



10. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICIÓN VENTANAS

10.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Estimar costos de inversión y operación incrementales de fundición Ventanas, para enfrentar cada escenario regulatorio, indicando la factibilidad de cumplimiento y/o fiscalización, producto de estas inversiones.
- 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 Ventanas considera una capacidad nominal de fusión anual de 436 kt/año de concentrados de cobre.



10.2 Descripción General de la Fundición

La fundición Ventanas inició sus actividades el año 1962 siendo una fundición maquiladora para la pequeña y mediana minería de propiedad de la empresa nacional de Minería (ENAMI). Se inició con una capacidad de producción de 100 kt/año de concentrado, basada en la operación de un horno de reverbero y tres convertidores Peirce-Smith.

En el año 1990, se inició la instalación de una planta de ácido sulfúrico de capacidad 290 kt/año de ácido con un costo de US\$ 55 millones, para iniciar un plan de abatimiento de dióxido de azufre. El año 1991 adquirió una planta de oxígeno de 315 t/d (300 t/d O₂ gaseoso y 15 t/d de O₂ líquido) para su utilización en el horno de reverbero y en un convertidor Teniente, además incrementó la capacidad de la fundición de 325 kt/año de concentrado a 480 kt/año, con un costo de capital de US\$ 29,5 millones.

Entre los años 1997 y 1998, se dio inicio a un plan de modernización de la fundición, con el objetivo de dar cumplimiento al Plan de Descontaminación a acoger por la empresa (D.S 252/1992), que incluyó la instalación de un horno eléctrico de limpieza de escoria, Demag de 9,5 MVA, con la finalidad de detener el horno de reverbero. Se incluyó también el incremento de la capacidad de tratamiento de gases del convertidor Teniente y los convertidores Peirce-Smith (CPS) por expansión de la planta de ácido existente a 396 kt/año y modificaciones al sistema de limpieza de gases, incluyendo la instalación de un precipitador electrostático en los CPS.

El proyecto redujo la capacidad de la fundición a 420 kt/año de concentrado con un costo de capital de 56,2 millones.



Al año 2010, la fundición cuenta con 4 precipitadores electrostáticos de captura de polvos para limpieza de gases, 2 en el Convertidor Teniente, 1 en los convertidores Peirce-Smith y 1 en el horno eléctrico.

El año 1997 ENAMI firmó un contrato con GasValpo por US\$ 7,5 millones, para suministro de gas natural, así cambió sus instalaciones a quemadores duales, reteniendo de esta manera el potencial de uso de otros combustible.

El 1° de mayo del año 2005 la fundición y refinería Ventanas fue transferida a CODELCO CHILE.

10.2.1 Descripción de la Planta

La fundición está compuesta por los siguientes equipos principales

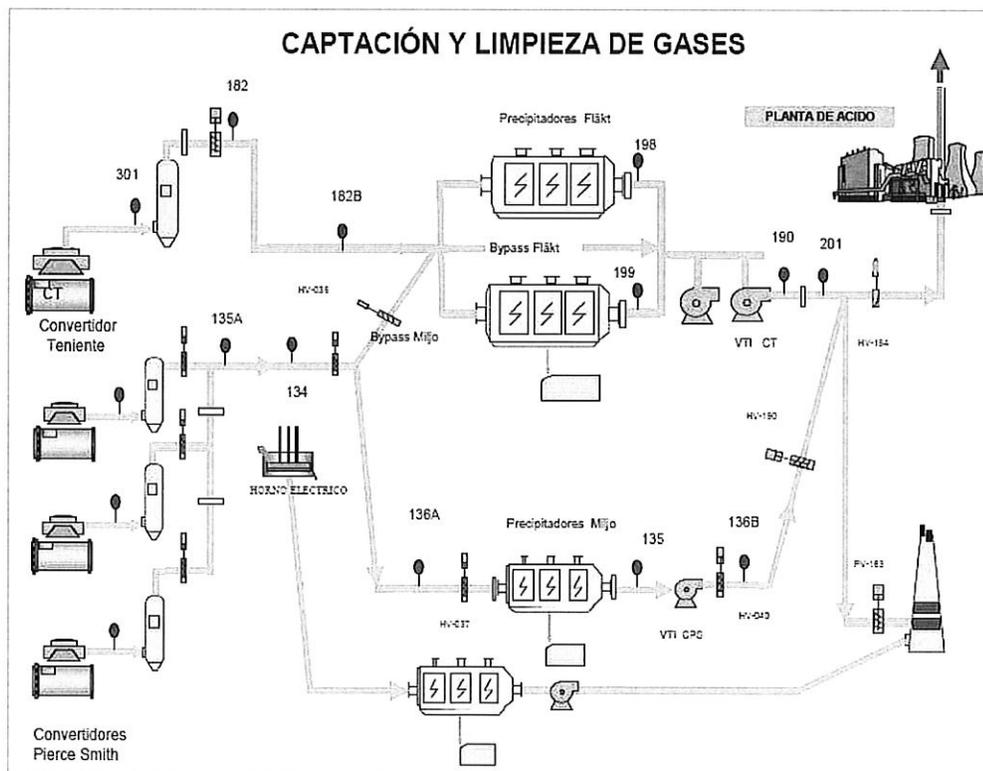
Recepción de concentrados	: Buzones, canchas y mezcla de concentrado
Secado	: 1 secador rotatorio Fuller (60 t/h)
Horno de fusión	: 1 convertidor Teniente (4,0 m x 15,0 m)
Limpieza de escoria	: 1 horno eléctrico Demag (10 m diámetro x 5 m alto) (9,5 MVA).
Convertidores	: 3 Peirce-Smith (3,0 m x 9,4 m)
Horno de retención	: 1 rotatorio (3,0 m x 25 m)
Hornos de Ánodos	: 1 rotatorios (4,0 m x 9,0 m) 2 hornos reverbero (6,5 m x 16,0 m)
Ruedas de Moldeo	: 2 ruedas OK (45 t/h)- ánodos 275 kg
Plantas de oxígeno	: 1 Air Liquide (315 t/d)
Plantas de ácido	: 1 Peterson doble contacto (1.200 t/d)
Otros	: Planta de neutralización ácido débil con cal
Dimensiones nave	: 203 m *20 m *15 m

10.2.2 Descripción Sistema 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 a continuación, se muestra el esquema del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Ventanas.

Figura 10.2.2 Esquema operativo del sistema de manejo de gases de Fundición Ventanas.



Fuente: Antecedentes entregados por el MMA.



El sistema de manejo de gases en líneas independientes dedicadas, para atender cada una de las operación unitarias de fusión, conversión y limpieza de escorias, incluyendo precipitadores electrostáticos y VTI, es la disposición de equipos considerada ideal por la nula interferencia y competencia entre los flujos de gases, lo que permite su dosificación (mezcla) antes de su ingreso a planta de ácido.

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 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, funciona basado en el control de tiraje que es el efecto físico de depresión que genera 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.

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



10.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

10.3.1 Emisión de Azufre y Arsénico

Considerando el criterio conservador de distribución de emisiones por fuentes, bajo el valor medio de fijación de Azufre y Arsénico declarado versus el calculado, la distribución estimada de emisiones y contenido proyectado de azufre para el mediano plazo, permite visualizar los siguientes tonelajes de emisión por fuentes.

