

EMPRESA NACIONAL DE MINERIA**Aumento Captación de SO₂ Fundición HVL
Estudio de Perfil****Informe Final
N° 000-D-RP-001****Jacobs**
Nueva Tajamar 481, Piso 19
Las Condes, SantiagoAprobación del Cliente: _____
Fecha: _____

REV	FECHA	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
A.	23/06/2011	JST/MDP		MDP	EMITIDO PARA COORDINACIÓN INTERNA
B.	24/06/2011	JST/MDP	PAC	MDP	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE

ÍNDICE

	Página
1.0 RESUMEN EJECUTIVO	5
1.1 CONCLUSIONES	5
1.2 SUGERENCIAS	11
2.0 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESO	14
3.0 CRITERIO GENERAL	15
3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	16
3.2 CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES	17
4.0 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	21
4.1 ALTERNATIVA 1: MEJORAS OPERACIONALES E INFRAESTRUCTURA	21
4.2 ALTERNATIVA 2: CAMBIO TECNOLÓGICO DE CAMPANAS PRIMARIAS	23
4.3 ALTERNATIVA 3: CAMBIO TECNOLÓGICO CON FUSIÓN ACTUAL	24
4.4 ALTERNATIVA 4: CAMBIO TECNOLÓGICO CON MAYOR FUSIÓN	25
5.0 ESTIMACIÓN DE COSTOS	28
5.1 BASES DE ESTIMACIÓN DE CAPEX	28
5.2 BASES DE ESTIMACIÓN DE OPEX	29
5.3 CAPEX	29
5.4 OPEX	40
5.5 IMPACTO EN MEJORAS DE ALTERNATIVA 1 SOBRE OPEX Y CAPEX	40
6.0 ANALISIS ECONÓMICO	42
6.1 BASES PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO	46
6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO CASO BASE	46

6.3	ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 1	46
6.4	ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVAS 2A y 2B.....	47
6.5	ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 3	47
6.6	ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 4	48
6.7	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 1	48
6.8	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2A.....	49
6.9	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2B.....	50
6.10	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 3.....	50
7.0	PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	52
8.0	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	54
8.1	CONCLUSIONES.....	54
8.2	SUGERENCIAS	60
	ANEXOS.....	62
	ANEXO 1: CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	63
	ANEXO 2: BENCHMARKING.....	64
	ANEXO 3: INFORME DE DIAGNÓSTICO ACTUAL	65
	ANEXO 4: SULPHURIC ACID PLANT – STUDY REPORT	66
	ANEXO 5: ESTIMACIÓN DE OPEX	67
	ANEXO 6: LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES.....	68
	ANEXO 7: CUBICACIONES DISCIPLINA MECÁNICA	69
	ANEXO 8: ANALISIS DE MANTENIBILIDAD Y CONSTRUCTIBILIDAD	70
	ANEXO 9: ESTIMACIÓN DE CAPEX.....	71
	ANEXO 10: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	72
	ANEXO 11: COTIZACIÓN CAMPANAS BOLIDEN OUTOTEC.....	73
	ANEXO 12: COTIZACIÓN HORNO FLASH Y AUSMELT OUTOTEC.....	74

0395 VTA



Proyecto C-587
Informe Final
000-D-RP-001
Rev. B

ANEXO 13: COTIZACIÓN CAMPANAS K'ENYUKA RSV	75
ANEXO 14: COTIZACIÓN PLANTA TRATAMIENTO GASES FUGITIVOS.....	76
ANEXO 15: ESQUEMAS DE FLUJOS DE PROCESOS.....	77
ANEXO 16: RESUMEN ESTIMACIÓN DE EMISIONES	78

1.0 RESUMEN EJECUTIVO

Las alternativas definidas para el desarrollado de este Estudio de Perfil son las siguientes:

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura. Implica mantener en uso la tecnología actual, pero realizando mejoras en el sistema de captación (campana primaria) y manejo (ductos) y conducción (VTI) de gases de procesos a PAS y mejoras en las Plantas de Ácido (nuevo catalizador y torre de absorción para cada planta, así como instalación de una Planta de Bisulfito de Sodio para tratamiento de gases de cola).

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias. Implica mantener en uso la tecnología actual de fusión, realizando reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero (Alternativa 2A: K'enyuka, Sudáfrica, y Alternativa 2B: Boliden Outotec, Suecia), tanto en el CT como en los CPS, así como cambios del sistema de manejo de gases (ductos), conducción de gases (VTI) a PAS e instalación de una nueva Planta de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual. Implica reemplazar el uso de la tecnología de fusión actual por otra que permita obtener una mayor captación de SO_2 , instalar el nuevo sistema de manejo (ductos), limpieza (caldera y precipitador electrostático) y conducción (VTI) de gases primarios de la nueva tecnología de fusión, manteniendo el reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero en CPS (se ha considerado las campanas Boliden Outotec), así como reemplazo del sistema de manejo de gases (ductos), reemplazo del sistema de conducción de gases (VTI) desde CPS a PAS y nueva Planta de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 4: Cambio Tecnológico con Fusión Aumentada. Implica reemplazar el uso de la tecnología de fusión actual por otra que permita obtener a la vez una mayor captación de SO_2 y aumentar la capacidad de fusión de concentrados a valores mayores que el máximo de la condición de diseño actual con Convertidor Teniente (380.000 t/año). Finalmente se optó por descartar esta Alternativa ya que representaba CAPEX extremadamente altos por cambios en el Layout de la Fundición, lo que significaba en la práctica instalar una nueva Fundición.

1.1 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de los diversos análisis efectuados en este estudio, se ha concluido lo que se indica en lo que sigue.

1.1.1 Análisis de Alternativas

A partir del análisis de las alternativas definidas, se ha obtenido las siguientes conclusiones:

Situación Actual: Caso Base

La operación actual del complejo Fundición – PAS de ENAMI ostenta una captación de 89% de SO_2 . Las emisiones de gases fugitivos representan 11%, desglosadas de la siguiente manera: 7,2% por la Fundición y 3,8% por las Plantas de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura

La operación de la Fundición bajo esta alternativa ostentaría una captación de 93% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 6,75% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

En la operación de sistemas combinados CT - CPS, el logro de captaciones de SO₂ sobre 97% se ve difícil de alcanzar.

En el funcionamiento de las PAS, debe tenerse en cuenta que la antigüedad de éstas conlleva una situación de imponderables operacionales difíciles de pronosticar, aún cuando se tengan planes estrictos de mantenimiento.

La instalación de sistemas de captación de gases fugitivos en las inmediaciones de las campanas primarias implica severas interferencias con estructuras de la Nave Principal y del CT y CPS.

Lo apropiado sería dotar de los sistemas de captación de gases fugitivos sólo en las canaletas de traspaso de líquidos en CT y HELE. Para el tratamiento de estos gases fugitivos es necesario disponer de una Planta de Tratamiento de Gases Fugitivos, que neutralice el SO₂ como yeso u otro residuo sólido, para el cual es necesaria su disposición en forma sustentable ambientalmente.

Aún cuando se realicen las modificaciones operacionales y de infraestructura planteadas, lo que involucra una mejora sustancial de la situación actual desplazando la captación de SO₂ desde 89% hasta un valor cercano a 93,4%, no permite cumplir el escenario de captación de azufre con más baja exigencia definido para este estudio, es decir, 95%.

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 2A ostentaría una captación de 94,3% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 5,45% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 2B ostentaría una captación de 96,5% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 3,25% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 3 ostentaría una captación de 98,25% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 1,5% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

1.1.2 Análisis de CAPEX

Los costos de capital que debieran ser incurridos al implementar cada una de las Alternativas analizadas en este Estudio de Perfil se muestran en el cuadro de página siguiente.

CAPEX POR ALTERNATIVAS DEL ESTUDIO DE PERFIL

ALTERNATIV A	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA	CAPEX, MUS\$
1	Mejoras Operacionales e Infraestructura * Nuevas campanas CT y CPS nacionales * Nuevos ductos de Gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Cambio de catalizador en Plantas de Ácido * Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio	89,01
2A	Campanas K'enyuka y Cambio Tecnológico en PAS * Nuevas campanas K'enyuka en CT y CPS * Nuevos ductos de gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	202,87
2B	Campanas Boliden y Cambio Tecnológico en PAS * Nuevas campanas Boliden en CT y CPS * Nuevos ductos de gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	204,13
3	Cambio Tecnología Fusión y PAS, Campanas Boliden * Nueva tecnología de fusión: Flash Smelting o Ausmelt * Nuevas campanas Boliden en CPS * Nuevos ductos de gases CPS * Nuevos VTI en tren de gases CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	413,23

1.1.3 Análisis de OPEX

Los costos de operación del Caso Base así como los costos diferenciales anuales de las Alternativas versus el Caso Base se muestran en el cuadro siguiente.

OPEX POR ALTERNATIVAS DEL ESTUDIO DE PERFIL

Ítem	Unidad	Costo Diferencial Anual			
		Caso Base	Alternativa 1	Alternativa 2 A	Alternativa 2 B
Energía					
Costo Unitario	US\$/kWh	0,19	0,189	0,185	0,176
Energía Eléctrica (incluye transmisión)		5.895.555	1.190.621	-2.083.818	-2.166.202
Agua					
Costo Unitario	US\$/m ³	0,896	0,887	0,865	0,828
Agua		314.246	4.796	-235.720	-237.483
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,19	1,18	1,11
Agua Tratada Planta de Ácido		325.537	849.766	-127.231	-131.883
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,20	1,20	1,20
Agua Tratada Fundición		0	0	62.052	95.541
Mano de Obra					
Costo Unitario	US\$/Hombr e	1.900	1.900	1.900	1.900
Planta de Ácido		41.800	0	-20.900	-20.900
Mantenimiento Planta de Ácido	US\$/año	1.077.498	120.000	676.502	676.502
Planta de Tratamiento SDS					
Costo Unitario	US\$/t	0	595	0	0
Hidróxido de sodio (50%)		0	9.284.231	0	0
Costo Unitario	US\$/kWh	0	0,19	0	0
Energía Eléctrica		0	426.919	0	0
Costo Unitario	US\$/m ³	0	0,896	0	0
Agua de proceso		0	1.491	0	0
Costo de Operación Diferencial			11.877.844	-1.728.916	-1.767.328

El cuadro siguiente muestra el efecto de cada una de las mejoras operacionales del complejo Fundición -- Plantas de Ácido sobre el CAPEX y OPEX

Alternativa 1	Captación de \$ %	CAPEX USD	ΔOPEX USD
Sólo mejoramientos en tren de gases	89,8	15.161.870	ND
Mejoramiento en tren de gases y cambio de catalizador	93,1	66.983.479	2.165.000
Mejoramiento en tren de gases, cambio de catalizador y Planta de Tratamiento de Bisulfito de Sodio	93,4	89.014.460	11.877.844

1.1.4 Evaluación Económica

En concordancia con las bases definidas para la evaluación económica, el VAN del Caso Base es de 169 MUS\$/año.

Alternativa 1. Al realizar una evaluación económica, considerando 340.000 y 380.000 t/año de fusión de concentrados, se ha obtenido los resultados mostrados en el cuadro siguiente.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 1

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	66,98	22,65	105,3
380.000	66,98	26,30	133,1

Alternativas 2A y 2B. Al realizar una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, compatible con la capacidad sin cambio tecnológico, se ha obtenido los resultados mostrados en los cuadros siguientes.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 2A

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	202,87	23,08	-27,3
380.000	202,87	26,78	0,84

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 2B

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	203,51	23,22	-26,9
380.000	203,51	26,94	1,42

Alternativa 3. Al realizar una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, se ha obtenido los resultados mostrados en el cuadro siguiente.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 3

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	413,23	23,44	-235,0
380.000	413,23	27,18	-206,5

Desde la perspectiva de evaluación económica privada, ninguna de las Alternativas es negocio; no obstante, ENAMI deberá realizar una evaluación económica desde el punto de vista social para decidir finalmente cuál o cuáles son las Alternativas que deberán seguir en estudio en etapas futuras. La Alternativa 1 pareciera ser una buena opción para el corto plazo, pues conduciría a un mejoramiento sustancial de la condición actual, descomprimiendo la presión comunitaria que se ha cernido sobre la Fundación HVL. En el mediano plazo, quizás en forma paralela al desarrollo de la Alternativa 1 para levantar los cuellos de botella actuales, pueden realizarse los estudios pertinentes para implementar un proyecto Fundación HVL que permita

lograr la meta que definirá la autoridad ambiental en relación con la captación de SO₂ en las Fundiciones nacionales.

1.1.5 Análisis de Sensibilidad

El cuadro siguiente resume los resultados del análisis de sensibilidad del VAN Diferencial de las Alternativas versus Caso Base.

ΔVAN DE ALTERNATIVAS VERSUS CASO BASE (340.000 t/año)

Alternativa	VAN Alternativa, MUS\$/año	VAN Caso Base, MUS\$/año	ΔVAN/año
1	105,3	169	-63,7
2A	-27,3	169	-196,3
2B	-26,9	169	-195,9
3	-235,0	169	-404,0

1.1.6 Plan de Ejecución del Proyecto

Considerando la calidad y cantidad de información que se tiene en este nivel de precisión del Estudio, se ha efectuado un análisis para llevar a cabo un Plan de Ejecución del Proyecto en dos fases, a saber:

- Fase I: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre lo más cercana posible a 94%. Se propone tomar la Alternativa 1 y desarrollar el Proyecto llevando a cabo los Estudios de Prefactibilidad - Factibilidad y EPCM en un periodo no mayor que 2 años.
- Fase II: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre mayor que 98%. Se propone tomar las Alternativas 2 y 3, y desarrollar el Proyecto llevando cabo separadamente el Estudio de Prefactibilidad (en el cual se haría un estudio de trade-off para las Alternativas 2 y 3), Estudio de Factibilidad (de la Alternativa seleccionada) y EPCM en un periodo de 4 años.

