



13. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICION ALTONORTE

13.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Estimar costos de inversión y operación incrementales de fundición Altonorte, 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 de procesamiento de concentrados indicada como nominal por cada fundición el año 2010, o esto es, que la cantidad de concentrados que cada faena puede procesar se mantiene inalterada respecto del año base indicado.

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.

Se ha seleccionado el año 2010, debido a que este es el año del cual se ha recabado información de mayor detalle y calidad, año en que Altonorte tuvo



una alimentación de concentrados de 983 kt/año y expresó una nominal de 1.160 kt/a.

Por lo tanto la condición base para la fundición Altonorte, considera una capacidad de fusión anual de 1.160 kt/año de concentrados de cobre, a lograr al año 2015.

13.2 Descripción General de la Fundición

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

Entre los años 1999 y 2003 se inició una nueva fase de expansión para alcanzar 816 kta de concentrados, instalando un secador, un reactor Noranda, convertidores, planta de ácido, hornos de refino, ruedas de moldeo, planta de flotación de escoria.

El año 2005 reinicia la tostación de molibdeno, y el año 2006 la Fase IV para procesar 1.160 kta de concentrados, transfiriendo el 100% de la propiedad a la empresa Xstrata, que durante los últimos 4 años incorpora mejoras en la planta de lixiviación de polvos, una nueva planta de ácido y captura de gases fugitivos con campanas secundarias.

La Fundición Altonorte, se encuentra situada a 20 kilómetros al Sur de Antofagasta, tiene una dotación de 530 empleados propios y 400 contratistas. Ya



que no es una fundición integrada a una minera, procesa concentrados provenientes de distintos proveedores, principalmente de Escondida, Collahuasi, Mantos Blancos y Antamina. Tiene capacidad de producción de ánodos, ácido sulfúrico, ácido débil y óxido de molibdeno, esto último a través de una planta de tostación actualmente fuera de operación.

13.2.1 Descripción Sistema Manejo de Gases

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

Esta instalación cuenta con un sistema de captura de gases fugitivos sobre la campana primaria del Reactor, él o los CPS en operación y las sangrías de metal y escoria del reactor. Los gases capturados, actualmente se evacúan por chimenea medidos, con un flujo medio de 522.000 Nm³/h y 0,00435 % SO₂³⁷. La fase 2 del proyecto, consideraba el tratamiento por lavado y neutralizado de estos gases, que no se implementó y es hoy una situación altamente recomendable frente a nuevas normativas.

En la figura 13.2.1, se muestra el esquema del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Altonorte.

³⁷ Según DIA Altonorte Memoria de Cálculo, Inventario de Emisiones de SO₂, p.9 Rev. 26 Enero 2011.



El gas de proceso generado a 1200 -1250°C es conducido a través de un red de ductos hasta las Plantas de ácido, pudiendo transportar hasta un total de 386.000 Nm³/h (+/-10%), incluyendo como criterio de diseño una eficiencia de captura en las campanas primarias de 99,5% de los gases generados, con aceptables tasas de infiltración de aire, situación necesaria de corroborar.

Enfriamiento Primario: Los gases provenientes del reactor (CN) se direccionan a un sistema consistente en una serie de ductos dispuestos a modo de serpentin a la salida de la campana del reactor, que enfrían los gases vía radiación y convección, (ductos radiantes). Los gases provenientes de los CPS, son enfriados con agua (cámaras evaporativas).

Limpieza primaria de gases: El gas enfriado es conducido a través de dos Precipitadores Electroestáticos secos (PE con eficiencias mayores a 95%), ubicado en cada circuito de manejo de gases, para el reactor y el de CPS, con el objetivo de recuperar el polvo fino arrastrado en los gases que no decantó en la cámaras de enfriamiento, el cual es tratado en la planta de Polvos. Los gases así limpios alimentan 2 plantas de ácido, por medio de VTI que proveen la succión necesaria.

La Fundación Altonorte posee dos plantas de ácido sulfúrico, para una capacidad total de gases de 190.000 Nm³/h +/- 10% y hasta 11% SO₂ cada una, aunque informan tratamiento de gases entre 5,4% y 7,8 %SO₂³⁸. Las plantas cuentan con limpieza húmeda y acondicionamiento del gas, liberándolo de As, Hg, y halógenos. La solución obtenida de la limpieza de gases o efluente ácido es usada en la planta de polvos como agente de lixiviación. Posterior a la limpieza húmeda del

³⁸ DIA Cambio tecnológico para la disminución de emisiones de SO₂, Anexo B Inventario de emisiones de SO₂, p. 12.



gas primario se realiza el secado, contacto y absorción del SO_3 generando ácido sulfúrico.

En la actualidad la planta de ácido N°3, tiene contacto simple y la planta de ácido N°1 doble absorción y contacto, lo que le permite una mayor eficiencia de conversión y por ende menores niveles de SO_2 residuales en los gases de cola. El ácido sulfúrico de 96% pureza, desde estanques dedicados es despachado vía camión o tren a mineras del área norte donde es comercializado, aunque registra contenidos inusualmente altos de Hg (5 ppm).

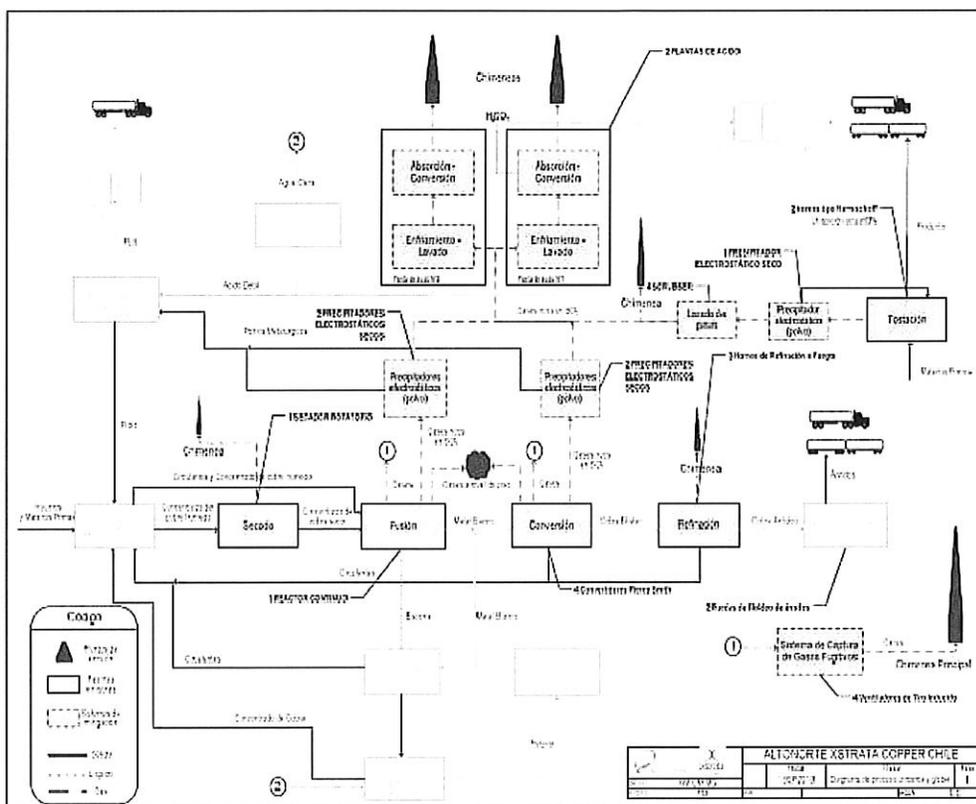
En el sistema secundario de gases, Altonorte cuenta con sistemas de campanas secundarias en la campana primaria del reactor, sangrías de metal y escoria del reactor, y en las campanas primarias de los CPS, que le permiten capturar y sacar del ambiente laboral los gases fugitivos emanados durante los giros y los procesos de sangrado, siendo conducidos por el sistema de gases fugitivos a la chimenea principal de la fundición.

