



## 8. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICIÓN CHUQUICAMATA

### 8.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y/o estimar costos de inversión y operación incrementales de fundición Chuquicamata, para enfrentar cada escenario regulatorio, indicando la factibilidad de cumplimiento y/o fiscalización, producto de estas inversiones y evaluar cumplimiento de límites en chimenea dado que la fundición Chuquicamata se encuentra localizada a aproximadamente 15 km al norte de la ciudad de Calama, donde se han detectado la influencia de sus emisiones contaminantes, por esta razón se le considera una fundición cercana a un asentamiento poblacional importante.
- Realizar la evaluación con enfoque costo-eficiencia (US\$/ t abatida).
- Evaluación de VAC y CAE diferencial por escenario (tasa de descuento 6%) y un horizonte de 25 años.
- Caso Base

La Fundición Chuquicamata ha informado como Caso Base su situación con proyecto denominada "opción optimizada", esto es una sola línea de procesos conformada por: fusión flash, limpieza de escorias por flotación, conversión en CPS, refinado a fuego y dos PAS en funcionamiento. Bajo esta configuración tecnológica se proyecta una reducción de capacidad desde 1.650 a 1.350 kt/a



de concentrados, más calcinas de concentrados de MMH (la calcina constituirá el 30% de la mezcla a fusión), a partir del año 2013.

Esta opción optimizada de la fundición, que se encuentra en etapas de ingeniería, pero con su decisión de implementación tomada, proyecta su operación para fines de 2013, y contempla los siguientes trabajos en el FSF:

- Modificación del Sistema de Alimentación de Carga
- Cambio del Sistema de Dosificación de Carga
- Cambio de Ventiladores de Aire de Procesos de Mayor Capacidad
- Modificación del Diseño del Eyector de Aire Enriquecido (>70%)
- Aumento de Capacidad del Sistema de Refrigeración por Agua
- Modificaciones en Sistema de Sangrías de Eje y Escoria
- Sistemas de Infraestructura para Mantenimiento
- Modificaciones al Sistema de Alimentación de Materiales Sólidos en CPS

## 8.2 Descripción General de la Fundición

La fundición de Chuquicamata inició sus actividades en 1952 con dos hornos de reverbero, 4 convertidores Peirce-Smith, dos hornos de ánodos y una rueda de moldeo.

En 1988 se instaló un horno Flash Outokumpu junto con una planta de ácido Lurgi de contacto simple para tratar los gases de éste. En 1990 se agregó una nueva rueda de moldeo y dos hornos de ánodos.

En 1991 se instaló un Convertidor Teniente y se detuvieron dos de los tres hornos de reverbero que aún operaban con quemadores de aire/oxígeno/petróleo, y en 1992 se instaló una tercera planta de oxígeno de 400 t/d y se reemplazó el



Convertidor Teniente por uno de mayor capacidad para tratar 1.250-1.600 t/d de concentrados.

En 1993 se instaló un circuito de flotación en el concentrador para tratar la escoria de fusión, junto con la construcción de un segundo Convertidor Teniente de capacidad 1.250 t/d, y se detuvo el último de los hornos de reverbero. Ese mismo año se instaló una tercera planta de ácido de contacto simple de 1.720 t/d a un costo de US\$ 103 millones.

En 1994 se instaló un segundo secador rotatorio para proveer concentrado seco a los hornos de fusión. En 1996 se terminó de alargar un cuarto convertidor Peirce-Smith a 4,6m x 13,4m, y el quinto convertidor se transformó en horno de limpieza de escoria.

En el año 2003 se instaló un horno eléctrico Demag de limpieza de escoria a un costo estimado de US\$ 100 y la capacidad del convertidor Teniente 2 fue incrementada a 2.200 t/d, por uso del método de utilizar inyección de concentrados por toberas en fase ultra densa.

La fundición cuenta con 7 precipitadores electrostáticos de captura de polvos y limpieza de gases, 2 en el horno flash, 3 en Convertidores Teniente y 3 en los convertidores Peirce-Smith.