Tabla 10.3.1 Emisiones de Azufre y Arsénico Fundición Ventanas

Ventanas	Med. Plazo	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	436.000
Ley Media S en concentrados (%)		31,29
Ley Media As en concentrados (%)		0,18

Emisión por Fuentes t/a Fundición Ventanas	Base Med. Plazo	
	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario CT (giro+campana)	2.853	15
Residual tratamiento fugitivo primario CT	n/d	n/d
Fugitivo Sangría CT MB/Escoria	980	5
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	3.940	1
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d
Chimenea y sangrías HE	324	12
Residual tratamiento gases HE	n/d	n/d
Gases de cola PAS	970	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d
Refino HA	54	8
Otras fuentes	755	0,2
Ajustes	-709	-3
Total emisión t/a	9.168	39
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,55\%$ S	93,3	95,1

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 azufre.

10.3.2 Emisión de mercurio

La generación del mercurio está fuertemente relacionada 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 98% de mercurio contenido en los concentrados (promedio 9 ppm) pasa a la fase gaseosa y se distribuye en forma similar al As, vale decir preferentemente en la fusión. Por lo tanto, la mayor proporción del mercurio ingresado a la fundición es capturado en los precipitadores electrostáticos secos y eventualmente una pequeña proporción llega a la PAS, donde es captado en la etapa de limpieza húmeda.

Adicionalmente, la PAS de fundición Ventanas dispone de una torre de limpieza de mercurio (EFI supuesta superior al 56%), se prevé el cumplimiento ajustado del límite en chimenea proyectado por el MMA de $0,07 \text{ mg/Nm}^3$, lo que también permite asegurar la producción de ácido sulfúrico con menos de 1 ppm, de este elemento.³⁰

Aunque la mayoría de los sistemas de descarga, que contienen metales se controlan eficazmente con los mismos controles de depuración que para el material particulado, el mercurio seguirá en estado de vapor a temperatura ambiente y puede atravesar algunos equipos de control.

³⁰ Global Emission and Production of Mercury during the Pyrometallurgical Extraction of Nonferrous Sulfide Ores.



Consecuentemente, el remanente de mercurio fugitivo debe ser capturado junto con los gases secundarios y fugitivos. Como fue mencionado, en el tratamiento de estos gases, debe cuidarse que la temperatura de la solución en el proceso venturi/scrubber debe mantenerse por debajo de la temperatura ambiente (5 a 10 °C). Una alternativa para soslayar el tema de la temperatura, es usar carbono activado para capturar el mercurio.

10.3.3 Emisión de material particulado

Las emisiones de material particulado de los procesos de secado, fusión y conversión de cobre, puede contener metales pesados volátiles. Las emisiones fugitivas pueden ser mayores que las recuperadas y por lo tanto, el control de las emisiones fugitivas es especialmente importante.

Las emisiones de metales se controlan mediante la aplicación de medidas de control del material particulado.

En el caso específico de Ventanas, la operación de secado, deberá implementar mejoras para el control del material particulado, a igual que para los gases del horno eléctrico, con el fin de asegurar cumplimiento de límites por chimenea, y por ende en el secado mejorar también la recuperación metalúrgica de la fundición.

10.4 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 SO₂, As, Hg, MP y otros. Para contrarrestar esta situación, en los ductos de gases se



dispone de ventiladores de tiro inducido (VTI), que por succión producen una presión negativa dentro de la campana, 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 gurr gun o inyección.

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). Del punto de vista de 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.

La fundición Ventanas tiene la ventaja de disponer a la fecha de una planta de ácido de doble absorción.



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

En la etapa de recepción de concentrados, éstos se reciben en camiones encarpados y el material es descargado en parrillas sobre piso de tolvas subterráneas. La preparación de la carga para el CT se realiza en correas encapsulada y los sitios se encuentran cerrados y confinados.

En la etapa de secado de concentrados en fundición Ventanas, se generan bajas emisiones de azufre, por el uso de gas natural como combustible en esta etapa, aunque si hay emisiones de material particulado.

De los antecedentes de la Emisión Base Mediano plazo de Azufre y Arsénico indicada en el punto 10.3.1, se puede concluir que las emisiones relevantes se encuentran en:

- Emisiones fugitivas de las campanas primarias, en los giros y en las sangrías de MB, para el caso del CT.
- Emisiones fugitivas de las campanas primarias de CPS, principalmente en los giros realizados para recibir las cargas de MB y la carga fría, para el control de temperatura.

Los proyectos y soluciones tecnológicas se han priorizado tomando en consideración las fuentes 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, ha sido considerada como solución más tardía, en razón a que la altura de la nave de fundición, es relativamente baja (15m) y probablemente debería modificarse previamente.



Las emisiones en CT y CPS, en una primera instancia se abordan desde su componente de emisiones por giros de los equipos, por que Ventanas deberá adoptar prácticas operacionales que limiten los giros 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. Actualmente, Ventanas desarrolla un proyecto para determinar la mejor solución para la fusión del scrap de refinería, mientras tanto se considera mantener la adición de scrap por boca a los CPS.

10.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

En primera instancia, se indican algunos proyectos que Ventanas indica en etapa de materialización y que apuntan a un mejoramiento medioambiental de la fundición.

- Disminución de la Emisión de Material Particulado en Secado

El material particulado generado en el secador de concentrados, donde se utiliza como combustible GN, se separa de la corriente gaseosa mediante una planta de filtros de mangas.

Actualmente la fundición se encuentra desarrollando un proyecto de potenciamiento del filtro de mangas, mediante un Up Grade general, mejorando la captura de material particulado y permitiendo asegurar una emisión menor a 100 mg/Nm³.

La disminución de emisión de MP indicada anteriormente, es insuficiente y se requerirá un mejoramiento adicional, para alcanzar una emisión inferior a 50 mg/Nm³ para dar cumplimiento a límites por chimenea, que esta nueva regulación podría incluir, considerando Ventanas adyacente a área poblacional.



El proyecto de mejora del filtro de mangas contempla dos fases, la primera fase es obtener una situación de diseño que permita asegurar una emisión menor a 100 mg/Nm^3 , esta fase como se mencionó anteriormente, se encuentra en desarrollo y su implementación y puesta en marcha se proyecta a realizar el primer semestre de 2012. La inversión estimada es de 2,5 MUS\$.

La segunda fase del proyecto para obtener una emisión de MP inferior a 50 mg/Nm^3 se realizará el 2013 y la inversión estimada alcanza a 3 MUS\$.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirán tener operativo el sistema a comienzos de 2014.

- Tratamiento gases metalúrgicos HE

Para el caso de las emisiones de material particulado del HE de limpieza de escoria, donde se emplea un precipitador electrostático seco, actualmente se está realizando un Up Grade general, lo que permitirá durante el segundo semestre de 2012, un mejoramiento de su eficiencia para volver a su condición de diseño de una emisión de 120 mg/Nm^3 .

En el HE de limpieza de escoria, por el ambiente reductor requerido, se regeneran compuestos en la escoria liberando As, el que escapa en los gases y es capturado como MP, una vez que este precipita al disminuir la temperatura. La emisión de As por esta vía es del orden de 3 a 4%.

Por lo anterior, para capturar y abatir el arsénico en los gases del HE, éstos se limpiarán en el precipitador electrostático seco y se ha considerado en la evaluación de costos conducirlos posteriormente a una nueva planta de limpieza de gases fugitivos de la fundición, de lavado de gases alcalino, bajo el



cual también se posibilitaría parcialmente el cumplimiento de límites de chimenea.

La inversión del proyecto se estima de 8,7 MUS\$, el cual estaría en operación el año 2015.

Los costos de operación incrementales asociados a esta tecnología, consideran el mayor requerimiento energético (MWH/Nm³/h), gastos en reactivos y mantención, así como los costos de disposición de residuos de la nueva planta, considerados en 300 US\$/t.

