

#### 4. CONTRASTACIÓN DE SITUACIÓN DE FUNDICIONES NACIONALES EMISIONES Y FIJACIÓN AZUFRE- ARSÉNICO

##### 4.1 General

- Objetivo

El presente análisis tiene por objetivo:

- Valorar las emisiones por fuentes de S y As, y la captura y fijación de estos elementos, para cada una de las instalaciones de Fundición durante el año 2010, determinadas en base a la capacidad de tratamiento de concentrados informada, los parámetros por fuente determinados en función del contenido del elemento en el concentrado y la configuración tecnológica con que opera, incorporando singularidades de cada instalación, para calcular el nivel de fijación y captura, el que es comparado con el valor declarado 2010, definiendo factores de incerteza de las estimaciones.
- Disponer de una base distribuida 2010 para cada instalación del aporte estimado de emisiones por fuentes, para valorar en función de nuevas medidas de control de emisiones proyectadas, la reducción de éstas, necesaria para la siguiente evaluación de los escenarios solicitados, de 95%, 96% y 97% de captura de SO<sub>2</sub>, y los relacionados en As.
- Agregar al análisis de soluciones de control de emisiones, parámetros característicos de cada instalación, relativos a los volúmenes de gases necesarios de tratar, así como sus limitaciones existentes para el tratamiento de gases en su situación al año 2010.

#### 4.2 Distribución de Emisiones por Fundición Año 2010

Las toneladas de Azufre emitidas por procesos para el año 2010, estimadas en base a los niveles de fusión por instalación y los antecedentes entregados de ley de azufre y niveles de captura declarados, se estima a nivel país en 178.266 t, para las 7 fundiciones de concentrados de cobre existentes.

En base a la herramienta desarrollada por el consultor para la estimación por fuentes emisoras, distribuciones por configuración tecnológica y singularidades propias de cada instalación, se han calculado emisiones por fuentes para cada instalación, que en general totalizadas presentan rangos de diferencias razonables con los valores globales de captura declarada (-8,4% de desviación global, -4,2% excluyendo Altonorte). Ver tabla 4.2.

Las diferencias positivas o negativas de estas estimaciones, se explicitan como emisión no distribuida y evidencian la incertidumbre asociada a la incapacidad de medición del parámetro emisiones, usualmente determinado como diferencias de balances de materiales, parcialmente medibles por períodos.

La diferencia fuera de rango, la constituye la Fundición Altonorte, que presenta una significativa diferencia entre el valor calculado (90,9%) y el valor de captura declarado por la fundición (93,7%), posiblemente atribuido a la interpretación fiel del concepto de captura de gases, ya que cuenta con un sistema tecnológico operativo similar al de la mayor parte de las fundiciones Codelco, aunque relativamente nuevo, al que ha incorporado una planta de ácido de doble contacto y un sistema de captura de gases fugitivos, con campanas secundarias en el reactor de fusión (RN) y en los Convertidores Peirce Smith, y sistemas de tiro inducido (4 VTI) para los gases, que transitoriamente evacua por chimeneas. El tratamiento de estos gases fugitivos en una planta dedicada, permitirá la fijación de azufre y arsénico de éstos.

Tabla 4.2 Distribución de Azufre por Procesos e Instalaciones 2010

| Emisiones de Azufre<br>Distribución por fuentes<br>Coprím |     | Chuqui | Altonorte | Potreriillos | FHVL   | Ventanas | Chagres | Caletones | Total   | % Fuente |
|---|-----|--------|-----------|--------------|--------|----------|---------|-----------|---------|----------|
| RAM   | t/a |        |           | 544          |        |          |         |           | 544     | 0,3      |
| Secado  | t/a | 133    | 6.639     | 81           | 40     | 0        | -       | 169       | 7.061   | 4,0      |
| Fusión  | t/a | 9.732  | 6.428     | 13.404       | 3.786  | 3.532    | 598     | 16.881    | 54.363  | 30,5     |
| Limpieza de Escorias                                      | t/a | 324    | 21        | 292          | 247    | 298      | 199     | 607       | 1.987   | 1,1      |
| Conversión  | t/a | 21.768 | 7.680     | 15.306       | 2.858  | 4.326    | 5.417   | 25.105    | 82.460  | 46,3     |
| Planta de Acido   | t/a | 10.258 | 6.917     | 10.384       | 4.405  | 894      | 736     | 11.409    | 45.003  | 25,2     |
| Refino a Fuego  | t/a | 553    | 162       | 233          | 114    | 50       | 207     | 484       | 1.802   | 1,0      |
| Emisión no distribuida                                    | t/a | 1.301  | 8.286     | 4.324        | 437    | 1.307    | 221     | 1.681     | 14.955  | 8,4      |
| Desviación  | %   | 3,0    | 42,4      | 12,0         | 4,0    | 16,8     | 3,2     | 3,2       | 8,4     | 4,2      |
| Total Emisión Declarada                                   | t/a | 44.070 | 19.561    | 35.921       | 11.012 | 7.793    | 6.937   | 52.974    | 178.266 | 100      |

Fuente: Elaboración propia, en base a antecedentes entregados por MMA (Encuesta, Minuta Criterios y supuestos para elaborar la norma de emisión al aire para fundiciones de cobre y otros.

