



## 7. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICIÓN HERNÁN VIDELA LIRA

### 7.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Estimar costos de inversión y operación incremental de las soluciones medioambientales para fundición HVL, para enfrentar cada escenario regulatorio y las emisiones en chimenea, indicando la factibilidad de cumplimiento y fiscalización.
  - Realizar la evaluación con enfoque costo-eficiencia (US\$/ t abatida).
  - Evaluación de VAC y CAE diferencial por escenario (tasa de descuento 6%).
- Caso Base

Para los fines del presente estudio, el Ministerio de Medio Ambiente ha definido dejar invariante la capacidad nominal de procesamiento de concentrados para cada fundición registrada el año 2010, esto es, que la cantidad de concentrados que cada faena puede procesar se mantiene inalterada respecto del año base seleccionado.

Lo anterior con el fin de establecer el impacto de cada medida de reducción de emisiones en el costo marginal de procesamiento de concentrado, mediante la implementación de sistemas de control y seguimiento.

Por lo tanto el escenario base para fundición HVL considera una capacidad nominal de fusión anual de 350 kt/año de concentrados de cobre.



## 7.2 Descripción General de la Fundición

La fundición HVL fue la primera fundición nacional, propiedad de la empresa nacional de Minería (ENAMI), la cual tiene como objeto fomentar el desarrollo de la minería de pequeña y mediana escala. Para esto, se emplean mecanismos que permiten corregir las fallas propias de los mercados, brindando asistencia técnica, operaciones de procesamiento metalúrgico y actividades comerciales.

Inició sus actividades el año 1951 y su objetivo fue actuar como maquiladora para los concentrados de pequeña y mediana minería. Su capacidad de procesamiento inicial fue de 50 ktpa de concentrado, basada en la operación de un horno de reverbero y tres convertidores Hoboken.

En septiembre el año 1991, la autoridad ambiental gubernamental promulgó el Decreto Supremo N° 185 del Ministerio de Minería, que define entre otras cosas, las normas para calidad del aire por anhídrido sulfuroso y material particulado. En otro aspecto, este Decreto Supremo establece en aquellas zonas saturadas por algunos de los contaminantes indicados, que las fuentes fijas deben presentar un Plan de Descontaminación.

El Plan de Modernización y Descontaminación de HVL, contempló básicamente la eliminación de la fusión en horno de reverbero, principal generador de gases contaminantes, para realizarla totalmente en un Convertidor Teniente (CT), operando con inyección de concentrado seco y aire enriquecido con oxígeno (38%), procesando los gases generados en la fusión/conversión en plantas de ácido sulfúrico, para lo cual se consideraron nuevos sistema de enfriamiento y limpieza de gases, así como una segunda planta de ácido, adicional a la existente.



Lo anterior, permitió tratar la totalidad de los gases sulfurosos captados en las campanas del CT y de los convertidores tradicionales (2 CPS), captando del orden del 90% del azufre ingresado a la fundición. Para el tratamiento de las escorias de fusión/conversión se consideró la instalación de un Horno Eléctrico, con el objetivo principal de aumentar la recuperación de cobre, bajando a menos de 1% el contenido de cobre en la escoria de descarte.

Para el secado de concentrados se instaló un secador rotatorio con filtros de manga y un sistema de transporte e inyección de concentrado seco al CT. El oxígeno para el enriquecimiento del aire, es suministrado por una planta de oxígeno de 300 t/d, de capacidad.

El mayor consumo de energía eléctrica, implicó la necesidad de instalar una nueva sub-estación eléctrica.

#### 7.2.1 Descripción de la Planta

La fundición está compuesta por los siguientes equipos principales

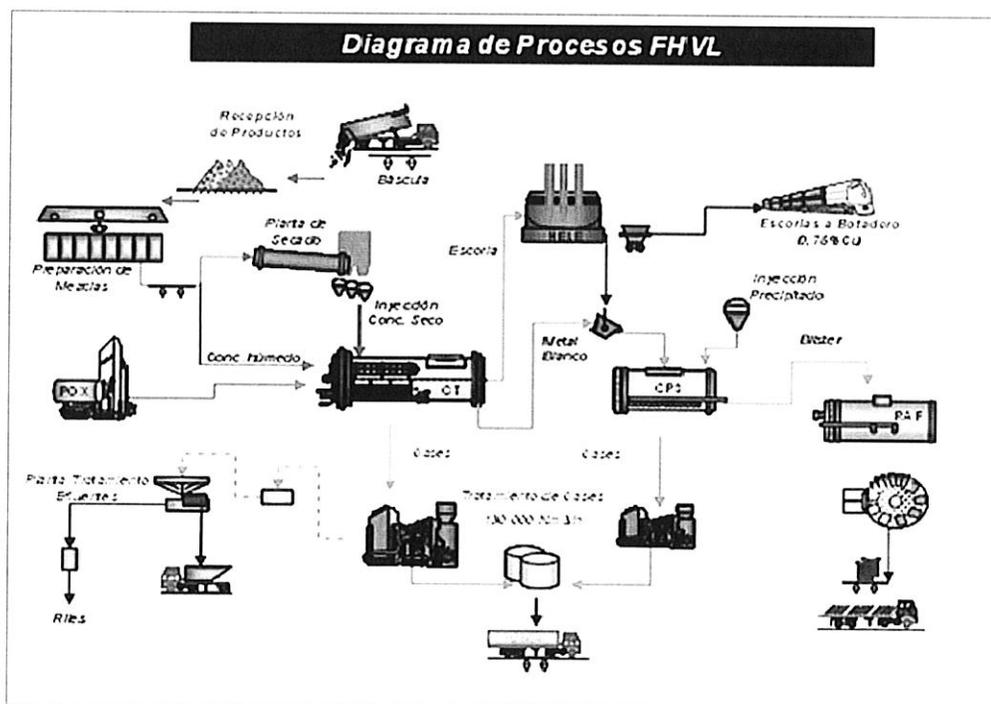
Recepción de concentrados	: Buzones, canchas y mezcla de concentrado
Secado	: 1 secador rotatorio Fuller (55 t/h)
Horno de fusión	: 1 convertidor Teniente (3,9 m x 16 m)
Limpieza de escoria	: 1 horno eléctrico Demag (10 m diámetro x 5 m alto)(9,5 MVA).
Convertidores	: 2 Peirce-Smith (3,0 m x 7,2 m), uno caliente
Horno de retención	: 1 rotatorio (3,0m x 25m)
Hornos de Ánodos	: 1 rotatorios (4,0m x 9m)
Ruedas de Moldeo	: 1 ruedas OK (35 t/h)- ánodos 275 kg
Plantas de oxígeno	: 1 Air Liquide (300 t/d)

- Plantas de ácido : 2 (Mechim S.A y Monsanto) simple contacto, 50.000 y 80.000 Nm<sup>3</sup>/h, respectivamente, ambas potenciadas
- Otros, efluentes PLG : Planta neutralización de ácido débil, con cal, con descarte de sólidos en depósito autorizado, sector alto cuesta Cardones
- Dimensiones nave : 130 m \*12 m \*12 m

Los ánodos de la Fundición HVL son tratados en la Refinería Ventanas.

En la figura 7.2.1 se muestra a continuación el Diagrama de procesos de la Fundición Hernán Videla Lira.

Figura 7.2.1 Diagrama de procesos Fundición Hernán Videla Lira.



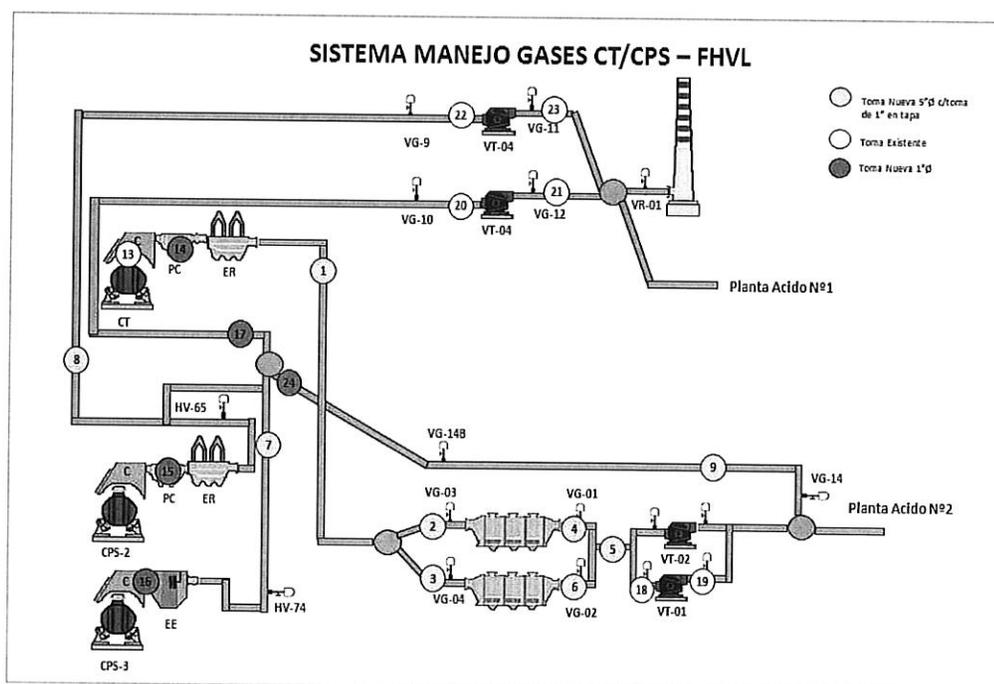
Fuente: Proporcionado por MMA.

## 7.2.2 Descripción Sistema de Manejo y Limpieza de Gases

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

En la figura 7.2.2, se muestra el esquema operativo del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición HVL.

Figura 7.2.2 Esquema operativo del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición HVL



Fuente: Proporcionado por MMA.