- Tratamiento Alternativo a Hornos con Limpieza de escorias mediante flotación

Para efectuar la limpieza de las escorias, la mayoría de las fundiciones están optando por el reemplazo de los hornos a enfriamiento de escorias y tratamiento por flotación, lo que mejora la recuperación de cobre, además de reducir emisiones de arsénico.

Para el caso particular de la fundición Ventanas una planta de flotación de escorias en su instalaciones es inviable, por la falta de terrenos aledaños para la disposición de los relaves y los permisos requeridos de la autoridad, pero existen opciones a analizar, frente a la situación de tener población cercana a sus instalaciones, dadas las características cancerígenas de este elemento (según la calificación de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer IARC).

La opción de limpieza de escoria mediante proceso de flotación tiene un importante impacto en la captura y abatimiento de As estimada entre 4% y 5%, del total ingresado a la fundición y bajo en el abatimiento de S (0,8%), además mejora la recuperación de cobre de la fundición en un estimado de 1,5 a 1,8 %.



Para la fundición Ventanas, hacer viable el cambio del proceso de limpieza piro metalúrgica por flotación, requeriría una gestión contractual externa y considerar el enfriamiento y chancado de las escorias en la planta y su transporte al sector norte del país, donde sea viable la flotación de estas escorias.

Bajo tal contexto se estima que Ventanas debe estudiar esta opción para el mediano plazo, realizando el análisis contractual y los estudios de factibilidad del sistema de enfriamiento controlado de las escorias y equipos de almacenamiento y carguío a camiones, con lo que el reemplazo podría estar disponible no antes del 2017, aportando con este cambio a una potencial mejora de reducción de emisiones de As.

- Captación y limpieza de gases de sangrías CT y HE

Mejoramiento de la captación y limpieza de azufre y arsénico en la fundición, mediante la captación y tratamiento de los gases de sangrías (fugitivos) de CT y HE. La solución considera la instalación mejorada de pequeñas campanas localizadas por sobre las sangrías, canales y olla, los ductos y ventiladores para el manejo y conducción de estos gases diluidos a una planta de limpieza de lavado alcalino, donde se abatiría MP, SO₂ y eventualmente Hg. La planta se localizaría en la periferia de la fundición.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirían tener operativo el sistema el primer semestre de 2014, en atención a que fundición Ventanas ya tuvo experiencia previa de captura con este tipo de instalaciones.

La inversión requerida se estima cercana a 23,5 MUS\$, y de acuerdo al potencial de reducción de emisiones de esta medida de control, se tendrá una disminución de azufre de 0,4 %.



Los costos de operación incrementales asociados a esta tecnología, consideran el mayor requerimiento energético (MWH/Nm³/h), los gastos en reactivos y mantención, así como disposición de residuos de la nueva planta (300 US\$/t).

- Adición de carga fría por campana a CPS

Para evitar las emisiones de gases de procesos en la operación de agregado de carga fría por boca a los CPS, Ventanas está desarrollando un proyecto de agregado mecánico lateral a la campana de los CPS de este material, mediante una correa transportadora.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirá tener operativo el sistema a fines del 2013. La inversión requerida se proyecta en 1,5 MUS\$.

- Mejora MAGA y Aumento de la capacidad de tratamiento de gases de la PAS

Esta medida de control persigue el mejoramiento de la capacidad de tratamiento de gases de la PAS, a través de una disminución de las emisiones de gases fugitivos por boca, al controlar la dilución en campanas de CT y CPS a una cifra inferior a 100 %, alcanzando captaciones en campanas de CT y CPS de 97% y 95%, respectivamente. Esto implicará potenciar la PAS, para poder procesar gases de una mayor concentración de SO₂, estimada en 10,5 a 11,5 %, vale decir llevarla a un tratamiento de 16.100 Nm³/h de SO₂.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirá tener operativo el sistema a comienzos de 2015, en atención a que fundición Ventanas ya ha tenido experiencia con aumento de capacidad de PAS.



La inversión requerida se estima en 18 MUS\$ y de acuerdo al potencial de reducción de emisiones de estos cambios tecnológicos, se tendría una disminución de emisión de azufre del orden de 0,7 %.

- Tratamiento de gases de cola PAS

Actualmente por la chimenea en planta de ácido se emiten del orden de 1.720 mg/Nm³ de SO₂ y con un tratamiento de estos gases se podría alcanzar una emisión inferior a 400 mg/Nm³, lo que podría permitir alcanzar una reducción de emisiones de SO₂ de 0,6% respecto de la alimentación.

Existen varias alternativas de tratamiento a analizar por Ventanas para el tratamiento de estos gases, tales como el proceso con PERACIDOX o SUPEROX, que básicamente consiste en agregar un venturi/scrubber que trata los gases con agua oxigenada (H₂O₂) para producir ácido sulfúrico, o la del proceso Cansolv que permite abatir azufre con recuperación de ácido, pero a que a la fecha el Consultor no dispone de antecedentes válidos de inversiones, eficiencias y costos de operación para incorporar a este análisis normativo, por tal motivo ha considerado la solución de lavado alcalino tradicional con cal para la formación de yeso³¹, se ha incluido el costo de disposición como residuo sólido en 300 US\$/t.

Los costos de inversión para la planta de lavado de gases de cola de 116.000 Nm³/hr se estiman en 19,2 MUS\$³².

El proyecto operaría en el año 2016, con costos de operación que corresponden principalmente a materiales (reactivos) y energía eléctrica. Se

³¹ Best Available Techniques for Pollution Prevention in control in the European Sulphuric Acid and Fertilizer Industries- Production of Sulphuric Acid (2000), p. 38-40

³² Aumento Captación de SO₂ Fundición HVL, estudio de Perfil, Jacob 2011



asumen irrelevantes los costos incrementales en dotación, ya que no es superior a 6 personas.

El Consultor destaca sin embargo, que para la fundición Ventanas, que se encuentra emplazada en la costa, el proceso de limpieza de gases cola con agua de mar ALSTOM Seawater FGD, considerado un proceso Best Available Technologies (BAT), puede resultar en una muy buena alternativa para reducir sus emisiones de SO₂, particularmente frente a escenarios más exigentes.

Este proceso de ALSTOM, ofrece las siguientes características:

- Eficiencia de reducción de SO₂: 95 a 99%
- Proceso simple, requiere solamente agua, aire y electricidad
- No requiere agentes químicos
- No requiere personal adicional para operación y mantención
- No produce desechos
- Bajo consumo energético

El proceso estaría en operación en la termoeléctrica AS Gener cercana del puerto Ventanas para el lavado de gases de baja concentración de SO₂.

Con la implementación de las medidas indicadas anteriormente, se proyecta alcanzar **una captación global de azufre de 95,4 +/-0,55%, 96,8 % de As y el cumplimiento de límites por chimeneas definidos por la autoridad.** Para el último fin se han incluido también inversiones del orden de 2,9 MUS\$, de sistemas postcombustión para el tratamiento de humos negros en los hornos anódicos (3 unidades), y 1,1 MUS\$ para adecuar la infra estructura para monitoreo y control de límites en chimenea, además del tratamiento para los gases de cola PAS, tratamiento de particulado en la Planta de secado y el tratamiento de los gases metalúrgicos del Horno Eléctrico, ya antes indicados.



- Captación y tratamiento de gases fugitivos CT y CPS

La captación y tratamiento de gases fugitivos de campanas primarias, como se mencionó anteriormente podría requerir de modificaciones en las estructuras de la nave de fundición (alzamiento del techo), que necesariamente pasan por una detención de la fundición por un período de al menos 45 días, con todos los costos que ello implica.