Originalmente el proyecto concibió el tratamiento por lavado alcalino de los gases capturados, que a la fecha presentan alta dilución, con una concentración inferior a 0,04% SO_2 , razón que ha postergado el tratamiento.

En la figura 13.2.1.b, se muestra el esquema del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Altonorte, así como las fuentes principales de emisiones por ellos determinadas.



Figura 13.2.1.b Esquema del sistema de tratamiento de gases primarios y captura secundarios Fundición Altonorte.



Fuente: DIA Altonorte.

Recientemente en Diciembre del año 2011 Fundición Altonorte presentó una DIA por el proyecto “Cambios tecnológicos para la disminución de emisiones”, en cumplimiento de la Resolución exenta N° 174/2011 de 4 de Octubre del 2011 de la Comisión y como parte integrante del Plan de trabajo de Reducción de Emisiones desarrollado para introducir cambios tecnológicos para la disminución de emisiones en el secado de concentrados y en la producción de ácido, que les han permitido estimar emisiones para un nuevo plan de reducción de emisiones entre



el año 2011 con 37.000+/- 500 t/a de SO₂ y el año 2015 de 24.000+/-1000 t/a de SO₂, equivalente a un nivel de 96,7% de fijación, para una fusión de 1.160 kt/a

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

La producción obtenida de ácido sulfúrico, equivalente a una fijación de 91% del Azufre alimentado a la Fundición, no es suficientemente consecuente con el alto nivel de fijación global de la Fundición, bajo la condición que no tiene tratamiento de los gases fugitivos capturados o secundarios como normalmente se denominan.

13.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

La información entregada por la Fundición Altonorte en la encuesta realizada el año 2011 por el MMA, indica una fijación de 93,6% del S y 96,4% para Arsénico, con una fijación en ácido equivalente al 91,5% del azufre alimentado, y un nivel de fusión de 982 kt/año de concentrados de 31,5% S.

Similares niveles de abatimiento fueron planteados en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) presentada en Enero del año 2011, para niveles crecientes de fusión de concentrados, una vez implementados parte de los proyectos del Mejoramiento Operacional de la instalación, que como condición anómala incluyó la no construcción hasta la fecha de la planta de abatimiento o lavado de gases fugitivos capturados (campana secundaria de boca del Reactor, campanas en sangrías de metal y escoria, campanas en bocas de CPS) construidas para tal fin, que opera en la actualidad con descarga de gases por la chimenea principal.



También la DIA acoge emisiones significativas de SO₂ cuantificadas en el secador rotatorio, equipo de alta capacidad que estaría generando la tostación parcial de concentrados en el secado previo a la fusión. Lo anterior ha llevado a la Fundición Altonorte a generar acciones para en el corto plazo poder cumplir el cronograma comprometido y a generar el proyecto "Cambio Tecnológico para Reducción de Emisiones", con cambios en el secador y plantas de ácido, presentando una DIA en Diciembre del año 2011, y un nuevo cronograma para alcanzar al año 2015 un nivel de 1.160 kt/a de fusión con un nivel de captura de 96,7% de Azufre.

Los antecedentes de las fuentes emisoras de SO₂, proyectados por Altonorte en estos documentos públicos, se indican en tabla 13.3 siguiente, con emisiones base y niveles de fijación que difieren significativamente, de la condición genérica modelada por el consultor para este esquema productivo, como se indica en el capítulo 4. Contratación de Emisiones Situación base.



Tabla 13.3 Emisiones y niveles de fijación de S planteados por Fundición Altonorte

Fuente Emisora según Fundición Altonorte	DIA ORIGINAL		DIA II Cambio Tecnológico	
	Con proyecto 2010	C/Proy Mejoram-Operacional 2012	Pre proyecto 2010	Con proyecto 2015
Fusión anual concentrados t/a	1.080.000	1.160.000	979.572	1.160.000
% S alimentación	32,5	32,5	31,5	32,5
S fino alimentado t/a	351.000	377.000	308.761	377.198
	% SO ₂	% SO ₂	% SO ₂	% SO ₂
Gases por Secado	14.742	15.834	12.712	182
Gases en Sangría/transp mata CN			ND	Inc en capt
Gases en Sangría/trans escoria CN			ND	Inc en capt
Gases por boca CN fugitivos o No capturados	10.321	11.085	9.104	14.318
- Gases CN campana VTI (99% EFI) Total capturados	4.070	4.215	3.659	4.561
- Gases giro CN			ND	ND
Gases por boca CPS fugitivos / total capturados			ND	2.669
- Gases CPS campana y VTI			ND	ND
- Gases giro CPS			ND	ND
Gases en vac., transporte Esc CPS			ND	ND
Gases en vac., transporte Cu CPS			ND	ND
Gases Transp /enfr/chancescoria			ND	ND
Gases Refino evacuados HA	414	445	315	561
Colas PAS 3 Cont. /Abs Simple 97%---->DC, cat Cs	11.991	12.880	10.357	535
Colas PAS 1 Cont./abs. doble 99%----> Cat Cs	4.237	4.551	3.828	2.175
Emisión distribuida SO₂	45.775	49.010	39.975	25.001
Emisión informada SO ₂	45.630	49.010	39954/39958	25.000
Captura y Fijación distribuida calculada	93,5	93,5	93,5	96,7

Fuente: Elaboración propia con antecedentes públicos.

De hecho, últimamente la empresa Xstrata Copper Chile S.A, titular del complejo metalúrgico Altonorte presentó, un Plan de Trabajo de Reducción de Emisión de SO₂,³⁹ para conocimiento y aprobación de la Comisión Regional de Medio Ambiente de Región Antofagasta, con las acciones y metas para tener una reducción efectiva de la emisión de SO₂ de Altonorte y lograr mediante acciones de corto plazo e inversiones en mejoras tecnológicas, concluir al año 2015 con niveles sustancialmente mejores (25000 t/a año de SO₂) a los obtenidos durante el año 2010 (con 39.954 t/a de SO₂).

³⁹ Documento público del 14 de diciembre 2011 Xstrata a Comisión de Evaluación Ambiental región de Antofagasta p. 3-4-5.



13.3.1 Emisión de Azufre y Arsénico

Considerando el criterio definido de distribución de emisiones por fuentes, bajo el valor medio de fijación de S y Arsénico, declarado versus el calculado por el consultor, que en el caso de la Fundición Altonorte, presenta altas diferencias, la distribución estimada base de emisiones y contenido proyectado de azufre para el mediano plazo bajo la condición nominal planteada ha considerado:

- Incluir la capacidad de fusión de 1160 kta de concentrados con 32,52 %S promedio, aún no lograda.
- Incluir a criterio del consultor el 50% de la reducción esperada por Altonorte de emisiones de S por medidas de corto plazo postuladas por Altonorte, bajo las siguientes 3 acciones:
 - Instalación de una sala centralizada de operación del reactor, los CPS y las Plantas de ácido (2011).
 - Incorporación de un sistema de control automático del quemador del secador de concentrados (2011).
 - Trabajos de sustitución del catalizador de la Planta de Acido N° 3 de simple contacto, para obtener un reducción de alrededor de 1.000 t/a de SO₂.

Bajo la consideración indicada la fijación base de S o SO₂ alcanza a 92,7%+/- 1,3% y la fijación calculada de 96,0% en As, con una emisión de 52.506 t/a de SO₂, como se muestra en tabla 13.3.1 siguiente. Se destacan también las diferencias de emisión frente la situación base 2010 con una emisión declarada de 39.954 t/a SO₂ y la de la meta considerada para el 2015 de 25.000 t/a de SO₂, con una fusión de 1.160 kta de 32,5 %S promedio, condición a cautelar en la preparación de carga de esta instalación maquiladora.