1.2 SUGERENCIAS

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura

Para que el nuevo catalizador a utilizar tenga un buen desempeño y larga duración, se sugiere que el flujo de gases desde la Fundición a Plantas de Ácido sea regulado a una condición estable y de composición relativamente pareja, estimándose que los flujos y composiciones de SO₂ en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características: PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂ y PAS2 (CT): 80.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂.

Para cumplir lo anterior, se sugiere traslapar los ciclos de CPS en 13 minutos controlándose el contenido de SO_2 en los primeros minutos del ciclo y, además, evitando lapsos sin generación de gases desde CPS a Planta de Ácido. Con esto se podrían realizar 11 ciclos diarios, uno más que los realizados en la actualidad. Para mantener este traslape, con los dos CPS existentes, el ciclo de conversión aumentaría desde 105 minutos a 131 minutos.

Bajo el escenario de operación antes mencionado, como una forma de proporcionar la flexibilidad operacional requerida, es necesario disponer de un tercer CPS, el cual se sugiere podría instalarse en la posición del Convertidor Hoboken existente en la Fundición.

*Esto implica
instalar un
3er convertidor,
el cual no
está valorado
do.*

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias

Como una opción para aumentar marginalmente la capacidad de fusión de concentrados, se sugiere analizar la posibilidad de reemplazar el CT actual por otro que, además de superar la capacidad de procesamiento tenga un diseño acorde con un análisis que considere la teoría del diseño de reactores y del funcionamiento fluidodinámico del mismo.

La opción mencionada, sumado a las acciones de reemplazo tecnológico de campanas nacionales y reemplazo de ductos y VTI, además de la instalación de una nueva Planta de Ácido, sugieren ser buenas alternativas susceptibles de analizar en una etapa futura.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual

Para capacidades de fusión de concentrados similares al Caso Base de la Fundición HVL, entre 330.000 y 350.000 tpa, sólo se ha encontrado un par de aplicaciones de tecnologías comercialmente consolidadas diferentes a la tecnología Convertidor Teniente a nivel mundial, las que corresponden a la tecnología Ausmelt con unidades instaladas y operando en Anhui Tongdu Copper (Tongling City, China, 330.000 tpa) y Birla Copper (Dahej, India, 350.000 tpa). Para la tecnología Flash Smelting Outotec, existe una aplicación comercial de la tecnología en la Fundición de RTB (Bor, Serbia, 300.000 tpa).

Si la decisión de la autoridad ambiental fuese obligar a los planteles de Fundición del país a capturar una proporción igual o mayor que 98% de SO_2 , entonces, las tecnologías de fusión Ausmelt y Flash Smelting de Outotec cumplirían con tal exigencia ambiental.

Sugerencias para Futuros Estudios en Etapa Siguierte

Alternativa 1. Bajo el escenario de operación de los dos CPS existentes con traslape, el ciclo de conversión aumentaría desde 105 minutos a 131 minutos. Una forma de proporcionar la flexibilidad operacional requerida, es necesario disponer de un tercer CPS, el cual podría instalarse en la posición del Convertidor Hoboken existente en la Fundición. Se sugiere analizar esta alternativa de proceso.

Alternativa 2. Como una opción para aumentar la capacidad de fusión de concentrados, se sugiere analizar la posibilidad de reemplazar el CT actual por otro que, además de superar la capacidad de procesamiento tenga un diseño acorde con un análisis que considere la teoría del diseño de reactores y del funcionamiento fluidodinámico del mismo. Esta opción, sumado a las acciones de reemplazo de campanas nacionales, reemplazo de ductos y VTI, además de la

incorporación de una nueva y completa Planta de Ácido, sugieren ser buenas alternativas susceptibles de analizar en una etapa futura del estudio.

Alternativa 3. Si la decisión de la autoridad ambiental fuese obligar a los planteles de Fundición del país a capturar una proporción igual o mayor que cierta cifra; por ejemplo, entre 96 y 97% de SO_2 ; entonces, se sugiere realizar un estudio de Trade-off entre las opciones de cambio tecnológico de Outotec: Flash Smelting y Ausmelt. Con ello, se verificará cuál de las dos tecnologías puede ser más competitiva desde un punto de vista técnico-económico. Ya que en la medida que se avance en el estudio se aumenta la precisión de la estimación de CAPEX, esto puede conducir a una mejor decisión al disponer de mejor información.

2.0 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 INTRODUCCIÓN

La Empresa Nacional de Minería, ha encargado a Jacobs, el desarrollo en el nivel de perfil del Estudio Aumento de Captación de SO₂ en la Fundición HVL a través de la optimización de las captaciones de gas sulfuroso analizando proyectos de mejoras operacionales en la captación, manejo y tratamiento de gases (primarios y fugitivos), manteniendo la configuración tecnológica actual de la Fundición, considerando dos escenarios de captación de SO₂: 95 y 98%. Asimismo, se analizan las opciones de proyectos de ingeniería para mejorar la captación de SO₂ recurriendo a cambios en las instalaciones y mejoramiento o reemplazo de equipos principales con inversiones menores o moderadas.

2.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESO

La configuración actual de la Fundición HVL usa tecnología convencional basada en un Convertidor Teniente, como reactor de fusión de concentrados, dos Convertidores Peirce-Smith, como reactores de conversión de metal blanco a cobre blister, un Horno Basculante, como reactor de refinación a fuego de cobre blister a cobre anódico y dos Plantas de Ácido. Los reactores de fusión y conversión usan oxígeno técnico proveniente de una Planta de Oxígeno. Asimismo, los reactores de fusión y conversión, que generan las emisiones fugitivas principales, están dotados con campanas de captación primarias simples, trenes de manejo de gases y sistemas de VTI para la impulsión de gases hacia las Plantas de Ácido.

La Fundición HVL opera dos Plantas de Ácido Sulfúrico de simple contacto y simple absorción (SCSA). La Planta de Ácido Sulfúrico N° 1 (PAS1) fue originalmente construido por MECHIM S.A. de tecnología R. Parsons, iniciando sus operaciones en el año 1970. La Planta de Ácido Sulfúrico N° 2 (PAS2) fue originalmente construida para Compañía Minera Disputada de Las Condes (actualmente Anglo American Chile – División Chagres) por Panamerican Consulting International de tecnología Monsanto, iniciando sus operaciones en el año 1972. La PAS2 fue puesta fuera de servicio, desmontada, transportada, nuevamente montada y puesta en servicio en las instalaciones de la Fundición HVL en el año 1997.

A través de los años de operación, varios equipos de la PAS1 y PAS2 han sido reemplazados por distintos proveedores de tecnología de plantas de ácido sulfúrico. A pesar de los diversos equipos que han sido reemplazados, éstos han sido del mismo tamaño y diseños similares a las plantas originales. Ambas plantas aún conservan sus Convertidores Catalíticos originales.

Las fuentes de alimentación de gases de las PAS son del Convertidor Teniente (CT) y de los Convertidores Peirce Smith (CPS). Las PAS están diseñadas para recibir gases en forma continúa del CT y de sólo uno de los CPS. La gran mayoría de los gases de SO₂ de alta concentración del CT son recibidos por la PAS2. Los gases de SO₂ de baja concentración de los CPS son solamente recibidos por la PAS1. Una fracción (5-15%) de los gases del CT, es mezclada intermitentemente con los gases del CPS antes de ser recibidos por la PAS1. El sistema de manejo de gases actual no permite la introducción de gases de CPS a PAS2.

3.0 CRITERIO GENERAL

En este Capítulo se proporcionan parámetros de diseño de procesos más relevantes para ser utilizados en el análisis de las emisiones de azufre de la Fundición Hernán Videla Lira y de las Plantas de Ácido. Para ello, se ha utilizado como base la información estadística de procesos, tanto de la Fundición como de las Plantas de Ácido, proporcionada por ENAMI, los antecedentes recopilados durante las visitas técnicas que Jacobs ha realizado a la Fundición HVL, antecedentes de reuniones de coordinación interna y con la participación de ENAMI y de información propia de Jacobs, aplicada a proyectos similares.

Entre los documentos proporcionados por ENAMI, se destacan los siguientes:

- Flujo, Composición química y mineralógica de concentrados y otros al CT, HELE y CPS
- Composición química productos CT, HELE, CPS, HA y circulantes
- Distribución impurezas As, Sb, Pb en CT, HELE, CPS
- Estadístico Enero 2011
- Plano General de Emergencias
- Diagramas de Proceso Manejo de Gases
- Informe Modificaciones y Mejoras Tren de Gases CT y CPS
- Plano Reemplazo y Montaje Nueva Torre de Absorción
- Secuencia operativa 31/01/2011 (CT, HELE, CPS3, HA, Planta PICS)
- Características y curvas de Ventiladores
- Estadística Ácido y RILES
- Disponibilidad PAS

Significado de Siglas:

CT : Convertidor Teniente
HELE : Horno Eléctrico Limpieza de Escoria
CPS : Convertidor Pierce Smith
HA : Horno de Ánodos
PICS : Planta Inyección Concentrado Seco
PAS : Planta de Ácido

A continuación se resumen diversos aspectos relacionados con los criterios de diseño, los que en su integridad se adjuntan en el Anexo 1: Criterios de Diseño Generales

3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

La Tabla 3.1 muestra los diferentes códigos para las fuentes de información como referencia del origen de cada dato, que se han empleado durante la estructuración del modelo METSIM y desarrollo de este Estudio de Perfil.

Tabla 3.1 – Códigos para Fuentes de Información.

Código	Fuente
A	Proporcionado por el Cliente
B	Dato medido o de ensayo
C	Práctica industrial estándar
D	Información originada por el Proveedor
E	Recomendación de Jacobs
F	Información del Manual de Ingeniería
G	Información derivada de cálculos de proceso
I	Operación actual
TBA	Pendiente. Información a ser confirmada o entregada más adelante.

3.2 CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES

La Tabla 3.2 muestra la caracterización mineralógica y química de la mezcla de concentrados que alimentan la Fundición.

La Tabla 3.3 muestra los principales parámetros operacionales del Convertidor Teniente, utilizados en este estudio.

La Tabla 3.4 muestra los principales parámetros operacionales del Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria.

Las Tablas 3.5 y 3.6 muestran los principales parámetros operacionales de los Convertidores Peirce-Smith.

Tabla 3.2 - Caracterización Mineralógica y Química de la Mezcla de Concentrados de Fundición HVL.

Composición Mineralógica (*)	%Peso	Composición Química (*)	%Peso
SiO ₂	5,71	O	7,67
Cu ₂ S	2,20	Mg	0,30
CuFeS ₂	60,15	Al	4,12
Cu ₅ FeS ₄	6,45	Si	2,75
Cu ₃ AsS ₄	0,18	S	30,21
CuS	0,10	Ca	0,64
Cu ₂ O	0,10	Fe	25,36
FeS ₂	11,85	Cu	26,91
Fe ₂ O ₃	0,40	Zn	0,67
Fe ₃ O ₄	0,30	As	0,035
Fe ₂ SiO ₄	0,60	Mo	0,30
Bi ₂ S ₃	0,015	Ag	0,0095
MgO	0,50	Sb	0,0200
MoS ₂	0,50	Au	0,0005
PbS	1,00	Pb	0,87
Sb ₂ S ₃	0,028	Bi	0,12
ZnS	1,00	TOTAL	100,0
Al ₂ O ₃	1,00		
CaO	0,90		
Ag	0,0095		
Au	0,0005		
Otros (Al-Ca-Si)	7,00		
TOTAL	100,0		

(*) Datos promedio de composición mineralógica y química acordados con ENAMI

Tabla 3.3 - Criterios de Diseño Convertidor Teniente

Criterios de Diseño Procesos para Convertidor Teniente (**)	Valor	Unidades	Fuente
Razón Fe_{total}/SiO_2	1,7	%	A
Razón concentrado/aire para inyección de concentrado	150	kg conc/kg aire	E
Enriquecimiento de oxígeno	37	%	A
Eficiencia de oxígeno	89	%	A
Aire garr-gun	2.700	Nm ³ /h	A
Generación de polvos CT	5,3	g/Nm ³	A
Ley Cu metal blanco CT	74	%	A
Ley Cu escoria CT	11	%	A
Magnetita en metal blanco CT	0,85	%	A
Magnetita en Escoria CT	21	%	A
Aire dilución campana CT	120	%	A
Aire infiltración precámara ER CT	10	%	A
Aire infiltración ER CT	10	%	A
Aire infiltración ductos hasta precipitadores	12	%	A
Aire infiltración precipitadores	15	%	A
Captación de gases en boca	95	%	A
Gases CT a tren de gases CPS (*)	15	%	A

(*) Porcentaje de gases tren CT a tren CPS

(**) Datos promedio de información real entregada y acordada con ENAMI

Tabla 3.4 - Criterios de Diseño Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria

Criterios de Diseño Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria (*)	Valor	Unidades	Fuente
Razón kg carbón/tonelada de escoria	19	kg carbón/t esc	
Temperatura gases entrada PPEE	380	°C	A
Total gases entrada PPEE	25.000-30.000	Nm ³ /h	A
Adición de pasta electródica	0,9	kg pasta/t esc CT	A
Cu en metal blanco HELE	77	%	A
Cu en escoria HELE	0,9	%	A
Magnetita en metal blanco HELE	1,4	%	A
Magnetita en escoria HELE	7	%	A

(*) Datos promedio de información real entregada y acordada con ENAMI

Tabla 3.5 - Criterios de Diseño Convertidores Peirce-Smith.
 CPS-2

Criterios de Diseño Procesos para Convertidor PS-2 (*)	Valor	Unidades	Fuente
Enriquecimiento de oxígeno	28	%	A
Eficiencia de oxígeno	79	%	A
Generación de polvos CPS	12,0	g/Nm ³	A
Captación de gases en boca	92	%	A
Ley del cobre en blister	98,5	%	A
S en cobre blister	1.800	ppm	A
Aire dilución campana CPS	120	%	A
Aire infiltración precámara ER	10	%	A
Aire infiltración ER	10	%	A
Aire infiltración ductos hasta precipitadores	10	%	A
Aire infiltración ductos mezcla	15	%	A
Aire infiltración VTI	10	%	A

(*) Datos promedio de información real entregada y acordada con ENAMI

 Tabla 3.6 - Criterios de Diseño Convertidores Peirce-Smith.
 CPS-3

Criterios de Diseño Procesos para Convertidor PS-3 (*)	Valor	Unidades	Fuente
Enriquecimiento de oxígeno	28	%	A
Eficiencia de oxígeno	79	%	A
Generación de polvos CPS	12,0	g/Nm ³	A
Captación de gases en boca	92	%	A
Ley del cobre en blister	98,5	%	A
S en cobre blister	1.800	ppm	A
Aire dilución campana CPS	120	%	A
Aire infiltración precámara	10	%	A
Aire infiltración enfriamiento evaporativo	10	%	A
Aire infiltración ductos hasta precipitadores	8	%	A
Aire infiltración ductos mezcla	7	%	A
Aire infiltración VTI	8	%	A

(*) Datos promedio de información real entregada y acordada con ENAMI

La Tabla 3.7 muestra los principales puntos de emisión de gases considerados en el análisis del presente Estudio de Perfil.

