
Sistema cubierto de transporte materiales a mezclar	3.596.046	Transferir materiales a planta de mezcla de concentrado
Sistema de control polvo concentrado	7.308.424	controlar polvo dentro de edificio
Planta mezcla concentrado	14.110.459	
Sistema de alimentación de concentrado húmedo	783.736	Alimentar a secador
Secador de concentrado	18.073.566	
Sistema transporte concentrado seco	2.485.937	
Planta chancado circulantes	1.880.140	
Sistema cubierto de alimentación de materiales a FCF	299.488	
Almacenamiento cubierto de materiales FCF	1.103.449	
Sistema cubierto de transporte materiales FCF a mezclar	1.185.566	
Sistema de control polvo mata	1.606.416	
Planta mezcla mata	2.793.693	
Sistema de almacenamiento y alimentación a molienda mata	1.078.468	
Sistema de molienda mata	16.177.023	
Sistema secado mata	9.706.214	
Sistema de transporte mata	540.010	

Equipo	USD	Descripción equipo
Producción mata		
Sistema de alimentación FSF		Incluido en paquete FSF
horno FSF	260.821.347	
Sistema agua enfriamiento primario FSF		Incluido en paquete FSF
Hornos de retención rotatorio		Incluido en Sistema de granulación de mata
Sistema de granulación mata	25.057.072	
Sistema agua enfriamiento granulación mata	908.376	
Planta de flotación de escoria	187.393.921	
Ollas mata y escoria	4.206.937	
Ollas escoria descarte	3.834.846	
Transportador olla escoria descarte	6.315.167	
caldera	19.597.727	
Precipitador electrostático	5.801.268	
Ventilador tiro inducido FSF	1.254.164	
Sistema manejo de polvo	3.982.300	
Conversión y producción de ánodos		
Alimentación sílice, circulantes		Incluido en paquete FCF
Horno de conversión Flash FCF	177.668.696	
pasaje		Incluido en paquete FCF
ollas blíster	768.415	
Sistema agua enfriamiento FCF		Incluido en paquete FCF
caldera	21.549.757	
Precipitador electrostático	5.884.857	
Ventilador tiro inducido FCF	1.272.235	
Sistema manejo de polvo	4.854.779	
Cámara de mezcla	3.864.392	
Captura y tratamiento gases secundarios CPS		
Hornos de ánodos	14.078.323	2
Sistema agua enfriamiento HA	840.180	
Rueda de moldeo	9.873.988	(1), 140t/h
Sistema enfriamiento agua rueda de moldeo	840.180	
Granulación escoria	10.516.840	
Sistema agua enfriamiento granulación escoria	651.744	
Plantas anexas		
Planta de ácido sulfúrico	319.430.246	
Planta tratamiento gases de cola PAS		
Planta de oxígeno	170.911.580	

Equipo	USD	Descripción equipo
Sistema agua enfriamiento Pta. oxígeno	314.531	
Planta tratamiento efluente	11.266.895	
Servicios		
Sistema aire alta presión	3.277.081	Servicios y aire instrumentación
Sopladores aire baja presión		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema agua enfriamiento sopladores baja presión		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema generación de energía		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema agua enfriamiento generación de energía		Incluido en paquete de equipos mayores
Sistema generación de energía de emergencia	2.990.052	
Sistema de agua enfriamiento secundario	1.351.360	
Sistema agua incendios	3.567.913	
Sistema de distribución y almacenamiento de combustible	5.244.471	
Unidad dispensación diesel	207.194	
Unidad dispensación petróleo	207.194	
Estación suministro agua	583.564	
Planta tratamiento de agua	5.828.035	
Sistema distribución y almacenamiento de agua industrial principal	108.349	
Planta de agua potable	100.746	
Planta tratamiento agua desmineralizada	1.572.011	
Planta agua residual	985.890	
Planta reciclaje agua	4.502.017	

11. ANEXO B: DETALLE OPEX

Resumen OPEX desagregado por naturaleza de costo alternativa 1.500 kta

Concentrado (t/año)	1.500.000
---------------------	-----------

Escoria a Tratamiento (t/año)	826.841
Escoria tratada (t/año)	810.208
Blíster (t/año)	411.371
Ánodos	398.293
Ácido Sulfúrico 98%	1.484.098