La instalación cuenta de un sistema de manejo de gases en líneas independientes dedicadas, para atender las operación unitarias de fusión y conversión, incluyendo precipitadores electrostáticos y VTI, y dos plantas de ácido de baja capacidad, (PAS 2 de 80.000 Nm<sup>3</sup>/h con gases de CT y PAS 1 de 50.000 Nm<sup>3</sup>/h con gases de CPS y una fracción del CT). Bajo lo anterior la disposición de equipos considerada adecuada por la nula interferencia y competencia entre los flujos de gases, adolece sin embargo de una cámara de mezcla para uniformar la concentración de gases hacia la PLG1 que procesa los gases de CPS, la que incorpora una fracción de 5% a 15% de los gases de CT mezclada intermitentemente con los gases del CPS, para permitir la autotermia, de la planta, según antecedentes registran un alto consumo de combustible.<sup>17</sup>

La fundición HVL, dispone de las dos plantas de ácido sulfúrico citadas para el tratamiento de gases primarios. Ambas plantas son antiguas, (operan desde los años 70 y fueron potenciadas para esa instalación), son de contacto simple pero están actualmente en mal estado, presentando eficiencias del orden de 94% y 96%, a igual que el sistema de manejo y enfriamiento de gases.<sup>18</sup> Según Informe Jacobs, existe una cantidad de infiltraciones desusadamente altas, en el manejo de gases de CT y CPS, debido al estado de los equipos, lo que provocaría la saturación de la capacidad de procesamiento de gases en las PAS.

Lo anterior es particularmente importante para la búsqueda de soluciones de mejoramiento medioambiental, ya que necesariamente debe analizarse el sistema de manejo de gases como un todo. Cualquier deficiencia al interior del sistema de manejo de gases (infiltraciones de aire, falta de capacidad de enfriamiento de gases, capacidad insuficiente de VTI, falta de control de tiraje, capacidad insuficiente de captación de polvos e insuficiente capacidad de tratamiento de

<sup>17</sup> Encuesta MMA a Fundiciones Nacionales, 2011

<sup>18</sup> Informe Jacobs, Estudio de perfil "Aumento Captación SO<sub>2</sub> Fundición HVL", 2011.



gases en PAS) puede hacer ineficiente medidas de mejoramiento, tales como; campanas primarias y secundarias de captación de gases.

El sistema de captación, manejo y limpieza de gases primarios, funciona basado en el control de tiraje, que es el efecto físico de depresión que generan la aspiración de los VTI y que hace posible el ingreso de aire de dilución en las campanas primarias, en equilibrio con la aspiración e impulso de los gases generado por el ventilador principal de planta de ácido, para su ingreso a la limpieza húmeda y secado de los gases, y para vencer las caídas de presión provocada por las torres de catálisis y absorción principalmente.

Con la configuración y estado de los equipos actuales, la fundición HVL declara una captación y abatimiento de azufre de 89,4 %, valor que en base la distribución por fuentes por configuración tecnológica, desarrollada en el capítulo 3, para el esquema CT-CPS-HEL y la inclusión de particularidades de la instalación, se calculó en 89% en S y 91,1% As.

### 7.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

#### 7.3.1 Emisión de Azufre y Arsénico

Considerando el criterio de distribución de emisiones por fuente, bajo el valor medio de fijación Azufre y Arsénico declarado versus el calculado, la distribución estimada de emisiones y contenidos proyectados de azufre para el mediano plazo, permite visualizar las siguientes emisiones por fuentes.

Tabla 7.3.1 Emisiones de Azufre y Arsénico Fundición Hernán Videla Lira

<b>Hernán Videla Lira</b>	<b>Med. Plazo</b>	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	350.000
Ley Media S en concentrados (%)		32,8
Ley Media As en concentrados (%)		0,05

Emisión por Fuentes t/a Fundición Hernán Videla Lira	Base Med. Plazo	
	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario CT (giro+campana)	3.087	4
Residual tratamiento fugitivo primario CT	n/d	n/d
Fugitivo Sangría CT MB/Escoria	1.101	1,4
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	2.524	0,2
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d
Chimenea y sangrías HE	273	8
Residual tratamiento gases HE	n/d	n/d
Gases de cola PAS	4.872	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d
Refino HA	126	2
Otras fuentes	680	0
Ajustes	-251	-0,3
<b>Total emisión t/a</b>	<b>12.412</b>	<b>15</b>
<b>Captura y Fijación ajustada con desviación <math>\pm 0,2\%</math> S</b>	<b>89,2</b>	<b>91,3</b>

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes entregados por el MMA.

La tabla incluye una sección de ajustes correspondiente a la dispersión de los datos con respecto a lo declarado por la fundición, debido a que en todas las fundiciones se ha utilizado el valor medio de fijación de S, entre el calculado en base a modelación y el declarado por cada fundición. El nivel de fijación de arsénico esta asociado a la fijación de S.

Las principales fuentes emisoras en esta instalación la constituyen los gases fugitivos de la boca de los CPS y las emisiones residuales de las plantas de ácido. También constituyen una fuente importante los gases fugitivos del CT y sangrías de esta unidad, que cuenta solo con los sistemas primarios de captura.

El bajo nivel de fijación de HVL junto a episodios críticos en los alrededores, han generado a ENAMI la necesidad de estudios de diagnóstico e Ingeniería de Perfil



de soluciones<sup>19</sup>, a las que habrá que incorporar un trabajo más detallado de restricciones técnicas y real estado de esta instalación, ubicada de manera tal que hoy se encuentra rodeada por un área altamente poblada, debido al constante crecimiento en el tiempo de la ciudad de Copiapó.

Según lo indicado en Tabla 7.3.1 la fijación de arsénico alcanza un nivel superior en 2,1% al valor obtenido con el azufre, verificándose holgadamente el 1% por sobre la captura esperada de azufre, criterio indicado en las bases de entendimiento y que debe operar en conjunto con la magnitud en tonelaje y calidad de los concentrados alimentados, que como valor medio proyectan un bajo contenido de As 0,05%, aunque con presencia de Hg (10,5 ppm promedio proyectado).

### 7.3.2 Emisión de mercurio

La información sobre la proyección de este elemento indica que éste variaría entre 2 y 19 ppm, valor fuertemente relacionado con el tratamiento de concentrados de cobre con contenido de oro, el que normalmente se encuentra acompañado con mercurio. Esto generará emisiones en su estado gaseoso, mayoritariamente en la etapa de fusión de los concentrados.

Se estima que sobre el 99% de mercurio contenido en los concentrados pasa a la fase gaseosa y se distribuye en forma similar al As, vale decir, preferentemente en la fusión pasa a la fase gaseosa y una alta fracción se recupera en los equipos de captación de MP (precipitadores electrostáticos), eventualmente una pequeña proporción llega a la PAS, donde es captado en la etapa de limpieza húmeda, lo que también permite asegurar la producción de ácido sulfúrico con menos de 1

<sup>19</sup> Informe Jacobs, Estudio de perfil "Aumento Captación SO<sub>2</sub> Fundición HVL", 2011.



---

ppm, de este elemento.<sup>20</sup> Por lo anterior, como caso especial para HVL se justifica una torre de des-mercurizado.

### 7.3.3 Emisión de material particulado

Todas las Fundiciones incluyen un sistema de manejo de gases para recuperar MP y metales volátiles, que son arrastrados desde los procesos de fusión y conversión, y de esta manera abatir las impurezas que son nocivas para la producción de ácido.

En el CT, el material particulado es recuperado en su mayor parte en la cámara de expansión, en el sistema de enfriamiento radiativo y precipitador electrostático seco, en los CPS en la pantalla mata polvos de la cámara de expansión y en el sistema de enfriamiento radiativo (material mas denso).

Las medidas de control del material particulado, usualmente permiten el control de las emisiones de metales y otros sólidos que deben ser abatidos antes de su ingreso a la PAS.

Existen otras fuentes de material particulado, adicionales a las emisiones por chimeneas, o de fuente difusa que deben ser controladas, entre las que destacan las operaciones de chancado y manejo materiales, erosión de suelos, almacenamiento no confinados y operaciones mineras cercanas.

---

<sup>20</sup> Global Emission and Production of Mercury during the Pyrometallurgical Extraction of Nonferrous Sulfide Ores.



#### 7.4 Limitaciones Medioambientales de la Arquitectura Tecnológica

La arquitectura tecnológica CT/CPS/HE, tiene la característica de poseer dos operaciones unitarias con equipos que basculan, uno con proceso continuo y otro discontinuo (proceso batch), como son el CT y los CPS, respectivamente, lo que significa que la boca de estos equipos con su campana de gases no tiene un sello perfecto y por lo tanto se puede generar emisión de contaminantes como SO<sub>2</sub>, As, Hg, MP y otros. Para contrarrestar esta situación, en los ductos de gases se dispone de ventiladores de tiro inducido (VTI), que por la succión producen una presión negativa dentro de la campana (tiraje), generando una infiltración de aire externo hacia el interior de la campana (se opera idealmente con infiltraciones del orden de 100 a 120%).

No obstante lo anterior, las emisiones más importantes son generadas cuando estos equipos están recibiendo materiales por boca, estando ellos en posición de soplado y por lo tanto emitiendo todos los gases de proceso a la atmósfera, situación válida para CT y CPS. Por esta razón, operacionalmente debería reducirse drásticamente el giro del CT a lo estrictamente necesario (cambio de tobera de inyección, cambio de pasaje de sangría y apertura de toberas), cualquier agregado de material debería ser granulado y agregado por garr gun. Para el caso de los CPS, aunque el carguío de metal caliente es por boca, la adición de carga fría, debería ser agregada a través de una compuerta lateral en la campana.

En operación normal, estando la PAS procesando los gases de CT y CPS, cualquier restricción en el flujo de gases a procesar o por perturbaciones dinámicas, generará emisiones de gases contaminantes (puff de gases en boca).

El sistema de manejo de gases, es decir, conducir los gases captados a través del sistema de enfriamiento, limpieza seca mediante los precipitadores electrostáticos y su ingreso a la limpieza húmeda en la PAS debe ser hermética, para evitar las



infiltraciones de aire exterior que provoca la dilución de los gases y copa innecesariamente la capacidad volumétrica de la PAS.