En la distribución por procesos realizada, la fuente de emisión mayoritaria, tanto para el azufre como para arsénico, la constituye el proceso de conversión, que en todas las instalaciones se realiza en los Convertidores Peirce Smith y en equipos de dimensiones variables, pero que en común conllevan ciclos batch de operaciones; con operaciones de giro para el carguío de ollas de metal o mata, adición de carga fría y fundentes, y descarga de escorias y cobre a través de la boca, sobre la que se ubican campanas primarias para la colección de gases de soplado, durante el 60 a 70 % del tiempo del ciclo.

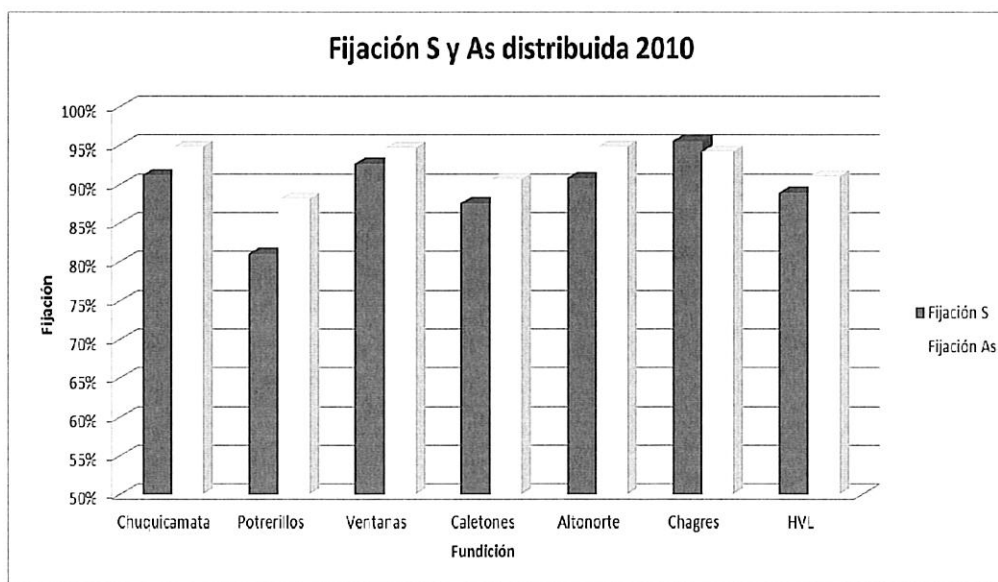
De similar relevancia, los procesos de fusión realizados en hornos basculante tipo Convertidor Teniente o Noranda, generan importantes emisiones por boca, por ineficiencias de campanas y también giros, situación inexistente en las instalaciones con Horno flash, como la Fundición Chagres, que presenta las menores emisiones por este concepto, solo atribuibles a la descarga de mata y escorias por sangrías y canales, y su transporte en tazas u ollas.

La tercera fuente de mayor emisión, la constituye las plantas de ácido, especialmente las de simple contacto y absorción, que en todos los casos evacuan directamente sus gases de cola a la atmosfera.

La emisión de S declarada, y la calculada se han comparado también con la fijación en ácido sulfúrico 100%, calculada en base a la producción y calidad del ácido informado para el año 2010, según se detalla en encuesta realizada por el MMA, que constituye la fuente principal de fijación de Azufre, frente a otras menores, como la fijación en polvos metalúrgicos recolectados en los precipitadores electrostáticos (fracción normalmente a procesamiento externo), escorias de descarte, relaves, rises y riles de la planta de limpieza de la planta de ácido y una fracción muy menor en el cobre anódico, componentes que en total no conforman mas allá del 3% de la fijación total de azufre.

La fijación de Arsénico estimada para cada instalación, fue normalmente superior en un 2 % a la declarada para el Azufre, a excepción de la estimada por el modelo para Chagres que con bajos contenidos de As en concentrados, presenta un valor inferior a las de azufre. Lo anterior se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 4.2 Fijación de Azufre y Arsénico distribuida en el año 2010 para cada fundición