Costo Mano de Obra Directa (USD/oper-año)	52.996	100%
Costo Mano de Obra Indirecta (USD/oper-año)	37.097	70%

Ítem	Configuración FSF-FCF-PFE	
	Unidad	Costo (USD/año)
Mano de Obra	16%	28.723.766
Mantenimiento	18%	31.622.564
Consumibles	18%	32.489.573
Combustible	10%	17.944.586
Energía Eléctrica	28%	49.434.000
Contratistas/Servicios Terceros	6%	10.053.318
Contingencia	5%	8.513.390
Total Costos de Operación (Directos)		178.781.197
Total USD/t conc.		119
cUSD/lb ánodos		20,4

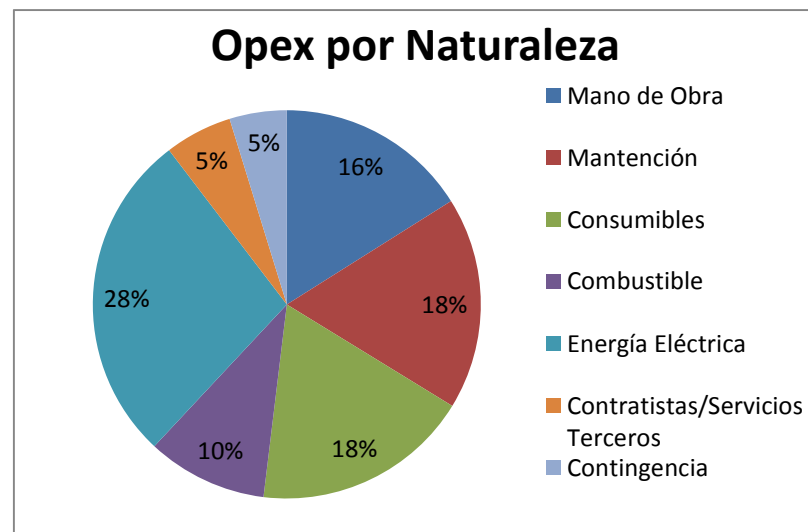


Tabla 36. OPEX detallado por área de trabajo alternativa 1.500 kta.

N°	Ítem	Indicador	Unidad	USD/Unidad	Costo (USD/año)		
	Gastos de Operación Total USD				178.781.197		
		USD/t conc.			119		
		cUSD/lb Cu			20,4		
1.	Fundición						
1.1	Costos Variables						
1.1.1	General						
	Equipo de Protección Personal	86,2	USD/persona	46.720	USD/año	1	46.720
1.1.2	Secado de Concentrado						
	Combustible	0,38	MBTU/t conc.	565.500	MBTU/año	15,1	8.544.189
1.1.3	Fusión de Concentrado						
	Combustible	0,049	MBTU/t conc.	73.500	MBTU/año	23,9	1.753.777
	Caliza	19	kg/t conc.	28.500	t/año	51,5	1.466.698
	Sílice	147	kg/t conc.	220.800	t/año	33,2	7.320.033
1.1.4	Conversión						
	Combustible	0,11	MBTU/t conc.	165.000	MBTU/año	15,1	2.493.000
1.1.5	Refino y Moldeo						
	Combustible	0,64	MBTU/t ánodo	256.500	MBTU/año	15,1	3.875.488
1.1.6	Energía Eléctrica						
	Fundición	0,385	MWh/t conc.	577.500	MWh/año	85,6	49.434.000
1.1.7	Planta de Flotación de Escoria						
	Isobutil xantato de sodio	400	g/t conc.	600	t/año	204,5	122.700
	Espumante	30,000	g/t conc.	45	t/año	3193	143.685
1.2	Costos Fijos						
	Refractario						
	Horno de Fusión	0,27	kg/t conc.	405	t/año	892	361.126
	Horno Retención	0,11	kg/t conc.	158	t/año	892	140.438
	Horno de Conversión	0,74	kg/t blíster	304	t/año	892	271.437