La fundición HVL, según el informe Jacob, presenta un sistema de manejo de gases con problemas de hermeticidad, permitiendo infiltraciones excesivamente altas, estimadas en 47% adicionales a la dilución en boca para CT y CPS. Esta situación es generada por mal estado de los ductos y sellos deficientes en el tren de gases.

Las emisiones en sangría de CT, canales y ollas, ellas son similares al resto de los hornos de fusión, ya que las sangrías, canales y ollas, son instalaciones similares. En cuanto a las PAS, por corresponder a plantas de simple contacto, tienen una emisión teórica en torno al 2,5% del azufre ingresado a la fundición, registrando en este caso 4,2% del S. Por otro lado, con más de 40 años de operación, estas PAS tienen su vida útil cumplida, no obstante el reemplazo realizado en algunos equipos nuevos (las torres de catálisis son originales), lo que amerita su reemplazo por una planta integrada.

#### 7.5 Selección de Soluciones Tecnológicas Viables en el control de Emisiones de Azufre y Arsénico

En la etapa de recepción de concentrados, la fundición HVL mantendrá la recepción en camiones encarpados y pesados en una de las tres básculas, obteniéndose de esta manera el peso bruto. Los camiones se descargan directamente sobre canchas con piso de concreto, donde se procede al muestreo en piso. Los camiones vacíos son nuevamente pesados, obteniéndose el peso neto húmedo.

Dada la gran variedad mineralógica de los productos procesados, se deben conformar mezclas para mantener una alimentación uniforme a la fundición. Las



mezclas se preparan con una grúa tipo almeja, en un galpón confinado, siendo posteriormente almacenadas en tolvas.

En la etapa de secado de concentrados de fundición HVL, se generan bajas emisiones de azufre, correspondientes solo al uso de combustibles líquido.

De la distribución de emisiones asumida, las emisiones más importantes se encuentran en las campanas primarias, en los giros y en las sangrías de MB, para el caso del CT. En el caso de los CPS, las emisiones relevantes se encuentran en la campana primaria y en los giros realizados para recibir las cargas de MB y la carga fría, para el control de temperatura.

La otra fuente importante de emisión corresponde a las PAS, por ser solo de simple contacto/simple absorción. Las plantas están operando con baja eficiencia (94% y 96% informado el año 2010<sup>21</sup> para PAS N° 1 y 2 respectivamente), aunque según informe Jacobs serían estadísticamente más bajas.

Resulta prioritario mejorar esta situación ya sea por la vía de su transformación o en definitiva su reemplazo total.

Las soluciones tecnológicas se priorizan tomando en consideración los puntos de mayores emisiones y también aquellas que impliquen menores interferencias operativas o modificaciones de infraestructura mayores. En este sentido, la captación de los gases fugitivos de CT y CPS, que requiere de campanas secundarias, será considerada como solución más tardía en razón a que la altura de la nave de fundición es relativamente baja (12 m) y debería modificarse previamente para recibir campanas secundarias.

---

<sup>21</sup> Encuesta MMA a Fundiciones Nacionales, 2011



Las emisiones en CT y CPS, en una primera instancia se abordarán desde su componente de emisiones por carguío por boca y giros de los equipos, adoptando prácticas operacionales que limiten estas operaciones a lo estrictamente necesario. En este sentido es importante el mejoramiento ambiental que genera la alimentación mecánica de carga fría a los CPS, evitando hacer esta operación por boca.

#### 7.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

El primer elemento en la estrategia de mejoramiento ambiental de la fundición HVL, es implementar los proyectos medioambientales que mejoren las deficiencias en la captura de  $\text{SO}_2$  y con mayor capacidad de abatimiento, generando en lo posible ácido sulfúrico para su comercialización.

- Nuevo Sistema de Manejo de Gases

Se requiere un nuevo diseño y remplazo del tren de gases, incluyendo ductos y nuevos VTI. El nuevo diseño debe considerar una cámara de mezcla para uniformar la concentración de  $\text{SO}_2$  en los gases y una alimentación única a nueva PAS, el cambio de ductos mejorará la hermeticidad del manejo de gases y los nuevos VTI permitirán mayores volúmenes de gases primarios, reduciendo infiltración.

El aporte en la disminución de emisión de azufre es de 0,2%, pero su materialización es estrictamente necesaria por su efecto en las emisiones por boca de CT y CPS y el aumento innecesario del caudal de gases, que copa la capacidad de las PAS.

La primera condición que debe verificarse, es que se disponga de espacio suficiente en altura, para instalar posteriormente campanas integrada en el CT



(primaria más secundaria), de lo contrario se requerirá de un alzamiento de la nave de fundición, con los inconvenientes y costos de detención de la fundición (costo estimado MUS\$ 30, el que no considera el costo de detención).

Paralelamente, debe efectuarse una completa revisión de la capacidad de enfriamiento de gases de los actuales sistemas, que como consecuencia de la menor dilución, aumentarán su temperatura. Esta condición es relevante para asegurar una temperatura de ingreso a los precipitadores electrostáticos, no mayor a 350 °C y una buena eficiencia de recuperación de polvos de estas unidades.

Se estima que el plazo requerido para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, que permitirían materializar este proyecto es de dos años, pudiendo estar operativo a mediados de 2015. La inversión requerida se estima es de 30,5 MUS\$.

- Captación y Limpieza de Gases Fugitivos Sangrías CT y HE

Parte del mejoramiento de las emisiones de azufre y arsénico en la fundición, pasa por la captación y limpieza de los gases fugitivos de sangrías de CT y HE de MB y escoria. La solución considera la instalación de pequeñas campanas localizadas por sobre las sangrías y canales, conectadas a ductos y ventiladores para aspirar e impulsar estos gases diluidos a una planta de limpieza, donde se abatirá MP, SO<sub>2</sub>, As y eventualmente Hg. La planta de lavado alcalino, por los espacios requeridos se localizaría en la periferia de la fundición.

Se estima que esta solución medioambiental permitirá reducir la emisión de azufre en 0,7% y los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirían tener



operativo el sistema el primer semestre de 2015, con una inversión requerida de 23,5 MUS\$.

- Nueva Planta de ácido sulfúrico

No resulta recomendable la solución de transformar las actuales PAS a doble contacto/doble absorción, por la antigüedad de ellas (40 años) y el estado general de las plantas (baja eficiencia de conversión y estado no determinado de sistema de enfriamiento y absorción). El camino alternativo a la doble absorción para una PAS de simple contacto, es adicionar una planta de lavado de gases (venturi/scrubber alcalino), previo a su descarga por chimenea, lo que tiene la desventaja de una generación importante de RISES, de alto costo de disposición externa a la planta, sumado al alto costo de los reactivos, lo que impactará en forma determinante los costos de operación.

No obstante lo anterior, el funcionamiento de las PAS mejoradas conlleva una situación de imponderables operacionales difíciles de pronosticar, aun cuando se tenga estrictos planes de mantención.

Dado que se está estructurando un plan para reducción de emisiones de una fundición que operará los próximos 25 años, amerita considerar el reemplazo de las actuales plantas de ácido.

Por lo anterior se plantea la necesidad de contar con una nueva PAS, que permita procesar conjuntamente los gases de CT y CPS. Con un flujo máximo de diseño de 100.000 Nm<sup>3</sup>/h y 10% SO<sub>2</sub> operando nominalmente al 90% de su capacidad. Esta nueva PAS, aportaría beneficios como disminuir la mano de obra (50%) y reducir el consumo de energía eléctrica en al menos un 25% de lo actual, así como incorporaría en su diseño una torre de des-mercurizado y una nueva torre lavado y neutralización de efluentes.



El aporte en la disminución de emisiones de azufre esperados es de un 3,8% y se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, que permita materializar este proyecto son de cuatro años, estando operativo el 2016. La inversión adicional requerida se estima en 159,6 MUS\$.

- Campanas Primarias de Alta Eficiencia

Las actuales campanas primarias del CT y los 2 CPS, de diseño nacional se encuentran en mal estado, lo que amerita su remplazo por otras de alta eficiencia de diseño probado, que sumado a nuevos VTI, permitirían mejorar la captación de emisiones fugitivas de azufre por boca en 1,5 y 0,7% para CT y CPS respectivamente, y operar con diluciones por debajo de 100%.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirían tener operativo el sistema para el CT a mediados del 2016 y para CPS a comienzos del 2017.

La inversión requerida de esta solución medioambiental, se estima alcanzará a 9,5 MUS\$ y 13 MUS\$ para CT y CPS respectivamente.

- Manejo y Limpieza de Gases del Horno Eléctrico

La emisión de arsénico estimada en el horno eléctrico alcanza a 8 t/a, por su condición de elemento cancerígeno y las adversas condiciones de la fundición de encontrarse inmersa en centros poblados cercanos, se recomienda limpiar los gases del horno eléctrico, tomándolos a la salida del precipitador



electrostático existente <sup>22</sup>y conducirlos para su limpieza en una planta de lavado (venturi/scrubber alcalino).

Lo anterior permitiría la captura principalmente de arsénico, azufre y eventualmente mercurio, si hubiese.

Una alternativa, es considerar la limpieza de las escorias vía flotación, lo que no solo permitiría abatir el arsénico, sino que también mejorar la recuperación metalúrgica de la fundición, pero requiere de un contrato para el procesamiento externo, con sistema de disposición de relaves y fusión del concentrado de escorias.

Con la limpieza de gases del HE, se estima una reducción en la emisión de azufre de 0,1% y de 3,2% del arsénico ingresado a fundición. Los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirán tener operativo este proyecto el 2015. La inversión requerida se estima en 13 MUS\$. La inversión considera un Overhaul en el precipitador electroestático, para un mejor abatimiento de As.

- Tratamiento de gases de cola PAS

La nueva planta de ácido debe considerar en su diseño y disposición de equipos la necesidad de una torre de lavado, una torre de des-mercurizado, y una planta de tratamiento de gases de cola, que básicamente consiste en un venturi/scrubber alcalino.