Como lo anterior resulta extremadamente oneroso, el Consultor sugiere optar por la solución de una doble campana consistente en dos cubiertas paralelas desplazables, instalada sobre la campana primaria, que descienden cuando es necesario descargar blíster/escoria o agregar carga, en el caso de los CPS³³. Esta cubierta dispone de aspiradores verticales y horizontales tipo pico de pato, que descargan los gases por ductos ubicados por los costados de la campana primaria.

Los gases así capturados se conducirían a una nueva planta de limpieza húmeda de gases fugitivos para el abatimiento de MP, SO₂, As. La inversión estimada asociada a ambas campanas secundarias, sistema de tiro inducido y la planta de limpieza húmeda de gases fugitivos es de 60 MUS\$. Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, permitirá tener operativo el sistema a comienzos de 2017.

Los costos de operación incrementales asociados a esta tecnología, consideran el mayor requerimiento energético (MWH/Nm³/h), gastos en reactivos y mantención, así como los gastos de disposición de residuos de la nueva planta (300 US\$/t).

³³ Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC), documento BREF.



De acuerdo al potencial de reducción de emisiones de esta medida de control, se tendría una disminución de azufre de 1,5%, del total de azufre ingresado y consecuentemente posibilita a alcanzar en Ventanas **una captura global de azufre de 96,9 +/- 0,55 % y de 97,6% de As.**

El efecto por proyecto de reducción de emisiones, calculado en bases a las fuentes detectadas y las eficiencias asignadas indicadas en el capítulo 5 (Ej.: 85% abatimiento de S y As en planta de lavado alcalino), se indica en la siguiente tabla:

Tabla 10.5.1 Proyectos de Reducción de Emisiones Fundición Ventanas

Medidas de mejoramiento ambiental	Reducción emisión S %	Reducción emisión As %	Ton abatida SO ₂ t/a	Ton abatida As t/a
Fundición Ventanas				
Escenario 95% S				
Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120 kNm ³ /h	0,4	1,0	1.122	8
Adición de carga fría por campana o culata CPS	0,3	-	777	-
Mejora MAGA y aumento capacidad tratamiento gases PAS	0,7	0,4	1.891	3
Límites de chimenea				
Tratamiento gases de cola PAS 116.000 Nm ³ /h	0,6	-	1.650	-
Eliminación humos negros y opacímetro HA (tres)	-	-	-	-
Tratamiento gases metalúrgicos HE	0,1	0,3	236	2
Infraestructura monitoreo control	-	-	-	-
Filtro de mangas secador (MP)	-	-	-	-
Escenario 96% S				
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	0,6	0,03	1.604	0,3
Captación y tratamiento gases campana secundaria CT	0,9	0,8	2.483	6

Fuente: Elaboración propia.

10.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

Con los proyectos antes mencionados implementados, la distribución de emisiones en la fundición queda como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 10.6.a Emisiones según Captura-Fijación de Azufre y Arsénico por escenario Fundición Ventanas

Ventanas	Med. Plazo	
Alimentación concentrado /año	Nominal	436.000
Ley Media S en concentrados (%)		31,29
Ley Media As en concentrados (%)		0,18

Emisión por Fuentes t/a	Base Med. Plazo		Escenario de 95% S		Escenario de 96% S	
	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico
Fundición Ventanas						
Fugitivo primario CT (giro+campana)	2.853	15	2.241	12		
Residual tratamiento fugitivo primario CT	n/d	n/d	n/d	n/d	999	5
Fugitivo Sangría CT MB/Escoña	980	5	529	3	529	3
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	3.940	1	3.218	1		
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d	n/d	n/d	2.417	1
Chimenea y sangrías HE	324	12				
Residual tratamiento gases HE	n/d	n/d	96	4	96	4
Gases de cola PAS	970	0				
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d	146		146	
Refino HA	54	8	54	8	54	8
Otras fuentes	755	0,2	755	0,2	755	0,2
Ajustes	-709	-3	-709	-3	-709	-3
Total emisión t/a	9.168	39	6.330	25	4.287	18
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,55\% S$	93,3	95,1	95,4	96,8	96,9	97,6
Toneladas abatidas (t/a)	-	-	2.838	14	2.043	7
Toneladas de ácido incremental (t/a)			4.168		0	

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

El cumplimiento de límites en chimenea por otra parte, no sería 100% factible en los niveles de As establecidos para chimeneas de plantas de lavado, con las eficiencias proyectadas, situación que para otros elementos estaría posibilitada.



Tabla 10.6.b Tabla cumplimiento límites por chimenea Fundición Ventanas

Cumplimiento Límites en Chimenea Fundición Ventanas										
Fuente Generadora y Sistema de Tratamiento	Tecnología a Implementar	Volumen Nm ³ /hr	Conc. SO ₂ mgr/Nm ³	Conc As mgr/Nm ³	EFI trat %	Concentración proyectada mg/Nm ³				Observaciones
						400 SO ₂	0,5 As	0,07-0,1 Hg	50 MP	
Tratamiento gases de Cola PAS doble absorción	Lavado scrubber solución alcalina	115.850	2.050	-	85	308	-	0,07 *	-	Requiere disponer 4.500 t/a yeso
	Cansolv, para producción de ácido			-	95		-		-	Requiere vapor no existente y ampliación capacidad conversión y enfriamiento PAS, limitadas
Tratamiento gases secundarios chimenea HE	Precipitador Electrostático y lavado alcalino	50.000	670	6,2	85	100	0,9	s/a	0,9	Requiere disponer 650 t/a yeso impuro
Captura y Tratamiento gases Sangría CT-HE	Campana, VTI, Lavado alcalino, 70% capt	120.000	1.640	10	85	246	1,5	-	1,5	Requiere disponer 3.800 t/a yeso impuro
Captura y Tratamiento gases Fugitivos CT-CPS	Campanas, VTI, Lavado alcalino 98,5%-80% captura	300.000	1.935	3,3	85	290	0,5	-	0,5	Requiere disponer 11.100 t/a yeso impuro
Secador Rotatorio baja capacidad	Incremento Mantenimiento de mangas	45.000	< 10	-	-	Informar	-	-	Informar	Usa Gas natural, bajo

Nota (*): Considera torre des-mercurizadora eficiencia 56% y mínima fijación en ácido.

Fuente: Elaboración propia.

10.6.1 Cronograma de cumplimiento de los escenarios establecidos

Con las soluciones tecnológicas establecidas para disminuir las emisiones de SO₂, As, Hg y MP, y poder dar cumplimiento a los escenarios definidos y los límites de emisiones en chimenea, ellos se cumplirían según el siguiente cronograma:



Tabla 10.6.1 Cronograma de cumplimiento de escenarios

CRONOGRAMA DE CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION VENTANAS					
MEDIDA DE DESCONTAMINACION	AÑO				
	2013	2014	2015	2016	2017
Nivel de fijación de SO ₂	93,3%		95,4%	96,9%	
Adición Mecánica de Carga fría CPS por campana	xxxxxxxxxxxx				
Captación y Tratamiento Gases Fugitivos Sangría CT y HE	xxxxxxxxxxxx				
Tratamiento de gases de cola PAS			xxxxxxxxxxxx		
Mejora Maga y Aumento Tratamiento PAS		xxxxxxxxxxxx			
Tratamiento gases metalúrgicos HE		xxxxxxxxxxxx			
Aumento Capacidad Filtro de Mangas/Secador y PPEE de HE	xxxxxxxxxxxx				
Captación y Tratamiento Gases Secundarios CT y CPS			xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx	
Flotación de Escorias de CT				00000	0000000000

Fuente: Elaboración propia.

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

Para el consultor es importante transparentar la realidad de una fundición en términos que el conjunto de operaciones unitarias debe operar a su máxima eficiencia de 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.