El año 2006 se cerró el campamento de Chuquicamata por haber sido declarado zona saturada y los trabajadores se trasladaron a la ciudad de Calama.

A través de los años a nivel mundial, se ha impuesto la tendencia de operar con una sola línea de fusión/conversión, con equipos de mayor capacidad, en reemplazo de dos líneas de fusión/conversión y de capacidad equivalente.



La decisión de la fundición Chuquicamata de operar sólo una línea de fusión, deteniendo el actual CT en operación para fundir el concentrado y la calcina solo en el horno flash (HF o FSF), tiene ventajas en mejorar la captura de elementos contaminantes (aproximadamente 93% de azufre), simplificar la coordinación de las operaciones de movimiento de puentes grúas, traspaso de líquidos, simplificación del manejo de gases y operación de las PAS más holgada, con flujos de gases metalúrgicos más estables.

Con esta configuración tecnológica, la fundición proyecta alimentar 939 kt/a de concentrados de Chuquicamata y 411 kt/a de calcina, provenientes de concentrados de la Mina Ministro Hales, des-arsenificados por tostación.

### 8.2.1 Descripción de la Planta

La fundición está compuesta por los siguientes equipos principales, alguno de los cuales quedan fuera de servicio, en la opción optimizada a partir del año 2013:

Secado	: 5 silos de almacenamiento y mezcla de concentrado 2 secadores rotatorios (130 t/h y 150 t/h)
Hornos de fusión	: 2 convertidores Teniente (5 m x 22 m y 5 m x 23 m) (Fuera de servicio) 1 horno Flash (8,4 m x 22,4 m)
Limpieza de escoria	: 1 horno basculante HLE (4,5 m x 12,7 m) (Fuera de servicio) 1 horno eléctrico HELE (Fuera de servicio)
Convertidores	: 4 Peirce-Smith (4,5 m x 13, 2m)
Hornos de Ánodos	: 6 rotatorios (4 – 4,0 m x 9,0 m (250 t) y 2- 4,6 m x 9,0 m (350 t))
Planta de Moldeo	: 3 ruedas OK de 24 moldes (50 t/h)- ánodos 400 kg



---

Plantas de oxígeno	: 1 Air Liquide (400 t/d) 1 Kobe (400 t/d) 1 BOC (400 t/d)
Plantas de ácido	: 2 Lurgi contacto simple (1.720 t/d c/u) (PAS N°2 y 3) (PAS N°1 Fuera de Servicio)
Planta Vapor	: Vapor horno Flash genera electricidad 10MW
Otros	: Planta tratamiento de licores de planta de ácido Lixiviación de polvos de fundición 2 hornos rotatorios fusión de scrap (4,0 m x 7,6 m)

#### 8.2.2 Descripción Sistema de Manejo y Limpieza de Gases

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

En la figura siguiente, se muestra el esquema operativo del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Chuquicamata, opción optimización, para tratar en el sistema primario los gases de la unidad de fusión FSF y dos CPS en soplado simultáneo.





Como se observa, los gases metalúrgicos producto de la fusión en horno flash son y serán captados, mediante la acción de los VTI, desde la cámara de gases, procesados en una caldera recuperadora de calor, limpiados de sus polvos en suspensión en precipitadores electrostáticos secos y posteriormente mediante la aspiración de los ventiladores principales de las PAS, conducidos hacia la cámara de mezcla, antes de su ingreso a las plantas de ácido.

Los gases de conversión en CPS, son también captados desde las campanas primarias mediante la acción de VTI independientes, enfriados en cámaras radiativas, limpiados en precipitadores electrostáticos secos y luego mediante la aspiración de los ventiladores principales de las PAS conducidos hasta la cámara de mezcla, una vez mezclados con los gases del horno flash, los gases son llevados hacia las plantas de ácido sulfúrico.

La disposición y cantidad de los equipos considerados para la captación, manejo y limpieza de los gases es considerada como óptima.