Por chimenea en una planta de ácido nueva de doble contacto se emitirían del orden de 1.100 mg/Nm<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> y con un tratamiento de estos gases por lavado, se podría alcanzar una emisión inferior al límite requerido de 400

---

<sup>22</sup> Fundición Hernán Videla Lira, Visita delegación MMA Informe Resumen 9 Marzo 2011



mg/Nm<sup>3</sup> lo que podría permitir alcanzar una reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> del orden de 0,4%, respecto de la alimentación a fundición.

Los costos de inversión para la planta de tratamiento de gases de cola, se estiman en 15,9 MUS\$ y los plazos requeridos para los estudios de ingeniería, adquisiciones, construcción, instalación y puesta en marcha, debe estar coordinado con la nueva planta de ácido, estando disponible para operación el 2016.

- Alimentación Mecánica de Carga Fría a CPS

Para evitar las emisiones de gases de procesos en la operación de agregado de carga fría por boca a los CPS, se propone un proyecto de agregado mecánico lateral de este material, por la campana de los CPS, mediante una correa transportadora u otro dispositivo.

La disminución en las emisiones de azufre es de 0,2% y se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirá tener operativo el sistema el 2017. La inversión requerida se estima en 1,5 MUS\$.

- Captación y Tratamiento Gases Campanas Secundarias CT y CPS

Se plantea el mejoramiento de la captación de los gases fugitivos por boca de CT y CPS, mediante la incorporación de campanas secundarias, sobre las actuales campanas primarias.

En atención a que la nave de fusión/conversión tiene una altura de solo 12 m, la incorporación de estas nuevas campanas requerirá subir la altura de la nave en al menos 3 a 4 m, con la consecuente detención de la fundición para efectuar este trabajo.



Se estima una reducción en la emisión de azufre ingresado a fundición de 0,8%, los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirán tener operativo este proyecto el 2018. La inversión requerida se estima en 83,5 MUS\$.

Para el cumplimiento de límites en chimenea además del tratamiento de gases de cola de PAS, se han incorporado inversiones de 0,95 MUS\$ para el sistema poscombustión del horno de ánodos así como opacímetros de control de humos negros, y recursos equivalentes a 1,4 MUS\$ para infraestructura de monitoreo y control de límites, con un gasto operacional de 1,12 MUS\$/año.

El efecto por proyecto de reducción de emisiones, calculado en base a las fuentes detectadas y las eficiencias asignadas (Ej.: 85% abatimiento de S y As en planta de lavado alcalino), se indican en la siguiente tabla:

Tabla 7.5.1 Proyectos de Reducción Emisiones Fundición Hernán Videla Lira

Medidas de mejoramiento ambiental	Reducción emisión S	Reducción emisión As	Ton abatida SO <sub>2</sub>	Ton abatida As
Fundición Hernán Videla Lira	%	%	t/a	t/a
<b>Escenario 95% S</b>				
Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120kNm <sup>3</sup> /h	0,7	1,2	1.496	2
Rediseño sistema MAGA CM-PLG	0,2	0,2	438	0,3
Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm <sup>3</sup> /h con torre desmercurizadora	3,8	-	8.689	-
Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	1,5	1,3	3.404	2
<b>Límites de chimenea</b>				
Limpieza y tratamiento gases metalúrgicos HE	0,1	3,2	199	6
Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm <sup>3</sup> /h	0,4	-	897	-
Eliminación humos negros y opacímetro HA (uno)	-	-	-	-
Infraestructura monitoreo control	-	-	-	-
<b>Escenario 96% S</b>				
Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	0,7	0,04	1.540	0,06
Adición de carga fría por campana o culata CPS	0,2	-	374	-
<b>Escenario 97% S</b>				
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	0,3	0,02	795	0,03
Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	0,5	0,4	1.133	1

Fuente: Elaboración propia.

## 7.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

Con las mejoras medioambientales indicadas en el punto anterior, la distribución de emisiones se modifica y queda como sigue:

Tabla 7.6.a Emisiones según Captura / Fijación de Azufre y Arsénico por escenario  
Fundición Hernán Videla Lira

Hernán Videla Lira	Med. Plazo	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	350.000
Ley Media S en concentrados (%)		32,8
Ley Media As en concentrados (%)		0,05

Emisión por Fuentes t/a Fundición Hernán Videla Lira	Base Med. Plazo		Escenario de 95% S		Escenario de 96% S		Escenario de 97% S	
	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario CT (giro+campana)	3.087	4	1.166	1,6	1.166	1,6		
Residual tratamiento fugitivo primario CT	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	599	1
Fugitivo Sangría CT MB/Escofía	1.101	1,4	446	0,6	446	0,6	446	0,6
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	2.524	0,2	2.524	0,2	1.567	0,1		
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	1.170	0,1
Chimenea y sangrías HE	273	8						
Residual tratamiento gases HE	n/d	n/d	81	1	81	1	81	1
Gases de cola PAS	4.872	0						
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d	79	0	79	0	79	0
Refino HA	126	2	126	2	126	2	126	2
Otras fuentes	680	0	680	0	680	0	680	0
Ajustes	-251	-0,3	-251	-0,3	-251	-0,3	-251	-0,3
<b>Total emisión t/a</b>	<b>12.412</b>	<b>15</b>	<b>4.851</b>	<b>5</b>	<b>3.894</b>	<b>5</b>	<b>2.930</b>	<b>4</b>
<b>Captura y Fijación ajustada con desviación <math>\pm 0,2\%</math> S</b>	<b>89,2</b>	<b>91,3</b>	<b>95,8</b>	<b>97,2</b>	<b>96,6</b>	<b>97,2</b>	<b>97,5</b>	<b>97,6</b>
Toneladas abatidas (t/a)	-	-	7.561	10	957	0	964	1
Toneladas de ácido incremental (t/a)			19.579		2.992		0	

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

Por encontrarse la Fundición HVL, con grupos poblacionales cercanos producto del crecimiento constante de la ciudad de Copiapó, la autoridad ha proyectado la exigencia del cumplimiento de límites en chimenea, que en base a las eficiencias de equipos proyectadas se aprecia en la siguiente tabla.



Tabla 7.6.b Tabla cumplimiento límites por chimenea Fundición Hernán Videla Lira

Cumplimiento Límites en Chimenea Fundición Hernán Videla Lira										
Fuente Generadora y Sistema de Tratamiento	Tecnología a Implementar	Volumen Nm <sup>3</sup> /hr	Conc. SO <sub>2</sub> mgr/Nm <sup>3</sup>	Conc. As mgr/Nm <sup>3</sup>	EFI trat %	Concentración proyectada mg/Nm <sup>3</sup>				Observaciones
						400 SO <sub>2</sub>	0,5 As	0,07-0,1 Hg	50 MP	
Tratamiento gases de CoLa PAS doble absorción	Lavado scrubber solución alcalina	85.000	1.073	-	85	161	-	0,02 *	-	Requiere disponer 2.450 t/a yeso
Limpieza y Tratamiento gases secundarios chimenea HE	Precipitador Electrostático y Lavado alcalino	50.000	673	6,2	85	101	0,2	s/a	0,2	Requiere disponer 550 t/a yeso impuro
Captura y Tratamiento gases Sangría CT-HE	Campana, VTI, Lavado alcalino, 70% capt	120.000	1.773	3	85	266	0,4	-	0,4	Requiere disponer 4.050 t/a yeso impuro
Captura y Tratamiento gases Fugitivos CT-CPS	Campanas, VTI, Lavado alcalino 98,5%-80% capt	300.000	1.540	0,7	85	231	0,1	-	0,1	Requiere disponer 5.200 t/a yeso impuro

Nota (\*): Considera torres des-mercurizadora EFI 90% y mínima fijación en ácido.

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis realizado, se reporta que se proyecta cumplimiento de todos los límites de chimenea, requiriendo sin embargo un overhaul del precipitador del HE, previo al nuevo lavado alcalino.

#### 7.6.1 Cronograma de cumplimiento de los escenarios establecidos

Para poder dar cumplimiento a los escenarios definidos y desarrollar las soluciones tecnológicas establecidas para disminuir las emisiones de SO<sub>2</sub> y As se considera el siguiente cronograma:

Tabla 7.6.1 Cronograma de cumplimiento de Escenarios

CRONOGRAMA DE CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION HVL					
MEDIDA DE DESCONTAMINACION	AÑO				
	2013	2014	2015	2016	2017
Nivel de fijación de SO <sub>2</sub> 89,2%				95,8%	96,6% 97,5%
Rediseño Manejo Gases	xxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxx			
Captación y Tratamiento Gases Fugitivos Sangría CT y HE		xxxxxxxxxxx			
Nueva Planta de ácido, limpieza gases, torre desmercurizadora		xxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxx		
Tratamiento de gases de cola PAS		xxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxx		
Reemplazo Campanas Primarias CT, ductos y VTI				xxxxxxx	
Tratamiento y Limpieza gases metalúrgicos HE		xxxxxxxxxxx			
Postquemadores de refino, eliminación humos negros		xxxxxxxxxxx			
Reemplazo Campanas Primarias CPS, ductos y VTI				xxxxxxx	
Adición Mecánica de Carga fría CPS por campana				xxxxxxx	
Captación y Tratamiento Gases fugitivos CT y CPS, modificación de la altura Nave Convertidores				xxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxx

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama, el escenario de 95% se cumpliría el año 2016, mientras que el de 96% a comienzos del 2017 y finalmente un escenario cercano a 97% se cumpliría a partir del año 2018.

#### 7.6.2 Consideraciones para la sustentabilidad de resultados en el Mediano y Largo Plazo

Como se indicará para otras fundiciones, la realidad de una fundición en términos de conjunto de operaciones unitarias, debe operar a su máxima eficiencia en cada una de sus variables: parámetros operacionales de calidad de la carga, capacidad de procesamiento de ella, equipos de captura y manejo de gases metalúrgicos,



planta de limpieza de gases y captura/limpieza de gases fugitivos, para que como conjunto, la fundición cumpla un determinado nivel de captura y emisión de contaminante.