En la práctica, lo normal es 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. Como esta planteado el cumplimiento de la norma en nivel de captura y cuota 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 debe poseer un nivel captura superior en al menos 0,5% por sobre la norma, para poder amortiguar las fallas puntuales de los equipos.

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 cumple, con el equipo nuevo recién instalado, 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 puntual) 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.



Lo anterior, junto al hecho de considerar una banda de incerteza en cumplimiento fiel del nivel de abatimiento, indica que con los proyectos considerados permitirían a la Fundición Ventanas cumplir los escenarios normativos propuestos.

10.6.3 Comentarios sobre Infraestructura, Espacios Disponibles e Interferencias

Para enfrentar el procesamiento de los gases fugitivos que se captarán desde las sangrías del CT y HE, se dispone de espacio en el lugar en que encontraba el horno de reverbero y sus calderas recuperadoras de calor, conjunto que estuvo ubicado al costado sur del HE. El espacio requerido varía entre 100 a 120 m².

La alimentación mecánica de carga fría lateral en las campanas de los CPS, no presentará problemas ya que no existen instalaciones mayores por los costados de las campanas y no requerirá disponer de altura adicional. La compuerta lateral debe estar a una altura tan cercana como sea posible a la boca del convertidor.

El mejoramiento de planta de ácido, que básicamente apunta a aumentar su capacidad de tratamiento de gases y recuperación de calor, se desarrolla dentro de los límites de la PAS. Se requiere aumentar la capacidad del ventilador principal, cambiar reactores existentes de catálisis y torres de absorción por otros de mayor tamaño y aumentar la capacidad de enfriamiento de estos equipos, aprovechando este calor.

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, para su instalación y conexiones necesarias.

El cambio del proceso de limpieza de escorias de CT, se remite a la detención del HE una vez que se disponga de las canchas de enfriamiento de escoria (forzado y natural), las que deberían estar ubicadas en el sector sur oriente del HE, limitado



por el cierre perimetral contiguo al camino público. Para el transporte de las ollas se requerirá de camiones tipo KRESS. Adicionalmente, debe prepararse un sector para acumulación y despacho, vía camiones, de la escoria chancada a la zona norte.

La captación de los gases fugitivos desde las campanas del CT y los CPS, es el proyecto mas conflictivo por su impacto sobre los costos de la fundición (interferencia mayor), si se opta por campanas secundarias tradicionales, que necesariamente requeriría de una detención mayor de fundición de al menos 45 días (experiencia de Fundición Caletones), por esta razón se siguiere optar por la alternativa de una campana especial, como se indicó anteriormente y que no requeriría de esta detención de fundición.

Previo al funcionamiento de las campanas secundarias, deberá estar en funcionamiento la ampliación de capacidad de tratamiento de la PAS, para poder procesar el SO₂ adicional captado por el mejoramiento de las campanas primarias.

10.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

10.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

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 Ventanas, alcanzan:

- Escenario 95% fijación de S y límites de chimenea con 86,1 MUS\$
- Escenario 96% fijación de S y límites en chimenea con 150,3 MUS\$



Tabla 10.7.1.a Costos de capital por escenario Fundición Ventanas

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	Adición de Carga Fría por Campana o Culata CPS	1.500	105	1.605	20 años
1.2	Captación y Tratamiento Gases Fugitivos de Sangrias CT/HE 120 kNm3/h	23.512	1.646	25.158	15 años
1.3	Mejora MAGA y Aumento Capacidad Tratamiento Gases PAS	18.000	1.260	19.260	20 años
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Tratamiento Gases de Cola PAS 116.000 Nm3/h	19.226	1.346	20.572	20 años
1.1.2	Eliminación Humos Negros y Opacímetro HA (Tres)	2.850	200	3.050	20 años
1.1.3	Tratamiento Gases Metalúrgicos HE	8.700	609	9.309	18 años
1.1.4	Infraestructura Monitoreo Control	1.198	84	1.282	20 años
1.1.5	Filtro de Mangas Secador (MP)	5.500	385	5.885	15 años
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	37.474	2.623	40.098	
	Total Escenario Captura 95% S	80.487	5.634	86.121	
2	Escenario Captura 96 % S				
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	32.000	2.240	34.240	20 años
	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT	28.000	1.960	29.960	20 años
	Total Escenario Captura 96% S	140.487	9.834	150.321	

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 de 6% anual, considerando como año cero el 2011.

A continuación la tabla 10.7.1.b muestra la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.

Tabla 10.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición Ventanas

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
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS								
1	Escenario Captura 95% S							
1.1	Adición de Carga Fría por Campana CPS	0	105	1.500	0	0	0	0
1.2	Captación y Tratamiento Gases Fugitivos de Sangrias CT/HE 120 kNm ³ /h	0	1.646	23.512	0	0	0	0
1.3	Mejora MAGA y Aumento Capacidad Tratamiento Gases PAS	0	0	1.260	18.000	0	0	0
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea							
1.1.1	Tratamiento Gases de Cola PAS 116.000 Nm ³ /h	0	0	0	1.346	19.226	0	0
1.1.2	Eliminación Humos Negros y Opacímetro HA (Tres)	0	0	200	2.850	0	0	0
1.1.3	Tratamiento Gases Metalúrgicos HE	0	0	609	8.700	0	0	0
1.1.4	Infraestructura Monitoreo Control	0	0	84	1.198	0	0	0
1.1.5	Filtro de Mangas Secador (MP)	385	2.500	3.000	0	0	0	0
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	385	2.500	3.892	14.094	19.226	0	0
	Total Escenario Captura 95% S	385	4.251	30.164	32.094	19.226	0	0
2	Escenario Captura 96 % S							
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	0	0	0	1.120	1.120	32.000	0
	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT	0	0	980	980	28.000	0	0
	Total Escenario Captura 96% S	385	4.251	31.144	34.194	48.346	32.000	0

Fuente: Elaboración propia.

10.7.2 Costos incrementales de operación

Los costos anuales incrementales de operación, determinados en 9,1 MUS\$/año para el escenario 95% y 16,4 MUS\$/año para el escenario de 96%, incorporan el caso de producción incremental de ácido como un crédito al costo, la venta del ácido adicional generado tiene un ingreso marginal neto de 40 US\$/t.

Tabla 10.7.2 Costos de Operación incrementales por escenario Fundición Ventanas

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	
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS		KUS \$/a	KUS \$/a	KUS \$/a	KUS \$/a	KUS \$/a	\$02
1	Escenario Captura 95% S	2.604	563	369	532	1.140	3.790
1.1	Adición de Carga Fría por Campana CPS	12	8	4	0	0	777
1.2	Captación y Tratamiento Gases Fugitivos de Sangrías CT/HE 120 kNm ³ /h	2.731	527	532	532	1.140	1.122
1.3	Mejora MAGA y Aumento Capacidad Tratamiento Gases PAS	28	28	0	0	-	1.891
-	Producción de ácido sulfúrico	-167	-	-167	-	-	-
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea						
1.1.1	Tratamiento Gases de Cola PAS 116 000 Nm ³ /h	2.888	510	514	514	1.350	1.650
1.1.2	Eliminación Humos Negros y Opacímetro HA (Tres)	1.554	-	1.554	0	-	-
1.1.3	Tratamiento Gases Metalúrgicos HE	636	220	111	111	195	236
1.1.4	Infraestructura Monitoreo Control	1.120	-	1.120	0	-	-
1.1.5	Filtro de Mangas Secador (MP)	140	-	140	-	-	-
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	6.338	729	3.438	625	1.545	1.885
	Total Escenario Captura 95% S	9.108	1.293	3.974	1.156	2.685	5.675
2	Escenario Captura 96% S	7.306	1.318	1.329	1.329	3.330	4.086
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	3.428	703	709	709	1.307	1.604
	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT	3.879	615	620	620	2.023	2.483
	Total Escenario Captura 96% S	16.414	2.611	5.303	2.485	6.015	9.762

Fuente: Elaboración propia.