Tabla 3.7 – Puntos de Emisión de Gases Fugitivos.

Fuente	Punto de Emisión
Convertidor Teniente	<ul style="list-style-type: none"> • Campana primaria • Sangría, canaleta y olla de metal blanco • Sangría, canaleta y olla de escoria
Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria	<ul style="list-style-type: none"> • Canaleta de recepción de escoria CT • Sangría, canaleta y olla de metal blanco • Gases Chimenea principal
Convertidores Peirce-Smith	<ul style="list-style-type: none"> • Campana primaria • Recepción de metal blanco CT y HELE • Recepción de carga fría • Descarga de cobre blister y escoria mazamorra
Horno de Retención – Horno de Ánodos	<ul style="list-style-type: none"> • Carga de cobre blister • Desulfuración del cobre
Plantas de Ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga de gases de cola

La Tabla 3.8 muestra los principales criterios adoptados para estimar la distribución de gases fugitivos en los diferentes puntos de emisión de la Fundición.

Tabla 3.8 - Criterios de Diseño para Estimación de Gases Fugitivos

Criterios de Diseño para Estimación de Gases Fugitivos	Valor % (*)	Fuente
Campana CT	5,00	A,E
Manejo metal blanco CT (**)	0,45	A,E
Manejo escoria CT (**)	0,05	A,E
Manejo metal blanco HELE (**)	0,03	A,E
Manejo escoria HELE (**)	0,01	A,E
Campana CPS	8,00	A,E
Manejo cobre blister CPS (**)	0,49	A,E
Carguío de carga fría a CPS	0,31	A,E
Horno de Ánodos y Horno de Retención	0,15	A,E
Chimenea principal	0,06	A,E

(*) Porcentajes referidos al total de S alimentado a Fundición, excepto gases campana que corresponden a % de gases en boca.

(**) Considera la sangría o giro reactor, canaleta, olla, traslado y movimiento de líquidos.

4.0 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este Capítulo se analizan cuatro alternativas para la disminución de la emisión de gases fugitivos, tanto en la Fundición como en Planta de Ácido, considerando dos escenarios de captación de SO₂: 95% y 98%. Antes de ello, en la tabla 4.1 se muestran los antecedentes actuales referentes a captación y emisión de azufre en la Fundición HVL.

Tabla 4.1 – Situación Actual de Captación y Emisión de SO₂. Caso Base

Situación Actual	Emisión, %		Total
	Fundición	PAS	
Caso Base: Total de Emisión de SO ₂	7,2	3,8	11%
Caso Base: Captación de SO ₂			89%

4.1 ALTERNATIVA 1: MEJORAS OPERACIONALES E INFRAESTRUCTURA

Esta alternativa implica mantener en uso la tecnología actual, pero realizando mejoras en el sistema de captación (campana primaria) y manejo (ductos) y conducción (VTI) de gases de procesos a PAS y mejoras en las Plantas de Ácido (nuevo catalizador y torre de absorción para cada planta, así como instalación de una Planta de Bisulfito de Sodio para tratamiento de gases de cola). El análisis de los balances de azufre se estudiaron en ocasión del desarrollo del documento 000-T-TR-001: Diagnóstico Operacional Actual, Rev. P1, de este estudio.

La Tabla 4.2 muestra un resumen de consideraciones que se han analizado para verificar el aporte al mejoramiento de la captación de SO₂, en relación con el Caso Base, tanto de la Fundición como en las Plantas de Ácido, cuando se realizan mejoras operacionales y de infraestructura con CAPEX relativamente bajo (70 MUS\$). El mejoramiento en la captación de SO₂ según la implementación de esta alternativa es insuficiente en relación con la meta de captación de 95% de SO₂. Es evidente que si esta alternativa no es capaz de captar 95%, el análisis del escenario de captación de SO₂ de 98%, se hace estéril.

Como se puede apreciar en la Tabla 4.2, la Alternativa 1 considera la continuidad operacional y capacidad actual del Convertidor Teniente en la Fundición y un significativo incremento de la conversión de gases primarios capturados en las Plantas de Ácido. Lo anterior significa reducir la emisión desde 7,2% a 6,75% en la Fundición, mientras que en las Plantas de Ácido reducir la emisión global desde 3,8% a 0,25%.

Por otra parte, para que el nuevo catalizador que se sugiere utilizar para el funcionamiento de las PAS tenga un buen desempeño y larga duración, exceptuando la reposición normal definida por el Proveedor, el flujo de gases desde la Fundición a Plantas de Ácido deberá regularse a una condición estable y de composición relativamente pareja dentro de algún límite de variación permisible. Se ha estimado que los flujos y composiciones de SO₂ en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características:

- PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂.
- PAS2 (CT): 80.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂.

Tabla 4.2 – Mejoras de Captación de SO₂. Alternativa 1

Mejoras/Cambios	Emisión, %		Total
	Fundición	PAS	
Alternativa 1: Mejoras Operacionales y de Infraestructura Actual			
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de campanas primarias (locales) en CT y CPS • Rediseño y cambio de ductos de gases de CT y CPS • Mejoras en VTI de tren de gases de CT y CPS 	6,628	---	6,628
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de catalizador en PAS1 • Cambio de Torre de Absorción PAS1 • Cambio de catalizador en PAS2 • Cambio de Torre de Absorción PAS2 • Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio 	---	0,014%	0,027%
Alternativa 1: Total de Emisión de SO ₂	6,628%	0,014%	6,64%
Alternativa 1: Captación de SO ₂			93,36%

Desde una perspectiva histórica de operación de sistemas combinados de CT con CPS, el logro de estos estándares de operación se ve difícil de alcanzar. Por otra parte, desde la perspectiva de funcionamiento de las PAS, debe tenerse en cuenta que la antigüedad de éstas conlleva una situación de imponderables operacionales difíciles de pronosticar, aún cuando se tengan planes estrictos de mantenimiento.

La concentración de SO₂ de diseño para realizar las mejoras en las Plantas de Ácido es de 8,5%. Sin embargo, al analizar los reportes diarios de las PAS, se puede visualizar que el flujo de gas que se alimenta a ambas, llega a tener concentraciones puntuales entre 10% y 12% de SO₂. Los puntos de máxima emisión tienen lugar en los primeros minutos del ciclo, mientras que en los minutos finales del ciclo se producen gases con contenidos menores de SO₂. Por lo anterior, si se traslaparan los ciclos en 13 minutos se disminuiría el contenido de SO₂ en los primeros minutos del ciclo y, además, no habría lapsos de tiempo sin generación de gases desde CPS a Planta de Ácido, por lo que se podrían realizar 11 ciclos diarios, uno más que los realizados en la actualidad. Esto es compatible con un aumento de tratamiento de un 10%. Es decir, la capacidad actual de fusión de 330.000 tpa se podría aumentar a 363.000 tpa, lo que es posible con el Convertidor Teniente existente. No obstante, para mantener este traslape, con los dos CPS existentes, el ciclo de conversión aumenta desde 105 minutos a 131 minutos.

Bajo el escenario de operación mencionado arriba, como una forma de proporcionar la flexibilidad operacional requerida, es necesario disponer de un tercer CPS, el cual podría instalarse en la posición del Convertidor Hoboken existente en la Fundición. Se sugiere analizar esta alternativa de proceso en la siguiente etapa del proyecto, ya que se requiere dismantelar las instalaciones existentes, probablemente rehacer las fundaciones, instalar un nuevo CPS, considerar la adquisición de campana, sistema de enfriamiento, ducto de gases, precipitador electrostático y VTI.

Una manera de reducir aún más las emisiones fugitivas, se inclina a la adopción de sistemas de captación de gases fugitivos emanados de las canaletas de transferencia (CT y HELE) y ollas de traspaso de líquidos (metal blanco y escoria de CT y HELE). Aún cuando un sistema

de estas características fue instalado y probado en la Fundición Ventanas, posteriormente fue descontinuado su uso por entorpecer la operación; por ejemplo, del Convertidor Teniente.

Asimismo, la instalación de sistemas de captación de gases fugitivos en las inmediaciones de las campanas primarias implica severas interferencias con estructuras de la Nave Principal y del CT y CPS, puesto que la eficiencia de captación de gases fugitivos está gobernada por succión de altos flujos de aire para arrastrar los gases fugitivos, que a su vez implican ductos de diámetros considerables, sumado a ventiladores inmensos. Quizás, lo apropiado sería dotar de estos sistemas de captación de gases fugitivos sólo en las canaletas de traspaso de líquidos en CT y HELE. Para el tratamiento de los gases fugitivos es necesario disponer de una Planta de Tratamiento de Gases Fugitivos, que neutralice el SO_2 como yeso u otro residuo sólido, para el cual es necesaria su disposición en forma sustentable ambientalmente. Al respecto, se ha recibido una cotización de la empresa MetalQuim por una Planta de Tratamiento de Gases Fugitivos (PTGF) y Jacobs ha realizado las cubicaciones respectivas para los sistemas de captación de gases fugitivos y conducción de éstos (ductos, estructuras, soportaciones, barandas, parrillas, VTI) hacia la PTGF, lo que significará un CAPEX adicional (no contemplado) para la Alternativa 1 (ver Anexos 5 y 14).

Como se ha analizado en el documento No. 000-T-TR-001 Diagnóstico Operacional Actual, Rev. P1, el impacto de la captación de gases fugitivos sobre las emisiones totales de azufre de la Fundición no es significativo, sugiriendo que la instalación de la Planta de Tratamiento de Gases Fugitivos sólo significaría incurrir en un alto CAPEX.

Por otra parte, durante la ejecución de este estudio se ha recibido una propuesta de la empresa SAME para desarrollar un diseño de manejo de gases fugitivos; sin embargo, el diseño no está probado ni consolidado en aplicaciones comerciales de Fundiciones de cobre.

Desde la perspectiva de las PAS, una forma de reducir las emisiones fugitivas es adoptando la instalación de una Planta de Bisulfito de Sodio combinada para ambas PAS, que permite reducir sustancialmente los contenidos de SO_3 en los gases de cola. Esta tecnología (Opción 7 Propuesta de Chemetics, Anexo 4) fue incorporada en el CAPEX de la Alternativa 1.

En conclusión, la Alternativa 1, aún cuando se realicen las modificaciones operacionales y de infraestructura planteadas, lo que involucra una mejora sustancial de la situación actual desplazando la captación de SO_2 desde 89% hasta un valor cercano a 93,4%, no permite cumplir el escenario de captación de azufre con más baja exigencia definido para este estudio de 95%.

4.2 ALTERNATIVA 2: CAMBIO TECNOLÓGICO DE CAMPANAS PRIMARIAS

Esta alternativa implica mantener en uso la tecnología actual de fusión, realizando reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero (K'enyuka, Sudáfrica, y Boliden Outotec, Suecia), tanto en el CT como en los CPS, así como cambios del sistema de manejo de gases (ductos), conducción de gases (VTI) a PAS e instalación de una nueva Planta de Ácido Sulfúrico. Las Tablas 4.3 y 4.4 muestran los respectivos análisis.

Tabla 4.3 – Mejoras de Captación de SO₂. Alternativa 2A, Campana K'enyuka (Sudáfrica)

Cambios Tecnológicos	Emisión, %		Total
	Fundición	PAS	
Alternativa 2A: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias (K'enyuka, Sudáfrica)			
• Cambio de campanas primarias en CT y CPS	5,45%	---	5,45%
• Rediseño y cambio de ductos de gases de CT y CPS			
• Cambio de VTI en tren de gases de CT y CPS			
• Instalación de nueva Planta de Ácido Sulfúrico	---	0,25%	0,25%
Alternativa 2A: Total de Emisión de SO ₂	5,45%	0,25%	5,7%
Alternativa 2A: Captación de SO ₂			94,3%

Tabla 4.4 – Mejoras de Captación de SO₂. Alternativa 2B, Campana Boliden Outotec (Suecia)

Cambios Tecnológicos	Emisión, %		Total
	Fundición	PAS	
Alternativa 2B: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias (Boliden Outotec, Suecia)			
• Cambio de campanas primarias en CT y CPS	3,25%	---	3,25%
• Rediseño y cambio de ductos de gases de CT y CPS			
• Cambio de VTI en tren de gases de CT y CPS			
• Instalación de nueva Planta de Ácido Sulfúrico	---	0,25%	0,25%
Alternativa 2B: Total de Emisión de SO ₂	3,25%	0,25%	3,5%
Alternativa 2B: Captación de SO ₂			96,5%

Como una opción para aumentar la capacidad de fusión de concentrados, se sugiere analizar la posibilidad de reemplazar el CT actual por otro que, además de superar la capacidad de procesamiento tenga un diseño acorde con un análisis que considere la teoría del diseño de reactores y del funcionamiento fluidodinámico del mismo. Esta opción, sumado a las acciones de reemplazo de campanas nacionales, reemplazo de ductos y VTI, además de la incorporación de una nueva y completa Planta de Ácido, sugieren ser buenas alternativas susceptibles de analizar en una etapa futura del estudio.