Es habitual, que de tiempo en tiempo, cualquier equipo del conjunto descrito anteriormente baje su eficiencia o falle, y consecuentemente como conjunto, no se cumpla el nivel de captura y emisión de contaminante.

Tal como esta planteado el cumplimiento de la norma en nivel de captura y en cuotas de emisión, no es una solución bajar el nivel de fusión como ocurre actualmente y por lo tanto el único camino viable es que nominalmente la fundición posea un nivel captura superior en al menos 0,5% por sobre la norma, para poder amortiguar las fallas puntuales de los equipos, dentro de la restricción de límites por chimenea.

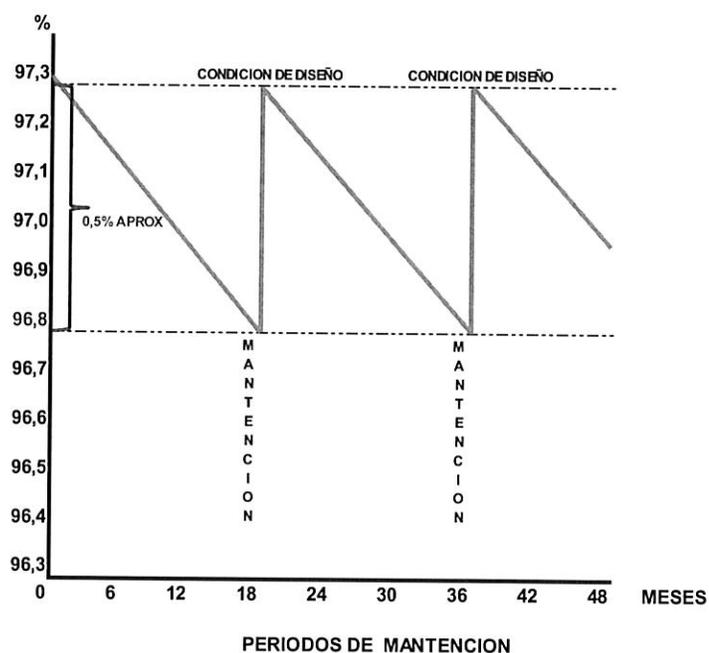
Por otro lado, hay que tener claro que los niveles de eficiencia declarados por los proveedores de equipos en el mejor de los caso se cumplen, en pruebas de suficiencia y con los equipo nuevos recién instalados, pero con el correr del tiempo su eficiencia disminuye y su ineficiencia debe ser absorbida por la mayor eficiencia de captura (0,5%), indicada anteriormente.

Como se comprenderá, cuando la eficiencia de los equipos comienza a decaer, se acepta un determinado nivel de deterioro, antes de programar una detención de fundición, por el impacto económico que ello significa.

No es viable detener los equipos para reparación, tan pronto ellos presenten deterioro (pérdidas de eficiencia) que pueden ser absorbidas por el mayor nivel de captura, porque esto atentaría contra la continuidad operativa de fundición, situación de la más alta necesidad.

Por otro lado, algunas mantenciones requieren equipos especiales (camiones de transporte pesado, grúas de levante mayor, generadores portátiles, etc.), que no poseen las fundiciones (porque son de uso eventual) y que es necesario arrendar y por lo tanto hay que tomar el lugar que corresponda en la lista de espera, hasta que haya disponibilidad del equipo. La situación se visualiza en diagrama siguiente:

Gráfico 7.6.2 Curva genérica rendimiento de instalaciones



Fuente: Elaboración propia.

Lo anteriormente expuesto lleva al Consultor a no comprometer un nivel de abatimiento viable de S superior a 96,9% para la Fundición HVL.



### 7.6.3 Comentarios sobre Infraestructura, Espacios Disponibles e Interferencias

Para enfrentar la necesidad de espacio físico requerido por la planta de limpieza de gases fugitivos que se captarán desde las sangrías del CT y HE, se debe seleccionar un área en la periferia de la nave de fusión/conversión, para reducir el trazado de los ductos de gases. El espacio requerido varía entre 100 a 120 m<sup>2</sup>. Las campanas dedicadas en sangrías de CT puede generar algunas interferencias, para las del HE no se vislumbran problemas.

El rediseño y reemplazo del sistema de manejo de gases de CT y CPS, básicamente seguirá el mismo trazado, salvo la necesidad de mejorar con la incorporación de una cámara de mezcla y alimentación única a la nueva PAS con un nuevo ducto hacia la planta de lavado de gases.

Para CT y CPS se requiere nuevos ductos de gases, nuevos VTI de mayor capacidad y asegurar un programa de mantenimiento preventivo que asegure la hermeticidad del tren de gases.

Las interferencias se circunscriben a la instalación y conexión de estos equipos, que son fabricados externamente y llegan a la planta previos a la mantención anual de la fundición o la determinada por sus PAS, para su instalación y conexiones necesarias.

El tratamiento de los gases metalúrgicos del HE, una vez tratados en el precipitador electrostático, requieren ser conducidos a la planta de lavado alcalino de estos gases. La instalación de esta planta también se localizará en la periferia de la fundición. El trazado de la conducción de estos gases, se estima no genera interferencias mayores.

La captación de los gases fugitivos mediante campanas secundarias desde el CT y los CPS, es el proyecto más conflictivo por el levantamiento de la nave para instalar campanas secundarias tradicionales, por el impacto económico en la fundición (interferencia mayor), que necesariamente requerirá de una detención mayor de fundición de al menos 45 días (experiencia de Fundición Caletones).

Existe bastante espacio disponible, en el sector de las actuales PAS para que se construya la nueva PAS, la que debe considerar en su distribución de equipos una planta de tratamiento de gases de cola.

Para evitar las emisiones de gases de procesos, en la operación de agregado de carga fría por boca a los CPS, ésta considerado el agregado mecánico lateral a la campana de los CPS de estos materiales, mediante una correa transportadora u otro dispositivo y de esta manera obtener tiempos de soplado superiores a 75%.

El éxito en alcanzar las metas en los escenarios de captación, no depende solamente de los proyectos indicados, sino que en gran medida de un riguroso sistema de control de tiraje que regule el manejo de gases, equilibrando la captación y la capacidad de tratamiento de los gases en la PAS. De lo contrario, o se generan emisiones por boca o se aumenta las emisiones en los gases de cola de la PAS.

Este es un aspecto que debe ser estudiado y que es propio de cada fundición por las particularidades del sistema de manejo de gases.



---

## 7.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

### 7.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

A continuación se indican los montos de inversión por proyectos de la fundición HVL, como consecuencia de la implementación de cada uno de los proyectos de mejoramiento ambiental, tendientes a controlar el SO<sub>2</sub> y As para el cumplimiento de los tres escenarios en estudio.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, experiencia del Consultor y rango de precisión requerido para este estudio de costos de +/- 30%, las inversiones y recursos pre-inversionales (7% de la inversión) requeridos por escenario para la Fundición HVL, alcanzan por escenario.

- Escenario 95% fijación de S y límites de chimenea con 272,2 MUS\$
- Escenario 96% fijación de S y límites en chimenea con 287,7 MUS\$
- Escenario 97% fijación de S y límites en chimenea con 377,1 MUS\$

Tabla 7.7.1.a Costos de capital por escenario y proyectos Fundición HVL

COSTOS DE INVERSIÓN					
ITEM	DESCRIPCIÓN	Inversión Sub Total	Costos PreInversionales	TOTAL	CRITERIO REEMPLAZO EQUIPOS
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS		KUS \$	KUS \$	KUS \$	
1	Escenario Captura 95% S				
1.1	Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120kNm3/h	23.530	1.647	25.177	15 años
1.2	Rediseño sistema MAGA CM-PLG	30.500	2.135	32.635	20 años
1.3	Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm3/h con torre desmercurizadora	159.600	11.172	170.772	20 años
1.4	Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	9.500	665	10.165	15 años
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Limpieza y Tratamiento gases metalúrgicos HE	13.030	912	13.942	18 años
1.1.2	Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm3/h	15.932	1.115	17.047	20 años
1.1.3	Eliminación humos negros y opacímetro HA (uno)	950	67	1.017	20 años
1.1.4	Infraestructura monitoreo control	1.370	96	1.466	20 años
	<b>Total Cumplimiento Límites en Chimeneas</b>	<b>31.282</b>	<b>2.190</b>	<b>33.472</b>	
	<b>Total Escenario Captura 95% S</b>	<b>254.412</b>	<b>17.809</b>	<b>272.221</b>	
2	Escenario Captura 96% S				
2.1	Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	13.000	910	13.910	15 años
2.2	Adición de carga fría por campana o culata CPS	1.500	105	1.605	20 años
	<b>Total Escenario Captura 96% S</b>	<b>268.912</b>	<b>18.824</b>	<b>287.736</b>	
3	Escenario Captura 97% S				
3.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	39.935	2.795	42.731	20 años
	Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	43.636	3.055	46.691	20 años
	<b>Total Escenario Captura 97% S</b>	<b>352.484</b>	<b>24.674</b>	<b>377.158</b>	

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de estas inversiones, y su reposición por término de vida útil, en un plazo de 25 años, han permitido al Consultor calcular la inversión actualizada INVA por escenario, utilizando una tasa de descuento 6% anual, considerado como año cero el 2011.

La tabla 7.7.1.b muestra la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.