N°	Ítem	Indicador		Unidad		USD/Unidad	Costo (USD/año)
	Horno de Refino a Fuego	1,30	kg/t blíster	535	t/año	892	476.849
	Suministros de Operación	23	USD/t ánodo	9.160.731	USD/año	1	9.160.731
	Suministros de Mantención	18,70	USD/t conc.	28.050.000	USD/año	1	28.050.000
	Transporte de escoria de descarte	0,088	USD/t esc.desc.	71.298	USD/año	1	71.298
	Disposición de escoria de descarte	12	USD/t esc.desc.	9.722.495	USD/año	1	9.722.495
	Mano de Obra directa	542	Operadores	28.723.766	USD/año	1	28.723.766
	Mano de Obra indirecta	271	Operadores	10.053.318	USD/año	1	10.053.318
2.	Planta de Ácido						
2.1.	Costos Variables						
	Combustible	0,06	MBTU/t acido	84.594	MBTU/año	15,1	1.278.132
2.2.	Costos Fijos						
	Reemplazo de Catalizador	0,15	USD/t acido	222.615	USD/año	1	222.615
	Otros Suministros	1,9	USD/t acido	2.760.422	USD/año	1	2.760.422
3.	Planta de Tratamiento de Efluentes						
3.1.	Costos Variables						
	Químicos	0,53	USD/t ánodo	211.095	USD/año	1	211.095
	Cal	0,20	t/t ánodo	80.383	t/año	17,03	1.368.718
3.2.	Costos Fijos						
	Suministros de Mantención	0,354	USD/t acido	525.371	USD/año	1	525.371
	Disposición de yeso/solido	0,022	t/t acido	32.796	t/año	11	349.022
4.	Suministro y distribución de agua						
	Costos Variables						
	Agua de make-up	4,10	m ³ /t conc.	6.150.000	m3/año	0,17	1.033.913
	Costos Fijos	0,72	USD/t ánodo				
	Suministros de Mantención			286.771	USD/año	1	286.771
	Sub-Total						170.267.807
	Contingencia (5%)					5%	8.513.390

Resumen OPEX desagregado por naturaleza de costo alternativa 2.500 kta

Concentrado (t/año)	2.500.000
---------------------	-----------

Escoria a Tratamiento (t/año)	1.379.129
Escoria tratada (t/año)	1.350.367
Blíster (t/año)	684.004
Ánodos	663.821
Ácido Sulfúrico 98%	2.473.497

Costo Mano de Obra Directa (USD/oper-año)	52.996	100%
Costo Mano de Obra Indirecta (USD/oper-año)	37.097	70%

Ítem	Configuración FSF-FCF-PFE	
	Unidad	Costo (USD/año)
Mano de Obra	14%	39.025.694
Mantenimiento	18%	52.704.273
Consumibles	19%	54.132.208
Combustible	10%	29.907.643
Energía Eléctrica	29%	82.390.000
Contratistas/Servicios Terceros	5%	13.658.993
Contingencia	5%	13.590.941
Total Costos de Operación (Directos)		285.409.751
Total USD/t conc		114
cUSD/lb anodos		19,5

