

**EMPRESA NACIONAL DE MINERIA****Aumento Captación de SO<sub>2</sub> 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 |

---

|  |    |
|--|----|
| 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub>, 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<br>A | DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA  | CAPEX, MUS\$ |
|-----------------|--|--------------|
| 1               | <b>Mejoras Operacionales e Infraestructura</b><br>* Nuevas campanas CT y CPS nacionales<br>* Nuevos ductos de Gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Cambio de catalizador en Plantas de Ácido<br>* Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio     | 89,01        |
| 2A              | <b>Campanas K'enyuka y Cambio Tecnológico en PAS</b><br>* Nuevas campanas K'enyuka en CT y CPS<br>* Nuevos ductos de gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics  | 202,87       |
| 2B              | <b>Campanas Boliden y Cambio Tecnológico en PAS</b><br>* Nuevas campanas Boliden en CT y CPS<br>* Nuevos ductos de gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics  | 204,13       |
| 3               | <b>Cambio Tecnología Fusión y PAS, Campanas Boliden</b><br>* Nueva tecnología de fusión: Flash Smelting o Ausmelt<br>* Nuevas campanas Boliden en CPS<br>* Nuevos ductos de gases CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CPS<br>* 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 |
| <b>Energía</b>                          |                     |                         |               |                 |                 |
| 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      |
| <b>Agua</b>                             |                     |                         |               |                 |                 |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 0,896                   | 0,887         | 0,865           | 0,828           |
| Agua                                    |                     | 314.246                 | 4.796         | -235.720        | -237.483        |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 1,20                    | 1,19          | 1,18            | 1,11            |
| Agua Tratada Planta de Ácido            |                     | 325.537                 | 849.786       | -127.231        | -131.883        |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 1,20                    | 1,20          | 1,20            | 1,20            |
| Agua Tratada Fundición                  |                     | 0                       | 0             | 62.052          | 85.541          |
| <b>Mano de Obra</b>                     |                     |                         |               |                 |                 |
| Costo Unitario                          | US\$/Hombr<br>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         |
| <b>Planta de Tratamiento SDS</b>        |                     |                         |               |                 |                 |
| 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 <sup>3</sup> | 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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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 SO<sub>2</sub> 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,<br>MUS\$/año | VAN Caso Base,<br>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 SO<sub>2</sub> en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características: PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub> y PAS2 (CT): 80.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub>.

Para cumplir lo anterior, se sugiere traslapar los ciclos de CPS en 13 minutos controlándose el contenido de  $\text{SO}_2$  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 esta valorado.*

### 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  $\text{SO}_2$ , entonces, las tecnologías de fusión Ausmelt y Flash Smelting de Outotec cumplirían con tal exigencia ambiental.

### Sugerencias para Futuros Estudios en Etapa Siguiete

**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  $\text{SO}_2$ ; 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>: 95 y 98%. Asimismo, se analizan las opciones de proyectos de ingeniería para mejorar la captación de SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> de alta concentración del CT son recibidos por la PAS2. Los gases de SO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>                 | 5,71   | O                       | 7,67   |
| Cu <sub>2</sub> S                | 2,20   | Mg                      | 0,30   |
| CuFeS <sub>2</sub>               | 60,15  | Al                      | 4,12   |
| Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> | 6,45   | Si                      | 2,75   |
| Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> | 0,18   | S                       | 30,21  |
| CuS                              | 0,10   | Ca                      | 0,64   |
| Cu <sub>2</sub> O                | 0,10   | Fe                      | 25,36  |
| FeS <sub>2</sub>                 | 11,85  | Cu                      | 26,91  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0,40   | Zn                      | 0,67   |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   | 0,30   | As                      | 0,035  |
| Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> | 0,60   | Mo                      | 0,30   |
| Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   | 0,015  | Ag                      | 0,0095 |
| MgO                              | 0,50   | Sb                      | 0,0200 |
| MoS <sub>2</sub>                 | 0,50   | Au                      | 0,0005 |
| PbS                              | 1,00   | Pb                      | 0,87   |
| Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   | 0,028  | Bi                      | 0,12   |
| ZnS                              | 1,00   | TOTAL                   | 100,0  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 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 <sup>3</sup> /h | A      |
| Generación de polvos CT                                     | 5,3   | g/Nm <sup>3</sup>  | 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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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"> <li>Campana primaria</li> <li>Sangría, canaleta y olla de metal blanco</li> <li>Sangría, canaleta y olla de escoria</li> </ul>                                       |
| Horno Eléctrico de Limpieza de Escoria | <ul style="list-style-type: none"> <li>Canaleta de recepción de escoria CT</li> <li>Sangría, canaleta y olla de metal blanco</li> <li>Gases Chimenea principal</li> </ul>                               |
| Convertidores Peirce-Smith             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Campana primaria</li> <li>Recepción de metal blanco CT y HELE</li> <li>Recepción de carga fría</li> <li>Descarga de cobre blister y escoria mazamorra</li> </ul> |
| Horno de Retención – Horno de Ánodos   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Carga de cobre blister</li> <li>Desulfuración del cobre</li> </ul>   |
| Plantas de Ácido                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Descarga de gases de cola</li> </ul>   |