### 8.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

#### 8.3.1 Distribución de Emisión de Azufre y Arsénico

La distribución de emisiones calculada para el 2013 en azufre y arsénico, se ha realizado considerando algunos criterios específicos de Chuquicamata que entre otros incorporan modificar la captura de gases en la sangrías del FSF y campanas secundarias en los CPS, que en la actualidad utilizan un tratamiento de agregado de cal seca, para incrementar la fijación de As, en razón a los mayores contenidos de esta impureza usual en los concentrados procesados.

La base de cálculo de esta proyección, fue la distribución de emisiones por configuración tecnológica, desarrollada en el capítulo 3, para el esquema FSF-CPS-PFE, con 97,8% de abatimiento de As.

Tabla 8.3.1 Criterios y Proyección Emisiones Fundición Chuquicamata 2013

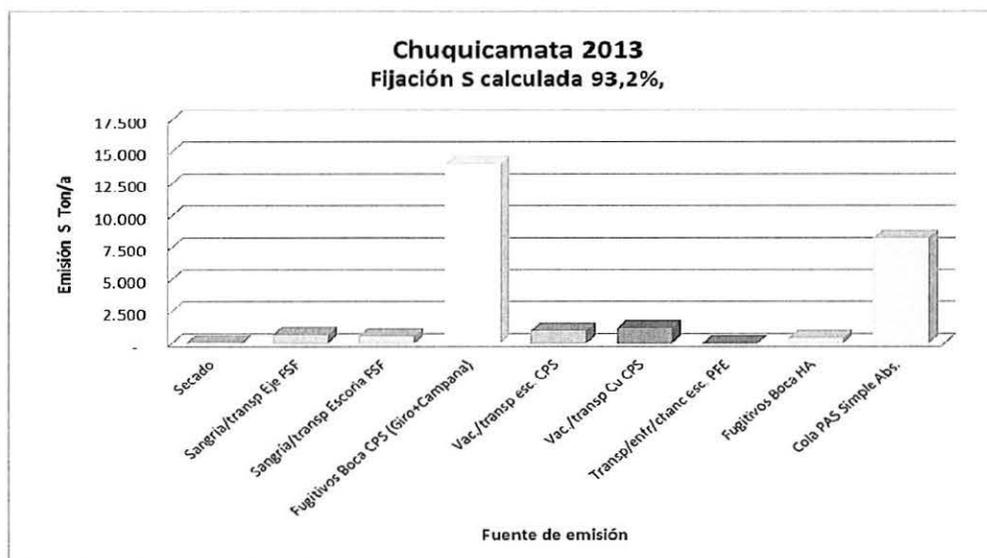
Fundición Chuquicamata Fuente Emisora	Emisión S t/a	Emisión As t/a	Consideraciones Situación 2013 en Operaciones y Sistemas para el Control de Emisiones
Secadores	106	0	Un secador rotatorio directo 150 t/hr, Enap 6, separación de sólidos mediante PE, evacuación gases por chimenea
Fugitivos Sangrías de Mata/ Escoria FSF	1.333	36	Considera campanas para captura de gases en las sangrías eficiencia 50%, que trata por filtración y agregado de cal seca eficiencia 80% As y 15% S.
Fugitivos Boca CPS	14.075	13	Considera campanas primarias y secundarias de baja eficiencia por estado y antigüedad (95% y 50% respectivamente), gases primarios de alta concentración a tratamiento, gases diluidos captados a tratamiento con cal y filtración EFI 80 % As y 15% S. Modificación en el sistema de alimentación de material sólido, considera una EFI 25% S para el 50% de las emisiones por giro.
Fugitivos transporte cobre, escorias CPS	2.270	3	Determinados por el sistema de transporte de materiales y ollas de alta capacidad 6,9 m3.
Limpieza de Escorias PFE	26	2	Considera Flotación de escorias en nueva configuración
Chimenea Hornos Refino	450	105	Seis hornos basculantes sin sistemas de control, emisiones discretas.
Chimeneas Plantas de Ácido Sulfúrico	8.302	0	Considera dos plantas simple absorción/contacto (334.000 Nm3/hr- 11,7% SO <sub>2</sub> ), eficiencia de conversión de 97,7%.
Emisión distribuida calculada (t/a)	26.563	158	
Fijación Distribuida calculada (%)	93,2	98,2	
Alimentación en concentrado (t/a)	388.608	8.686	Considera alimentación de 411 kta calcina ley S 20,3% - As 0,24% y 939 kta concentrado ley S 32,5%- As 0,82%.