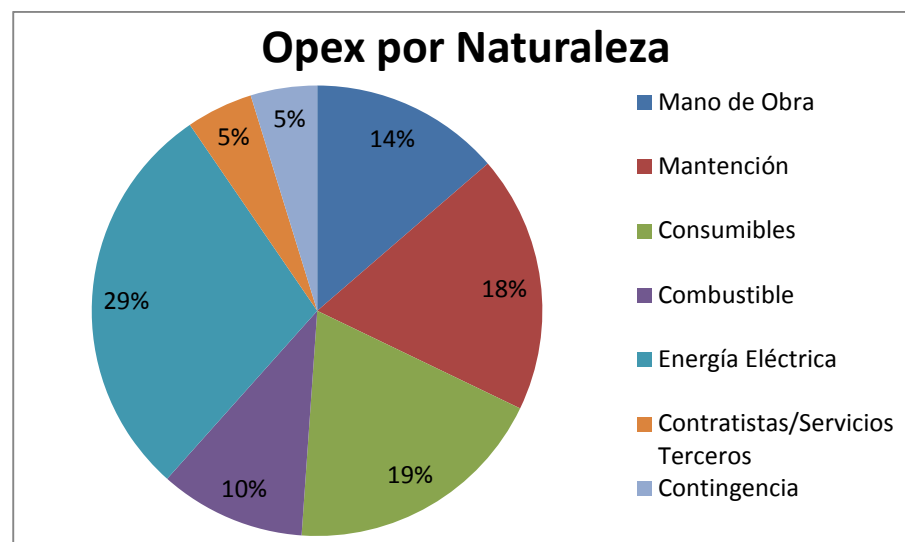


Tabla 37. OPEX detallado por área de trabajo alternativa 2.500 kta.

N°	Ítem	Indicador		Unidad		USD/Unidad	Costo (USD/año)
	Gastos de Operación Total USD						285.409.751
							114
							19,5
1.	Fundición						
1.1	Costos Variables						
1.1.1	General						
	Equipo de Protección Personal	86,2	USD/persona	63.477	USD/año	1	63.477
1.1.2	Secado de Concentrado						
	Combustible	0,38	MBTU/t conc.	942.500	MBTU/año	15,1	14.240.315
1.1.3	Fusión de Concentrado						
	Combustible	0,049	MBTU/t conc.	122.500	MBTU/año	23,9	2.922.962
	Caliza	19	kg/t conc.	47.500	t/año	51,5	2.444.497
	Sílice	147	kg/t conc.	368.000	t/año	33,2	12.200.054
1.1.4	Conversión						
	Combustible	0,11	MBTU/t conc.	275.000	MBTU/año	15,1	4.154.999
1.1.5	Refino y Moldeo						
	Combustible	0,64	MBTU/t ánodo	427.501	MBTU/año	15,1	6.459.147
1.1.6	Energía Eléctrica						
	Fundición	0,385	MWh/t conc.	962.500	MWh/año	85,6	82.390.000
1.1.7	Planta de Flotación de Escoria						
	Isobutil xantato de sodio	400	g/t conc.	1.000	t/año	204,5	204.500
	Espumante	30,000	g/t conc.	75	t/año	3193	239.475
1.2	Costos Fijos						
	Refractario						
	Horno de Fusión	0,27	kg/t conc.	675	t/año	892	601.877
	Horno Eléctrico	0,11	kg/t conc.	263	t/año	892	234.063
	Horno de Conversión	0,74	kg/t blíster	506	t/año	892	451.330

N°	Ítem	Indicador		Unidad		USD/Unidad	Costo (USD/año)
	Horno de Refino a Fuego	1,30	kg/t blíster	889	t/año	892	792.877
	Suministros de Operación	23	USD/t ánodo	15.267.885	USD/año	1	15.267.885
	Suministros de Mantención	18,70	USD/t conc.	46.750.000	USD/año	1	46.750.000
	Transporte de escoria de descarte	0,088	USD/t esc.desc.	118.832	USD/año	1	118.832
	Disposición de escoria de descarte	12	USD/t esc.desc.	16.204.403	USD/año	1	16.204.403
	Mano de Obra directa	736	Operadores	39.025.694	USD/año	1	39.025.694
	Mano de Obra indirecta	368	Operadores	13.658.993	USD/año	1	13.658.993
2.	Planta de Ácido						
2.1.	Costos Variables						
	Combustible	0,06	MBTU/t acido	140.989	MBTU/año	15,1	2.130.220
2.2.	Costos Fijos						
	Reemplazo de Catalizador	0,15	USD/t acido	371.025	USD/año	1	371.025
	Otros Suministros	1,9	USD/t acido	4.600.704	USD/año	1	4.600.704
3.	Planta de Tratamiento de Efluentes						
3.1.	Costos Variables						
	Químicos	0,53	USD/t ánodo	351.825	USD/año	1	351.825
	Cal	0,20	t/t ánodo	133.971	t/año	17,03	2.281.197
3.2.	Costos Fijos						
	Suministros de Mantención	0,354	USD/t acido	875.618	USD/año	1	875.618
	Disposición de yeso/solido	0,022	t/t acido	54.660	t/año	11	581.703
4.	Suministro y distribución de agua						
	Costos Variables						
	Agua de make-up	4,10	m ³ /t conc.	10.250.000	m3/año	0,17	1.723.188
	Costos Fijos	0,72	USD/t ánodo				
	Suministros de Mantención			477.951	USD/año	1	477.951
	Sub-Total						271.818.811
	Contingencia (5%)					5%	13.590.941