4.3 ALTERNATIVA 3: CAMBIO TECNOLÓGICO CON FUSIÓN ACTUAL

Esta alternativa implica reemplazar el uso de la tecnología de fusión actual, de similar capacidad de fusión, por otra que permita obtener una mayor captación de SO₂, manteniendo el reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero en CPS (se ha considerado las campanas K'enyuka, Sudáfrica, y Boliden Outotec, Suecia), así como reemplazo del sistema de manejo de gases (ductos), reemplazo del sistema de conducción de gases (VTI) a PAS y nueva Planta de Ácido Sulfúrico. Para capacidades de fusión de concentrados similares al Caso Base de la Fundición HVL, entre 330.000 y 350.000 tpa, existe un par de aplicaciones consolidadas diferentes a la tecnología CT a nivel mundial, la tecnología Ausmelt con unidades instaladas y operando en Anhui Tongdu Copper (Tongling City, China, 330.000 tpa) y Birla Copper (Dahej, India, 350.000 tpa), así como la tecnología Flash Smelting con una planta en RTB (Bor, Serbia, 300.000 tpa). La Tabla 4.5 muestra los respectivos análisis.

Tabla 4.5 – Mejoras de Captación de SO₂. Alternativa 3

Cambios Tecnológicos	Emisión, %		Total
	Fundición	PAS	
Alternativa 3B: Ausmelt o Flash Smelting Outotec con Campana Boliden Outotec en CPS			
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de tecnología de fusión (Ausmelt o Flash Smelting) • Cambio de campanas primarias (Boliden OT) en CPS • Rediseño y cambio de ductos • Cambio de VTI 	1,5%	---	1,5%
• Instalación de nueva Planta de Ácido Sulfúrico	---	0,25%	0.25%
Alternativa 3B: Emisión de SO ₂	1,5%	0,25%	1,75%
Alternativa 3B: Captación de SO₂			98,25%

Si la decisión de la autoridad ambiental fuese obligar a los planteles de Fundición del país a capturar una proporción igual o mayor que 98% de SO₂; entonces, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4.5, la tecnología de fusión Ausmelt o Flash Smelting de Outotec cumpliría con tal exigencia ambiental.

4.4 ALTERNATIVA 4: CAMBIO TECNOLÓGICO CON MAYOR FUSIÓN

Las tecnologías analizadas en las Tablas 4.5 y 4.6, con excepción de las indicadas de Ausmelt y Flash Smelting, ninguna se ha consolidado a nivel comercial como unidades de fusión que permitan procesar ratios de 330.000 tpa de concentrados, siendo las capacidades superiores a 600.000 tpa. Como ejemplo de aplicación de tecnologías de fusión de concentrados de cobre se pueden mencionar:

- Tecnología Isasmelt tiene implementadas unidades en MIM (Mount Isa, Australia, 1.000.000 tpa), Phelps Dodge Miami (Arizona, EUA, 700.000 tpa), Sterlite Copper 1 (Tuticorin, India, 600.000 tpa), Sterlite Copper 2 (Tuticorin, India, 1.300.000 tpa), Yunnan Copper Corporation (Kunming, China, 600.000 tpa) y SPCC (Ilo, Perú, 1.200.000 tpa).
- Tecnología Ausmelt tiene implementadas unidades en Russian Copper Company (Chalyabinsk, Rusia, 550.000 tpa), Chifeng Jinjian Copper (Chifeng, China, 480.000 tpa), Huludao Copper Group (Huludao, China, 500.000 tpa), Yunnan Tin Corporation (China, 450.000 tpa) y Xinjiang Wuxin Copper Co. Ltd. (China, 575.000 tpa).
- Tecnología Flash Smelting tiene implementadas unidades en Zijin Copper Co.Ltd. (Shanghang, China), Tongling Non-Ferrous Metals Group Co.Ltd. (China), National Iranian Copper Industries (Sarcheshmeh, Iran), Jiangxi Copper Corporation (Guixi, China), Yanggu Xiangguang Copper Co. (Yanggu Xiangguang, China).
- Tecnología Flash Smelting – Flash Converting tiene implementadas unidades en KUCC (Salt Like City, EUA) y Yanggu Xiangguang Copper Co. (Yanggu, China).

Claramente, las inversiones asociadas a este tipo de tecnologías son altas, pero son una oportunidad de mayor procesamiento de concentrados que pudiesen ser un aliciente para la inversión, en el sentido que se obtendría un mejor ingreso por venta de ácido sulfúrico debido a la mayor generación de este producto.

Por otra parte, dada la característica de maquiladora de la Fundición HVL y los bajos cargos de fusión y refinación que actualmente prevalecen en el mercado, presentan una debilidad para el aumento de fusión. Esta situación de equilibrio económico entre mayores ingresos y mayores costos de operación, debieran analizarse más detenidamente en una etapa posterior del estudio.

Desde la perspectiva de la operación de una fundición con reemplazo de tecnología y aumento de capacidad de fusión implica una diversidad de costos de capital que se deben agregar a la inversión de la unidad de fusión por sí sola, a saber:

- De partida, se requerirá una mayor capacidad de recepción, almacenamiento y manejo de concentrados, mayores capacidades de secado y transporte neumático hacia el reactor de fusión.
- Para mayor capacidad de fusión se requiere un requerimiento adicional de servicios (agua y energía), suministros (oxígeno, aire de baja presión, aire comprimido), además de fundentes y reactivos (mineral silíceo, desmoldante, cal).
- Mayor fusión implica mayor generación de escoria, lo que conlleva un mayor requerimiento de limpieza, o bien, analizar la opción de procesar la escoria vía flotación.
- También, mayores capacidades de fusión y conversión requerirán nuevas instalaciones de Planta de Ácido.
- Asimismo, mayor fusión implica a su vez un aumento de generación de metal blanco, que impacta el área de conversión. Esto significará adecuar el área de conversión a las nuevas exigencias, es decir, reemplazar los actuales CPS por otras unidades de mayor capacidad y cantidad (aparentemente dos CPS no sería suficiente).
- Lo anterior, implica mayor capacidad de generación de cobre blister, que impacta el área de refinación y moldeo. Esto conduce a replantear el área de refinación y moldeo, es decir, nuevos Hornos de Refinación y de mayor capacidad (al menos dos unidades) y nueva tecnología de moldeo de ánodos.
- Un punto que no debe dejarse sin análisis es la Nave Principal y Grúas Punte. Lo más probable es que la Nave Principal actual quede subdimensionada para el nuevo requerimiento de fusión de concentrados.

No obstante, teniendo en mente todo lo discutido antes, el objetivo de este estudio de perfil es el de aumentar la capacidad de captura de SO_2 y no el aumento de la capacidad de fusión de concentrados.

En consecuencia, se ha estimado en este análisis en el nivel de perfil, que las alternativas con cambio tecnológico y con aumento de fusión de concentrados, debieran ser abandonadas

como opciones potenciales de reemplazo de las actuales configuraciones de la Fundición HVL, por ser unidades por sí consumidoras de fuertes sumas de costo de capital, además que representan un aumento de capacidad importante de la fusión con los costos de capital que implicaría el acomodamiento del resto de las instalaciones de la Fundición a este nuevo escenario.

5.0 ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este Capítulo se entregan las bases para la estimación y los resultados de las estimaciones de CAPEX y OPEX, de las Alternativas 1, 2A, 2B, 3A y 3B.

5.1 BASES DE ESTIMACIÓN DE CAPEX

La Tabla 5.1 muestra los diversos ítems que representan las bases para la estimación de los costos de inversión, OPEX.

Tabla 5.2 – Bases para la Estimación de CAPEX.

Área	Descripción
900	FUNDICION HVL
901	FUSION
902	CONVERSION
903	LIMPIEZA DE ESCORIAS
904	REFINO
905	PLANTA DE ACIDO
906	OTRAS INSTALACIONES
A00	COSTOS INDIRECTOS
C00	CONTINGENCIA

Descripción	Alternativa 1 %	Alternativas 2A y 2B %
Limpieza General	0,8% del Costo Total Directo	0,8% del Costo Total Directo
Concretos	0,1% del Costo Total Directo	1,6% del Costo Total Directo
Acero Estructural	1,4% del Costo Total Directo	1,4% del Costo Total Directo
Electricidad	2,5% del Costo Total Directo	3,0% del Costo Total Directo
Instrumentación & Control	1,5% del Costo Total Directo	2,0% del Costo Total Directo
Piping	2,0% del Costo Total Directo	2,5% del Costo Total Directo

Factores	Valor
Factor de crecimiento	1,25%
Costos Indirectos	40% Costo Total Directo
Contingencia	30% Costo Total Directo + Costos Indirectos

Los costos indirectos, para este nivel de precisión del CAPEX, se determinan como un 40% del Costo Total Directo, e incluyen los siguientes aspectos:

- Ingeniería
- Administración de la Construcción
- Instalaciones Temporales
- Campamento
- Alimentación y Alojamiento
- Servicios de Terceros
- Fletes y Seguros

- Repuestos
- Precomisionamiento, Comisionamiento y Puesta en Marcha
- Servicios Vendor
- Primer Llenado
- Otros

Las exclusiones en la estimación de CAPEX son las siguientes:

- Demoliciones y Desmantelamiento.
- Mejoramiento de la Nave.

5.2 BASES DE ESTIMACIÓN DE OPEX

La Tabla 5.2 muestra los diversos ítems que representan los costos unitarios, base para la estimación del costo operacional, OPEX.

Tabla 5.2 – Costos Unitarios Fundición HVL y Planta de Ácido.

Ítem	Costo Unitario	Unidad
Energía		
Energía Eléctrica	0,19	US\$/kWh
Agua de Proceso	0,896	US\$/m ³
Agua de Refrigeración	1,2	US\$/m ³
Mano de Obra	1.900	US\$/Hombre
Hidróxido de Sodio (50%)	595	US\$/t

5.3 CAPEX

Las Tablas 5.3 a 5.6 muestran las estimaciones del CAPEX para las Alternativas 1, 2A, 2B y 3, respectivamente.

La Tabla 5.7 muestra un resumen de las estimaciones de CAPEX por Área para cada Alternativa analizada en este Estudio de Perfil.

Tabla 5.3 – CAPEX de la Alternativa 1.

Ítem	Descripción	Horas	Mano de Obra	Uso de Equipo	Material	Subcontratos	Equipos	Total, US\$
AREA 901 - FUSION								
TBD00 1	Campana Captación CT	5.148	128.700	77.220	156.000	0	0	361.920
VT-001	Retiro VTI 001 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-002	Retiro VTI 002 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-005	VTI-005	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
VT-006	VTI-006	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
ZP-001	Ductos	31.085	777.138	466.282	1.181.040	0	0	2.424.460
	Total Area 901 - Fusión							3.541.756
AREA 902 - CONVERSION								
TBD00 3	Campana Captación CPS2	5.150	128.766	77.259	156.080	0	0	362.105
TBD00 4	Campana Captación CPS3	11.750	293.766	176.259	356.080	0	0	826.105
VT-003	Retiro VTI 003 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-004	Retiro VTI 004 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-007	VTI-007	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
VT-008	VTI-008	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
ZP-002	Ductos	20.456	511.410	306.846	768.800	0	0	1.587.056
ZP-004	Ductos Cámara de Mezcla	13.515	337.884	202.730	434.320	0	0	974.934
	Total Area 902 - Conversión							4.205.792
AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO								
TBD00 1	Planta de Ácido Sulfúrico	60.000	0	0	4.530.000	10.900.000	10.570.000	26.000.000
TBD00 2	Planta de Bisulfito de Sodio	28.560	0	0	1.800.000	4.400.000	4.200.000	10.400.000

	Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico							36.400.000
AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES								
ZC-002	Limpieza General	9.000	0	0	0	300.000	0	300.000
ZC-003	Concretos	10.800	0	0	0	295.000	0	295.000
ZE-001	Electricidad	10.800	0	0	0	1.200.000	0	1.200.000
ZI-001	Instrumentación y Control	7.920	0	0	0	883.495	0	883.495
ZP-001	Piping	10.800	0	0	0	1.200.000	0	1.200.000
ZS-001	Estructuras	14.160	0	0	0	883.000	0	883.000
	Total Area 906 - Otras Instalaciones							4.761.495
	COSTOS DIRECTOS							48.909.043
AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS								
IC-001	Costos Indirectos (40% Costos Directos)	0	0	0	0	19.563.618	0	19.563.618
	Total Area A00 - Costos Indirectos							19.563.618
	COSTO TOTAL							68.472.661
AREA C00 - CONTINGENCIAS								
IC-001	Contingencia (30% Costo Total)	0	0	0	0	20.541.798	0	20.541.798
	Total Area C00 - Contingencias							15.456.921
TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 1, US\$		244.481	2.311.104	1.386.626	9.382.320	60.166.911	15.767.500	89.014.461

Tabla 5.4 – CAPEX de la Alternativa 2A.