Los costos determinados corresponden de disposición de residuos sólidos (riles no incluidos), reactivos y principalmente Energía Eléctrica, situación que se destaca, porque conlleva asociado también a requerimiento de reforzamiento de instalaciones de distribución y subestaciones eléctricas no consideradas en esta estimación.

Otros criterios relevantes usados en la determinación de costos, son los gastos de mantención asociados a las plantas como una porcentaje de la inversión, y la inclusión de recursos de operación para la medición discreta periódica y/o el monitoreo continuo de emisiones de cada una de las chimeneas



10.7.3 Energía Incremental y agua adicional requerida

El consumo adicional de energía eléctrica se ve incrementado significativamente por los volúmenes de gases a procesar, estimados considerando un estándar de 3.300 MWH/a por cada 100.000 Nm³/h en los sistemas de aspiración o VTI y de 5.200 MWH/a por igual base al estar enclavados a una torre lavadora.

El costo promedio usado para el mediano plazo de Energía Eléctrica alcanza a 84,5 US\$/MWH.

Lo anterior lleva a determinar un consumo anual de 15,3 GWH/a para lograr el cumplimiento de límites y una fijación de 95% y 30,9 GWH/ a para el escenario de 96%. De igual modo habrá un incremento del consumo de agua industrial de reposición, según se indica en tabla siguiente:

Tabla 10.7.3 Consumo incremental de energía y agua industrial

Inversiones kUS\$	Puesta en operación	Consumo incremental Energía	Consumo incremental de agua
Fundición Ventanas	Año	MW/h/a	m3/a
Escenario 95% S			
Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías CT/HE 120 kNm3/h	2014	6.240	1.800
Adición de carga fría por campana o culata CPS	2014	100	
Mejora MAGA y aumento capacidad tratamiento gases PAS	2015	329	
Límites de chimenea			
Tratamiento gases de cola PAS 116.000 Nm3/h	2016	6.032	1.740
Eliminación humos negros y opacímetro HA (tres)	2015	2.236	
Tratamiento gases metalúrgicos HE	2015	2.600	750
Infraestructura monitoreo control	2015	-	
Filtro de mangas secador (MP)	2012-2014	-	
Consumo MWh/a		15.301	
Escenario 96% S			
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	2017	8.320	2.400
Captación y tratamiento gases campana secundaria CT	2017	7.280	2.100
Consumo MWh/a		30.901	

Nota: El valor en color azul corresponde al consumo incremental de petróleo en t/a, para eliminación de humos negros.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.7.3.a Incremento Energía Eléctrica

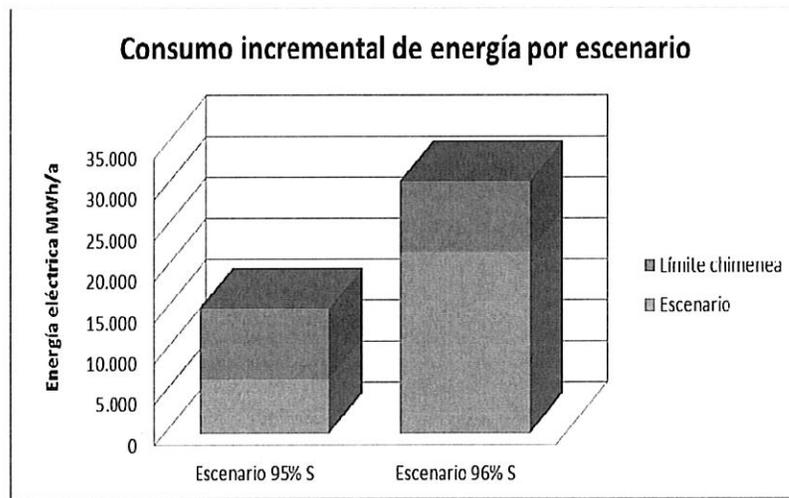
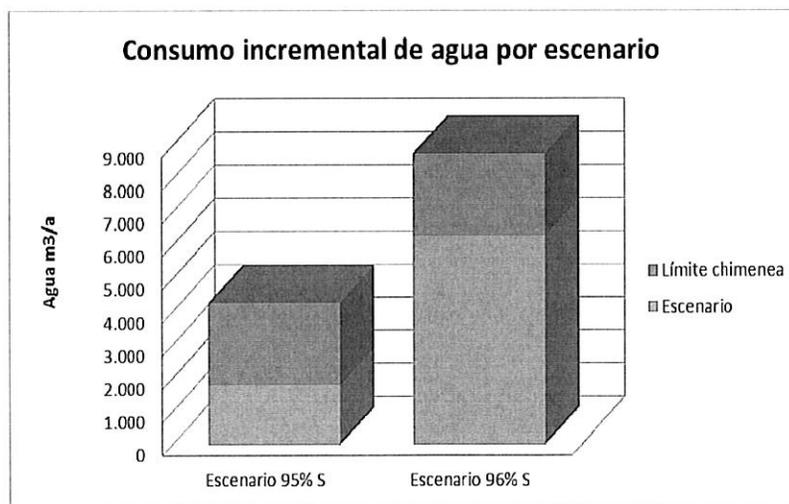


Gráfico 10.7.3.b Incremento Consumo Agua industrial



Fuente Gráficos 10.7.3 a y b: Elaboración propia.



10.8 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 Ventanas, 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% y 96% 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, la determinación del Costo anual equivalente (CAE) como una medida comparativa la razón costo efectividad, determinando el costo unitario por tonelada de SO₂ abatida (CUE), que como referente de otras instalaciones y específicamente para 6 fundiciones de Canadá alcanzaba en un estudio normativo al año 2004, entre 1.900 a 2.000 US\$ canadienses por t de SO₂ abatida ³⁴, costo que crece exponencialmente para mayores niveles de abatimiento.

10.8.1 Reducción de Emisiones de SO₂ y As por escenarios

La reducción proyectada de emisiones de SO₂ As por escenario y la inclusión de límites se muestra en las figuras 10.8.1 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.

³⁴ Technical Assessment of Environmental Performance Emission Reduction Options for the base metals Smelter, p. internet www.ec.gc.ca, Canada, 2004.