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 SO<sub>2</sub>: 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 SO<sub>2</sub>. Caso Base

| Situación Actual                               | Emisión, % |     | Total |
|--|------------|-----|-------|
|  | Fundición  | PAS |       |
| Caso Base: Total de Emisión de SO <sub>2</sub> | 7,2        | 3,8 | 11%   |
| Caso Base: Captación de SO <sub>2</sub>        |            |     | 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub> según la implementación de esta alternativa es insuficiente en relación con la meta de captación de 95% de SO<sub>2</sub>. Es evidente que si esta alternativa no es capaz de captar 95%, el análisis del escenario de captación de SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características:

- PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub>.
- PAS2 (CT): 80.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub>.

Tabla 4.2 – Mejoras de Captación de SO<sub>2</sub>. Alternativa 1

| Mejoras/Cambios   | Emisión, % |        | Total  |
|---|------------|--------|--------|
|   | Fundición  | PAS    |        |
| <b>Alternativa 1: Mejoras Operacionales y de Infraestructura Actual</b>   |            |        |        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de campanas primarias (locales) en CT y CPS</li> <li>• Rediseño y cambio de ductos de gases de CT y CPS</li> <li>• Mejoras en VTI de tren de gases de CT y CPS</li> </ul>   | 6,628      | ---    | 6,628  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de catalizador en PAS1</li> <li>• Cambio de Torre de Absorción PAS1</li> <li>• Cambio de catalizador en PAS2</li> <li>• Cambio de Torre de Absorción PAS2</li> <li>• Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio</li> </ul> | ---        | 0,014% | 0,027% |
| Alternativa 1: Total de Emisión de SO <sub>2</sub>  | 6,628%     | 0,014% | 6,64%  |
| Alternativa 1: Captación de SO <sub>2</sub>   |            |        | 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>. 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 SO<sub>2</sub>. Por lo anterior, si se traslaparan los ciclos en 13 minutos se disminuiría el contenido de SO<sub>2</sub> 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  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_3$  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  $\text{SO}_2$  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 SO<sub>2</sub>. 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 <sub>2</sub>                            | 5,45%      | 0,25% | 5,7%  |
| Alternativa 2A: Captación de SO <sub>2</sub>                                   |            |       | 94,3% |

Tabla 4.4 – Mejoras de Captación de SO<sub>2</sub>. 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 <sub>2</sub>                                | 3,25%      | 0,25% | 3,5%  |
| Alternativa 2B: Captación de SO <sub>2</sub>                                       |            |       | 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub>. Alternativa 3

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

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<sub>2</sub>; 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<br>%           | Alternativas 2A y 2B<br>%    |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 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              |
|--------------------------|----------------|---------------------|
| <b>Energía</b>           |                |                     |
| Energía Eléctrica        | 0,19           | US\$/kWh            |
| Agua de Proceso          | 0,896          | US\$/m <sup>3</sup> |
| Agua de Refrigeración    | 1,2            | US\$/m <sup>3</sup> |
| 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<br>Obra | Uso de<br>Equipo | Material  | Subcontratos | Equipos    | Total, US\$      |
|---|------------------------------------|--------|-----------------|------------------|-----------|--------------|------------|------------------|
| <b>AREA 901 - FUSION</b>                    |                                    |        |                 |                  |           |              |            |                  |
| TBD00<br>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        |
|   | <b>Total Area 901 - Fusión</b>     |        |                 |                  |           |              |            | <b>3.541.756</b> |
| <b>AREA 902 - CONVERSION</b>                |                                    |        |                 |                  |           |              |            |                  |
| TBD00<br>3                                  | Campana Captación CPS2             | 5.150  | 128.766         | 77.259           | 156.080   | 0            | 0          | 362.105          |
| TBD00<br>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          |
|   | <b>Total Area 902 - Conversión</b> |        |                 |                  |           |              |            | <b>4.205.792</b> |
| <b>AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO</b> |                                    |        |                 |                  |           |              |            |                  |
| TBD00<br>1                                  | Planta de Ácido Sulfúrico          | 60.000 | 0               | 0                | 4.530.000 | 10.900.000   | 10.570.000 | 26.000.000       |
| TBD00<br>2                                  | Planta de Bisulfito de Sodio       | 28.560 | 0               | 0                | 1.800.000 | 4.400.000    | 4.200.000  | 10.400.000       |