Tabla 13.3.1: Distribución de emisión de azufre y arsénico Fundición Altonorte

Altonorte	Med. Plazo	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	1.160.000
Ley Media S en concentrados secados Fu (%)		32,5
Ley Media S en concentrados a Fu (%)		31,0
Ley Media As en concentrados (%)		0,4

Emisión por Fuentes t/a Fundición Altonorte	Base Med. Plazo	
	Azufre	Arsénico
Secado	6.557	83
Fugitivo primario CN (giro+campana)	4.100	50
Residual tratamiento fugitivo primario CN	n/d	n/d
Fugitivo Sangría CN MB/Escoria	3.396	39
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	7.276	5
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d
Planta de Flotación de Escorias	24	1
Gases de cola PAS	7.706	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d
Refino HA	188	53
Otras fuentes	1.679	1
Ajustes	-4.674	-37
Total emisión t/a	26.253	195
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 1,3\%$ S	92,7	96,0

Nota: Tostación parcial de S en secador disminuye contenido de Azufre a Fundición, con cambio de base del S ingresado a Fundición.

Nota(n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

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.

13.3.2 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, situación frecuente en las fundiciones maquiladoras. Esto generará emisiones en su estado gaseoso, mayoritariamente en la etapa de fusión de los concentrados, que constituirá emisión en la medida que la captura de gases no sea suficientemente estanca.

Se estima que sobre el 98% de mercurio contenido en los concentrados (sin antecedentes informados para la Fundición Altonorte) pasa a la fase gaseosa y se distribuye en forma similar al As, vale decir preferentemente hacia los gases. Por lo tanto, la mayor proporción del mercurio ingresado a la fundición es capturado en los Precipitadores electrostáticos secos como contenido de los polvos, y una proporción llega a la PAS, donde es captado en la etapa de limpieza húmeda.

La presencia de Hg en los concentrados procesados por la Fundición Altonorte se evidencia por el alto contenido de mercurio en el ácido comercial producido (5 ppm el año 2010), por lo que como primera medida estos deberán ser caracterizados en los concentrados para su posible segregación hacia una planta externa con sistema dedicado de control (torre desmercurizadora en PLG) o eventualmente considerar su instalación. Similar seguimiento del metal deberá realizarse en los polvos y el retorno de rípios.

Como referencia se indica que comparativamente la Fundición Ventanas tiene una alimentación promedio de 9 ppm en concentrados llegando a producir un ácido de calidad comercial, con un contenido no superior a 1 ppm de Hg, contando adicionalmente con una torre desmercurizadora en su PLG, que opera según requerimientos, con un eficiencia inferida de aproximadamente 55%.

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.



Consecuentemente, el remanente de mercurio fugitivo puede ser capturado desde los gases fugitivos capturados, principalmente del área de fusión. 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.

13.3.3 Emisión de material particulado

Las emisiones de material particulado de los procesos de secado, fusión y conversión de cobre, pueden 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 Altonorte, la operación de secado, dispone de un sistema de control de material particulado constituido por dos filtros de mangas en la descarga del secador y transporte neumático del concentrado seco, por lo que deberá implementar mejoras para el control de temperaturas que eviten la tostación parcial de concentrados, la generación de volátiles y el arrastre de particulado.

13.4 Limitaciones Medioambientales de la Arquitectura Tecnológica y Disposición de Equipos.

La arquitectura tecnológica Reactor, Convertidores Peirce Smith, Planta Flotación de Escorias (CN/CPS/PFE) es similar a la del esquema CT/CPS/PFE que tiene la



característica de poseer dos operaciones unitarias con equipos que basculan, uno con proceso continuo y otro discontinuo (proceso batch), como son el Reactor (CN) y los CPS, respectivamente, lo que significa que la boca de estos equipos con su campana primaria 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 la succión producen una presión negativa dentro de las campanas primarias, generando una infiltración de aire externo hacia el interior de la campana, que en el caso de Altonorte se evalúa entre 120 a 150%, con una eficiencia de captura informada de 99,5%, la que en opinión del consultor es alta considerando la fijación en ácido, y como valor está por sobre la exigida a sistemas de manejo gases eficaces, con campanas de alta eficiencia

Sin embargo, las emisiones más importantes, son generadas cuando estos equipos están recibiendo materiales por boca, girando desde su normal posición de soplado y por lo tanto emitiendo todos los gases de proceso a la atmósfera, situación válida para el CN y los CPS. Por esta razón, operacionalmente se trata de reducir el giro del CN a lo estrictamente necesario (cambio de tobera de inyección, cambio de pasaje de sangría y apertura de toberas), realizando los agregados de material granulado por garr gun o inyección. Para el caso de los CPS, aunque el carguío de metal caliente es por boca, la adición de carga fría, puede ser agregada a través de una compuerta lateral en la campana.

Para la captura de gases fugitivos durante los giros Fundición Altonorte ha instalado campanas secundarias envolventes en los CPS y una campana secundaria sobre la campana primaria en el reactor, así como mejoras en campanas existentes en las sangría de metal y escoria, que mediante aspiración generada por ventiladores de tiro inducido (4 unidades), mejoran el ambiente



laboral evacuando los gases por chimenea, reportando flujos medidos ente 520 a 540 kNm³/hr con concentraciones medias de SO₂ entre 0,03 y 0,04%, vale decir altísima dilución.

La fracción de gases fugitivos así capturados alcanza cerca del 25% del total de emisiones fugitivas reportadas, según se indica en tabla siguiente obtenida de documento citado⁴⁰.

Tabla 13.4 Estimación Altonorte de Emisiones SO₂ año 2010

Distribución Emisiones gases Año 2010 Fundición Altonorte	SO₂ (t/a)
Gases del secador rotatorio	12.712
Gases Cola PAS 3, simple contacto	10.357
Gases cola PAS1	3.828
Chimenea Hornos ánodos (HA)	315
Gases fugitivos capturados (chimenea principal)	3.659
Gases fugitivos no capturados	9.104
Emisión reportada	39.954

Fuente: Elaboración propia con fuente de datos citada.

En operación normal, las dos plantas de ácido existentes, a través de sus circuitos de conexión, procesan los gases del reactor CT y 2 CPS disponiendo de capacidad volumétrica y de concentración para tratar la totalidad de gases primarios. La planta N°1 es de doble absorción y la planta de ácido N°3 de simple absorción y actualmente de baja eficiencia, por lo que se considera próxima su modificación a doble absorción y contacto.

El problema mas evidente de emisión se genera sin embargo en el secador rotatorio de alta capacidad, cuyo reemplazo Altonorte ha postulado como

⁴⁰ DIA Cambio Tecnológico, Anexo B Inventario de emisiones de SO₂, p.13.



prioritario, por una unidad de secado a vapor, insumo que deberá generar a través de una caldera a petróleo.

Además de los diseños, mantenibilidad, disponibilidad de los equipos existentes y las prácticas operacionales de cada instalación constituyen un factor relevante en el control de emisiones.

13.5 Selección de Soluciones Tecnológicas Viables de control de Emisiones de Azufre y Arsénico

De los antecedentes de la Distribución Base de Azufre y Arsénico indicada en el punto 13.3, para la condición nominal de la Fundición Altonorte se puede concluir que las emisiones relevantes se encuentran en:

- La etapa de secado de concentrados que representa la situación de la fundición Altonorte, donde se generan altas emisiones de azufre, por las dificultades de control de temperaturas en esta unidad de alta capacidad, que como único equipo abastece la unidad de fusión de concentrados, con la mezcla concentrado fresco mas concentrado de escoria.
- Emisiones residuales en los gases de cola de la PAS N°3 actualmente de simple contacto.
- Emisiones de SO₂ y probablemente As, Hg y MP por chimenea principal correspondientes a gases fugitivos que son capturados mediante campanas secundarias en el reactor, sangrías de metal y escoria del reactor y campanas secundarias en los CPS, asociadas principalmente a los giros realizados en el reactor y en los CPS para recibir las cargas de MB y la carga fría, para el control de temperatura. Estas emisiones estarían disminuidas al asumir alta eficiencia de las campanas primarias y baja



eficiencia, en las secundarias, agravada por la alta dilución de los gases, que incorporarían las distintas fuentes en el ducto común.