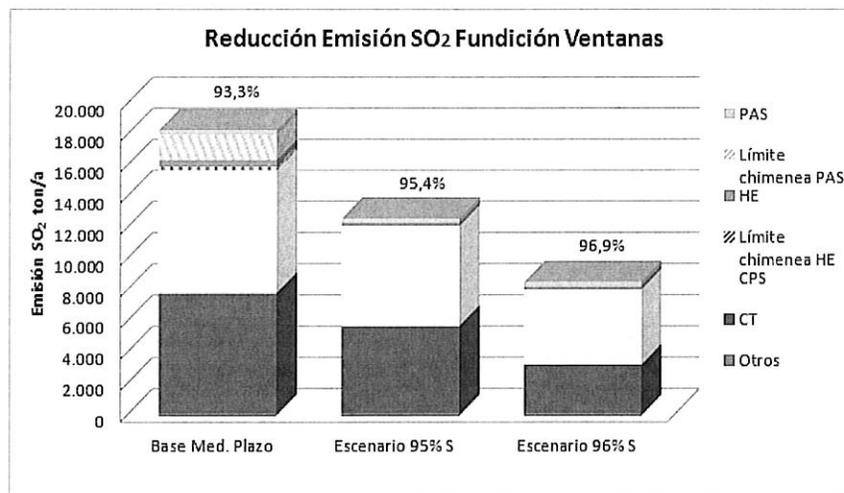
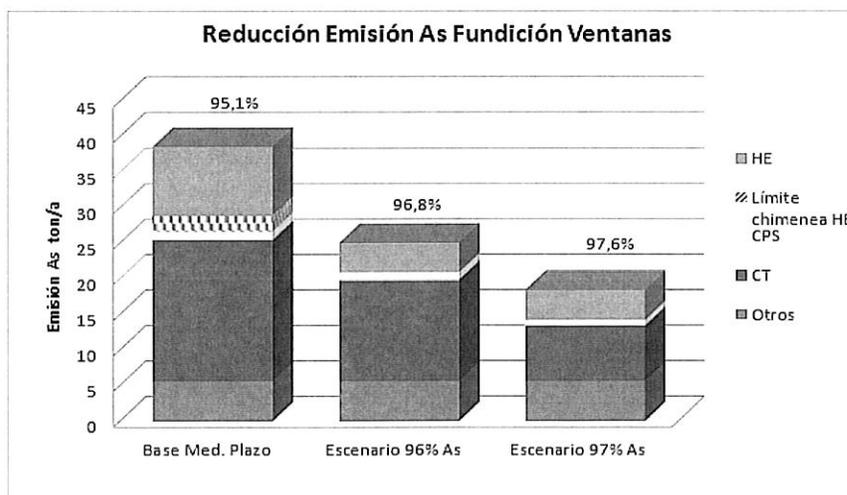
Gráfico 10.8.1.a Emisiones Ventanas de SO₂ por escenario

Gráfico 10.8.1.b Emisiones Ventanas de Arsénico por escenario

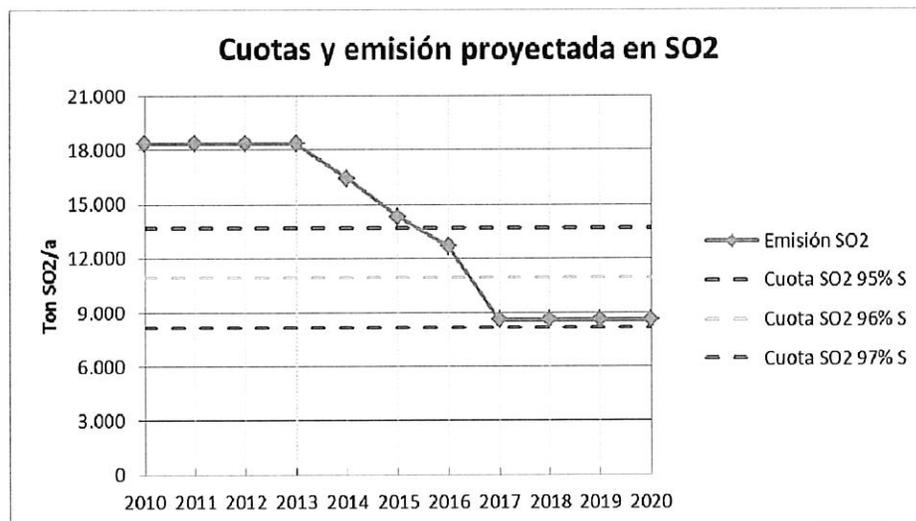


Fuente Gráficos 10.8.1 a y b: Elaboración propia.

10.8.2 Cumplimiento de cuotas con emisiones proyectadas Azufre y Arsénico

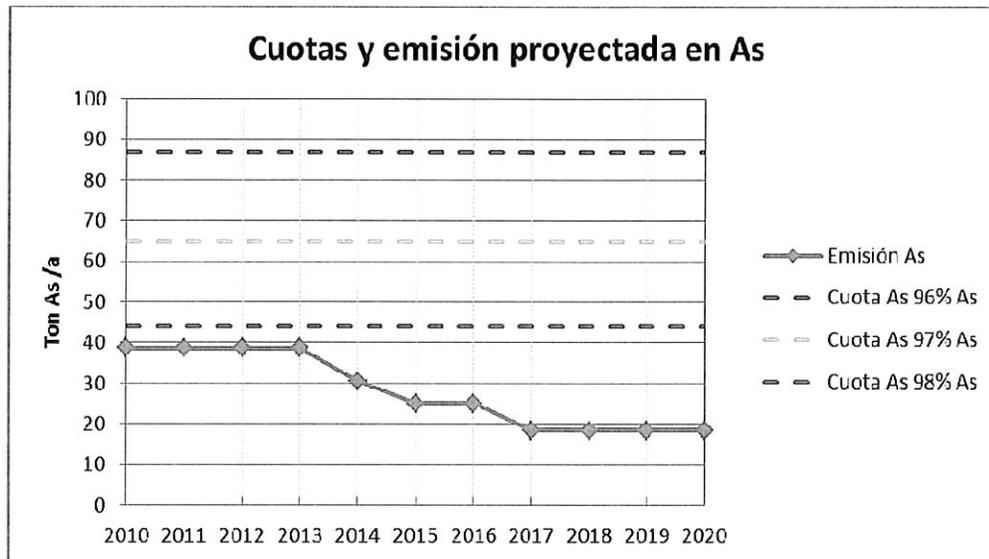
La figura siguiente muestra que a partir del año 2017 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO₂ para el escenario 96%, proyectadas por la autoridad para Ventanas en los primeros diez años y con holgura para el As.

Gráfico 10.8.2.a Cuotas de Emisiones SO₂ Ventanas por escenario



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.8.2.b Cuotas de Emisiones As Ventanas por escenario



Fuente: Elaboración propia.

10.8.3 Determinación del VAC y CAE

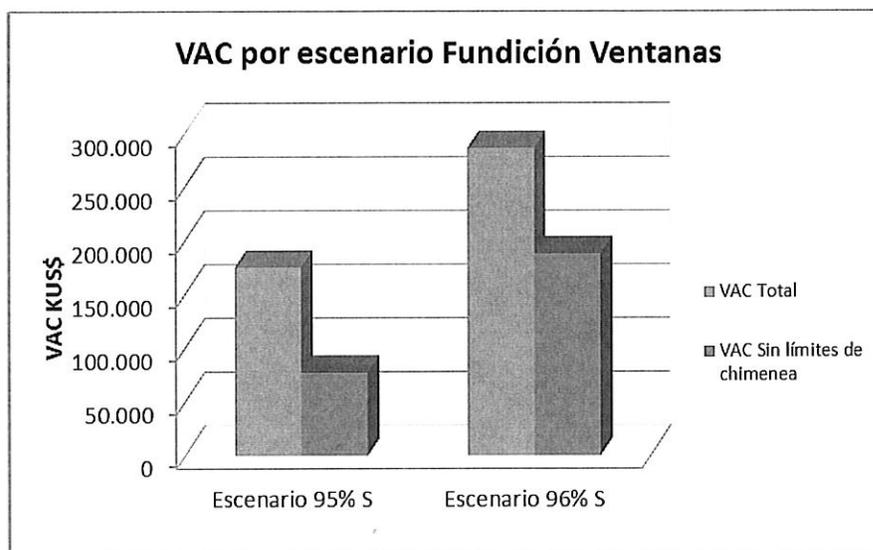
La determinación en un período de 25 años del valor actualizado de costos (VAC) para la Fundición Ventanas, considerando una tasa social de descuento de 6%, indica que para lograr el cumplimiento de escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, representarán los siguientes VAC, valorizados como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

- Escenario de 95% Fijación S, VAC total de 175,5 MUS\$, de los cuales 98,1 MUS\$ corresponden a soluciones para control de límites en chimenea.