|  |   |                |                  |                  |                  |                   |                   |                   |
|--|---|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | <b>Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico</b> |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>36.400.000</b> |
| <b>AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES</b>  |   |                |                  |                  |                  |                   |                   |                   |
| 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           |
|  | <b>Total Area 906 - Otras Instalaciones</b>       |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>4.761.495</b>  |
|  | <b>COSTOS DIRECTOS</b>                            |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>48.909.043</b> |
| <b>AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS</b>    |   |                |                  |                  |                  |                   |                   |                   |
| IC-001                                 | Costos Indirectos (40% Costos Directos)           | 0              | 0                | 0                | 0                | 19.563.618        | 0                 | 19.563.618        |
|  | <b>Total Area A00 - Costos Indirectos</b>         |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>19.563.618</b> |
|  | <b>COSTO TOTAL</b>                                |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>68.472.661</b> |
| <b>AREA C00 - CONTINGENCIAS</b>        |   |                |                  |                  |                  |                   |                   |                   |
| IC-001                                 | Contingencia (30% Costo Total)                    | 0              | 0                | 0                | 0                | 20.541.798        | 0                 | 20.541.798        |
|  | <b>Total Area C00 - Contingencias</b>             |                |                  |                  |                  |                   |                   | <b>15.456.921</b> |
| <b>TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 1, US\$</b> |   | <b>244.481</b> | <b>2.311.104</b> | <b>1.386.626</b> | <b>9.382.320</b> | <b>60.166.911</b> | <b>15.767.500</b> | <b>89.014.461</b> |

Tabla 5.4 – CAPEX de la Alternativa 2A.

| Ítem  | Descripción                                       | Horas   | Mano de Obra | Uso de Equipo | Material   | Subcontratos | Equipos    | Total, US\$       |
|---|---|---------|--------------|---------------|------------|--------------|------------|-------------------|
| <b>AREA 901 - FUSION</b>                    |   |         |              |               |            |              |            |                   |
| 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         |
|   | <b>Total Area 901 - Fusión</b>                    |         |              |               |            |              |            | <b>8.417.595</b>  |
| <b>AREA 902 - CONVERSION</b>                |   |         |              |               |            |              |            |                   |
| 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           |
|   | <b>Total Area 902 - Conversión</b>                |         |              |               |            |              |            | <b>3.282.110</b>  |
| <b>AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO</b> |   |         |              |               |            |              |            |                   |
| TBD00                                       |   |         |              |               |            |              |            |                   |
| 1   | Planta de Ácido Sulfúrico                         | 204.000 | 0            | 0             | 15.210.000 | 37.000.000   | 35.490.000 | 87.700.000        |
|   | <b>Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico</b> |         |              |               |            |              |            | <b>87.700.000</b> |
| <b>AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES</b>       |   |         |              |               |            |              |            |                   |

|        |   |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
|--------|---|----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 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          |
|        | <b>Total Area 906 - Otras Instalaciones</b> |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>12.065.511</b>  |
|        | <b>COSTOS DIRECTOS</b>                      |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>111.465.216</b> |
|        | <b>AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS</b>         |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
| IC-001 | Costos Indirectos (40% Costos Directos)     | 0              | 0                | 0                | 0                 | 44.588.419         | 0                 | 44.588.419         |
|        | <b>Total Area A00 - Costos Indirectos</b>   |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>44.588.419</b>  |
|        | <b>COSTO TOTAL</b>                          |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>156.053.635</b> |
|        | <b>AREA C00 - CONTINGENCIAS</b>             |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
| IC-001 | Contingencia (30% Costo Total)              | 0              | 0                | 0                | 0                 | 46.817.840         | 0                 | 46.817.840         |
|        | <b>Total Area C00 - Contingencias</b>       |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>46.817.840</b>  |
|        | <b>TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 2A, US\$</b>     | <b>493.489</b> | <b>2.377.302</b> | <b>1.431.040</b> | <b>17.594.160</b> | <b>140.471.770</b> | <b>40.997.204</b> | <b>202.871.476</b> |