Fuente: Elaboración propia

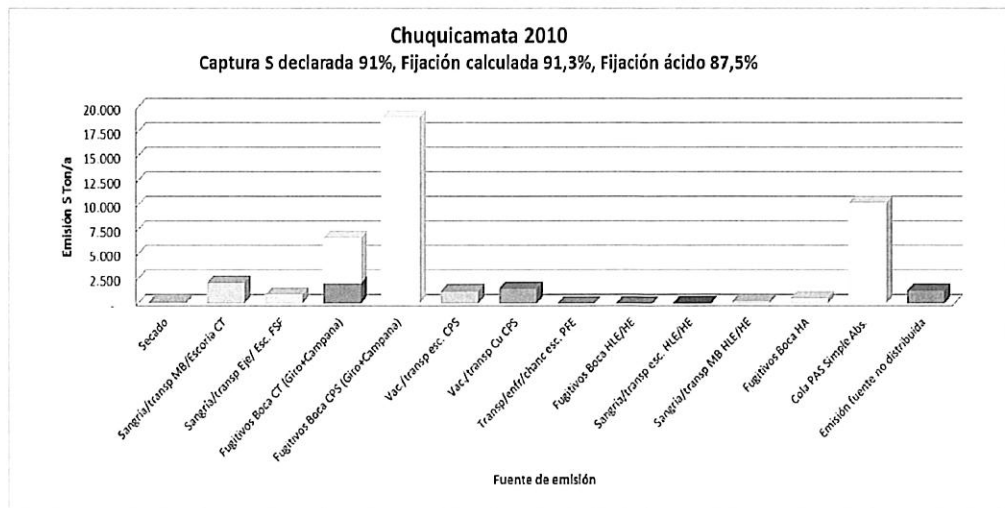
#### 4.2.1 Fundición Chuquicamata

Esta instalación, fue la de más alta capacidad de fusión del país durante el año 2010, fundiendo 1.544 kta de concentrados propios, también presenta los mayores contenidos de Arsénico en concentrados, material que funde a través de dos líneas de proceso:

- El 55% del material se funde en un horno Flash, equipado con caldera recuperadora de calor para el enfriamiento de gases primarios, dos precipitadores electrostáticos para la limpieza de polvos y un sistema común con los gases primarios del CT y de dos CPS para la limpieza húmeda (cuatro módulos) y el tratamiento de gases en planta de ácido (tres plantas de simple contacto).
- El 45% restante se funde en un Convertidor Teniente, que cuenta con; campana primaria, enfriadores radiativos y precipitadores electrostáticos para la recuperación de polvos, que por su contenido de arsénico y otros metales, finalmente evacua del sistema para tratamiento externo.

Las emisiones calculadas para esta instalación y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.1 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Chuquicamata 2010



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.1 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Chuquicamata

| Fundición Chuquicamata<br>Fuente Emisora            | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para el Control de Emisiones   |
|---|------------------|-------------------|---|
| Secadores   | 133              | 0                 | Dos secadores rotatorios directos 150 t/hr, Enap 6, separación de sólidos mediante PE, evacuación gases por chimenea (57.200 Nm3/hr).   |
| Fugitivos Sangrías de Mata/ Escoria HF              | 916              | 13                | Considera campanas de captura de gases en las sangrías eficiencia 50%, que trata por filtración y agregado de cal seca junto a gases de CPS.  |
| Fugitivos Boca CT                                   | 6.683            | 72                | Considera pérdidas en campanas primarias y giros de gases de alta dilución, EFI: 97% a tratamiento gases primarios-Limpieza- Planta de ácido- Chimenea.   |
| Fugitivos Sangrías de MB/ Escoria CT                | 2.133            | 21                |   |
| Fugitivos Boca CPS                                  | 18.975           | 8                 | Considera campanas primarias y secundarias de baja eficiencia por estado y antigüedad (95% y 50% respectivamente), gases de alta concentración a tratamientode gases primarios, gases diluidos captados a tratamiento con cal y filtración EFI 80 % As y 15% S. |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS            | 2.793            | 2                 | Determinados por el sistema de transporte de materiales y ollas de alta capacidad 6,9 m3.   |
| Limpieza de Escorias HLE/HE/PFE; Chimena y Sangrías | 324              | 120               | Considera un homo eléctrico con sistema de lavado de gases 7.000 Nm3/hr y 95% captura. HLE descarga chimenea sin tratamiento.   |
| Chimenea Homos Refino                               | 553              | 68                | Seis homos basculantes sin sistemas de control, emisiones discretas.  |
| Chimeneas Plantas de Ácido Sulfúrico                | 10.258           | 0                 | Considera cinco plantas de limpieza (501.000 Nm3/hr- 11,7% SO2), tres de contacto y absorción simple, eficiencia de conversión de 97,7%.  |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                 | 42.768           | 304               |   |
| Fijación distribuida calculada (%)                  | 91,3             | 94,8              |   |
| No identificada para distribución                   | 1.301            | 9                 | Desviación emisión S calculada frente a la declarada de 3,0%.   |
| Emisión declarada (t/a)                             | 44.070           | 313               |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarado 2010) | 91,0             | 94,7              |   |
| Alimentación en concentrado (t/a)                   | 489.662          | 5.870             |   |

Fuente: Elaboración propia.

En relación al Arsénico, con una fijación calculada de 94,8%, las fuentes relevantes de emisión las constituyen los Hornos de Limpieza de escoria, Horno Eléctrico y los fugitivos desde la boca del Convertidor Teniente, situación que en el futuro será mejorada con la flotación del total de escorias generadas y principalmente con la detención del Convertidor Teniente, dejando solo una línea de proceso con 1.350 kta de capacidad de procesamiento constituida por un modulo de tostación, Horno de fusión Flash, convertidores Peirce Smith, refino y moldeo existentes.