- Escenario de 96% Fijación S, VAC de 286,37 MUS\$ de los cuales 98,1 MUS\$ corresponden a soluciones para el control de límites en chimenea.

Respecto a los resultados, la última cifra de VAC puede afectar la supervivencia de esta instalación maquiladora de concentrados. La situación se visualiza en el gráfico siguiente:

Gráfico 10.8.3.a Valor Actualizado de Costos soluciones medioambientales
Ventanas por escenario



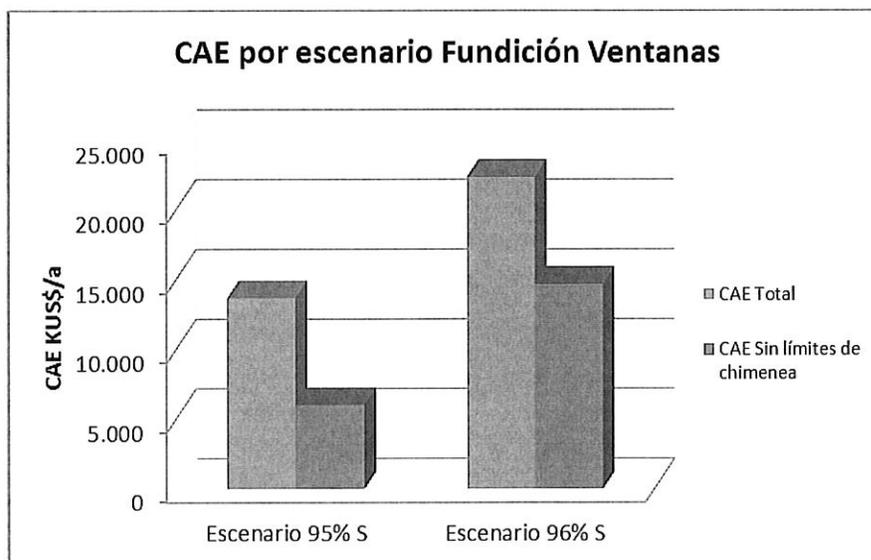
Fuente: Elaboración propia.

De igual modo la determinación del costo anual equivalente o valor en cuotas fijas anuales (CAE) para la Fundición Ventanas, 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 13.728 kUS\$/a
- Escenario de 96% Fijación S, CAE de 22.396 kUS\$/a

La situación se visualiza en el gráfico siguiente:

Gráfico 10.8.3.b Costo anual equivalente Soluciones medioambientales Ventanas por escenario



Fuente: Elaboración propia.



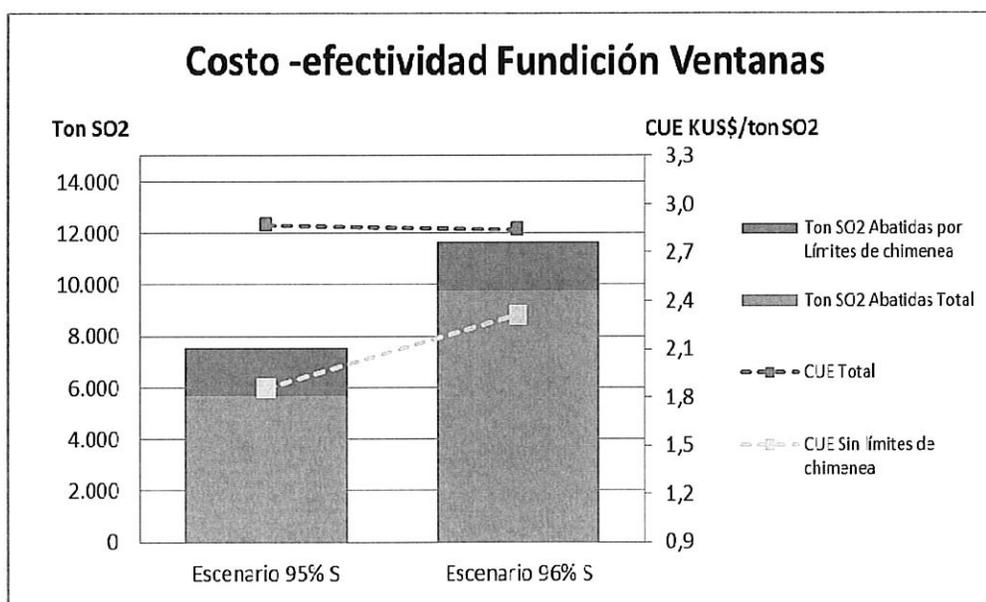
10.8.4 Relación Costo/Efectividad para el Control de Emisiones de SO₂

Con los antecedentes mostrados en el cálculo de costo efectividad para el cumplimiento de escenarios de captura de azufre, lleva a un **costo unitario de 2.800 US\$/t abatida de SO₂**, para ambos escenarios incluyendo límites por chimenea que gravan significativamente los planes, y si éstos no son considerados implican 1.900 y 2.300 US\$/ t abatida de SO₂ para los escenarios de 95% y 96% respectivamente.

Tabla 10.8.4 Indicadores económicos por escenarios Fundición Ventanas

ITEM	DESCRIPCIÓN	INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6%			
		INVA	VAC	CAE	CUE
	COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS	KUS \$	KUS \$	KUS \$/a	KUS \$/Ton
1	Escenario Captura 95% S	50.950	77.384	6.054	1,9
1.1	Adición de Carga Fria por Campana CPS	1.746	1.868	146	
1.2	Captación y Tratamiento Gases Fugitivos de Sangrias CT/HE 120 kNm3/h	29.443	57.050	4.463	
1.3	Mejora MAGA y Aumento Capacidad Tratamiento Gases PAS	19.761	20.020	1.566	
-	Producción de ácido sulfúrico	-	-1.554	-122	
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Tratamiento Gases de Cola PAS 116.000 Nm3/h	19.913	44.662	3.494	
1.1.2	Eliminación Humos Negros y Opacimetro HA (Tres)	3.129	17.607	1.377	
1.1.3	Tratamiento Gases Metalúrgicos HE	9.817	15.745	1.232	
1.1.4	Infraestructura Monitoreo Control	1.315	11.752	919	
1.1.5	Filtro de Mangas Secador (MP)	7.034	8.339	652	
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	41.208	98.105	7.674	5,1
	Total Escenario Captura 95% S	92.158	175.489	13.728	2,9
2	Escenario Captura 96% S	53.329	110.802	8.668	2,8
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	24.283	51.244	4.009	
	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT	29.046	59.558	4.659	
	Total Escenario Captura 96% S	145.487	286.291	22.396	2,8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.8.4 Costo Unitario Equivalente por tonelada de SO₂ abatida Ventanas

Fuente: Elaboración propia.

10.8.5 Proyección de Futuro para la Fundición Ventanas

La situación de arquitectura tecnológica asociada a la mantención del proceso de conversión con giros CPS y emisiones secundarias, también en el proceso de fusión, gravan significativamente a esta instalación, adyacente a una zona poblada, por lo que el Consultor recomienda analizar un cambio tecnológico estructural, para eliminar el proceso tradicional de conversión, incorporando nuevas tecnologías de conversión continua, anteriormente exploradas a nivel de perfil, a través del estudio FURE centro, según datos bases del consultor.



Con centros poblados cercanos a la fundición Ventanas, es ambientalmente poco recomendable mantener el proceso de fusión, por lo que debería profundizarse el escenario en que Ventanas tiene solo conversión continua (FCF) y Refinería Electrolítica. Bajo tal condición la fusión de concentrados se realiza en Caletones y el metal blanco se envía a Ventanas para su procesamiento.