Tabla 5.5 – CAPEX de la Alternativa 2B.

| Ítem  | Descripción                                       | Horas   | Mano de<br>Obra | Uso de<br>Equipo | Material   | Subcontratos | Equipos    | Total, US\$       |
|---|---|---------|-----------------|------------------|------------|--------------|------------|-------------------|
| <b>AREA 901 - FUSION</b>                    |   |         |                 |                  |            |              |            |                   |
| 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         |
|   | <b>Total Area 901 - Fusión</b>                    |         |                 |                  |            |              |            | <b>5.204.662</b>  |
| <b>AREA 902 - CONVERSION</b>                |   |         |                 |                  |            |              |            |                   |
| 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           |
|   | <b>Total Area 902 - Conversión</b>                |         |                 |                  |            |              |            | <b>7.185.678</b>  |
| <b>AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO</b> |   |         |                 |                  |            |              |            |                   |
| TBD00                                       |   |         |                 |                  |            |              |            |                   |
| 1   | Planta de Ácido Sulfúrico                         | 204.000 | 0               | 0                | 15.210.000 | 37.000.000   | 35.490.000 | 87.700.000        |
|   | <b>Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico</b> |         |                 |                  |            |              |            | <b>87.700.000</b> |

|                                       |   |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
|---------------------------------------|---|----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES</b> |   |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
| 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          |
|                                       | <b>Total Area 906 - Otras Instalaciones</b> |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>12.071.342</b>  |
|                                       | <b>COSTOS DIRECTOS</b>                      |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>112.161.682</b> |
| <b>AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS</b>   |   |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
| IC-001                                | Costos Indirectos (40% Costos Directos)     | 0              | 0                | 0                | 0                 | 44.864.673         | 0                 | 44.864.673         |
|                                       | <b>Total Area A00 - Costos Indirectos</b>   |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>44.864.673</b>  |
|                                       | <b>COSTO TOTAL</b>                          |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>157.026.355</b> |
| <b>AREA C00 - CONTINGENCIAS</b>       |   |                |                  |                  |                   |                    |                   |                    |
| IC-001                                | Contingencia (30% Costo Total)              | 0              | 0                | 0                | 0                 | 47.107.907         | 0                 | 47.107.907         |
|                                       | <b>Total Area C00 - Contingencias</b>       |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>47.107.907</b>  |
| <b>TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 2B.</b>    |   |                |                  |                  |                   |                    |                   | <b>204.134.26</b>  |
| <b>US\$</b>                           |   | <b>553.103</b> | <b>2.217.648</b> | <b>1.330.552</b> | <b>17.594.640</b> | <b>141.043.922</b> | <b>41.947.500</b> | <b>2</b>           |

0411

Tabla 5.6 – CAPEX de la Alternativa 3.