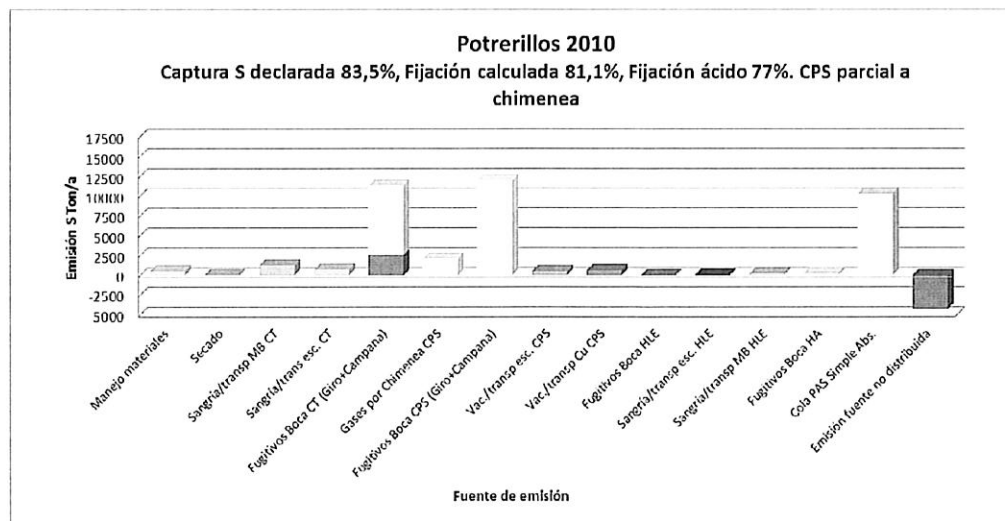
La contrastación realizada, permite inferir que la estimación por fuentes es adecuada para el posterior análisis económico de soluciones, por lo que para esta e igual para las demás fundiciones se considera el valor medio de fijación de Azufre entre el valor declarado y el calculado, indicando su incerteza.

#### 4.2.2 Fundición Potrerillos

Esta instalación, con una capacidad de fusión de 640 kta en el año 2010, procesa parcialmente concentrados propios, presentando el menor nivel de fijación declarado entre las instalaciones en análisis. Su equipamiento está constituido por un Convertidor Teniente de 5,0 m Ø y 22 m L, tres CPS de 3,9 m Ø y 9,15 m L, tres HLE para el tratamiento de escoria, dos hornos basculantes para refinado y una planta de ácido de simple contacto. Su nave es comparativamente baja y para el transporte de materiales en caliente, opera con grúas puente de 75 t y tazas u ollas de alrededor de 8 m<sup>3</sup>.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.2 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Potrerillos 2010



Fuente: Elaboración propia.

Las principales fuentes de emisión de S calculadas las constituyen en orden de magnitud, las emisiones fugitivas por boca del CT y los CPS, y las colas de la planta de ácido de simple contacto, que en este caso operaría con una eficiencia de 94,5%.

Tabla 4.2.2 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Potrerillos

| Fundición Potrerillos<br>Fuente Emisora             | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para el Control de Emisiones   |
|---|------------------|-------------------|---|
| Manejo Materiales                                   | 544              | 6                 | Perdidas Manejo materiales +CF  |
| Secadores   | 81               | 0                 | Un secador fluo-sólido 125 t/hr, Enap 6 y un secador rotatorio 55 t/hr, separación de sólidos mediante filtros de manga   |
| Fugitivos Boca CT (Una unidad)                      | 11.370           | 123               | Considera campanas primarias en mal estado, de baja eficiencia 94%, afectadas por mal estado MALIGA (baja recuperación de gases), más emisiones por giros.  |
| Fugitivos Sangrías de MB/Escoria CT                 | 2.035            | 21                | Considera sistema de captura de gases de sangrías MB y escoria, evacuado por chimenea. Mejoramiento ambiente laboral 0% Fijación.   |
| Gases CPS a chimenea                                | 2.124            | 1                 | Emisión por déficit Maliga, puede ser mas   |
| Fugitivos Boca CPS (Tres unidades, una en soplado)  | 12.006           | 8                 | Considera campanas primarias de baja eficiencia 92%, antiguas y afectadas por mal estado MALIGA (baja recuperación de gases), más giros para carguío de materiales proporcionales al tonelaje a tratar. |
| Fugitivos Transporte cobre, escorias CPS            | 1.176            | 1                 | Determinados por el sistema de transporte de materiales, ollas de alta capacidad 7,9- 6,9 m3.   |
| Limpieza Escorias HLE chimena y sangrías            | 292              | 114               | Tres hornos de limpieza de escoria, con evacuación de gases independiente por chimeneas.  |
| Chimenea Homos Refino                               | 233              | 28                | Dos hornos basculantes ,sin sistemas de control de emisiones, tipo discretas.   |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico              | 10.384           | 0                 | Considera una planta de limpieza y producción de ácido simple contacto con problemas, eficiencia de conversión de 95% , flujo 200.000 Nm3/h 9,5% SO <sub>2</sub> .                                      |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                 | 40.244           | 302               | Información actualizada 2012 indica 39500 t/a S   |
| Fijación distribuida calculada (%)                  | 81,1             | 88,2              |   |
| No identificada para distribución                   | -4.324           | 5                 | Desviación emisión S calculada frente declarada de 12%  |
| Emisión declarada (t/a)                             | 35.921           | 308               |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarado 2010) | 83,5             | 88,0              |   |
| S, As Alimentado en concentrado (t/a)               | 217.701          | 2.561             |   |

Fuente: Elaboración propia



Se destaca en especial para esta fundición, que la baja fijación de Azufre y Arsénico estaría acorde al carácter deficitario actual de su sistema de gases MALIGA y del sistema de lavado de gases.