Ítem	Descripción	Horas	Mano de Obra	Uso de Equipo	Material	Subcontratos	Equipos	Total, US\$
AREA 901 - FUSION								
TBD00 1	Campanas Captación CT, CPS2, CPS3	18.084	452.100	275.955	0	0	4.509.704	5.237.759
VT-001	Retiro VTI 001 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-002	Retiro VTI 002 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-005	VTI-005	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
VT-006	VTI-006	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
ZP-001	Ductos	31.085	777.138	466.282	1.181.040	0	0	2.424.460
	Total Area 901 - Fusión							8.417.595
AREA 902 - CONVERSION								
TBD00 3	Campana Captación CPS2	2.341	58.530	35.118	0	0	0	93.648
TBD00 4	Campana Captación CPS3	4.272	106.800	64.080	0	0	0	170.880
VT-003	Retiro VTI 003 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-004	Retiro VTI 004 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-007	VTI-007	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
VT-008	VTI-008	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
ZP-002	Ductos	20.456	511.410	306.846	768.800	0	0	1.587.056
ZP-004	Ductos Cámara de Mezcla	13.515	337.884	202.730	434.320	0	0	974.934
	Total Area 902 - Conversión							3.282.110
AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO								
TBD00 1	Planta de Ácido Sulfúrico	204.000	0	0	15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
	Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico							87.700.000
AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES								

ZC-002	Limpieza General	9.000	0	0	0	300.000	0	300.000
ZC-003	Concretos	64.800	0	0	0	1.800.000	0	1.800.000
ZE-001	Electricidad	32.400	0	0	0	3.344.131	0	3.344.131
ZI-001	Instrumentación y Control	28.800	0	0	0	2.229.421	0	2.229.421
ZP-001	Piping	32.400	0	0	0	2.786.778	0	2.786.778
ZS-001	Estructuras	25.200	0	0	0	1.605.183	0	1.605.183
	Total Area 906 - Otras Instalaciones							12.065.511
	COSTOS DIRECTOS							111.465.216
	AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS							
IC-001	Costos Indirectos (40% Costos Directos)	0	0	0	0	44.588.419	0	44.588.419
	Total Area A00 - Costos Indirectos							44.588.419
	COSTO TOTAL							156.053.635
	AREA C00 - CONTINGENCIAS							
IC-001	Contingencia (30% Costo Total)	0	0	0	0	46.817.840	0	46.817.840
	Total Area C00 - Contingencias							46.817.840
	TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 2A, US\$	493.489	2.377.302	1.431.040	17.594.160	140.471.770	40.997.204	202.871.476

Tabla 5.5 – CAPEX de la Alternativa 2B.

Ítem	Descripción	Horas	Mano de Obra	Uso de Equipo	Material	Subcontratos	Equipos	Total, US\$
AREA 901 - FUSION								
TBD00 1	Campanas Captación CT	5.100	127.500	76.500	0	0	1.820.000	2.024.000
VT-001	Retiro VTI 001 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-002	Retiro VTI 002 existente	696	17.400	10.440	0	0	0	27.840
VT-005	VTI-005	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
VT-006	VTI-006	871	21.780	13.068	0	0	315.000	349.848
ZP-001	Piping	31.094	777.354	466.412	1.181.520	0	0	2.425.286
	Total Area 901 - Fusión							5.204.662
AREA 902 - CONVERSION								
TBD00 3	Campana Captación CPS2	5.101	127.530	76.518	0	0	1.820.000	2.024.048
TBD00 4	Campana Captación CPS3	8.101	202.530	121.518	0	0	1.820.000	2.144.048
VT-003	Retiro VTI 003 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-004	Retiro VTI 004 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-007	VTI-007	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
VT-008	VTI-008	620	15.540	9.306	0	0	183.750	208.596
ZP-002	Ductos	20.456	511.410	306.846	768.800	0	0	1.587.056
ZP-004	Ductos Cámara de Mezcla	13.515	337.884	202.730	434.320	0	0	974.934
	Total Area 902 - Conversión							7.185.678
AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO								
TBD00 1	Planta de Ácido Sulfúrico	204.000	0	0	15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
	Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico							87.700.000

AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES								
ZC-002	Limpieza General	10.800	0	0	0	300.000	0	300.000
ZC-003	Concretos	64.800	0	0	0	1.805.831	0	1.805.831
ZE-001	Electricidad	31.200	0	0	0	3.344.131	0	3.344.131
ZI-001	Instrumentación y Control	28.800	0	0	0	2.229.421	0	2.229.421
ZP-001	Piping	26.400	0	0	0	2.786.776	0	2.786.776
ZS-001	Estructuras	57.600	0	0	0	1.605.183	0	1.605.183
	Total Area 906 - Otras Instalaciones							12.071.342
	COSTOS DIRECTOS							112.161.682
AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS								
IC-001	Costos Indirectos (40% Costos Directos)	0	0	0	0	44.864.673	0	44.864.673
	Total Area A00 - Costos Indirectos							44.864.673
	COSTO TOTAL							157.026.355
AREA C00 - CONTINGENCIAS								
IC-001	Contingencia (30% Costo Total)	0	0	0	0	47.107.907	0	47.107.907
	Total Area C00 - Contingencias							47.107.907
TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 2B.								204.134.26
US\$		553.103	2.217.648	1.330.552	17.594.640	141.043.922	41.947.500	2

Tabla 5.6 – CAPEX de la Alternativa 3.

Ítem	Descripción	Horas	Mano de Obra	Uso de Equipo	Material	Subcontratos	Equipos	Total
AREA 901 - FUSION								
TBD00 2	Horno Flash o Ausmelt	120.000	0	0	0	28.780.000	79.145.000	107.925.000
ZP-001	Ductos	151.094	777.354	466.412	1.181.520	0	0	2.425.286
	Total Area 901 - Fusión							110.350.286
AREA 902 - CONVERSION								
TBD00 3	Campana Captación CPS2	5.653	141.330	84.798	0	0	1.820.000	2.046.128
TBD00 4	Campana Captación CPS3	8.653	216.330	129.798	0	0	1.820.000	2.166.128
VT-003	Retiro VTI 003 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-004	Retiro VTI 004 existente	480	12.000	7.200	0	0	0	19.200
VT-007	VTI-007	620	15.510	9.306	0	0	183.750	208.566
VT-008	VTI-008	620	15.510	9.306	0	0	183.750	208.566
ZP-002	Ductos	20.456	511.410	306.846	768.800	0	0	1.587.056
ZP-004	Ductos Cámara de Mezcla	13.515	337.884	202.730	434.320	0	0	974.934
	Total Area 902 - Conversión							7.229.778
AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO								
TBD00 1	Planta de Ácido Sulfúrico	244.800	0	0	15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
	Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico							87.700.000
AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES								
ZA-001	Arquitectura	9600	0	0	0	755376	0	755.376
ZC-001	Movimientos de Tierra	55.200	0	0	0	2.006.000	0	2.006.000
ZC-002	Limpieza General	50.400	0	0	0	1.600.000	0	1.600.000
ZC-003	Concretos	120.955	0	0	0	3.200.000	0	3.200.000

ZE-001	Electricidad	55.437	0	0	0	4.120.000	0	4.120.000
ZI-001	Instrumentación y Control	36.957	0	0	0	3.090.000	0	3.090.000
ZP-001	Piping	46.197	0	0	0	4.120.000	0	4.120.000
ZS-001	Estructuras	47.037	0	0	0	2.880.000	0	2.880.000
	Total Area 906 - Otras Instalaciones							21.771.376
	COSTOS DIRECTOS							227.051.440
	AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS							
IC-001	Costos Indirectos (40% Costos Directos)	0	0	0	0	90.820.576	0	90.820.576
	Total Area A00 - Costos Indirectos							90.820.576
	COSTO TOTAL							317.872.016
	AREA C00 - CONTINGENCIAS							
IC-001	Contingencia (30% Costo Total)	0	0	0	0	95.361.605	0	95.361.605
	Total Area C00 - Contingencias							95.361.605
	TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 3	868.158	2.039.328	1.223.596	17.594.640	273.733.557	118.642.500	413.233.621

Tabla 5.7 – CAPEX por Áreas de Alternativas.

ALTERNATIVA N°1								
ÁREA	DESCRIPCIÓN	HORAS	MANO DE OBRA	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL	SUBCONTRATOS	EQUIPOS	TOTAL USD
901	FUSIÓN	39.367	984.198	590.518	1.337.040		630.000	3.541.756
902	CONVERSIÓN	53.073	1.326.906	796.107	1.715.280		367.500	4.205.793
905	PLANTA DE ÁCIDO	60.000			4.530.000	10.900.000	10.570.000	26.000.000
905	PLANTA BISULFITO SODIO	28.560			1.800.000	4.400.000	4.200.000	10.400.000
906	OTRAS INSTALACIONES	63.480				4.761.495		4.761.495
A00	COSTOS INDIRECTOS					19.563.618		19.563.618
C00	CONTINGENCIA					20.541.798		20.541.798
TOTAL		244481	2.311.104	1.386.626	9.382.320	60.166.911	15.767.500	89.014.461

ÁREA	DESCRIPCIÓN	HORAS	MANO DE OBRA	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL	SUBCONTRATOS	EQUIPOS	TOTAL USD
907	PLANTA TRATAMIENTO GASES FUGITIVOS	24.114	277.350	166.410	557.600	2.732.042	783.750	4.517.152
TOTAL		24.114	277.350	166.410	557.600	2.732.042	783.750	4.517.152

ALTERNATIVA 2A								
ÁREA	DESCRIPCIÓN	HORAS	MANO DE OBRA	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL	SUBCONTRATOS	EQUIPOS	TOTAL USD
901	FUSIÓN	52.303	1.307.598	789.254	1.181.040		5.139.704	8.417.596
902	CONVERSIÓN	42.785	1.069.704	641.786	1.203.120		367.500	3.282.110
905	PLANTA DE ÁCIDO	204.000			15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
906	OTRAS INSTALACIONES	194.400				12.065.511		12.065.511
A00	COSTOS INDIRECTOS					44.588.419		44.588.419
C00	CONTINGENCIA					46.817.840		46.817.840
TOTAL		493.489	2.377.302	1.431.040	17.594.160	140.471.770	40.997.204	202.871.476

Tabla 5.7 – Continuación

ALTERNATIVA 2B								
ÁREA	DESCRIPCIÓN	HORAS	MANO DE OBRA	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL	SUBCONTRATOS	EQUIPOS	TOTAL USD
901	FUSIÓN	39.328	983.214	589.928	1.181.520		2.450.000	5.204.662
902	CONVERSIÓN	49.374	1.234.434	740.624	1.203.120		4.007.500	7.185.678
905	PLANTA DE ÁCIDO	244.800			15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
906	OTRAS INSTALACIONES	219.600				12.071.342		12.071.342
A00	COSTOS INDIRECTOS					44.864.673		44.864.673
C00	CONTINGENCIA					47.107.907		47.107.907
TOTAL		553.103	2.217.648	1.330.552	17.594.640	141.043.922	41.947.500	204.134.262

ALTERNATIVA 3								
ÁREA	DESCRIPCIÓN	HORAS	MANO DE OBRA	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL	SUBCONTRATOS	EQUIPOS	TOTAL USD
901	FUSIÓN	151.094	777.354	466.412	1.181.520	28.780.000	79.145.000	110.350.286
902	CONVERSIÓN	50.478	1.261.974	757.184	1.203.120		4.007.500	7.229.778
905	PLANTA DE ÁCIDO	244.800			15.210.000	37.000.000	35.490.000	87.700.000
906	OTRAS INSTALACIONES	421.785				21.771.376		21.771.376
A00	COSTOS INDIRECTOS					90.820.576		90.820.576
C00	CONTINGENCIA					95.361.605		95.361.605
TOTAL		868.158	2.039.328	1.223.596	17.594.640	273.733.557	118.642.500	413.233.621

5.4 OPEX

La Tabla 5.1 muestra el diferencial de costos directos cuando se implementan las alternativas 1, 2A y 2B, comparadas con el Caso Base.

5.5 IMPACTO EN MEJORAS DE ALTERNATIVA 1 SOBRE OPEX Y CAPEX

El cuadro siguiente muestra el efecto de cada una de las mejoras operacionales del complejo Fundición – Plantas de Ácido sobre el CAPEX y OPEX

Alternativa 1	Captación de S %	CAPEX USD	ΔOPEX USD
Sólo mejoramientos en tren de gases	89,8	15.161.870	ND
Mejoramiento en tren de gases y cambio de catalizador	93,1	66.983.479	2.165.000
Mejoramiento en tren de gases, cambio de catalizador y Planta de Tratamiento de Bisulfito de Sodio	93,4	89.014.460	11.877.844

Tabla 5.1 – Costos Diferenciales Directos.
Alternativas versus caso Base.

Item	Unidad	Costo Diferencial Anual			
		Caso Base	Alternativa 1	Alternativa 2 A	Alternativa 2 B
Energía					
Costo Unitario	US\$/kWh	0,19	0,189	0,185	0,176
Energía Eléctrica (incluye transmisión)		5.895.555	1.190.621	-2.083.618	-2.169.202
Agua					
Costo Unitario	US\$/m ³	0,898	0,887	0,865	0,826
Agua		314.248	4.796	-235.720	-237.483
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,19	1,16	1,11
Agua Tratada Planta de Ácido		325.537	849.786	-127.231	-131.683
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,20	1,20	1,20
Agua Tratada Fundición		0	0	62.052	95.541
Mano de Obra					
Costo Unitario	US\$/Hombr e	1.900	1.900	1.900	1.900
Planta de Ácido		41.800	0	-20.900	-20.900
Mantenimiento Planta de Ácido	US\$/año	1.077.498	120.000	676.502	676.502
Planta de Tratamiento SBS					
Costo Unitario	US\$/t	0	595	0	0
Hidróxido de sodio (50%)		0	9.284.231	0	0
Costo Unitario	US\$/kWh	0	0,19	0	0
Energía Eléctrica		0	426.919	0	0
Costo Unitario	US\$/m ³	0	0,896	0	0
Agua de proceso		0	1.491	0	0
Costo de Operación Diferencial			11.877.844	-1.728.916	-1.787.225

6.0 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este Capítulo se presenta un análisis económico del Caso Base y de las Alternativas definidas en este Estudio de Perfil. En lo esencial se ha considerado un reporte referido al Margen Operacional Real de Abril de 2011, el que se ha proyectado a una situación anual. La información fundamental para el análisis ha sido proporcionada por ENAMI, correspondiendo a los antecedentes acerca de parámetros comerciales, parámetros económicos y parámetros físicos, cuyos desgloses se presentan en las Tablas 6.1 a 6.3.