| Ítem  | Descripción                                       | Horas   | Mano de Obra | Uso de Equipo | Material   | Subcontratos | Equipos    | Total              |
|---|---|---------|--------------|---------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| <b>AREA 901 - FUSION</b>                    |   |         |              |               |            |              |            |                    |
| TBD00<br>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          |
|   | <b>Total Area 901 - Fusión</b>                    |         |              |               |            |              |            | <b>110.350.286</b> |
| <b>AREA 902 - CONVERSION</b>                |   |         |              |               |            |              |            |                    |
| TBD00<br>3                                  | Campana Captación CPS2                            | 5.653   | 141.330      | 84.798        | 0          | 0            | 1.820.000  | 2.046.128          |
| TBD00<br>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            |
|   | <b>Total Area 902 - Conversión</b>                |         |              |               |            |              |            | <b>7.229.778</b>   |
| <b>AREA 905 - PLANTA DE ACIDO SULFURICO</b> |   |         |              |               |            |              |            |                    |
| TBD00<br>1                                  | Planta de Ácido Sulfúrico                         | 244.800 | 0            | 0             | 15.210.000 | 37.000.000   | 35.490.000 | 87.700.000         |
|   | <b>Total Area 905 - Planta de Ácido Sulfúrico</b> |         |              |               |            |              |            | <b>87.700.000</b>  |
| <b>AREA 906 - OTRAS INSTALACIONES</b>       |   |         |              |               |            |              |            |                    |
| 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          |
|        | <b>Total Area 906 - Otras Instalaciones</b> |                |                  |                  |                   |                    |                    | <b>21.771.376</b>  |
|        | <b>COSTOS DIRECTOS</b>                      |                |                  |                  |                   |                    |                    | <b>227.051.440</b> |
|        | <b>AREA A00 - COSTOS INDIRECTOS</b>         |                |                  |                  |                   |                    |                    |                    |
| IC-001 | Costos Indirectos (40% Costos Directos)     | 0              | 0                | 0                | 0                 | 90.820.576         | 0                  | 90.820.576         |
|        | <b>Total Area A00 - Costos Indirectos</b>   |                |                  |                  |                   |                    |                    | <b>90.820.576</b>  |
|        | <b>COSTO TOTAL</b>                          |                |                  |                  |                   |                    |                    | <b>317.872.016</b> |
|        | <b>AREA C00 - CONTINGENCIAS</b>             |                |                  |                  |                   |                    |                    |                    |
| IC-001 | Contingencia (30% Costo Total)              | 0              | 0                | 0                | 0                 | 95.361.605         | 0                  | 95.361.605         |
|        | <b>Total Area C00 - Contingencias</b>       |                |                  |                  |                   |                    |                    | <b>95.361.605</b>  |
|        | <b>TOTAL CAPEX ALTERNATIVA 3</b>            | <b>868.158</b> | <b>2.039.328</b> | <b>1.223.596</b> | <b>17.594.640</b> | <b>273.733.557</b> | <b>118.642.500</b> | <b>413.233.621</b> |

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        |
| <b>TOTAL</b>    |                        | <b>244481</b> | <b>2.311.104</b> | <b>1.386.626</b>        | <b>9.382.320</b> | <b>60.166.911</b> | <b>15.767.500</b> | <b>89.014.461</b> |

| 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        |
| <b>TOTAL</b> |                                    | <b>24.114</b> | <b>277.350</b> | <b>166.410</b>          | <b>557.600</b> | <b>2.732.042</b> | <b>783.750</b> | <b>4.517.152</b> |

| 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         |
| <b>TOTAL</b>   |                     | <b>493.489</b> | <b>2.377.302</b> | <b>1.431.040</b>        | <b>17.594.160</b> | <b>140.471.770</b> | <b>40.997.204</b> | <b>202.871.476</b> |

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         |
| <b>TOTAL</b>   |                     | <b>553.103</b> | <b>2.217.648</b> | <b>1.330.552</b>        | <b>17.594.640</b> | <b>141.043.922</b> | <b>41.947.500</b> | <b>204.134.262</b> |

| 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         |
| <b>TOTAL</b>  |                     | <b>868.158</b> | <b>2.039.328</b> | <b>1.223.596</b>        | <b>17.594.640</b> | <b>273.733.557</b> | <b>118.642.500</b> | <b>413.233.621</b> |