Los proyectos y soluciones tecnológicas para alcanzar los escenarios de fijación en estudio se han priorizado tomando en consideración las fuentes de mayores emisiones y también la información de los planes de trabajo informados por Altonorte considerados en la DIA Cambio tecnológico para la disminución de emisiones de SO₂.

En este sentido, el tratamiento integral de los gases secundarios del CN, sangrías y CPS, que requeriría de una gran planta de lavado de gases, no ha sido considerado conveniente o efectivo por el alto volumen y baja concentración del gas informado, por lo que se propone realizar un Overhaul y rediseño del sistema de captura de gases del Reactor Noranda (campana secundaria y sangría de metal blanco) y el tratamiento por lavado alcalino de estos gases, de mayor SO₂, As, y Hg.

Esta solución, que mantendría la evacuación de gases de CPS y sangría de escoria del RN por chimenea, ha sido considerada como solución más tardía, en razón a cumplir escenarios de mayor exigencia de fijación y a que la Ingeniería deberá revisar los diseños incorporados por el anterior proyecto de Mejoramiento Operacional, que a la fecha generan una alta dilución de los gases y gran volumen de gases, elementos ambos de baja relación beneficio/costo.

Para la racionalización del sistema, se postula revisar el diseño de la campana secundaria del reactor e independizar líneas considerando el sistema de captura de gases de CN y sangría de metal del reactor en forma independiente para llevarlos a tratamiento en una nueva planta, de los capturados en los CPS y sangría escoria del CN.



13.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

En resumen se indican las medidas que Altonorte señala en etapa de materialización y que apuntan a un mejoramiento medioambiental de la fundición.

- Implementación de sala de control centralizada y sistema de control automático del quemador del secador.

Durante el año 2011 se instaló una sala de control centralizado de la operación del reactor, los CPS y las plantas de ácido sulfúrico, con el objetivo de mejorar la coordinación de operaciones en la captura de gases y mejorar la toma de decisiones y eficiencia operacional del complejo.

Como mejora operativa, también se implementó el sistema de control automático del quemador del secador rotatorio, para reducir la variabilidad de la temperatura y en forma consecuente emisiones de SO₂ en el secador existente.

Con ambas medidas Altonorte pretende reducir en 0,8% las emisiones de SO₂ (93,6 % a 96,4% de fijación). El consultor asume alto este compromiso, por los beneficios asociados al sistema coordinador que redundaría en mayor estabilidad del sistema de captura de gases fugitivos, por lo que sólo considera una mejora del 0,4%.

- Sustitución del catalizador de la PAS N°3.

Esta medida se encuentra programada para el año 2012, y considera el reemplazo del actual catalizador de vanadio, por un nuevo catalizador con cesio, (que funciona a menor temperatura y que normalmente es usado en la primera capa del reactor de conversión, para más altas concentraciones de SO₂). Con esta medida la fundición Altonorte espera reducir 1.250 t/a de SO₂, equivalente a una mejora en eficiencia y reducción de la emisión declarada en esa fuente, valor también



considerado alto, por lo que se ha asumido solo la mitad, equivalente a 0,1% de la emisión global.

- Sustitución del secador de concentrados por secado a vapor

Para la fundición de actual secador Altonorte ha considerado la opción del reemplazo del secador rotatorio por un secador a vapor, proyecto a realizar durante el año 2013, con lo que obtendría una mejora sustantiva de emisiones de S, evaluada en 1,7% del azufre nuevo alimentado a la fundición. La inversión estimada para este cambio se estima en 70.000 KUS\$.

El secado de concentrados debería tener disponibilidad y capacidad asegurada, para no frenar el proceso fundición, por lo que holguras en esta etapa son normalmente requeridas.

- Incorporación de sistema de doble absorción en la planta de Acido N°3 del complejo

Este proyecto a implementar en el año 2014 en la Fundición Altonorte, es una solución común para las actuales fundiciones con plantas de simple contacto, que tiene la ventaja de recuperar ácido sulfúrico. Transformar la planta a doble absorción y contacto, implica incrementar el azufre fijado en ácido, equivalente a 0,94% del Azufre alimentado a la Fundición. La inversión, en base al caudal de la planta se estima en 30.000 kUS\$ y se realiza durante una detención general de la planta.

- Overhaul y rediseño captación y limpieza de gases fugitivos CN y sangrías MB

Mejoramiento de la captación y limpieza de azufre y arsénico en la fundición, mediante el rediseño de la campana secundaria y circuito de manejo de gases fugitivos, independizando líneas, para conectar la línea del CN y sangría MB a



una nueva planta de lavado de gases para estimativamente 200.000 Nm³/h (scrubber u otro con solución alcalina), que fije el S, As, y otros, como sólido a disponer en deposito autorizado. La concentración de SO₂ esperada alcanza a 0,23% en lugar del obtenido en la chimenea con un flujo de 530.000 Nm³/h, declarado en 0,033 %.

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 2016, en atención a que Altonorte ya ha iniciado los estudios preliminares según se muestra en su tabla de Proyección de escenario futuro⁴¹, donde también acredita un aumento del nivel de captura de gases fugitivos.

Tabla 13.5 Estimación Altonorte de Emisiones SO₂ futuro, 754.395 t/a SO₂ ingresado a Fundición

Distribución gases Año 2016 Fundición Altonorte	SO₂ (t/a)
Gases del secador , secador a vapor	182
Gases Cola PAS 3, doble contacto, catalizador de Cesio	535
Gases cola PAS1	2.175
Chimenea Hornos ánodos (HA)	561
Gases fugitivos capturados (chimenea principal)	14.318
Gases fugitivos no capturados del reactor	4561
Gases fugitivos no capturados de CPS.	2.669
Emisión reportada	25.000

Fuente: Elaboración propia en base fuente citada.

La inversión requerida estimada por Coprim para el rediseño y la planta de tratamiento por lavado alcalino, se estima de aproximadamente 34,6 MUS\$, y de

⁴¹ DIA Cambio tecnológico para reducción de Emisiones, Diciembre 2011 Anexo B .p. 17.



acuerdo al potencial de reducción de emisiones de esta medida de control, se tendría una disminución de azufre de 1,2% y principalmente de As.

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

Tabla 13.5.1 Proyectos de reducción Emisiones Fundición Altonorte

Medidas de mejoramiento ambiental	Reducción emisión S %	Reducción emisión As %	Ton abatida SO ₂ t/a	Ton abatida As t/a
Fundición Altonorte				
Escenario 95% S				
Secador a vapor	1,7	1,7	12.925	83
Planta de ácido a doble absorción	0,8	-	6.350	-
Escenario 96% S				
Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	-	-	-	-
Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm ³ /h	1,2	1,1	9.395	54

Fuente: Elaboración Propia

13.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

Con las mejoras indicadas en los puntos anteriores, la distribución de emisiones por fuentes expresadas en toneladas se modifica y queda como sigue:



Tabla 13.6 Emisiones según Captura/ Fijación de Azufre y Arsénico por escenario
Fundición Altonorte

Emisión por Fuentes t/a	Base Med. Plazo		Escenario de 95% S		Escenario de 96% S	
	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico
Fundición Altonorte						
Secado	6.557	83	94	0	94	0
Fugitivo primario CN (giro+campana)	4.100	50	4.295	50		
Residual tratamiento fugitivo primario CN	n/d	n/d	n/d	n/d	936	11
Fugitivo Sangría CN MB/Escofía	3.396	39	3.558	39	2.219	25
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	7.276	5	7.623	5	7.623	5
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Planta de Flotación de Escofías	24	1	26	1	26	1
Gases de cola PAS	7.706	0	4.531	0	4.531	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Refino HA	188	53	197	53	197	53
Otras fuentes	1.679	1	1.759	1	1.759	1
Ajustes	-4.674	-37	-4.889	-37	-4.889	-37
Total emisión t/a	26.253	195	17.194	112	12.497	58
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 1,3\%$ S	92,7	96,0	95,4	97,7	96,7	98,8
Toneladas abatidas (t/a)	-	-	9.058	83	4.698	54
Toneladas de ácido incremental (t/a)			9.724		0	

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 13.6 se puede apreciar un cambio en los valores de las secciones Otras fuentes y Ajustes, debido a que en base mediano plazo se considera un cambio de base del azufre ingresado a Fundición, producto de que la tostación parcial de azufre en el secador disminuye el contenido de Azufre a la Fundición.