En relación al arsénico, las principales fuentes emisoras para esta instalación, las constituyen las emisiones generadas en los Hornos de Limpieza de escoria, a través del proceso de reducción, las fugitivas por boca del Convertidor Teniente, las fugitivas por boca de los CPS y las chimeneas de los hornos de refino.

La desviación de la fijación de azufre respecto de la declarada de esta fundición está en el rango superior, y estaría avalada por la mayor producción de ácido informada.

#### 4.2.3 Fundición Ventanas

La Fundición Ventanas emplazada en el sector costero de la V región, cercana a centros poblados y agrícolas, es una instalación parcialmente maquiladora que procesó 400 kta de concentrados durante el año 2010, a través de una configuración tecnológica constituida principalmente por un Convertidor Teniente como equipo de fusión (4 m Ø y 15 m L), tres CPS para la conversión (3 m Ø y 8 m L), un Horno Eléctrico para el tratamiento de escoria del CT, tres unidades de refino (dos tipo reverbero y una basculante) y una planta de ácido de doble contacto y absorción, potenciada recientemente en volumen y concentración.

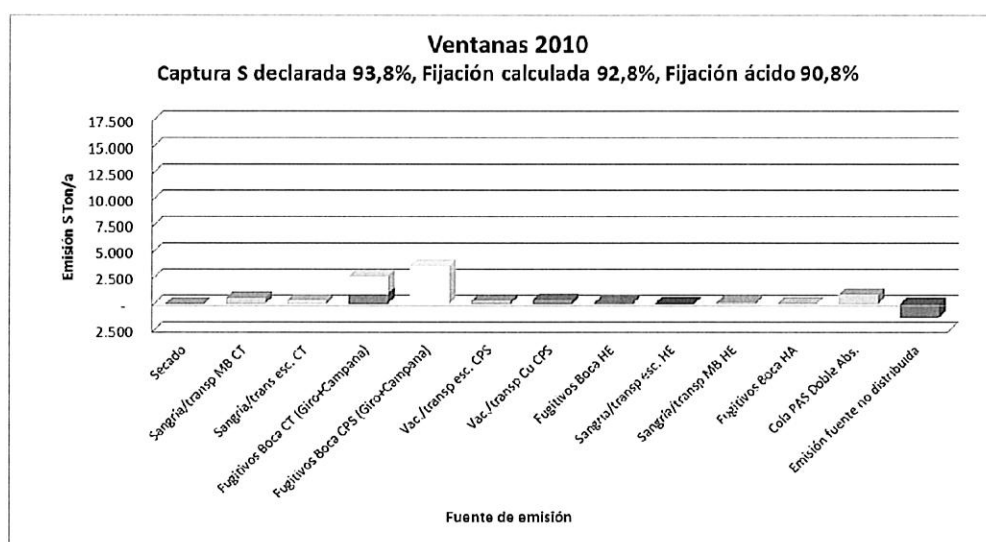
Su nave es larga y ancha, pero comparativamente una de las la más bajas (203 m \*20 m \*15 m) y para el transporte de materiales en caliente opera con grúas puente de 60 t y tazas u ollas de 6 m<sup>3</sup>.

Por condición particular y para el mejoramiento de la condición ambiental local, la fundición dispone de gas natural que usa en los procesos de secado y refino, captación de gases fugitivos en las sangrías del Horno Eléctrico, y limpieza para el material particulado mediante precipitadores electrostáticos de los gases

evacuados del horno eléctrico. También dispone de un conveniente sistema de recepción y acopio de los concentrados procesados.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.3 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Ventanas 2010



Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de Azufre, comparativamente mostradas en similar escala para todas las instalaciones, mantiene como fuentes prioritarias la emisiones fugitivas por campana de los Convertidores Peirce Smith, las del Convertidor Teniente y las residuales de la Planta de ácido, que aunque informa una alta eficiencia de conversión 99,2%, en razón al contenido de  $\text{SO}_2$  y volumen, las emisiones por chimenea superarían ampliamente el límite por chimenea pensado establecer de  $400 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  de  $\text{SO}_2$ , como un criterio de igualdad frente a otros sectores industriales normados, pero que comparativamente con las fundiciones, procesan materiales con un contenido de azufre ínfimamente menor.