**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<br>% | CAPEX<br>USD | ΔOPEX<br>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 |
| <b>Energía</b>                          |                     |                         |               |                 |                 |
| 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      |
| <b>Agua</b>                             |                     |                         |               |                 |                 |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 0,898                   | 0,887         | 0,865           | 0,826           |
| Agua                                    |                     | 314.248                 | 4.796         | -235.720        | -237.483        |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 1,20                    | 1,20          | 1,20            | 1,20            |
| Agua Tratada Fundición                  |                     | 0                       | 0             | 62.052          | 95.541          |
| <b>Mano de Obra</b>                     |                     |                         |               |                 |                 |
| Costo Unitario                          | US\$/Hombr<br>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                       | 695           | 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 <sup>3</sup> | 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 ANALISIS 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 SO<sub>2</sub> 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<br>340.000,00   | Por CT fue<br>108,54                            | 36.903.600  | 47.573.386  |   |             |
|                                 | ts CNU blater<br>0,00   | 0   | 0           |             |   |             |
| MARGEN FUNDICION                |   |   | 36.903.600  | 47.573.386  |   | -10.669.786 |
| MARGEN REFINO                   |   |   |             |             |   |             |
| COBRE                           | If CNU ánodos Cu<br>95.138,00<br>Descuentos Metalúrgicos<br>3529.620  | Por CT RefCu-CT RefCatCu<br>3,911               | 7.898.728   |             |   |             |
| PLATA                           | If CNU ánodos Neto<br>91808,380<br>If CNU ánodos Ag<br>40.198.000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>6786.996          | Por CT RefAg-CT RefCatAg<br>0,116               | 124.575     |             |   |             |
| ORO                             | If CNU ánodos Au<br>1.848.872<br>Descuentos Metalúrgicos<br>169.680<br>If CNU ánodos Neto<br>1678.992             | Por CT RefAu-CT RefCatAu<br>0,280               | 55.116      |             |   |             |
| MARGEN REFINO                   |   |   | 8.038.418   | 8.391.540   |   | -353.122    |
| MARGEN DE ACIDO                 | l ácido despachado<br>264.930,00  | Por Precio Acido-comisión<br>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<br>95.138,00<br>Descuentos Metalúrgicos<br>3526.620<br>Descuento Metalúrgico Total<br>3526,620   | Por Precio Cu - CT RefCu-CT RefRefCu<br>426,390 | 33.101.627  | 23.287.224  |   |             |
| PLATA                           | If CNU ánodos Ag<br>340.000,000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>8990,600<br>Descuento Metalúrgico Total<br>8990,600 | Por Precio Ag - CT RefCatAg<br>41,71558         | 9.376.746   | 1.126.440   |   |             |
| ORO                             | If CNU ánodos Au<br>340.000,000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>148.316<br>Descuentos Metalúrgicos<br>148.316       | Por Precio Au - RefCatAu<br>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<br>44.988,00  | Costo Unitario<br>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<br>340,000,00      | Por CT fue<br>108,54   | 38,903,800                                      | 47,673,388  |             |
|                                 | ts CNU blister<br>0,00           | 0  | 0   |             |             |
| MARGEN FUNDICION                |                                  |  | 38,903,800                                      | 47,673,388  | -10,669,788 |
| MARGEN REFINO                   |                                  |  |   |             |             |
|                                 | COBRE                            | If CNU ánodos Cu<br>96,138,00<br>Descuentos Metalúrgicos<br>3529,820   |   |             |             |
|                                 |                                  | If CNU ánodos Neto<br>91808,380  | Por CT RefCu-CT RefCatCu<br>3,911               | 7,898,728   |             |
|                                 | PLATA                            | lf CNU ánodos Ag<br>40,186,000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>8766,995  |   |             |             |
|                                 |                                  | If CNU ánodos Neto<br>33399,004  | Por CT RefAg-CT RefCatAg<br>0,118               | 124,579     |             |
|                                 | ORO                              | lf CNU ánodos Au<br>1,648,572<br>Descuentos Metalúrgicos<br>169,880    |   |             |             |
|                                 |                                  | If CNU ánodos Neto<br>1678,992   | Por CT RefAu-CT RefCatAu<br>0,280               | 15,116      |             |
| MARGEN REFINO                   |                                  |  | 8,038,418                                       | 8,391,540   | -353,122    |
| MARGEN DE ACIDO                 | l todo despachado<br>283,523,115 | Por Precio Acido-comisión<br>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<br>96,138,00<br>Descuentos Metalúrgicos<br>3529,820   |   |             |             |
|                                 |                                  | Descuento Metalúrgico Total<br>3529,820                                | Por Precio Cu - CT RefCu-CT RefRafCu<br>425,390 | 33,101,627  | 23,287,224  |
|                                 | PLATA                            | lf CNU ánodos Ag<br>340,000,000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>8990,800 |   |             |             |
|                                 |                                  | Descuento Metalúrgico Total<br>8990,800                                | Por Precio Ag - CT RefCatAg<br>41,71558         | 9,376,746   | 1,128,440   |
|                                 | ORO                              | lf CNU ánodos Au<br>340,000,000<br>Descuentos Metalúrgicos<br>149,316  |   |             |             |
|                                 |                                  | Descuentos Metalúrgicos<br>149,316                                     | Por Precio Au - RefCatAu<br>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                         | 41,98558   | 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                           | 1,464,824                        | 1473,806   |   | 2,202,798   |             |
| FINOS NO PAGABLES               |                                  |  |   | 6,475,222   | -6,475,222  |
| CREDITOS POR CASTIGOS           |                                  |  |   |             |             |
|                                 |                                  |  | 685,116   |             |             |
| CREDITOS POR CASTIGOS           |                                  |  | 685,116   |             | 685,116     |
| FLETE ANODOS PAGADOS            | ts Flete pagado<br>44,398,00     | Costo Unitario<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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  $\Delta$ 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  $\Delta$ 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.