13.6.1 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, ellos se cumplirían según el siguiente cronograma:

Tabla 13.6.1 Cronograma de cumplimiento de escenarios

CRONOGRAMA DE CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION ALTONORTE					
MEDIDA DE DESCONTAMINACION	AÑO				
	2013	2014	2015	2016	2017
Nivel de fijación de SO ₂ 92.8% \pm -1,3%		95,4%	96,7%		
Reemplazo sel Secador Rotatorio po secador (es) a vapor	xxxxxxxxxxxx				
Cambio PAS 3 de simple a doble absorción y contacto		xxxxxxxxxxxx			
Rediseño Captura, manejo y nuevo tratamiento Gases Fugitivos CN Sangría MB		xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx		

Fuente: Elaboración Propia

13.6.2 Consideraciones para la sustentabilidad de resultados en el Largo Plazo

Para el consultor es importante relevar la importancia de la revisión del sistema general de manejo de gases de la Fundición Altonorte, en términos de que la instalación tiene dos desafíos complementarios y simultáneos de aumento de capacidad y reducción de emisiones.

Lo anterior requiere revisar las practicas operativas para el conjunto de operaciones unitarias, con las que debe opera, así como diseño y estado de equipos, dado que se plantea operar a la máxima eficiencia de: parámetros operacionales de calidad de la carga, capacidad de procesamiento de ella, equipos de captura, manejo y tratamiento de gases metalúrgicos, planta de limpieza de gases y captura/limpieza de gases fugitivos para que como conjunto, la fundición cumpla el nivel determinado nivel de captura, fijación y emisión de contaminante inferior a las 25.000 t/a de SO₂ comprometidas, bajo su concepción operativa de una detención anual de planta cada 18 meses.



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.

13.6.3 Comentarios sobre infraestructura, espacios disponibles e interferencias

Para enfrentar el procesamiento de los gases fugitivos que se captarían desde las sangrías de MB y campana secundaria del CN, se dispone de espacio en el lugar, ya que el proyecto Mejoramiento Operacional, inicialmente incluyó una planta de tal tipo.

El reemplazo del secador operará en un lugar adyacente al equipo existente. El espacio requerido varía entre 200 a 300 m².

El mejoramiento de planta de ácido N³, que básicamente apunta a aumentar su eficiencia de conversión, requiere de una nueva torre de absorción adyacente. 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 tratamiento de gases fugitivos requerirá espacios para el nuevo scrubber, sector de preparación de reactivos y para el equipo de sedimentación y separación sólido líquido del sólido a disponer. Los gases deberán ser evacuados por chimenea, (disponible chimenea 8, adyacente a un scrubber de ex tostador de molibdenita).



13.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

13.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

De acuerdo a los antecedentes disponibles, experiencia del Consultor y rango de precisión +/- 30%, las inversiones privadas requeridas por escenario para la Fundición Altonorte alcanzan a 100 MUS\$ para el escenario 95% y 135 MUS\$ para el escenario de 96%. La estimación de las inversiones de capital considera adicionalmente como inversión pre inversiones un 7% de la inversión total, considerando ya realizados parte de la Ingeniería conceptual.

Tabla 13.7.1.a Costos de Capital por escenario Fundición Altonorte.

DESCRIPCIÓN	Inversión Sub total	Costos PreInversionales	TOTAL
	KUS \$	KUS \$	KUS \$
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS			
Escenario Captura 95% S			
Secador a vapor	70.000	4.900	74.900
Planta de ácido a doble absorción	30.000	2.100	32.100
Total Escenario Captura 95% S	100.000	7.000	107.000
Escenario Captura 96% S			
Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	7.990	559	8.549
Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm3/h	26.630	1.864	28.494
Total Escenario Captura 96% S	134.619	9.423	144.043

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra en la tabla la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.

Tabla 13.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición Altonorte

DESCRIPCIÓN	AÑO 1 2011	AÑO 2 2012	AÑO 3 2013	AÑO 4 2014	AÑO 5 2015	AÑO 6 2016	AÑO 7 2017
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS							
Escenario Captura 95% S							
Secador a vapor	0	39.900	35.000	0	0	0	0
Planta de ácido a doble absorción	0	17.100	15.000	0	0	0	0
Total Escenario Captura 95% S	0	57.000	50.000	0	0	0	0
Escenario Captura 96% S							
Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	0	0	559	3.995	3.995	0	0
Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm ³ /h	0	0	1.864	13.315	13.315	0	0
Total Escenario Captura 96% S	0	57.000	52.423	17.310	17.310	0	0

Fuente: Elaboración Propia

13.7.2 Costo Incrementales de Operación

Los costos anuales incrementales de operación, determinados en 2,2 MUS\$/año para el escenario de 95% y 11,9 MUS\$/año para el escenario de 96% fijación de azufre, incorporan en el caso del paso a doble absorción de la PAS 3 la producción incremental de ácido como un crédito al costo (en el ítem disposición de producto), la venta del ácido adicional generado a un ingreso marginal neto de 60 US\$/t.



Tabla 13.7.2 Costos de Operación incrementales por escenario Fundición Altonorte.

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTOS DE OPERACIÓN INCREMENTALES					Tonelada Abatida (Ton/a)
		COSTO TOTAL INCREMENTAL ANUAL DE OPERACIÓN KUS \$/a	Costo Energía KUS \$/a	Costo Insumos y otros KUS \$/a	Costo Mantenimiento KUS \$/a	Costo disposición KUS \$/a	
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS							SO2
1	Escenario Captura 95% S						
1.1	Secador a vapor	1.193	-	1.193	-	-	12.925
1.2	Planta de ácido a doble absorción	1.576	1.085	-863	491	863	6.350
	Producción de ácido	-583	-	-583	-	-	-
	Total Escenario Captura 95% S	2.186	1.085	-253	491	863	19.276
2	Escenario Captura 96% S						
2.1	Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	186	186	0	-	-	-
2.2	Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm ³ /h	9.501	879	886	886	6.850	9.395
	Total Escenario Captura 96% S	11.873	2.150	633	1.377	7.713	28.671

Fuente: Elaboración Propia

Los costos determinados en su mayor cuantía corresponden a Gastos de disposición de residuos sólidos (riles no incluidos), reactivos e incrementales de Energía Eléctrica, aunque en este caso el requerimiento de reforzamiento de instalaciones de distribución y subestaciones eléctricas, debería haber sido considerado en el proyecto Mejoramiento Operacional, al igual que el agua tratada para generación de vapor.

Otros criterios relevantes usados en la determinación de costos, son los gastos de mantenimiento asociados a las plantas como un porcentaje de la inversión.

13.7.3 Energía Eléctrica Incremental y agua adicional requerida

Se ha estimado un incremento en el requerimiento de combustible para secado (20% adicional al actual índice de 7,4 Kg/t secada) para la generación en una caldera del vapor requerido para el secado, caldera que operaría con petróleo pesado Enap 6 y agua tratada.