Tabla 6.1 – Parámetros Comerciales.

Parámetro Comercial	Unidad	Valor
Costo tratamiento de refinación de ánodos a cátodos de Cu	US\$/tms	105,00
Costo tratamiento de refinación de ánodos a cátodos de Ag	US\$/oz	0,25
Costo tratamiento de refinación de ánodos a cátodos de Au	US\$/oz	5
Costo tratamiento de fusión hasta ánodos	US\$/tms	108,54
Costo tratamiento de refinación de Cu	cUS\$/lb	8,674
Costo tratamiento de refinación de Ag	US\$/oz	0,366
Costo tratamiento de refinación de Au	US\$/oz	5,28
Costo tratamiento de RAF Cu	cUS\$/lb	3,911
Costo tratamiento de RAF Ag	US\$/oz	0,116
Costo tratamiento de RAF Au	US\$/oz	0,28
Descuento metalúrgico a cátodo de Cu	unid.	1,04
Descuento metalúrgico a cátodo de Cu	%	3,71
Descuento metalúrgico ánodo a cátodo de Ag	g/tms	20,6
Descuento metalúrgico a cátodo de Au	g/tms	0,44
Descuento metalúrgico ánodo a cátodo de Cu	%	0,2
Descuento metalúrgico a cátodo de Ag	g/tms	20
Descuento metalúrgico Au hasta ánodo	g/tms	0,5
Recuperación contractual Cu	%	96,29
Recuperación contractual Ag	%	82,6
Recuperación contractual Au	%	91,92
Descuento precio Ag	%	2,77
Descuento precio Au	%	2,53

Tabla 6.2 – Parámetros Económicos.

Parámetro Económico	Unidad	Valor
Precio Cu	cUS\$/lb	430,153
Precio Ag	US\$/oz	41,96556
Precio Au	US\$/oz	1473,806
Precio Ácido	US\$/t	123,03
Costo promedio exist. Ácido	US\$/t	72,93
Flete a Ventanas	US\$/tms	40,8

Figura 6.3 – Parámetros Físicos.

Parámetro Físico	Unidad	Valor
CNU - Peso seco	tms	340.000
CNU a ánodos	tms	340.000
CNU a Blister	tms	0
CNU finos Cu	tmf	95.138
CNU Finos Cu a ánodos	tmf	95.138
CNU Finos Cu a Blister	tmf	0
CNU Finos Ag	kgf	40.186
CNU Finos Ag a ánodos	kgf	40.186
CNU Finos Au a blister	kgf	0
CNU Finos Au	kgf	1.849
CNU Fino Au a ánodos	kgf	1.849
CNU finos Au a blister	kgf	0
Abastecimiento Productos Mineros Plantas Terceros	tms	219.862
Escorias Matta	tms	0
Producción de ánodos	tms	80.852
Producción de ánodos	tmf	80.508
Producción de blister	tms	0
Producción de blister	tmf	0
Producción de ácido	t	265.102
Flete ánodo pagado	tms	44.388
Despacho ácido	t	263.523
Recuperación Cu	%	97,39
Recuperación Ag	%	97,91
Recuperación Au	%	99,63

La Tabla 6.4 muestra una proyección anual del Margen Operacional Real, considerado como Caso Base, obtenido al replicar un reporte verdadero de ENAMI correspondiente al mes de Abril de 2011. Se observa que el margen operacional real anual es de ~ MUS\$ 22,22. De acuerdo con la estimación proyectada de la capacidad de fusión de concentrados, ésta se encontró que estaba próxima a 340.000 t/año, en vez de 330.000 t/año considerada en el desarrollo del estudio de diagnóstico operacional. No obstante, la diferencia es pequeña y no representa una desviación significativa para el nivel de precisión utilizado en este estudio.

Para el análisis económico se ha considerado como modelo la planilla mostrada en la Figura 6.4, la cual ha sido modificada consistentemente con lo correspondiente a cada alternativa que haya sido analizada. Por ejemplo, la Alternativa 1: Mejoras operacionales y de infraestructura (Fundición actual, cambio ductos tren de gases, mejoramiento de VTI y cambio de catalizador en Plantas de Ácido). La Tabla 6.5 muestra la estimación del cálculo de margen operacional real para 340.000 t/año de fusión y una captación de SO₂ de 92%, donde se aprecia que el margen operacional anual en este caso es de MUS\$ 22,65. En esta alternativa se ha modificado la producción de ácido sulfúrico consistente con una mayor captura de azufre desde

89 a 92%, por lo que el margen operacional mejora en MUS\$ 0,43 debido a mayor despacho de ácido sulfúrico. Consecuentemente, las planillas generadas para el análisis económico de las demás alternativas, toma en cuenta consideraciones similares a lo planteado.

Tabla 6.4 – Margen Operacional Real Anual (Caso Base, proyección de Abril 2011).

		INGRESOS	-	COSTOS	=	MARGEN
MARGEN FUNDICION	ts CNU ánodos 340.000,00	Por CT fue 108,54	36.903.600	47.573.386		
	ts CNU blater 0,00	0	0			
MARGEN FUNDICION			36.903.600	47.573.386		-10.669.786
MARGEN REFINO						
COBRE	If CNU ánodos Cu 95.138,00 Descuentos Metalúrgicos 3529,620	Por CT RefCu-CT RefCatCu 3,911	7.898.728			
PLATA	If CNU ánodos Neto 91808,380 If CNU ánodos Ag 40.198,000 Descuentos Metalúrgicos 6786,996	Por CT RefAg-CT RefCatAg 0,116	124.575			
ORO	If CNU ánodos Au 1.848,872 Descuentos Metalúrgicos 169,680 If CNU ánodos Neto 1678,992	Por CT RefAu-CT RefCatAu 0,280	55.116			
MARGEN REFINO			8.038.418	8.391.540		-353.122
MARGEN DE ACIDO	l ácido despachado 264.930,00	Por Precio Acido-comisión 123,03	31.364.038	18.502.051		
MARGEN DE ACIDO			31.364.038	18.592.051		12.771.987
MARGEN METALURGICO						
COBRE	If CNU ánodos Cu 95.138,00 Descuentos Metalúrgicos 3526,620 Descuento Metalúrgico Total 3526,620	Por Precio Cu - CT RefCu-CT RefRefCu 426,390	33.101.627	23.287.224		
PLATA	If CNU ánodos Ag 340.000,000 Descuentos Metalúrgicos 8990,600 Descuento Metalúrgico Total 8990,600	Por Precio Ag - CT RefCatAg 41,71558	9.376.746	1.126.440		
ORO	If CNU ánodos Au 340.000,000 Descuentos Metalúrgicos 149.316 Descuentos Metalúrgicos 149.316	Por Precio Au - RefCatAu 1488,808	7.051.979	323.016		
MARGEN METALURGICO			49.530.350	24.736.680		24.793.670
FINOS NO PAGABLES	Finos	Precio				
Ag oz	29560,02	41,98588	1.240.503			
Au oz	1.382,172	1473,806	2.037.053			
FINOS NO PAGABLES			3.277.556			3.277.556
DESCUENTOS METALURG. REF. ELECT	Finos	Precio				
Cu lb	4099762	430,153		1.783.521		
Ag oz	59785,118	41,98588		2.508.916		
Au oz	1.494,624	1473,806		2.202.796		
FINOS NO PAGABLES				6.475.222		-6.475.222
CREDITOS POR CASTIGOS			885.116			885.116
CREDITOS POR CASTIGOS			885.116			885.116
FLETE ANODOS PAGADOS	ts Flete pagado 44.988,00	Costo Unitario 40,8		1.811.030		
FLETE ANODOS PAGADOS				1.811.030		-1.811.030
TOTAL PROCESOS			126.798.079	107.678.809		22.219.189

Tabla 6.5 – Margen Operacional Real Anual, Alternativa 1.

			INGRESOS	COSTOS	MARGEN
MARGEN FUNDICION	ts CNU ánodos 340,000,00	Por CT fue 108,54	38,903,800	47,673,388	
	ts CNU blister 0,00	0	0		
MARGEN FUNDICION			38,903,800	47,673,388	-10,669,788
MARGEN REFINO					
	COBRE If CNU ánodos Cu 96,138,00 Descuentos Metalúrgicos 3529,620	Por CT RefCu-CT RefCatCu 3,911	7,898,728		
	PLATA If CNU ánodos Ag 40,186,000 Descuentos Metalúrgicos 8766,995	Por CT RefAg-CT RefCatAg 0,118	124,679		
	ORO If CNU ánodos Au 1,648,672 Descuentos Metalúrgicos 169,880	Por CT RefAu-CT RefCatAu 0,280	15,116		
MARGEN REFINO			8,038,418	8,391,540	-353,122
MARGEN DE ACIDO	l Bolido despachado 283,523,115	Por Precio Acido-comisión 123,03	32,421,253	19,218,749	
MARGEN DE ACIDO			32,421,253	19,218,749	13,202,503
MARGEN METALURGICO					
	COBRE If CNU ánodos Cu 96,138,00 Descuentos Metalúrgicos 3529,620 Descuento Metalúrgico Total 3529,620	Por Precio Cu - CT RefCu-CT RefCatCu 425,390	33,101,627	23,287,224	
	PLATA If CNU ánodos Ag 340,000,000 Descuentos Metalúrgicos 8990,800 Descuento Metalúrgico Total 8990,800	Por Precio Ag - CT RefCatAg 41,71558	9,376,746	1,128,440	
	ORO If CNU ánodos Au 340,000,000 Descuentos Metalúrgicos 149,316 Descuentos Metalúrgicos 149,316	Por Precio Au - RefCatAu 1488,808	7,051,979	323,018	
MARGEN METALURGICO			48,530,350	24,736,880	24,793,870
FINOS NO PAGABLES	Finos	Precio			
Ag oz	28560,02	41,96556	1,240,603		
Au oz	1,382,172	1473,806	2,037,053		
FINOS NO PAGABLES			3,277,556		3,277,556
DESCUENTOS METALURG. REF. ELECT	Finos	Precio			
Cu lb	4099752	430,153		1,763,521	
Ag oz	59785,118	41,98558		2,508,916	
Au oz	1,464,624	1473,806		2,202,798	
FINOS NO PAGABLES				6,475,222	-6,475,222
CREDITOS POR CASTIGOS			665,116		
CREDITOS POR CASTIGOS			665,116		665,116
FLETE ANODOS PAGADOS	ts Flete pagado 44,398,00	Costo Unitario 40.8		1,811,030	
FLETE ANODOS PAGADOS				1,811,030	-1,811,030
TOTAL PROCESOS			130,856,294	108,208,808	22,649,686

6.1 BASES PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO

Se ha considerado el margen operacional real anual antes de impuestos como flujos de cajas constantes en un horizonte de proyecto de 15 años. La tasa de descuento establecida por ENAMI y utilizada en la evaluación económica es de 10%. El principal indicador de rentabilidad utilizado es el Valor Actual Neto. No se ha considerado Capital de Trabajo.

Se ha realizado una evaluación económica, tanto para el Caso Base como cada una de las Alternativas en estudio. Se ha determinado el VAN diferencial entre cada una de las Alternativas contra el Caso Base.

El análisis de sensibilidad se ha decidido realizarlo sólo a las Alternativas 3A y 3B, las que consideran cambio tecnológico en la fusión de concentrados (Proceso Ausmelt de Outotec) además de instalación de campanas (Boliden de Outotec), nuevos ductos para el tren de gases, nuevos VTI y una nueva Planta de Ácido Sulfúrico (Chemetics de Jacobs), siendo las variables utilizadas para estimar la proyección del VAN Diferencial las que se indican a continuación:

- Aumento de la capacidad de fusión de concentrados. Hasta VAN Diferencial nulo.
- Precio del cobre. Variando respecto del precio considerado en el Caso Base (430,153 cUS\$/lb) entre un mínimo de 300 cUS\$/lb y un máximo de 500 cUS\$/lb.
- Precio de ácido sulfúrico. Variando respecto del precio considerado en el Caso Base (123,03 US\$/t) entre un mínimo de 115 US\$/t y un máximo de 130 US\$/t.
- Inversión de capital, CAPEX. Para cada Alternativa se ha considerado una variación de CAPEX de $\pm 20\%$.

6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO CASO BASE

En concordancia con las bases definidas para la evaluación económica, el VAN del Caso Base es de 169 MUS\$/año.

6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 1

Para la Alternativa 1: Mejoras Operacionales y de Infraestructura, se ha realizado una evaluación económica considerando 340.000 y 380.000 t/año de fusión de concentrados, para verificar la amortización del CAPEX. La Tabla 6.6 muestra un resumen de la información.

Tabla 6.6 – Resultados de la Evaluación Económica para la Alternativa 1.

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	89,01	22,65	83,3
380.000	89,01	26,30	111,0

6.4 ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVAS 2A y 2B

Para las Alternativas 2A y 2B (sin cambio tecnológico de fusión, campana de tecnología RSV, Sudáfrica –Alternativa 2A- campana de Tecnología Boliden Outotec, Suecia –Alternativa 2B-, nuevos ductos del tren de gases, nuevos VTI y reemplazo de las Plantas de Ácido actuales por una nueva única) se ha realizado una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, compatible con la capacidad sin cambio tecnológico, es decir, con el Convertidor Teniente actual. Las Tablas 6.7 y 6.8 muestran los resúmenes de la información para las Alternativas 2A y 2B, respectivamente. Para la estimación del margen operacional de la Alternativa 2A se ha considerado una captación total de azufre de 95%, mientras que para la Alternativa 2B una captación de total de azufre de 96%.