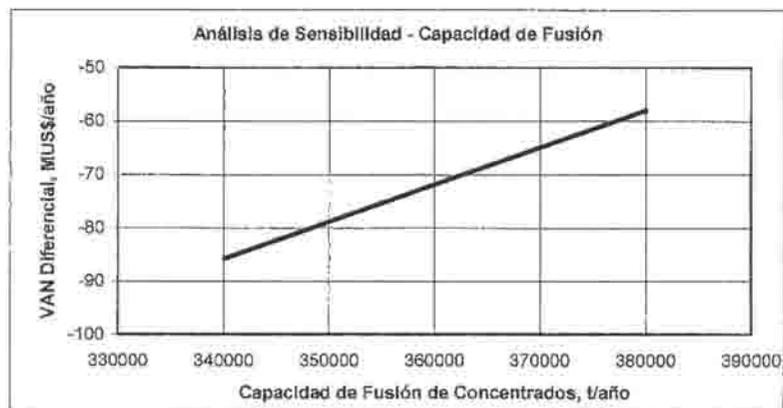


Figura 6.1 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre  $\Delta$ VAN. Alternativa 1 versus Caso Base.

## 6.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2A

La Figura 6.2 muestra la variación del  $\Delta$ 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  $\Delta$ 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.

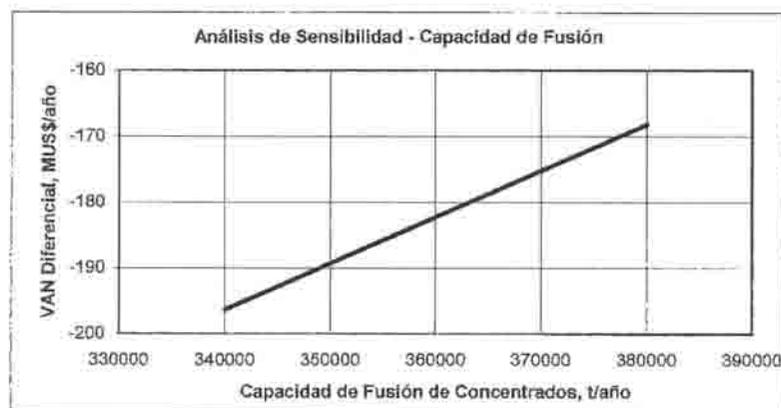


Figura 6.2 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre  $\Delta$ VAN. Alternativa 2A versus Caso Base.

## 6.9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 2B

La Figura 6.3 muestra la variación del  $\Delta$ 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  $\Delta$ 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  $\Delta$ 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.

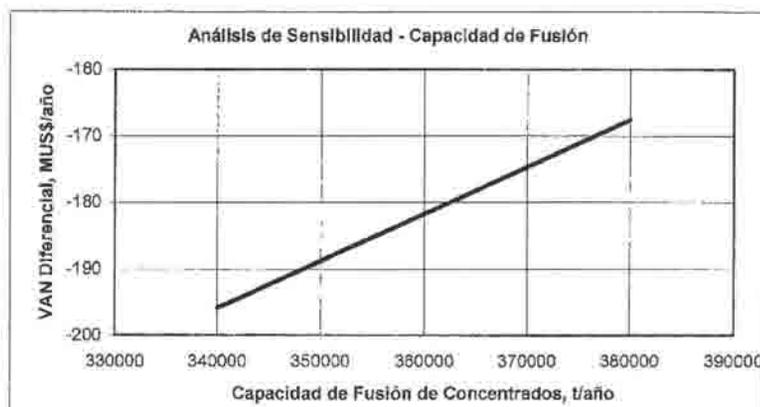


Figura 6.3 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre  $\Delta$ VAN Alternativa 2B versus Caso Base.

## 6.10 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 3

La Figura 6.4 muestra la variación del  $\Delta$ 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  $\Delta$ 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.