Tabla 7.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición HVL

COSTOS DE INVERSIÓN		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
ITEM	DESCRIPCIÓN	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS</b>								
<b>1</b>	<b>Escenario Captura 95% S</b>							
1.1	Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120kNm3/h	0	0	1.647	23.530	0	0	0
1.2	Rediseño sistema MAGA CM-PLG	0	2.135	15.250	15.250	0	0	0
1.3	Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm3/h con torre desmercurizadora	0	5.586	5.586	79.800	79.800	0	0
1.4	Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	0	0	0	0	665	9.500	0
<b>1.1</b>	<b>Cumplimiento Límites en Chimenea</b>							
1.1.1	Limpieza y Tratamiento gases metalúrgicos HE	0	0	912	13.030	0	0	0
1.1.2	Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm3/h	0	0	1.115	7.966	7.966	0	0
1.1.3	Eliminación humos negros y opacímetro HA (uno)	0	0	67	950	0	0	0
1.1.4	Infraestructura monitoreo control	0	0	96	1.370	0	0	0
	<b>Total Cumplimiento Límites en Chimeneas</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.190</b>	<b>23.316</b>	<b>7.966</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Total Escenario Captura 95% S</b>	<b>0</b>	<b>7.721</b>	<b>24.673</b>	<b>141.896</b>	<b>88.431</b>	<b>9.500</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>Escenario Captura 96% S</b>							
2.1	Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	0	0	0	0	910	13.000	0
2.2	Adición de carga fría por campana o culata CPS	0	0	0	0	105	1.500	0
	<b>Total Escenario Captura 96% S</b>	<b>0</b>	<b>7.721</b>	<b>24.673</b>	<b>141.896</b>	<b>89.446</b>	<b>24.000</b>	<b>0</b>
<b>3</b>	<b>Escenario Captura 97% S</b>							
3.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	0	0	0	1.398	1.398	19.968	19.968
	Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	0	0	0	1.527	1.527	21.818	21.818
	<b>Total Escenario Captura 97% S</b>	<b>0</b>	<b>7.721</b>	<b>24.673</b>	<b>144.821</b>	<b>92.371</b>	<b>65.786</b>	<b>41.786</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 7.7.2 Costos incrementales de operación

Los costos anuales incrementales de operación, determinados en 4,4 MUS\$/año para el escenario 95%, 4,3 MUS\$/año para el escenario de 96% y 8,6 para el escenario de 97%.



Los costos incorporan el caso de producción incremental de ácido como un crédito al costo, eso explica la baja de costo incremental entre el escenario 95% y 96%. La venta del ácido adicional generado, se considera a un ingreso marginal neto de 45 US\$/t.

La disposición de residuos sólidos, deben ser depositados en un sector habilitado ubicado en el inicio superior de cuesta Cardone, sector distante a 15 km, se ha valorizado la disposición de estos materiales a una tarifa de 270 US\$/t.

Tabla 7.7.2 Costos incrementales de operación por escenario Fundición HVL

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTOS DE OPERACIÓN INCREMENTALES					Tonelada Abatida (Ton/a)
		COSTO TOTAL INCREMENTAL ANUAL DE OPERACIÓN	Costo Energía	Costo Insumos y otros	Costo Mantenición	Costo disposición	
<b>COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS</b>		<b>KUS \$/a</b>	<b>KUS \$/a</b>	<b>KUS \$/a</b>	<b>KUS \$/a</b>	<b>KUS \$/a</b>	
1	Escenario Captura 95% S	-130	-406	-1.349	532	1.094	14.027
1.1	Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrias CT/HE 120kNm <sup>3</sup> /h	2.684	527	532	532	1.094	1.496
1.2	Rediseño sistema MAGA CM-PLG	-84	-84	0	0	-	438
1.3	Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm <sup>3</sup> /h con torre desmercurizadora	-1.850	-850	-1.000	0	-	8.689
1.4	Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	0,5	0	0,5	0	-	3.404
-	Producción de ácido sulfúrico	-881	-	-881	-	-	-
1.1	<b>Cumplimiento Límites en Chimenea</b>						
1.1.1	Limpieza y Tratamiento gases metalúrgicos HE	519	185	93	93	149	199
1.1.2	Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm <sup>3</sup> /h	1.788	373	377	377	662	897
1.1.3	Eliminación humos negros y opacimetro HA (uno)	518	-	518	0	-	-
1.1.4	Infraestructura monitoreo control	1.120	-	1.120	0	-	-
	<b>Total Cumplimiento Límites en Chimeneas</b>	<b>3.945</b>	<b>558</b>	<b>2.108</b>	<b>470</b>	<b>810</b>	<b>1.095</b>
	<b>Total Escenario Captura 95% S</b>	<b>3.815</b>	<b>152</b>	<b>759</b>	<b>1.001</b>	<b>1.904</b>	<b>15.122</b>
2	Escenario Captura 96% S	-122	8	-130	0	0	1.915
2.1	Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	0,6	0	0,5	0	-	1.540
2.2	Adición de carga fría por campana o culata CPS	12	8	4	0	-	374
-	Producción de ácido sulfúrico	-135	-	-135	-	-	-
	<b>Total Escenario Captura 96% S</b>	<b>3.693</b>	<b>160</b>	<b>628</b>	<b>1.001</b>	<b>1.904</b>	<b>17.037</b>
3	Escenario Captura 97% S	4.320	967	975	975	1.404	1.928
3.1	Captación y Tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	1.639	352	354	354	579	795
	Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	2.681	615	620	620	825	1.133
	<b>Total Escenario Captura 97% S</b>	<b>8.013</b>	<b>1.127</b>	<b>1.603</b>	<b>1.976</b>	<b>3.308</b>	<b>18.965</b>

Fuente: Elaboración propia.



### 7.7.3 Energía Eléctrica Incremental y agua adicional requerida

Junto al mejoramiento medioambiental, los proyectos deben incorporar mejoras de eficiencia energética, la instalación de nuevos equipos generará nuevos requerimientos de energía y agua industrial, recursos que por los sistemas de manejo y limpieza de gases, representan una fracción importante de consumo y costos de las Fundiciones, con índices medios referenciales del orden de 0,3 MWH/t concentrado fundido y de agua entre 2,3 m<sup>3</sup>/ t concentrado fundido.

Para el caso de la Fundición HVL, la nueva configuración operacional tendría un menor consumo energético que el actual, básicamente por la nueva PAS, en reemplazo de las dos antiguas y al nuevo diseño del MAGA.

El consumo es del orden de 1,8 GWH/a para el escenario de 95%, 1,9 GWH/a para el escenario 96% y 13,3 GWH/a para el escenario de 97% (considera consumo acumulativo en cada escenario). De igual modo habrá un incremento del consumo de agua industrial, de reposición, según se indica en tabla siguiente:

Tabla 7.7.3 Consumo incremental de energía y agua industrial

Medidas de mejoramiento ambiental	Puesta en operación	Consumo incremental Energía	Consumo incremental de agua
Fundición Hernán Videla Lira	Año	MWh/a	m <sup>3</sup> /a
<b>Escenario 95% S</b>			
Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120kNm <sup>3</sup> /h	2015	6.240	1.800
Rediseño sistema MAGA CM-PLG	2015	-990	-
Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm <sup>3</sup> /h con torre desmercurizadora	2016	-10.060	4.146
Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	2016	-	3.098
<b>Límites de chimenea</b>			
Limpieza y Tratamiento gases metalúrgicos HE	2015	2.184	675
Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm <sup>3</sup> /h	2016	4.420	1.275
Eliminación humos negros y opacímetro HA (uno)	2015	745	-
Infraestructura monitoreo control	2015	-	-
		Consumo MWh/a	1.794
<b>Escenario 96% S</b>			
Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	2017	-	3.887
Adición de carga fría por campana o culata CPS	2017	100	-
		Consumo MWh/a	1.894
<b>Escenario 97% S</b>			
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	2018	4.160	1.200
Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	2018	7.280	2.100
		Consumo MWh/a	13.334

Nota: El valor en color azul se refiere al consumo incremental de petróleo en t/a

Fuente: Elaboración propia.

La Fundición HVL, deberá revisar su fuente de abastecimiento de agua industrial, la que se vería incrementada en 18,8 km<sup>3</sup>/a.

Gráfico 7.7.3.a Incremento Energía Eléctrica

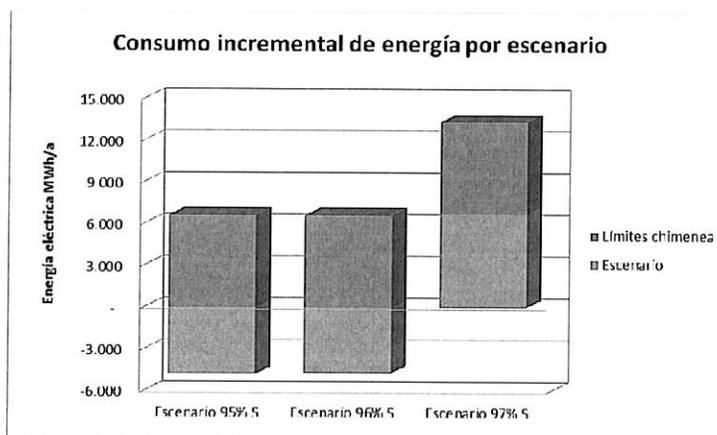
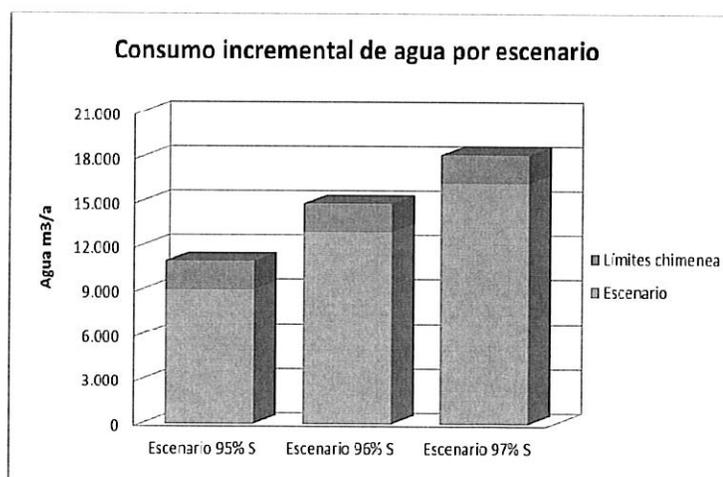


Gráfico 7.7.3.b Incremento Consumo Agua industrial



Fuente Gráficos 7.7.3 a y b: Elaboración propia.