12. ANEXO C: DETALLE EVALUACIÓN ECONÓMICA

A continuación se muestra el detalle de la evaluación económica de las alternativas de fusión de 1.500 kta y 2.500 kta de concentrados.

Tabla 38. Evaluación económica detallada alternativa 1.500 kta.

FSF/FCF/PFE 1500 kta		Inversión	Ingresos	Costo operación	Depreciación	Utilidad A/I	Flujo de caja A/I	
2016	año 2	0	0	0	0	0	0	
2017	año 3	0	0	0	0	0	0	
2018	año 4	0	0	0	0	0	0	
2019	año 5	51.114	0	35.000	0	-35.000	-86.114	
2020	año 6	613.368	0	35.000	0	-35.000	-648.368	
2021	año 7	613.368	0	35.000	0	-35.000	-648.368	
2022	año 8	613.368	0	35.000	0	-35.000	-648.368	
2023	año 9	153.342	0	135.000	0	-135.000	-288.342	
2024	año 10	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2025	año 11	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2026	año 12	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2027	año 13	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2028	año 14	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2029	año 15	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2030	año 16	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2031	año 17	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2032	año 18	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2033	año 19	0	485.311	178.781	204.456	102.074	306.530	
2034	año 20	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2035	año 21	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2036	año 22	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2037	año 23	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2038	año 24	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2039	año 27	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2040	año 28	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2041	año 29	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2042	año 30	0	485.311	178.781	0	306.530	306.530	
2043	año 31	300.000	485.311	178.781	0	306.530	6.530	
TOTAL kUS\$		2.344.560	9.706.222	3.850.624	2.044.560	3.811.039	3.511.039	IVAN
VAN kUS\$							-97.995	1.169.088 -0,084
Tasa de desc.		6%						IVAN
VAN kUS\$							525.320	1.494.054 0,352
Tasa de desc.		8%						IVAN
VAN kUS\$							143.950	1.317.058 0,109

Tabla 39. Evaluación económica detallada alternativa 2.500 kta.

FSF/FCF/PFE 2500 kta		Tasa Descuento 10%							
		Inversión	Ingresos	Costo operación	Depreciación	Utilidad A/I	Flujo de caja A/I		
2016	año 0	0	0	0	0	0	0		
2017	año 1	0	0	0	0	0	0		
2018	año 2	0	0	0	0	0	0		
2019	año 3	80.695	0	35.000	0	-35.000	-115.695		
2020	año 4	968.344	0	35.000	0	-35.000	-1.003.344		
2021	año 5	968.344	0	35.000	0	-35.000	-1.003.344		
2022	año 6	968.344	0	35.000	0	-35.000	-1.003.344		
2023	año 7	242.086	489.311	185.000	0	304.311	62.225		
2024	año 8	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2025	año 9	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2026	año 10	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2027	año 11	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2028	año 12	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2029	año 13	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2030	año 14	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2031	año 15	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2032	año 16	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2033	año 17	0	815.519	285.410	322.781	207.327	530.109		
2034	año 18	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2035	año 19	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2036	año 20	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2037	año 21	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2038	año 22	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2039	año 23	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2040	año 24	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2041	año 25	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2042	año 26	0	815.519	285.410	0	530.109	530.109		
2043	año 27	400.000	815.519	285.410	0	530.109	130.109		
TOTAL kUS\$		3.627.813	16.799.681	6.033.195	3.227.813	7.538.674	7.138.674	IVAN	
VAN kUS\$							323.438	1.840.572	0,176
Tasa de desc.		6%						IVAN	
VAN kUS\$							1.559.651	2.344.309	0,665
Tasa de desc.		8%						IVAN	
VAN kUS\$							813.566	2.070.749	0,393