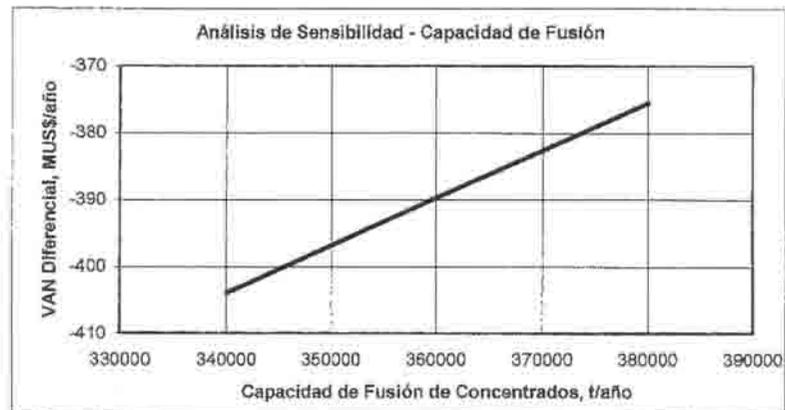


Figura 6.4 – Análisis de Sensibilidad. Capacidad de Fusión sobre  $\Delta$ VAN. Alternativa 3 versus Caso Base.

## 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 SO<sub>2</sub>)

| 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 |
|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>ESTUDIO PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD</b> |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Desarrollo Ingeniería Conceptual              | 2     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Desarrollo Ingeniería Básica                  | 4     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>EPCM</b>                                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 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 SO<sub>2</sub>)

| 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 |  |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| <b>ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD</b>          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Estudio Trade-Off entre Alternativas 2 y 3 | 1,5   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Desarrollo Ingeniería Conceptual           | 2,5   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD</b>             |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Desarrollo Ingeniería Básica               | 6     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <b>EPCM</b>                                |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 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 SO<sub>2</sub>, 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<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>. 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub>, 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<br>A | DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA  | CAPEX, MUS\$ |
|-----------------|--|--------------|
| 1               | <b>Mejoras Operacionales e Infraestructura</b><br>* Nuevas campanas CT y CPS nacionales<br>* Nuevos ductos de Gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Cambio de catalizador en Plantas de Ácido<br>* Instalación de Planta de Bisulfito de Sodio     | 89,01        |
| 2A              | <b>Campanas K'enyuka y Cambio Tecnológico en PAS</b><br>* Nuevas campanas K'enyuka en CT y CPS<br>* Nuevos ductos de gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics  | 202,87       |
| 2B              | <b>Campanas Boliden y Cambio Tecnológico en PAS</b><br>* Nuevas campanas Boliden en CT y CPS<br>* Nuevos ductos de gases CT y CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CT y CPS<br>* Nueva y completa Planta de Ácido Chemetics  | 204,13       |
| 3               | <b>Cambio Tecnología Fusión y PAS, Campanas Boliden</b><br>* Nueva tecnología de fusión: Flash Smelting o Ausmelt<br>* Nuevas campanas Boliden en CPS<br>* Nuevos ductos de gases CPS<br>* Nuevos VTI en tren de gases CPS<br>* 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   |
| <b>Energía</b>                          |                     |                         |                   |                   |                   |
| 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        |
| <b>Aguas</b>                            |                     |                         |                   |                   |                   |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 0,896                   | 0,887             | 0,865             | 0,826             |
| Agua                                    |                     | 314.246                 | 4.796             | -235.720          | -237.483          |
| Costo Unitario                          | US\$/m <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 1,20                    | 1,20              | 1,20              | 1,20              |
| Agua Tratada Fundición                  |                     | 0                       | 0                 | 62.052            | 95.541            |
| <b>Mano de Obra</b>                     |                     |                         |                   |                   |                   |
| 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           |
| <b>Planta de Tratamiento SBS</b>        |                     |                         |                   |                   |                   |
| 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 <sup>3</sup> | 0                       | 0,896             | 0                 | 0                 |
| Agua de proceso                         |                     | 0                       | 1.491             | 0                 | 0                 |
| <b>Costo de Operación Diferencial</b>   |                     |                         | <b>11.877.844</b> | <b>-1.728.915</b> | <b>-1.787.225</b> |

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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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,<br>t/año | Inversión de Capital,<br>MUS\$ | Margen Operacional,<br>MUS\$/año | Valor Actual Neto,<br>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 SO<sub>2</sub> 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,<br>MUS\$/año | VAN Caso Base,<br>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 SO<sub>2</sub> en los gases a Plantas de Ácido debieran consignar las siguientes características: PAS1 (CPS2 y CS3): 50.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub> y PAS2 (CT): 80.000 Nm<sup>3</sup>/h @ 8,5% SO<sub>2</sub>.

Para cumplir lo anterior, se sugiere traslapar los ciclos de CPS en 13 minutos controlándose el contenido de SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>; 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.

0424 VTA

**JACOBS™**

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

**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<sub>2</sub>; 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