Tabla 4.2.3 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Ventanas

| Fundición Ventanas<br>Fuente Emisora                | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para el Control de Emisiones   |
|---|------------------|-------------------|---|
| Secadores   | 0                | 0                 | Un secador rotatorio directo 60 t/hr, con gas natural, separación de sólidos mediante filtros de manga.   |
| Fugitivos Boca CT (Una unidad)                      | 2.629            | 13                | Considera campanas primarias en buen estado, de eficiencia 97% favorecida por buen liraje, emisiones por giros menores por uso de tazas de 6 m3.  |
| Fugitivos sangrías de MB/ escoria CT                | 903              | 4                 | Considera sistema de captura de gases sangrías de metal y escoria, evacuado por chimenea. Mejoramiento ambiente laboral 0% Fijación.  |
| Fugitivos Boca CPS (Tres unidades, una en soplado)  | 3.630            | 1                 | Considera campanas primarias de regular eficiencia, favorecida por línea independiente para el CPS en soplado, con flujos menores al modelado, (97,5% EFI neta), menores giros por uso de tazas grandes para carguo de materiales, dependiente del tonelaje a tratar. |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS            | 696              | 0                 | Determinados por el sistema de transporte materiales, ollas de alta capacidad 6 m3.   |
| Limpieza Escorias, HE chimenea y sangrías.          | 298              | 10                | Considera un homo eléctrico de limpieza escoria, con limpieza de gases en PE y evacuación de gases por chimenea (50.000 Nm3/hr con 0,4% SO <sub>2</sub> ).  |
| Chimenea Hornos Refino                              | 50               | 7                 | Considera un homo basculante y dos tipo reverbero, control de emisiones de material particulado (cámara de polvos), flujo de 32.000 Nm3/hr con 0,1% SO <sub>2</sub> . Uso de gas natural.   |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico              | 894              | 0                 | Considera una planta de limpieza y producción de ácido doble contacto eficiencia de conversión 99,2%, flujo 140.000 Nm3/h 10,5% SO <sub>2</sub> , gases a chimenea con SO <sub>2</sub> 1.830 mg/Nm3.  |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                 | 9.101            | 36                |   |
| Fijación distribuida calculada (%)                  | 92,8             | 94,7              |   |
| No identificada para distribución                   | -1.307           | -5                | Desviación emisión S calculada frente declarada de - 16,8%  |
| Emisión declarada (t/a)                             | 7.793            | 31                |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarada 2010) | 93,8             | 95,5              |   |
| Alimentado en concentrado (t/a)                     | 125.698          | 681               |   |

Fuente: Elaboración propia.

Se destaca en esta instalación que la estimación de emisiones realizada supera en 16,8% la emisión declarada, y aunque procesa concentrados de bajo contenido de Arsénico, los fugitivos por boca de los CPS y del Convertidor Teniente, y las emisiones de la chimenea del Horno Eléctrico, siguen constituyendo las fuentes más relevantes, pese a que su fijación en Arsénico es de 94,7%.

#### 4.2.4 Fundición Caletones

Constituye una de las instalaciones más antiguas del país, adscrita a la Mina El Teniente que bajo un sistema just in time la provee de concentrados normalmente limpios, los cuales procesa hasta cobre anódico y cobre refinado a fuego, generando un producto directamente a ventas.

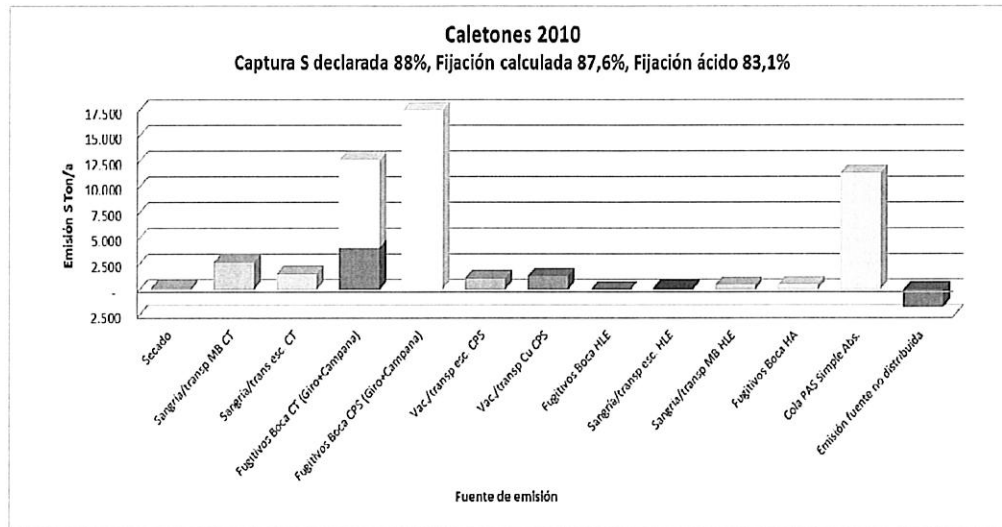
Durante el año 2010 procesó 1.372 kta de concentrados a través de dos Convertidores Teniente, de 5 m Ø y 22 m L, cuatro Convertidores Peirce Smith 4,65 m diámetro \* 10,67 longitud (tres unidades) y uno de menor tamaño 3,96 m Ø y 10,67 m L, éste último posee un uso ocasional durante períodos de mantención de las otras unidades y no se encuentra conectado al sistema de enfriamiento, manejo y tratamiento de gases primarios de las dos plantas asimétricas de simple contacto, las cuales procesan en total un volumen de gases de 452 kNm<sup>3</sup>/hr, con contenido de gases no superiores al 9% de SO<sub>2</sub>.