El consumo adicional de energía eléctrica se verá incrementado por la variación de presión requerida por el volumen de gases a tratar, estimado considerando un



estándar de 5.200 MWH /año por cada 100.000 Nm³/h al estar enclavados a una torre lavadora, en reemplazo de los 3300 MWH/año del sistema normal de VTI hacia chimenea. El costo promedio usado para el MP de Energía alcanza a 84,5 US\$/MWH

Lo anterior lleva a determinar un consumo anual de 25,4 GWH/a para lograr una fijación de 96% cercano a la meta de emisiones y 12,8 GWH/ a para el escenario de 95%.

Tabla 13.7.3 Consumo Incremental de energía y agua industrial

Medidas de mejoramiento ambiental	Puesta en operación	Consumo incremental Energía	Consumo incremental de agua
Fundición Altonorte	Año	MW/h/a	m3/a
Escenario 95% S			
Secador a vapor	2014	1.717	
Planta de ácido a doble absorción	2014	12.844	1.786
		Consumo MWh/a	
		12.844	
Escenario 96% S			
Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	2016	2.200	-
Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm ³ /h	2016	10.400	3.000
		Consumo MWh/a	
		25.444	

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

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 13.7.3.a Incremento consumo Energía Eléctrica

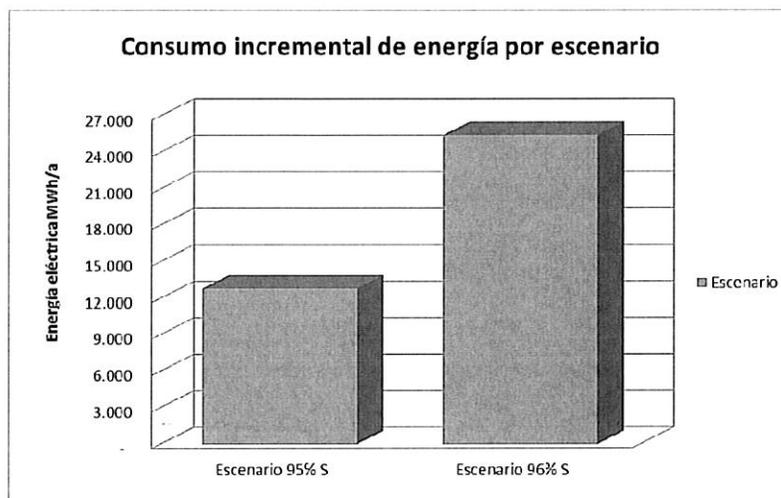
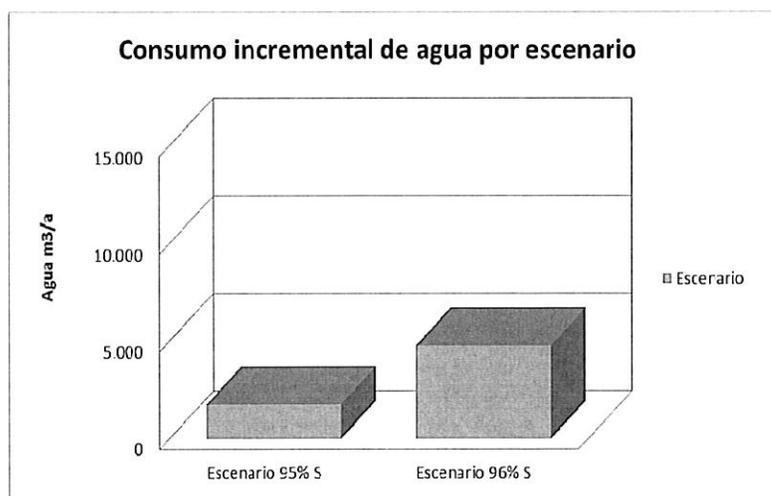


Figura 13.7.3.b Incremento consumo Agua Industrial



Fuente Gráficos 13.7.3 a y b: Elaboración Propia



13.8 Resultados Técnico/Económicos 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 Altonorte, para que dicha instalación pueda enfrentar nuevos escenarios regulatorios en el mediano plazo, que le permitirían alcanzar su capacidad nominal de fusión de 1.160 kt/a y 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).

13.8.1 Reducción de Emisiones de SO₂ y As por escenarios

Se ha incluido, como base fija el diferencial de emisiones entre el valor declarado y el modelado equivalente a 1,3% de fijación de S, considerado como fuente no identificada. Sobre esto la reducción proyectada de emisiones de SO₂ y As por escenario y la inclusión de límites se muestra en figuras 13.8.1 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.

Figura 13.8.1.a Reducción de Emisiones de SO₂ por escenarios

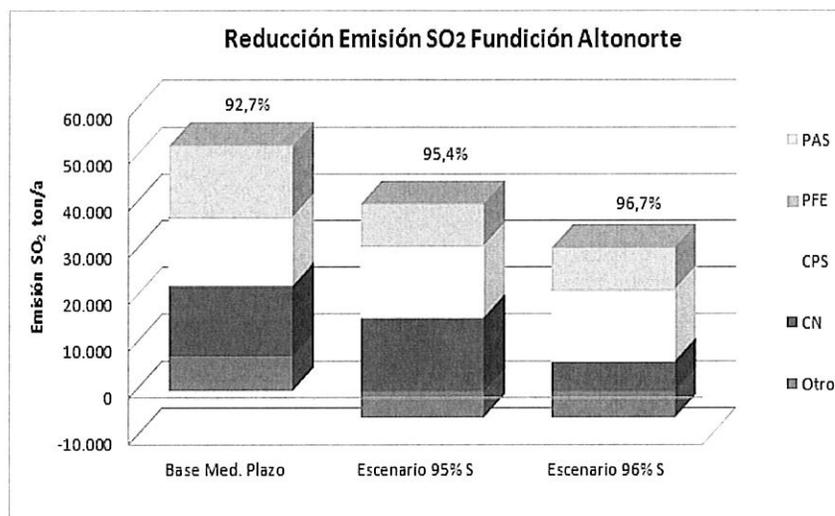
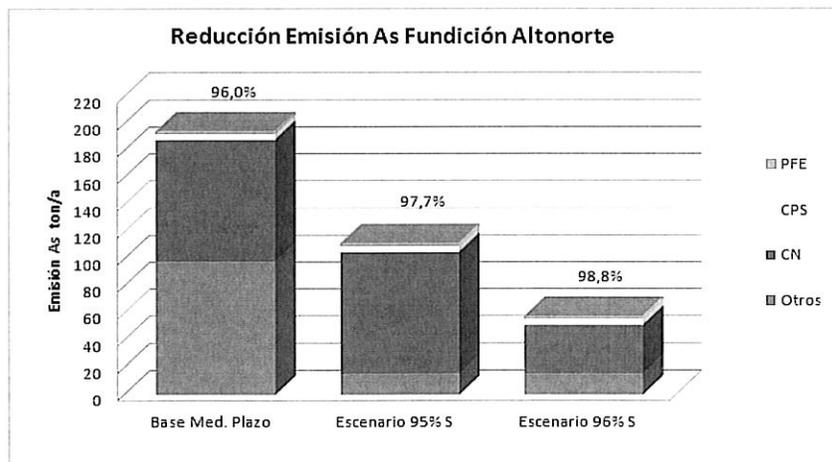