Fuente: Elaboración propia, en base a antecedentes entregados por MMA y Cochilco.

Como se indica en el cuadro anterior de emisiones de azufre, los puntos claves de emisión proyectados, en orden descendente son: boca de CPS, plantas de ácido sulfúrico y gases fugitivos de sangrías.

Según lo establecido mediante modelación en el capítulo 4, la distribución estimada de emisiones opción optimización, para el año 2013 se muestra a continuación.

Gráfico 8.3.1 Distribución de emisión de azufre, Opción optimización, año 2013



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, en el gráfico la fijación de azufre calculada por el Consultor para el 2013, alcanza a 93,2% frente al 91,0% declarado como alcanzado en la actualidad, con dos líneas de fusión, lo que representa una ganancia medio ambiental inicial para este nuevo esquema operacional.

### 8.3.2 Emisión de Azufre y Arsénico

Según lo indicado en el cuadro de emisiones la fijación de arsénico alcanza un nivel de 98,2%, superior en 5% al valor obtenido con el azufre, verificándose



holgadamente el 1% por sobre la captura esperada de azufre, criterio indicado en las bases de entendimiento y que debe operar en conjunto con la magnitud en tonelaje alimentado y emitido.

Tabla 8.3.2 Emisiones de Azufre y Arsénico Fundición Chuquicamata con transformación tecnológica a solo FSF.

Chuquicamata	Med. Plazo	
Alimentación conc.+ calcina t/año	Nominal	1.350.000
Ley Media S en la mezcla conc + calcina (%)		28,8
Ley Media As en la mezcla conc.+calcina (%)		0,64

Emisión por Fuentes t/a Fundición Chuquicamata	Base 2013 Med. Plazo	
	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario FSF	0	0
Fugitivo Sangría FSF MB/Escoria	1.334	36
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	14.082	13
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d
Planta de Flotación Escorias	26	2
Gases de cola PAS	8.306	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d
Refino HA	450	105
Otras fuentes	2.377	4
Ajustes	-13	0
<b>Total emisión t/a</b>	<b>26.563</b>	<b>158</b>
<b>Captura y Fijación ajustada con desviación <math>\pm 0,3\%</math> S</b>	<b>93,2</b>	<b>98,2</b>

Nota (n/d): No dispone.

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

Se destaca que la mezcla de alimentación concentrado más calcina, supera el nivel límite proyectado por la autoridad, para la fijación de límites en chimenea con 0,5% As.

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, sin embargo se destaca que el nivel de



---

arsénico se ve en mayor proporción incrementado debido al circuito de flotación de escorias incluido en el esquema operativo (opción optimizada).

### 8.3.3 Emisión de Mercurio

No se dispone de antecedentes de caracterización de contenidos de mercurio en los concentrados Chuquicamata, como tampoco en las calcinas de MMH, impureza asociada normalmente a minerales de oro, que usualmente volatiliza a alta temperatura en los hornos, siendo junto al material particulado arrastrado en gases y colectado en los sistemas de limpieza tales como precipitadores o filtros de manga.

### 8.3.4 Emisión de material particulado

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

En el FSF el MP es recuperado en su mayor parte en la caldera recuperadora de calor y en el precipitador electrostático seco. En los CPS el MP es recuperado en la pantalla mata polvos de la cámara de expansión, en el sistema de enfriamiento radiativo (material más denso) y en el precipitador electrostático seco.

Es importante enfriar adecuadamente el gas de entrada en el sistema de control del material particulado para garantizar la captura del mercurio y otros metales volátiles, o usar un filtro de carbón activo para absorber el mercurio.