Los gases de los CT, con tiraje directos desde las Plantas de ácido, son enfriados en cámaras de enfriamiento evaporativo, que incorporan un volumen de agua adicional al sistema, generando junto a la dilución por aire en las campanas primarias un alto volumen de gases a tratar de menor concentración.

Para el tratamiento de escoria, la fundición cuenta con cuatro hornos basculantes y cinco hornos de refino (dos para la obtención de cobre anódico y tres para refinación a fuego, última información no indicada en la encuesta), que evacúan gases directamente a la atmósfera.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.4 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Caletones 2010



Fuente: Elaboración propia.

Las principales fuentes de emisión de S calculadas, las constituyen en orden de magnitud, las emisiones fugitivas por boca de los CPS y de los CT, y las colas de las plantas de ácido de simple contacto, que en este caso no informan la eficiencia de conversión, aunque podrían evidenciar problemas por el menor nivel de ácido informado como generado, excluyendo las emisiones por chimenea del CPS N°4 que será próximamente conectando al sistema de enfriamiento, limpieza y tratamiento de gases primarios, con VTI independientes para los CPS y tiraje desde las Plantas de ácido para los CT.

Tabla 4.2.4 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Caletones

| Fundición Caletones<br>Fuente Emisora                | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para<br>el Control de Emisiones  |
|--|------------------|-------------------|---|
| Secadores  | 169              | 0                 | Tres secadores fluosólido de 60-80-130 t/hr, con Enap 6, separación sólidos mediante filtros de manga.  |
| Fugitivos Boca CT (Dos unidades)                     | 12.652           | 53                | Considera campanas primarias eficiencia 97% y emisiones por giros, corrección por flujo de soplado menor al modelado.   |
| Fugitivos sangrías de MB/ Escoña CT                  | 4.230            | 17                |   |
| Fugitivos Boca CPS (Cuatro unidades, dos en soplado) | 22.660           | 6                 | Considera campanas primarias de eficiencia 97%, favorecida por línea independiente para el CPS en soplado, con flujos mayores al modelado, (95% EFl neta), menores giros por uso de tazas grandes para carguío de materiales, dependiente del tonelaje a tratar. CPS N4 no conectado, usado ocasionalmente o como homo de retención, evacuación directa por chimenea. |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS             | 2.445            | 1                 | Determinados por el sistema de transporte de materiales y ollas de alta capacidad 11 m <sup>3</sup> .   |
| Limpieza Escorias HLE chimenea y sangrías            | 607              | 93                | Cuatro homos de limpieza de escoña, con evacuación directa de gases por chimenea.   |
| Chimenea Hornos Refino                               | 484              | 22                | Dos horno basculante para refinación anódica y tres hornos para refinación a fuego.   |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico               | 11.409           | 0                 | Considera dos plantas de limpieza y producción de ácido simple contacto, eficiencia de conversión de 97% , flujo tratado 452.000 Nm <sup>3</sup> /h 8,5% SO <sub>2</sub> gases a chimeneas. Parametrizado por captura MAGA a PAS.   |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                  | 54.655           | 192               |   |
| Fijación distribuida calculada (%)                   | 87,6             | 90,8              |   |
| No identificada para distribución                    | -1.681           | -6                | Desviación emisión S calculada frente declarada de - 3,2%   |
| Emisión declarada (t/a)                              | 52.974           | 186               |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarada 2010)  | 88,0             | 91,0              |   |
| Alimentado en concentrado (t/a)                      | 441.448          | 2.075             |   |

Fuente: Elaboración propia.

Se destaca en esta instalación que la estimación de emisiones realizada supera en 3,2% la emisión declarada, y que para el caso del Arsénico los Hornos de Limpieza de escoria y los gases fugitivos por boca de los Convertidores Teniente, constituyen las fuentes más gravitantes, alcanzando una fijación de Arsénico cercana al 91%.