Figura 13.8.1.b Reducción de Emisiones de As por escenarios

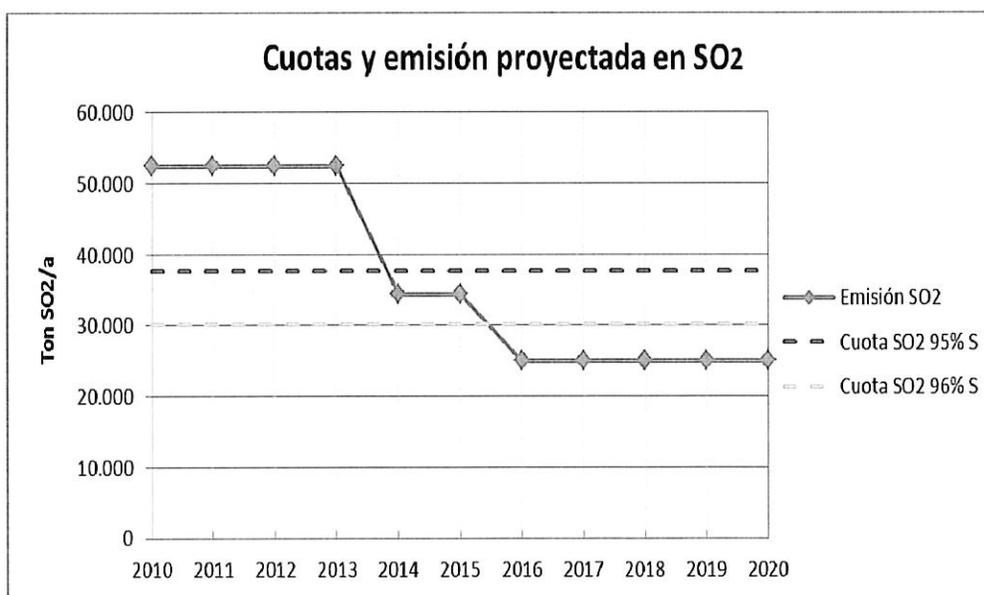


Fuente Gráficos 13.8.1 a y b: Elaboración Propia.

13.8.2 Cumplimiento de cuotas con la proyección de emisiones proyectadas S y As

La figura siguiente muestra que a partir del año 2016 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO₂ proyectado por la autoridad para la Fundición para Altonorte con un nivel de fusión de 1.160 kta y con holgura para el As. Sin embargo la instalación tiene un compromiso específico con la Autoridad Regional de no sobrepasar 25.000 t/a de emisión de SO₂ a partir del 2015.

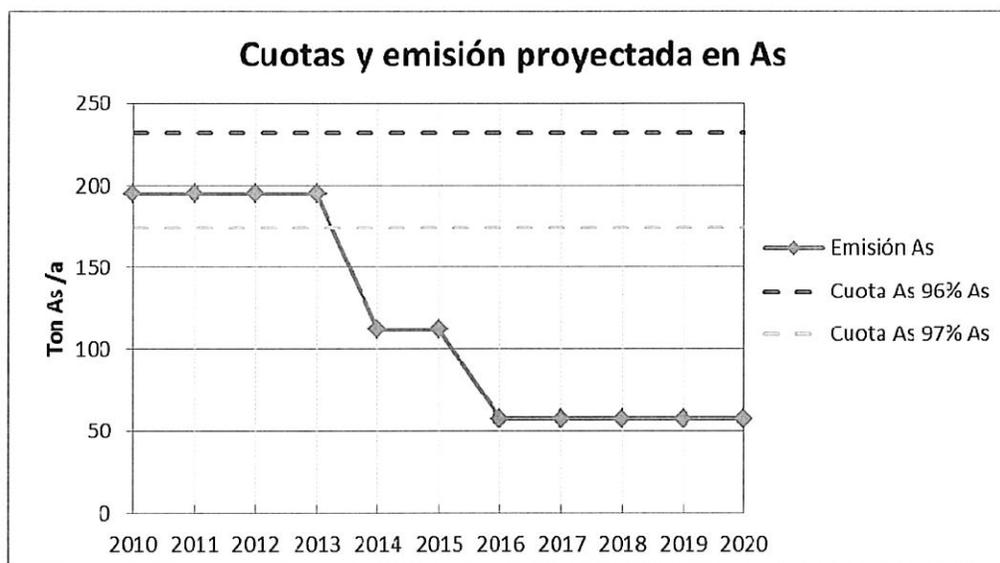
Figura 13.8.2.a Cumplimiento de cuotas proyectadas de SO₂ fundición Altonorte.



Fuente: Elaboración Propia

En relación al cumplimiento de emisiones inferiores a las cuotas de As establecidos por escenario, estas presentan niveles de holguras, al haber sido establecidas sobre un límite superior (0,5% en concentrado) al medio proyectado de 0,4%.As.

Figura 13.8.2.b Cumplimiento de cuotas proyectadas de As fundición Altonorte.



Fuente: Elaboración Propia

13.8.3 Determinación del VAC y CAE

La determinación en un periodo de 25 años del Valor actualizado de costos para la Fundición Altonorte, considerando para actualización una tasa social de descuento de 6% indica que lograr un cumplimiento de 95% y 96% de abatimiento de S, implica un VAC de 143 y 263 MUS\$ respectivamente.



Gráfico 13.8.3.a Valor actualizado de Costos soluciones medio-ambientales Altonorte

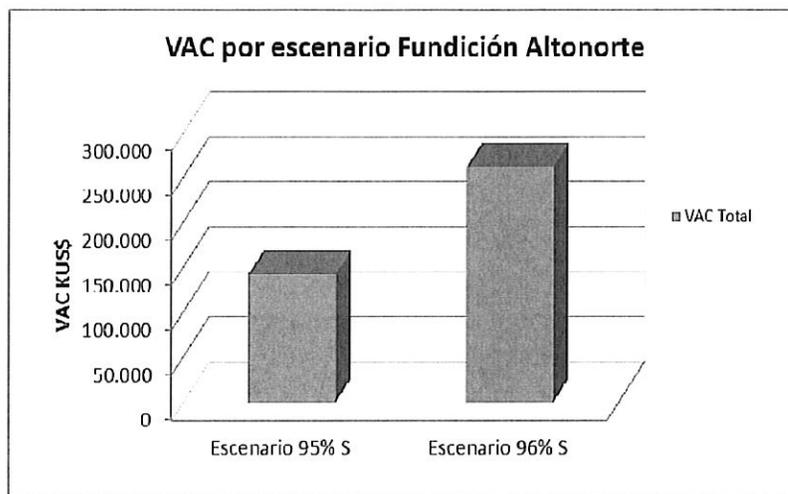
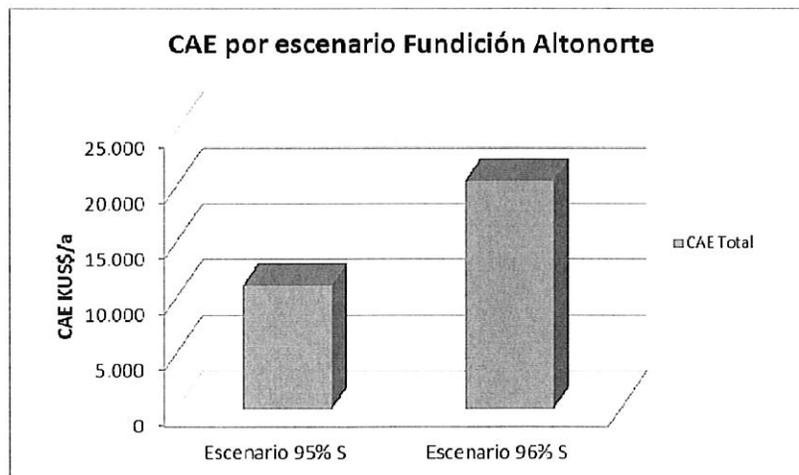