El Gráfico 7.7.3.a refleja el menor consumo de energía eléctrica, como consecuencia del cambio del sistema de manejo de gases y la nueva PAS.



## 7.8 Resultados Técnico/Económico de Cumplimiento de Escenarios Regulatorios

En cumplimiento a los objetivos de este estudio, se han indicado las soluciones medio ambientales posibles de incorporar en la Fundición HVL, para que dicha instalación pueda enfrentar nuevos escenarios regulatorios en el mediano plazo, que le permitirían reducir emisiones de Azufre y Arsénico, con niveles de captura y fijación de 95%, 96% y 97% en azufre, y superiores en arsénico.

Lo anterior junto a las estimaciones de costos de inversión y operación incrementales, permiten evaluar el valor presente (VAC) de dichas medidas y la determinación del Costo anual equivalente (CAE) como una medida comparativa a la razón costo-efectividad, determinando el costo unitario por tonelada de  $\text{SO}_2$  abatida (CUE), que como referente de otras instalaciones y específicamente para 6 fundiciones de Canadá en un estudio normativo al año 2004<sup>23</sup>, el CUE alcanza niveles entre 1.900 a 2.000 US\$ canadienses por tonelada de  $\text{SO}_2$  abatida, costo que crece exponencialmente para mayores niveles de abatimiento.

### 7.8.1 Reducción de Emisiones de $\text{SO}_2$ y As por escenarios

La reducción proyectada de emisiones de  $\text{SO}_2$  y As, por fuentes para la Fundición HVL se muestra en los gráficos 7.8.1 a y b. Incluye una sección otros en color rojo, la cual contiene emisiones provenientes de otras fuentes y ajustes para llegar al valor medio entre lo declarado y modelado por el consultor.

---

<sup>23</sup> Technical Assessment of Environmental Performance Emission Reduction Options for the base metals Smelter, p. internet [www.ec.gc.ca](http://www.ec.gc.ca), Canada, 2004.

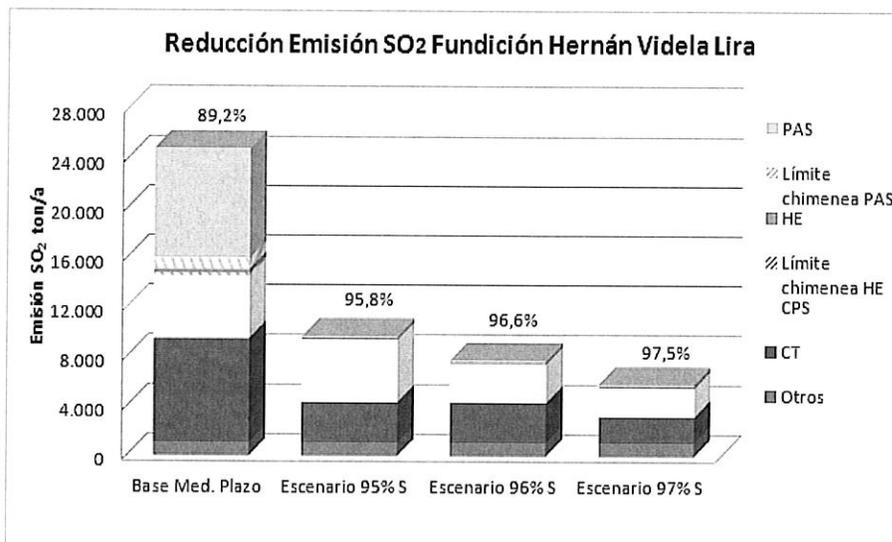
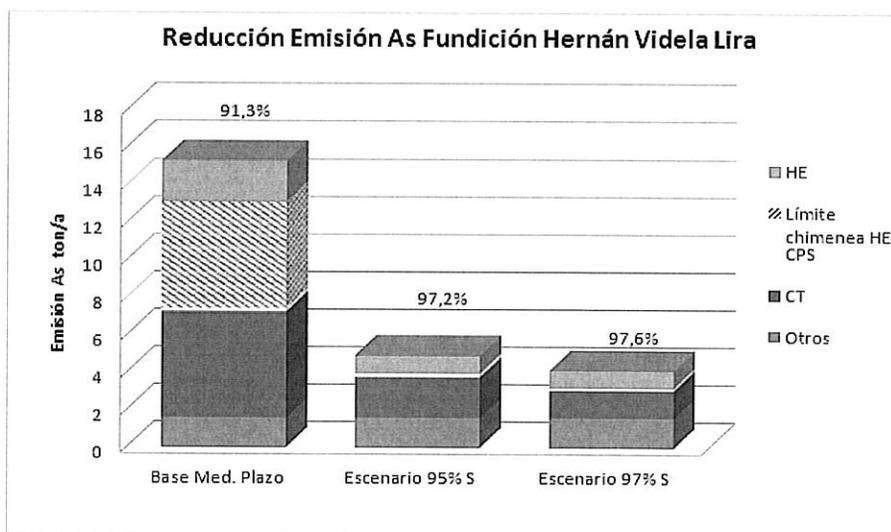
Gráfico 7.8.1.a Emisiones Hernán Videla Lira de SO<sub>2</sub> por escenario

Gráfico 7.8.1.b Emisiones Hernán Videla Lira de Arsénico por escenario



Fuente Gráficos 7.8.1 a y b: Elaboración propia.

## 7.8.2 Cumplimiento de cuotas con emisiones proyectadas Azufre y Arsénico

Las figuras siguientes muestran que de acuerdo a la planificación planteada, a partir del año 2016 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO<sub>2</sub> y As proyectadas por la autoridad para la Fundación HVL, considerando el nuevo esquema operativo de la Fundación.

Gráfico 7.8.2.a Cuotas de Emisiones SO<sub>2</sub> Hernán Videla Lira por escenario

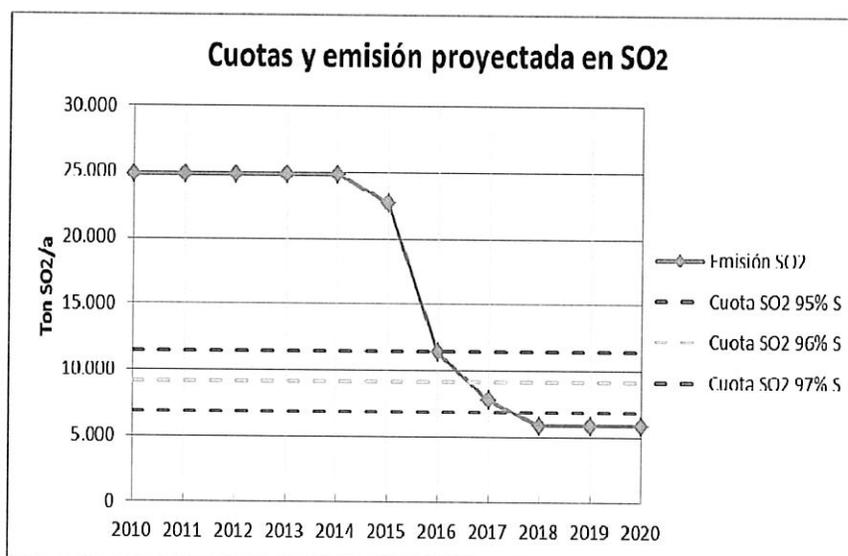
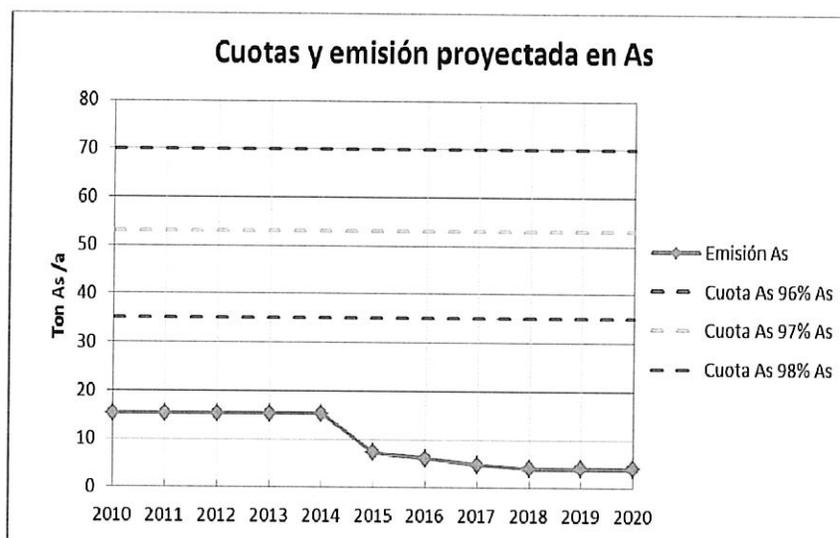


Gráfico 7.8.2.b Cuotas de Emisiones As Hernán Videla Lira por escenario



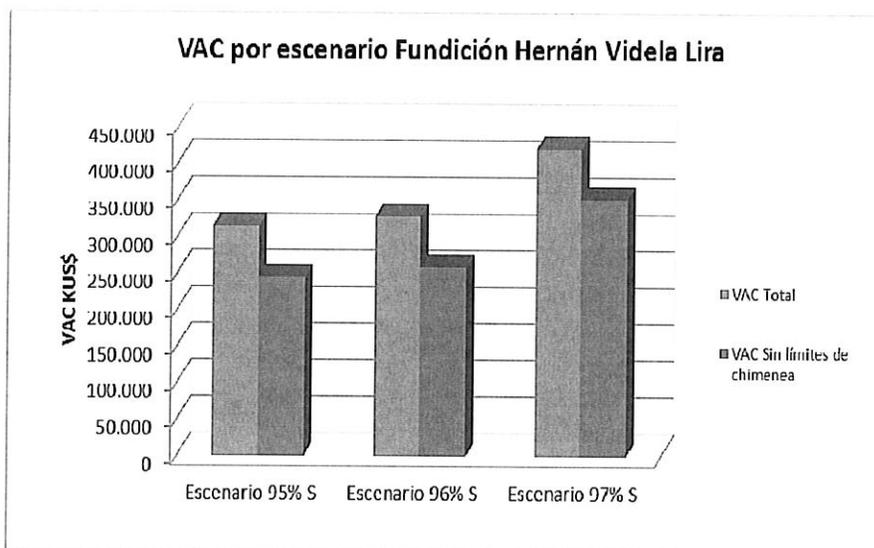
Fuente Gráficos 7.8.2 a y b: Elaboración propia.