Tabla 6.7 – Resultados de la Evaluación Económica para Alternativa 2A.

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	202,87	23,08	-27,3
380.000	202,87	26,78	0,84

Tabla 6.8 – Resultados de la Evaluación Económica para Alternativa 2B.

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	204,13	23,22	-27,5
380.000	204,13	26,94	0,80

6.5 ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 3

Para la Alternativa 3 (cambio tecnológico de fusión Flash Smelting o Ausmelt de Outotec, campana de tecnología Boliden Outotec, nuevos ductos del tren de gases, nuevos VTI y reemplazo de las Plantas de Ácido actuales por una nueva única) se ha realizado una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, compatible con la capacidad sin cambio tecnológico, es decir, con el Convertidor Teniente actual. La Tabla 6.9 muestra el resumen de la información para la Alternativa 3. Para la estimación del margen operacional de la Alternativa 3 se ha considerado una captación total de azufre de 97,5%.

Tabla 6.7 – Resultados de la Evaluación Económica para Alternativa 3.

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	413,23	23,44	-235,0
380.000	413,23	27,18	-206,5

6.6 ANÁLISIS ECONÓMICO ALTERNATIVA 4

Para la Alternativa 4 (cambio tecnológico de fusión, campana de tecnología Boliden Outotec, nuevos ductos del tren de gases, nuevos VTI y reemplazo de las Plantas de Ácido actuales por una nueva única) no se ha realizado la evaluación económica por estimar excesivamente alto el CAPEX para escenarios con cambio de capacidades de fusión que permitan amortizar la inversión de capital. Asimismo, cada escalón de aumento de producción implica aumento de las capacidades de las unidades operativas aguas arriba y aguas debajo de la unidad de fusión, lo que conducirá irremediablemente a un nuevo diseño de Fundición, lo que se aparta de los alcances primitivos de este Estudio de Perfil.

En consecuencia, queda claramente establecido que en esta Alternativa la única tecnología que, probada y consolidada comercialmente cumple simultáneamente las condiciones de mayor fusión y captación de azufre sobre 98%, es el proceso Flash Smelting de Outotec.

6.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 1

La Figura 6.1 muestra como varía el VAN diferencial (Alternativa 1 versus Caso Base) al sensibilizar la capacidad de fusión, considerando valores de 340.000 y 380.000 t/año. Se puede apreciar que al implementar la Alternativa 1, resulta un Δ VAN negativo, lo que significa que manteniendo la capacidad de fusión en 340.000 t/año se dejan de percibir 85,73 MUS\$/año, mientras que al aumentar la capacidad de fusión a 380.000 t/año se dejan de percibir 57,96 MUS\$/año. La proyección del aumento de capacidad de fusión a un valor del orden de 465.000 t/año conduce un Δ VAN = 0, donde es indiferente la Alternativa 1 y el Caso Base. Sin embargo, esta última capacidad de fusión no es posible lograrla con las modificaciones de la Alternativa 1, ya que queda limitada la fusión de concentrados en el Convertidor Teniente y, probablemente, toda la línea de producción aguas abajo; Conversión, RAF y Moldeo.

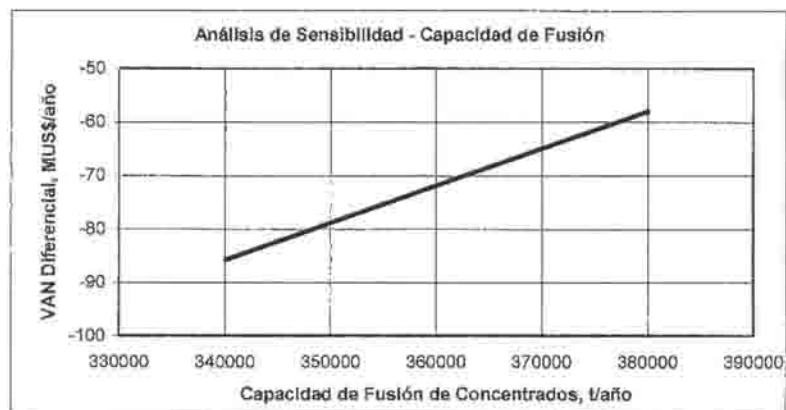


Figura 6.1 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre Δ VAN. Alternativa 1 versus Caso Base.

6.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2A

La Figura 6.2 muestra la variación del Δ VAN (Alternativa 2A versus Caso Base) al sensibilizar la capacidad de fusión, considerando valores de 340.000 y 380.000 t/año. Se aprecia que al implementar la Alternativa 2A, el Δ VAN negativo significa que manteniendo la capacidad de fusión en 340.000 t/año se dejan de percibir 196,3 MUS\$/año, mientras que al aumentar la capacidad de fusión a 380.000 t/año se dejan de percibir 168,2 MUS\$/año.

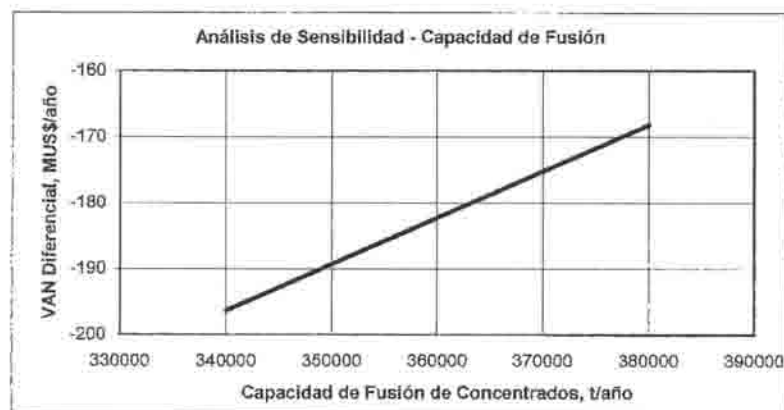


Figura 6.2 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre Δ VAN. Alternativa 2A versus Caso Base.

6.9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2B

La Figura 6.3 muestra la variación del Δ VAN (Alternativa 2B versus Caso Base) al sensibilizar la capacidad de fusión, considerando valores de 340.000 y 380.000 t/año. Se aprecia que al implementar la Alternativa 2B, el Δ VAN negativo significa que manteniendo la capacidad de fusión en 340.000 t/año se dejan de percibir 196,5 MUS\$/año, mientras que al aumentar la capacidad de fusión a 380.000 t/año se dejan de percibir 168,2 MUS\$/año.

Para las Alternativas 2A y 2B, las proyecciones del aumento de capacidad de fusión a un valor del orden de 620.000 t/año conduce un Δ VAN = 0, donde es indiferente la Alternativa 2A o Alternativa 2B y el Caso Base. Sin embargo, esta capacidad de fusión es imposible lograrla con las instalaciones actuales, lo que significa definitivamente una nueva Fundación, con todo lo que ello implica y que ha sido mencionado en el acápite 4.4 de este documento.

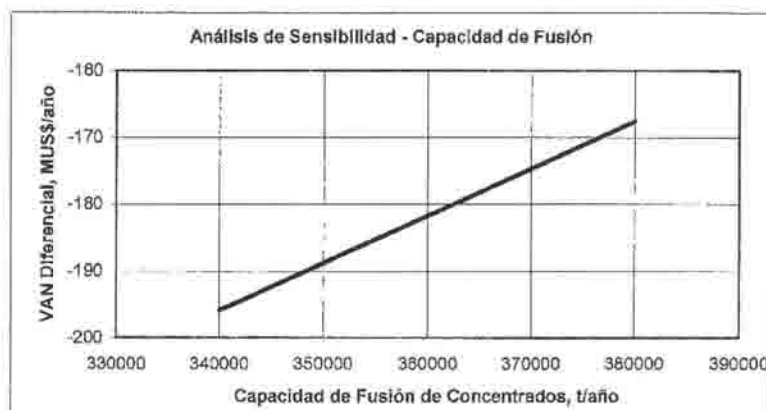


Figura 6.3 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre Δ VAN Alternativa 2B versus Caso Base.

6.10 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 3

La Figura 6.4 muestra la variación del Δ VAN (Alternativa 3 versus Caso Base) al sensibilizar la capacidad de fusión, considerando valores de 340.000 y 380.000 t/año. Se aprecia que al implementar la Alternativa 3, el Δ VAN negativo significa que manteniendo la capacidad de fusión en 340.000 t/año se dejan de percibir 404 MUS\$/año, mientras que al aumentar la capacidad de fusión a 380.000 t/año se dejan de percibir 375,5 MUS\$/año.

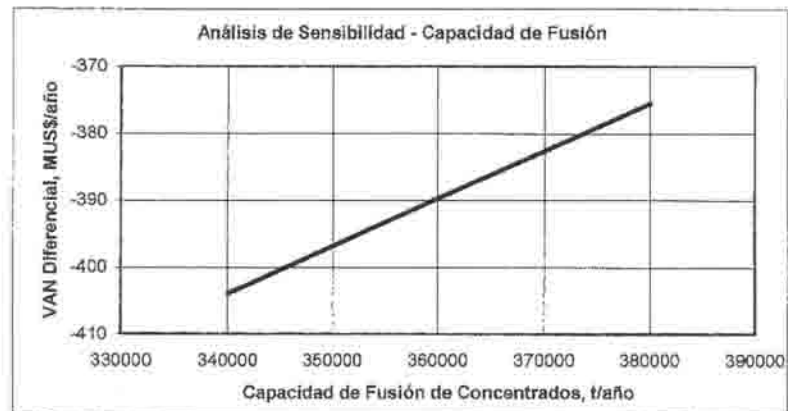


Figura 6.4 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre Δ VAN. Alternativa 3 versus Caso Base.

7.0 PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Considerando la calidad y cantidad de información que se tiene en este nivel de precisión del Estudio, se ha efectuado un análisis para llevar a cabo un Plan de Ejecución del Proyecto en dos fases, a saber:

- Fase I: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre lo más cercana posible a 94%. Se propone tomar la Alternativa 1 y desarrollar el Proyecto llevando a cabo los Estudios de Prefactibilidad - Factibilidad y EPCM en un periodo no mayor que 2 años.
- Fase II: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre mayor que 98%. Se propone tomar las Alternativas 2 y 3, y desarrollar el Proyecto llevando cabo separadamente el Estudio de Prefactibilidad (en el cual se haría un estudio de trade-off para las Alternativas 2 y 3), Estudio de Factibilidad (de la Alternativa seleccionada) y EPCM en un periodo de 4 años.

La Carta Gantt mostrada en la página siguiente muestra el Plan de Ejecución del Proyecto en sus dos fases propuestas.

PLAN DE EJECUCION DEL PROYECTO

FASE I: INGENIERIA CONCEPTUAL Y BASICA ALTERNATIVA 1
(LLEVAR LA OPERACIÓN DE LA FUNDICION HVL A < 54% DE CAPTACION DE SO₂)

Actividad	Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
ESTUDIO PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD																										
Desarrollo Ingeniería Conceptual	2																									
Desarrollo Ingeniería Básica	4																									
EPCM																										
Desarrollo Ingeniería de Detalles	6																									
Adquisiciones	7																									
Obras Previas	3																									
Construcción	8																									
Comisionamiento	2																									
Puesta en Marcha	2																									
Permisos	11																									

FASE II: INGENIERIA CONCEPTUAL Y BASICA ALTERNATIVAS 2 Y 3
(LLEVAR LA OPERACIÓN DE LA FUNDICION HVL A > 87% DE CAPTACION DE SO₂)

Actividad	Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD																																																			
Estudio Trade-Off entre Alternativas 2 y 3	1,5																																																		
Desarrollo Ingeniería Conceptual	2,5																																																		
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD																																																			
Desarrollo Ingeniería Básica	6																																																		
EPCM																																																			
Desarrollo Ingeniería de Detalles	8																																																		
Adquisiciones	12																																																		
Obras Previas	8																																																		
Construcción	24																																																		
Pre-comisionamiento y Comisionamiento	3																																																		
Puesta en Marcha	3																																																		
Permisos	24																																																		

0420

8.0 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Las alternativas definidas para el desarrollado de este Estudio de Perfil son las siguientes:

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura. Implica mantener en uso la tecnología actual, pero realizando mejoras en el sistema de captación (campana primaria) y manejo (ductos) y conducción (VTI) de gases de procesos a PAS y mejoras en las Plantas de Ácido (nuevo catalizador y torre de absorción para cada planta, así como instalación de una Planta de Bisulfito de Sodio para tratamiento de gases de cola).

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias. Implica mantener en uso la tecnología actual de fusión, realizando reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero (Alternativa 2A: K'enyuka, Sudáfrica, y Alternativa 2B: Boliden Outotec, Suecia), tanto en el CT como en los CPS, así como cambios del sistema de manejo de gases (ductos), conducción de gases (VTI) a PAS e instalación de una nueva Planta de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual. Implica reemplazar el uso de la tecnología de fusión actual por otra que permita obtener una mayor captación de SO₂, instalar el nuevo sistema de manejo (ductos), limpieza (caldera y precipitador electrostático) y conducción (VTI) de gases primarios de la nueva tecnología de fusión, manteniendo el reemplazo de las campanas de diseño nacional por otras campanas primarias de diseño extranjero en CPS (se ha considerado las campanas Boliden Outotec), así como reemplazo del sistema de manejo de gases (ductos), reemplazo del sistema de conducción de gases (VTI) desde CPS a PAS y nueva Planta de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 4: Cambio Tecnológico con Fusión Aumentada. Implica reemplazar el uso de la tecnología de fusión actual por otra que permita obtener a la vez una mayor captación de SO₂ y aumentar la capacidad de fusión de concentrados a valores mayores que el máximo de la condición de diseño actual con Convertidor Teniente (380.000 t/año). Finalmente se optó por descartar esta Alternativa ya que representaba CAPEX extremadamente altos por cambios en el Layout de la Fundición, lo que significaba en la práctica instalar una nueva Fundición.