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

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

#### 8.4 Limitaciones Medioambientales de la Arquitectura Tecnológica

La arquitectura tecnológica de fundición Chuquicamata al 2013, tiene la característica de poseer una de las mejores tecnologías de fusión continua, como es el horno de fusión flash (FSF), totalmente cerrado y exento de emisiones secundarias. Los gases metalúrgicos del FSF, altamente concentrados en  $SO_2$ , pasan por una caldera recuperadora de calor y precipitadores electrostáticos para continuar mediante la impulsión de un VTI hasta una cámara de mezcla, desde ahí los gases son succionados por las plantas de ácido (PAS).

La conversión del eje generado en el FSF, seguirá siendo realizada en los CPS que es un proceso discontinuo (proceso batch) con carguíos discretos y vaciados de material. Además la boca de estos equipos con su campana de gases no tiene un sello perfecto y por lo tanto se generan emisiones provenientes de gases secundarios. Para contrarrestar esta situación, se dispone en los ductos de gases de ventiladores de tiro inducido (VTI), que por la 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 mayores emisiones son generadas cuando los CPS están recibiendo materiales por boca, estando ellos en posición de soplado y por lo tanto emitiendo todos los gases de proceso a la atmósfera. Por esta razón, operacionalmente debería reducirse el giro del CPS a lo estrictamente necesario, incorporar en lo posible un sistema regulador del flujo de aire en función del giro y realizar el agregado de carga fría, scrap y otros, a través de una compuerta lateral en la campana.

Otra fuente importante de emisión de  $\text{SO}_2$ , es la que se produce en los gases de cola de las PAS, como consecuencia de que ellas son sólo de simple absorción (emitiendo por dicha razón el 2,1% del azufre ingresado).

Del punto de vista de las emisiones en sangría de FSF, canales y ollas, éstas son similares al resto de los hornos de fusión, ya que son instalaciones similares. Sin embargo se destaca que el Horno Flash incorpora campanas colectoras locales en las sangrías, que serían tratadas junto a los gases fugitivos de CPS.

La limpieza de escorias mediante el proceso de flotación, incorporada al esquema operacional, es un aporte importante en la reducción de las emisiones de As y mejoramiento de la recuperación metalúrgica de cobre en la fundición.

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

La etapa de recepción de concentrados de la Fundición Chuquicamata, mantendrá su actual sistema de recepción de concentrados por correas cubiertas y para la recepción de calcinas, se habilitará un domo de recepción, almacenamiento y descarga subterránea por correa.



La preparación de la carga para el FSF, mezcla de concentrados, calcina y fundente seco se realizará en sitios cerrados y confinados, que finalmente descargan en los tornillos alimentadores al quemador flash, no requiriendo mejoramientos medioambientales adicionales.

La distribución esperada de emisiones para el año 2013, indica que las fuentes más relevantes se encuentran en las campanas primarias y secundarias en mal estado de los CPS, además de los giros realizados para recibir las cargas de eje y carga fría para el control de temperatura. Una fracción para la reducción del número de giros será solucionado en el proyecto optimización, con el agregado mecánico de carga fría a los CPS.

En segunda instancia, pero igualmente importante, se encuentran las emisiones generadas en los gases de cola de las PAS, a consecuencia que estas sólo son de simple absorción.

Para efectos del proyecto Optimización Chuquicamata se detendrá una planta de ácido, de manera tal que la capacidad conjunta será el de las dos PAS restantes que mantendrá en operación, las cuales son suficientes para el procesamiento de los gases del horno flash y de dos CPS en soplado simultáneo. Por ende el proyecto de mejoramiento ambiental prioritario lo constituye la transformación de las 2 plantas de ácido (PAS) de simple a doble absorción, generando de esta manera mayor capacidad de abatimiento de SO<sub>2</sub>, como ácido sulfúrico.

Las soluciones tecnológicas restantes, se priorizarán tomando en consideración los puntos de mayores emisiones y que impliquen menores interferencias operativas o modificaciones de infraestructura mayores.

En este sentido, la prevalencia de acciones se centra en la captación de los gases fugitivos de boca de los CPS, que requieren de nuevas campanas primarias, en