Gráfico 13.8.3.b Costo Anual equivalente Soluciones medio-ambientales Altonorte



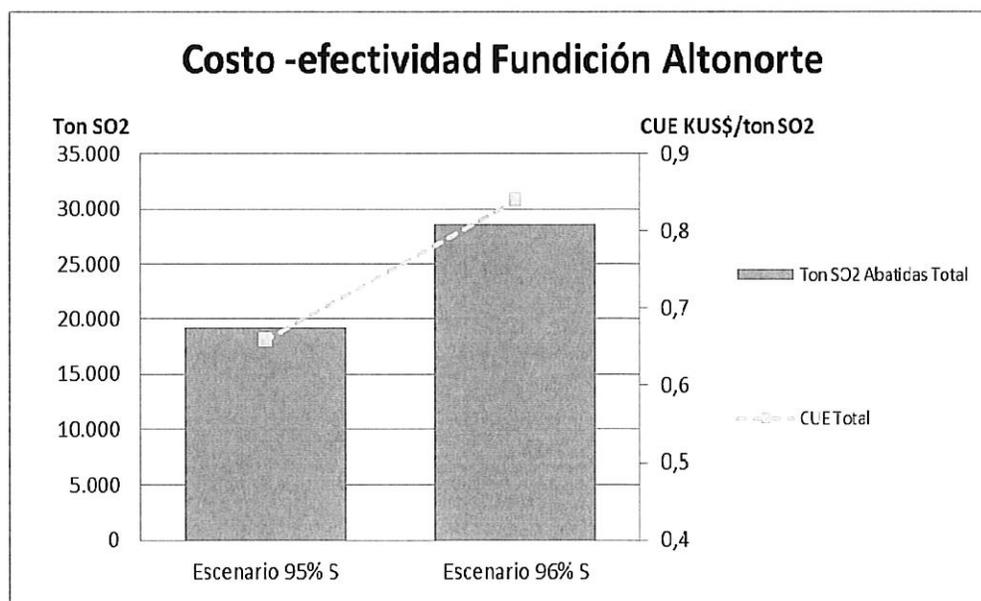
Fuente Gráficos 13.8.3 a y b: Elaboración Propia

El detalle de cálculo de estos costos ha sido realizado considerando similares criterios que para el resto de las fundiciones. El costo anual equivalente, casi se duplica al pasar del escenario de 95% a 96% (11.1169 kUS\$/a a 20.557 kUS\$/a).

13.8.4 Relación Costo – Efectividad. En el control de Emisiones de S

Con los antecedentes mostrados el cálculo de costo efectividad para el cumplimiento de escenarios de captura de azufre lleva a un costo unitario de 700 US\$/t abatida de SO₂, para el escenario de 95% y 800 US\$/t abatida de SO₂, para el escenario de 96%, inferiores al del resto de las fundiciones, por el mejor nivel de captura inicial, e incorporar inversiones ya existentes en captura de gases fugitivos.

Gráfico 13.8.4 Costo Unitario equivalente por tonelada SO₂ abatida Altonorte



Fuente: Elaboración Propia

En resumen los indicadores económicos atribuidos a los escenarios descritos de reducción de emisiones para una fijación de 95 y 96% se indican a continuación en tabla siguiente.

Tabla 13.8.4 Indicadores económicos por escenarios Fundición Altonorte.

ITEM	DESCRIPCIÓN	INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6%			
		INVA	VAC	CAE	CUE
		KUS \$	KUS \$	KUS \$/a	KUS \$/Ton
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS					
1	Escenario Captura 95% S				
1.1	Secador a vapor	83.773	95.837	7.497	
1.2	Planta de ácido a doble absorción	36.903	52.840	4.134	
	Producción de ácido	-	-5.899	-461	
	Total Escenario Captura 95% S	120.676	142.778	11.169	0,7
2	Escenario Captura 96% S				
2.1	Mejora Sistema manejo de gases fugitivos de boca y sangría MB CN	8.537	10.130	792	
2.2	Tratamiento gases fugitivos de boca y sangría MB CN 200 kNm ³ /h	28.452	109.884	8.596	
	Total Escenario Captura 96% S	157.664	262.792	20.557	0,8

Fuente: Elaboración Propia

13.8.5 Proyección de futuro para la instalación

La situación de arquitectura tecnológica asociada a la mantención del proceso de conversión con giros CPS y emisiones secundarias, que en el proceso de fusión en el reactor, tiene como ventaja de alta capacidad y bajos costos de operación, recomiendan esfuerzos para el mejoramiento del proceso conversión, por lo que el Consultor propone analizar un cambio tecnológico estructural, para eliminar el proceso tradicional de conversión, generando el granallado del metal blanco y carguío como solido o incorporando nuevas tecnologías de conversión continua, integrados con otra instalación del área norte, (maquila de metal blanco).



El área preparación carga, debe controlar también la regularidad de la ley de azufre, informada como de alta variación, condición que favorece la estabilidad de los procesos.



BIBLIOGRAFÍA

1. "ALSTOM Seawater FGD Technology", The Carlos Díaz Symposium on pyrometallurgy, p 535, 2007.
2. "Antecedentes fundiciones de cobre Chile", Antecedentes entregados por MMA, 2010-2012.
3. "Antecedentes y precisiones respecto a información de Chagres", Antecedentes entregados por MMA, 2011.
4. Antecedentes proveedores Topsoe, Outotec, Petersen Cansolv, Antecedentes entregados por MMA, 2011-2012.
5. "Best Available techniques for pollution prevention and control in the European Sulphuric Acid and fertilizer industries", Vol. N°3 Production of Sulphuric Acid, p. 38, 40. 2000.
6. "Cambio tecnológico para la disminución de emisiones de SO₂", Anexo B inventario de emisiones de SO₂, DIA Altonorte, p. 12, 13, 17. 2011.
7. Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa, "Minuta criterios y supuestos para elaborar la norma de emisión al aire para las fundiciones de cobre", Asuntos atmosféricos Ministerio de Medio Ambiente.
8. Catalogo NICICO "National Iranian Copper Industries Co.", Khatoonabad copper smelter, 2005.
9. Documento público Xstrata a comisión de evaluación Ambiental región de Antofagasta p. 3, 4, 5. 2011.



10. "Elemental mercury removal using a wet scrubber", Argonne national laboratory, 1999.
11. "Encuesta a Fundiciones de cobre en Chile", Antecedentes entregados por MMA, 2010.
12. "Escenarios de reducción de emisiones de fundiciones Codelco", Cochilco, 2012.
13. Estudio de perfil "Aumento captación SO₂ Fundición HVL", Informe Jacob, 2011.
14. "Evaluación de escenarios regulatorios para una norma de emisión de las fundiciones de cobre en Chile", Informe de avance Smeltec, 2011.
15. Hylander L.D., Herbert R.D., "Global emission and production of mercury during the pyrometallurgical extraction of nonferrous sulphide ores", Environmental Science and Technology 42, 2008.
16. Informe final "Antecedentes técnicos y económicos para elaborar una norma de emisión para fundiciones de cobre", Departamento de Ingeniería de Minas Universidad de Chile, 2009.
17. "Informe Resumen Fundición Hernán Videla Lira", Visita delegación Ministerio de Medio Ambiente, 2011.
18. "Ingeniería conceptual proyecto desarrollo de negocio Fundición y Manejo de gases fugitivos", Hatch Ingeniería, 2007.
19. "International Peirce Smith Converting Centennial, Publication of TMS, p.158, 58. 2009.



20. Knowledge for the sulphuric acid, Sulphuric Acid on the web http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/GasCleaning/gcl_hg.htm
21. "Memoria de cálculo inventario de emisiones de SO₂", DIA Altonorte, p. 9 Rev. 26 Enero 2011.
22. "Pilo-Scale Evaluation for Codelco Continuos Converting Process", The Carlos Díaz Symposium on pyrometallurgy, p 49, 2007.
23. "Presentación fundición Potrerillos: Proyecto integral de mejoramiento de captación y procesamiento de gases", Información entregada por MMA Reunión con fundición Potrerillos 2011.
24. "Prevención y Control Integrado de la Contaminación" (IPPC) documento BREF, Ministerio de Medio Ambiente - Comisión Europea, 2005.
25. "Technical assessment of environmental performance and reduction options for the base metals smelter", p. internet www.ec.gc.ca, Canada 2004.
26. W.G. Davenport, A.K. Biswas, Extractive Metallurgy of copper, cuarta edición.