8.1 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de los diversos análisis efectuados en este estudio, se ha concluido lo que se indica en lo que sigue.

8.1.1 Análisis de Alternativas

A partir del análisis de las alternativas definidas, se ha obtenido las siguientes conclusiones:

Situación Actual: Caso Base

La operación actual del complejo Fundición – PAS de ENAMI ostenta una captación de 89% de SO₂. Las emisiones de gases fugitivos representan 11%, desglosadas de la siguiente manera: 7,2% por la Fundición y 3,8% por las Plantas de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura

La operación de la Fundición bajo esta alternativa ostentaría una captación de 93% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 6,75% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

En la operación de sistemas combinados CT - CPS, el logro de captaciones de SO₂ sobre 97% se ve difícil de alcanzar.

En el funcionamiento de las PAS, debe tenerse en cuenta que la antigüedad de éstas conlleva una situación de imponderables operacionales difíciles de pronosticar, aún cuando se tengan planes estrictos de mantenimiento.

La instalación de sistemas de captación de gases fugitivos en las inmediaciones de las campanas primarias implica severas interferencias con estructuras de la Nave Principal y del CT y CPS.

Lo apropiado sería dotar de los sistemas de captación de gases fugitivos sólo en las canaletas de traspaso de líquidos en CT y HELE. Para el tratamiento de estos gases fugitivos es necesario disponer de una Planta de Tratamiento de Gases Fugitivos, que neutralice el SO₂ como yeso u otro residuo sólido, para el cual es necesaria su disposición en forma sustentable ambientalmente.

Aún cuando se realicen las modificaciones operacionales y de infraestructura planteadas, lo que involucra una mejora sustancial de la situación actual desplazando la captación de SO₂ desde 89% hasta un valor cercano a 93,4%, no permite cumplir el escenario de captación de azufre con más baja exigencia definido para este estudio, es decir, 95%.

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 2A ostentaría una captación de 94,3% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 5,45% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 2B ostentaría una captación de 96,5% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 3,25% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual

La operación de la Fundición bajo la Alternativa 3 ostentaría una captación de 98,25% de SO₂, siendo las emisiones desglosadas como: 1,5% por la Fundición y 0,25% de las Plantas de Ácido Sulfúrico.

8.1.2 Análisis de CAPEX

Los costos de capital que debieran ser incurridos al implementar cada una de las Alternativas analizadas en este Estudio de Perfil se muestran en el cuadro de página siguiente.

CAPEX POR ALTERNATIVAS DEL ESTUDIO DE PERFIL

ALTERNATIV A	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA	CAPEX, MUS\$
1	Mejoras Operacionales e Infraestructura * Nuevas campanas CT y CPS nacionales * Nuevos ductos de Gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Cambio de catalizador en Plantas de Ácido * Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio	89,01
2A	Campanas K'enyuka y Cambio Tecnológico en PAS * Nuevas campanas K'enyuka en CT y CPS * Nuevos ductos de gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	202,87
2B	Campanas Boliden y Cambio Tecnológico en PAS * Nuevas campanas Boliden en CT y CPS * Nuevos ductos de gases CT y CPS * Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	204,13
3	Cambio Tecnología Fusión y PAS, Campanas Boliden * Nueva tecnología de fusión: Flash Smelting o Ausmelt * Nuevas campanas Boliden en CPS * Nuevos ductos de gases CPS * Nuevos VTI en tren de gases CPS * Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics	413,23

8.1.3 Análisis de OPEX

Los costos de operación del Caso Base así como los costos diferenciales anuales de las Alternativas versus el Caso Base se muestran en el cuadro siguiente.

OPEX POR ALTERNATIVAS DEL ESTUDIO DE PERFIL

Ítem	Unidad	Costo Diferencial Anual			
		Caso Base	Alternativa 1	Alternativa 2 A	Alternativa 2 B
Energía					
Costo Unitario	US\$/kWh	0,19	0,189	0,185	0,176
Energía Eléctrica (incluye transmisión)		5.895.555	1.190.621	-2.083.618	-2.169.202
Aguas					
Costo Unitario	US\$/m ³	0,896	0,887	0,865	0,826
Agua		314.246	4.796	-235.720	-237.483
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,19	1,16	1,11
Agua Tratada Planta de Ácido		325.537	849.786	-127.231	-131.683
Costo Unitario	US\$/m ³	1,20	1,20	1,20	1,20
Agua Tratada Fundición		0	0	62.052	95.541
Mano de Obra					
Costo Unitario	US\$/Hombr e	1.900	1.900	1.900	1.900
Planta de Ácido		41.800	0	-20.900	-20.900
Mantenimiento Planta de Ácido	US\$/año	1.077.498	120.000	676.502	676.502
Planta de Tratamiento SBS					
Costo Unitario	US\$/t	0	595	0	0
Hidróxido de sodio (50%)		0	9.284.231	0	0
Costo Unitario	US\$/kWh	0	0,19	0	0
Energía Eléctrica		0	426.919	0	0
Costo Unitario	US\$/m ³	0	0,896	0	0
Agua de proceso		0	1.491	0	0
Costo de Operación Diferencial			11.877.844	-1.728.915	-1.787.225

El cuadro siguiente muestra el efecto de cada una de las mejoras operacionales del complejo Fundición – Plantas de Ácido sobre el CAPEX y OPEX

Alternativa 1	Captación de S %	CAPEX USD	ΔOPEX USD
Sólo mejoramientos en tren de gases	89,8	15.161.870	ND
Mejoramiento en tren de gases y cambio de catalizador	93,1	66.983.479	2.165.000
Mejoramiento en tren de gases, cambio de catalizador y Planta de Tratamiento de Bisulfito de Sodio	93,4	89.014.460	11.877.844

0422 VTA



Proyecto C-587
Informe Final
000-D-RP-001
Rev. B

8.1.4. Evaluación Económica

En concordancia con las bases definidas para la evaluación económica, el VAN del Caso Base es de 169 MUS\$/año.

Alternativa 1. Al realizar una evaluación económica, considerando 340.000 y 380.000 t/año de fusión de concentrados, se ha obtenido los resultados mostrados en el cuadro siguiente.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 1

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	66,98	22,65	105,3
380.000	66,98	26,30	133,1

Alternativas 2A y 2B. Al realizar una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, compatible con la capacidad sin cambio tecnológico, se ha obtenido los resultados mostrados en los cuadros siguientes.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 2A

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	202,87	23,08	-27,3
380.000	202,87	26,78	0,84

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 2B

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	203,51	23,22	-26,9
380.000	203,51	26,94	1,42

Alternativa 3. Al realizar una evaluación económica considerando hasta 380.000 t/año de fusión de concentrados, se ha obtenido los resultados mostrados en el cuadro siguiente.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 3

Capacidad de Fusión, t/año	Inversión de Capital, MUS\$	Margen Operacional, MUS\$/año	Valor Actual Neto, MUS\$/año
340.000	413,23	23,44	-235,0
380.000	413,23	27,18	-206,5

Desde la perspectiva de evaluación económica privada, ninguna de las Alternativas es negocio; no obstante, ENAMI deberá realizar una evolución económica desde el punto de vista social para decidir finalmente cuál o cuáles son las Alternativas que deberán seguir en estudio en etapas futuras. La Alternativa 1 pareciera ser una buena opción para el corto plazo, pues conduciría a un mejoramiento sustancial de la condición actual, descomprimiendo la presión comunitaria que se ha cernido sobre la Fundación HVL. En el mediano plazo, quizás en forma paralela al desarrollo de la Alternativa 1 para levantar los cuellos de botella actuales, pueden realizarse los estudios pertinentes para implementar un proyecto Fundación HVL que permita

lograr la meta que definirá la autoridad ambiental en relación con la captación de SO₂ en las Fundiciones nacionales.

8.1.5 Análisis de Sensibilidad

El cuadro siguiente resume los resultados del análisis de sensibilidad del VAN Diferencial de las Alternativas versus Caso Base.

ΔVAN DE ALTERNATIVAS VERSUS CASO BASE (340.000 t/año)

Alternativa	VAN Alternativa, MUS\$/año	VAN Caso Base, MUS\$/año	ΔVAN/año
1	105,3	169	-63,7
2A	-27,3	169	-196,3
2B	-26,9	169	-195,9
3	-235,0	169	-404,0

8.1.6 Plan de Ejecución del Proyecto

Considerando la calidad y cantidad de información que se tiene en este nivel de precisión del Estudio, se ha efectuado un análisis para llevar a cabo un Plan de Ejecución del Proyecto en dos fases, a saber:

- Fase I: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre lo más cercana posible a 94%. Se propone tomar la Alternativa 1 y desarrollar el Proyecto llevando a cabo los Estudios de Prefactibilidad - Factibilidad y EPCM en un periodo no mayor que 2 años.
- Fase II: El objetivo sería llevar la operación de la Fundición HVL a una captación de azufre mayor que 98%. Se propone tomar las Alternativas 2 y 3, y desarrollar el Proyecto llevando cabo separadamente el Estudio de Prefactibilidad (en el cual se haría un estudio de trade-off para las Alternativas 2 y 3), Estudio de Factibilidad (de la Alternativa seleccionada) y EPCM en un periodo de 4 años.

8.2 SUGERENCIAS

Alternativa 1: Mejoras Operacionales e Infraestructura

Para que el nuevo catalizador a utilizar tenga un buen desempeño y larga duración, se sugiere que el flujo de gases desde la Fundición a Plantas de Ácido sea regulado a una condición estable y de composición relativamente pareja, estimándose que los flujos y composiciones de SO₂ en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características: PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂ y PAS2 (CT): 80.000 Nm³/h @ 8,5% SO₂.

Para cumplir lo anterior, se sugiere traslapar los ciclos de CPS en 13 minutos controlándose el contenido de SO₂ en los primeros minutos del ciclo y, además, evitando lapsos sin generación de gases desde CPS a Planta de Ácido. Con esto se podrían realizar 11 ciclos diarios, uno más

que los realizados en la actualidad. Para mantener este traslape, con los dos CPS existentes, el ciclo de conversión aumentaría desde 105 minutos a 131 minutos.

Bajo el escenario de operación antes mencionado, como una forma de proporcionar la flexibilidad operacional requerida, es necesario disponer de un tercer CPS, el cual se sugiere podría instalarse en la posición del Convertidor Hoboken existente en la Fundición.

Alternativa 2: Cambio Tecnológico de Campanas Primarias

Como una opción para aumentar marginalmente la capacidad de fusión de concentrados, se sugiere analizar la posibilidad de reemplazar el CT actual por otro que, además de superar la capacidad de procesamiento tenga un diseño acorde con un análisis que considere la teoría del diseño de reactores y del funcionamiento fluidodinámico del mismo.

La opción mencionada, sumado a las acciones de reemplazo tecnológico de campanas nacionales y reemplazo de ductos y VTI, además de la instalación de una nueva y completa Planta de Ácido, sugieren ser buenas alternativas susceptibles de analizar en una etapa futura del estudio.

Alternativa 3: Cambio Tecnológico con Fusión Actual

Para capacidades de fusión de concentrados similares al Caso Base de la Fundición HVL, entre 330.000 y 350.000 tpa, sólo se ha encontrado un par de aplicaciones de tecnologías comercialmente consolidadas diferentes a la tecnología Convertidor Teniente a nivel mundial, las que corresponden a la tecnología Ausmelt con unidades instaladas y operando en Anhui Tongdu Copper (Tongling City, China, 330.000 tpa) y Birla Copper (Dahej, India, 350.000 tpa). Para la tecnología Flash Smelting Outotec, existe una aplicación comercial de la tecnología en la Fundición de RTB (Bor, Serbia, 300.000 tpa).

Si la decisión de la autoridad ambiental fuese obligar a los planteles de Fundición del país a capturar una proporción igual o mayor que 98% de SO₂; entonces, las tecnologías de fusión Ausmelt y Flash Smelting de Outotec cumplirían con tal exigencia ambiental.

Sugerencias para Futuros Estudios en Etapa Siguiente

Alternativa 1. Bajo el escenario de operación de los dos CPS existentes con traslape, el ciclo de conversión aumentaría desde 105 minutos a 131 minutos. Una forma de proporcionar la flexibilidad operacional requerida, es necesario disponer de un tercer CPS, el cual podría instalarse en la posición del Convertidor Hoboken existente en la Fundición. Se sugiere analizar esta alternativa de proceso.

Alternativa 2. Como una opción para aumentar la capacidad de fusión de concentrados, se sugiere analizar la posibilidad de reemplazar el CT actual por otro que, además de superar la capacidad de procesamiento tenga un diseño acorde con un análisis que considere la teoría del diseño de reactores y del funcionamiento fluidodinámico del mismo. Esta opción, sumado a las acciones de reemplazo de campanas nacionales, reemplazo de ductos y VTI, además de la incorporación de una nueva y completa Planta de Ácido, sugieren ser buenas alternativas susceptibles de analizar en una etapa futura del estudio.

Alternativa 3. Si la decisión de la autoridad ambiental fuese obligar a los planteles de Fundición del país a capturar una proporción igual o mayor que cierta cifra; por ejemplo, entre 96 y 97% de SO₂; entonces, se sugiere realizar un estudio de Trade-off entre las opciones de cambio tecnológico de Outotec: Flash Smelting y Ausmelt. Con ello, se verificará cuál de las dos tecnologías puede ser más competitiva desde un punto de vista técnico-económico. Ya que en la medida que se avance en el estudio se aumenta la precisión de la estimación de CAPEX, esto puede conducir a una mejor decisión al disponer de mejor información.

ANEXOS