### 7.8.3 Determinación de VAC y CAE

La determinación en un período de 25 años del valor actualizado de costos (VAC) para la Fundición HVL, considerando una tasa social de descuento de 6%, indica que para lograr el cumplimiento de escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, representarán los siguientes VAC, valorizados como escenarios acumulativos:

- Escenario de 95% Fijación S, VAC total de 314 MUS\$, de los cuales 69,7 MUS\$ corresponden a soluciones para control de límites en chimenea.
- Escenario de 96% Fijación S, VAC de 327,8 MUS\$ de los cuales 69,7 MUS\$ corresponden a soluciones para el control de límites en chimenea.
- Escenario de 97% Fijación S, VAC de 420,7 MUS\$ de los cuales 69,7 MUS\$ corresponden a soluciones para el control de límites en chimenea.

Gráfico 7.8.3.a Valor Actualizado de Costos soluciones medio-ambientales  
Hernán Videla Lira por escenario

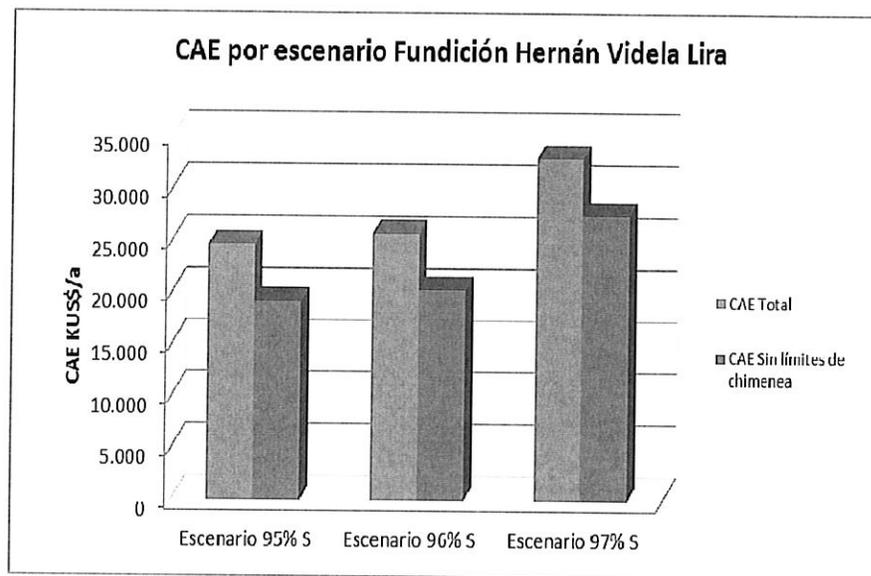


Fuente: Elaboración propia.

De igual modo la determinación del costo anual equivalente o valor en cuotas fijas anuales (CAE) para la Fundición HVL, considerando una tasa social de descuento de 6% en un período de operación dentro de los 25 años, indica que para lograr el cumplimiento de escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, representarán los siguientes CAE:

- Escenario de 95% Fijación S, CAE de 24.561 kUS\$/a
- Escenario de 96% Fijación S, CAE de 25.644 kUS\$/a
- Escenario de 97% Fijación S, CAE de 32.908 kUS\$/a

Gráfico 7.8.3.b Costo anual equivalente Soluciones medio-ambientales Hernán Videla Lira por escenario



Fuente: Elaboración propia.

#### 7.8.4 Relación Costo /Efectividad para el control de Emisiones de SO<sub>2</sub>

Con los antecedentes entregados, para el cumplimiento de los escenarios de abatimiento de azufre proyectados, se requieren los siguientes recursos expresados como indicadores económicos y que llevan a los siguientes costos unitarios equivalentes por tonelada de SO<sub>2</sub> abatida promedio en el periodo:

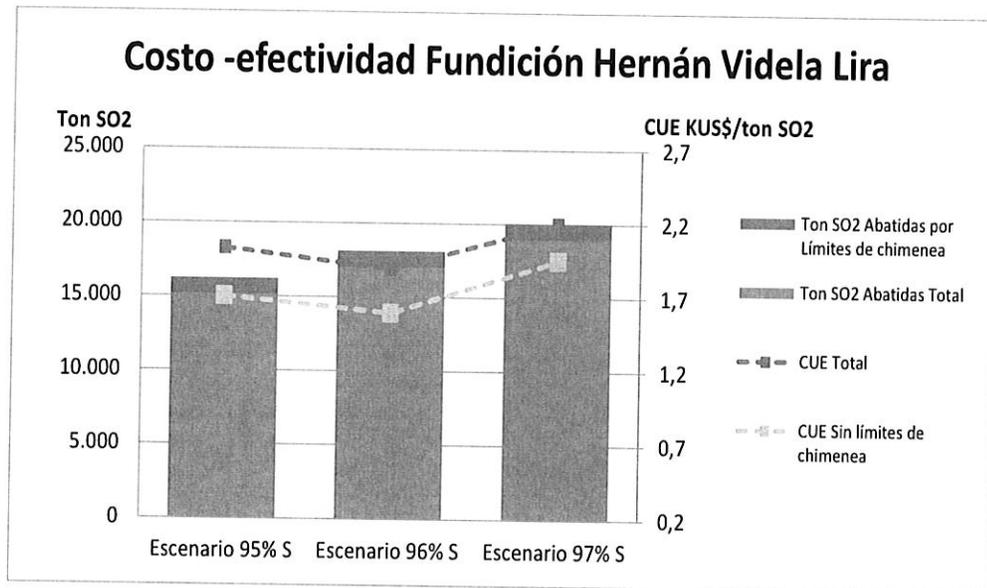
- **Escenario de 95% Fijación S, CUE de 2,0 kUS\$/ t SO<sub>2</sub>**
- **Escenario de 96% Fijación S, CUE de 1,9 kUS\$/t SO<sub>2</sub>**
- **Escenario de 97% Fijación S, CUE de 2,2 kUS\$/ t SO<sub>2</sub>**



Tabla 7.8.4 Indicadores económicos por escenarios Fundición HVL

DESCRIPCIÓN	INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6%			
	INVA	VAC	CAE	CUE
<b>COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS</b>	<b>KUS \$</b>	<b>KUS \$</b>	<b>KUS \$/a</b>	<b>KUS \$/Ton</b>
Escenario Captura 95% S	243.133	244.271	19.108	1,7
Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120kNm3/h	27.798	52.809	4.131	
Rediseño sistema MAGA CM-PLG	34.543	33.763	2.641	
Nueva Planta de ácido doble absorción 100.000 Nm3/h con torre desmercurizadora	170.804	154.947	12.121	
Reemplazo campanas CT, nuevos VTI y ductos	9.989	9.992	782	
Producción de ácido sulfúrico	-	-7.241	-566	
<b>Cumplimiento Límites en Chimenea</b>				
Limpieza y Tratamiento gases metalúrgicos HE	14.703	19.540	1.529	
Tratamiento gases de cola PAS 85.000 Nm3/h	17.022	32.348	2.531	
Eliminación humos negros y opacímetro HA (uno)	1.043	5.869	459	
Infraestructura monitoreo control	1.504	11.941	934	
<b>Total Cumplimiento Límites en Chimeneas</b>	<b>34.272</b>	<b>69.698</b>	<b>5.452</b>	<b>6,2</b>
<b>Total Escenario Captura 95% S</b>	<b>277.406</b>	<b>313.969</b>	<b>24.561</b>	<b>2,0</b>
Escenario Captura 96% S	14.804	13.845	1.083	
Reemplazo campanas CPS, nuevos VTI y ductos	13.669	13.673	1.070	
Adición de carga fría por campana o culata CPS	1.136	1.231	96	
Producción de ácido sulfúrico	-	-1.059	-83	
<b>Total Escenario Captura 96% S</b>	<b>292.210</b>	<b>327.814</b>	<b>25.644</b>	<b>1,9</b>
Escenario Captura 97% S	61.750	92.858	7.264	
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS y modificación de nave	29.507	41.310	3.232	
Captación y tratamiento gases campana secundaria CT y modificación de nave	32.242	51.548	4.032	
<b>Total Escenario Captura 97% S</b>	<b>353.960</b>	<b>420.673</b>	<b>32.908</b>	<b>2,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7.8.4 Costo Unitario Equivalente por tonelada de SO<sub>2</sub> abatida HVL

Fuente: Elaboración propia.

### 7.8.5 Proyección de futuro para la Fundición HVL

Las soluciones medioambientales implementadas para cumplir los escenarios de 95%, 96% y 97% de captura y abatimiento de azufre, consideran el remplazo de la totalidad de los equipos desde la boca del CT y CPS hasta la PAS incluida, es decir, es una fundición nueva, excepto por la conservación del CT, los CPS, edificio y los equipos de apoyo (suministros), lo que permite asegurar una captación, manejo, limpieza y abatimiento de los contaminantes considerados, si los equipos son mantenidos en óptimas condiciones.

Es importante para mantener el cumplimiento de los escenarios generar opciones para el tratamiento sólido de las escorias de refinación y conversión o tratamiento alternativo de éstas, para evitar los giros de estos equipos basculantes.



Por otro lado, para el caso de esta instalación con población aledaña, debe mantenerse un cuidadoso control de los parámetros claves de la PAS, en la operación más riesgosa del punto de vista de los eventos contaminantes (puff de  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ ), como son las puestas en marcha de la planta de ácido, luego de detenciones prolongadas.

Con todo lo realizado, parece razonable vislumbrar en el horizonte un paso adelante adicional hacia un cambio tecnológico de las unidades de fusión y conversión.