#### 4.2.5 Fundición Altonorte

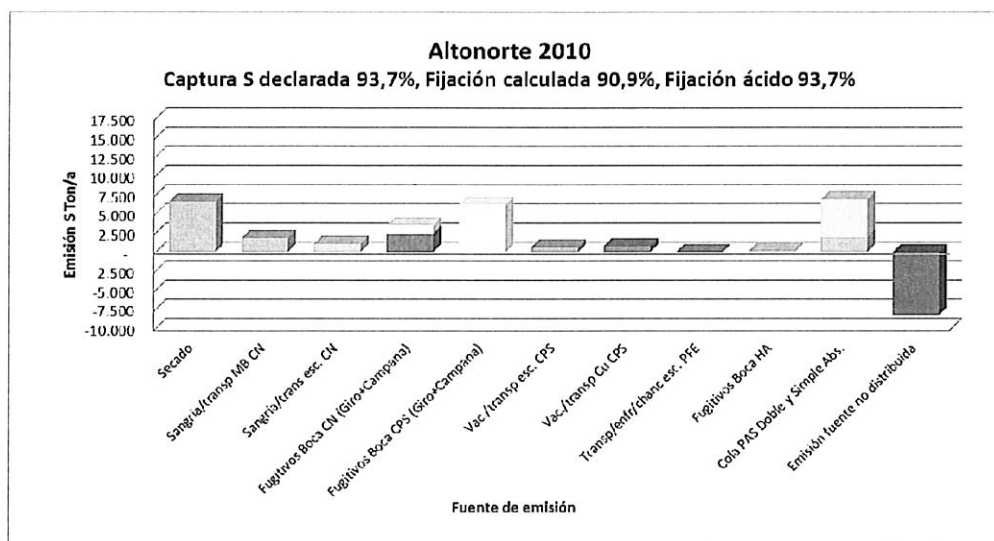
Esta instalación, cercana a la ciudad de Antofagasta, con un nivel de fusión de 983 kta durante el año 2010, declara 93,7% de captura de SO<sub>2</sub>, compatible con niveles óptimos de fijación alcanzables con solo el tratamiento de gases primarios de campanas del reactor Noranda que posee como unidad de fusión y de los gases de conversión, en los que ha incorporado un sistema de campanas secundarias para la captura de gases fugitivos, con un sistema de tratamiento de éstos, que a la fecha no se encuentra instalado.

La unidad de fusión similar al Convertidor Teniente, aunque de mayor tamaño 5,3 m Ø y 26,4 m de longitud y con mayores flujos de soplado cuenta con un sistema independiente de manejo y limpieza de gases; con enfriadores radiativos, precipitadores electrostáticos (dos unidades), VTI independientes, que alimenta también con los gases de los Convertidores Peirce Smith (CPS N°1 4,5 m Ø \*14 m L, CPS N°2 y N°3 4,5 m Ø \*11 m L, y el CPS N°4 de 4 m Ø \*11 m L, de los cuales utilizaría dos unidades en soplado), dos plantas de ácido que dispone de 190 kNm<sup>3</sup>/hr cada una, la primera de simple contacto (96,3%) y la segunda de doble contacto con una eficiencia media informada de 99,2% .

La Fundición Altonorte modernizada en el último decenio, procesa sus escorias en una Planta de Flotación, cuenta con tres hornos de refinado basculantes y con campanas secundarias para la captación de gases del RN y los CPS, que mediante tiro inducido evacua por chimenea a la atmosfera en un volumen estimado de 600 kNm<sup>3</sup> y 0,32% de SO<sub>2</sub>.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.5 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Altonorte 2010



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones calculadas para esta instalación, difieren significativamente de la emisión declarada, pero mantiene como principales fuentes los gases fugitivos en boca del RN y los CPS, y las colas de las plantas de ácido, cuyo nivel de SO<sub>2</sub> sobrepasa en ambos casos el posible límite a establecer.

Por otra parte, su unidad de secado, le genera tostación parcial del concentrado y por ende una anormal fuente de gases con SO<sub>2</sub> por sobre lo normal para este tipo de unidad.



Tabla 4.2.5 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Altonorte

| Fundición Altonorte<br>Fuente Emisora                | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y<br>Sistemas para el Control de Emisiones   |
|--|------------------|-------------------|--|
| Secadores  | 6.639            | 41                | Un secador rotatorio (4 m D-38 m L) de 185 t/hr, con Enap 6, separación de sólidos mediante Filtros de Mangas (Dos), 80.000-85.000 Nm <sup>3</sup> /hr.  |
| Maga Primarios /Fugitivos /sin tratamiento)          | s/a              | s/a               | Línea RN :Campanas primarias -Campanas Secundarias-Dos ESP-Dos plantas de ácido, línea CPS: Campanas Primarias-Campanas Secundarias-Dos ESP-[Quench - Torre flujo radial - WESP's - secado - contacto (PA N3 absorción simple - PA N1 absorción doble)]    |
| Fugitivos Boca RN                                    | 3.516            | 20                | Considera campanas primarias en buen estado, de buena eficiencia 99%, favorecida por buen tiraje, emisiones por giros menores uso de lazas de 6,9 m3.  |
| Fugitivos sangrias de MB/Escoria CT                  | 2.913            | 16                | Considera sistema de captura de gases sangrias de metal y escoria, evacuado por chimenea. Mejoramiento ambiente laboral 0% Fijación.   |
| Fugitivos Boca CPS (Cuatro unidades, dos en soplado) | 6.240            | 2                 | Considera campanas primarias en buen estado, de buena eficiencia 98% favorecida por buen tiraje, emisiones por giros menores uso de lazas de 6,9 m3.   |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS             | 1.440            | 0                 | Determinados por el sistema de transporte materiales, ollas alta capacidad 6,9 m3.   |
| Limpieza Escorias, por Flotación                     | 21               | 1                 | Flotación del 100% de la escoria 2.800 t/d, recuperación Cu 93% SAG (5,5m*2,7)más Bolas (4,3*10,1).  |
| Chimenea Hornos Refino                               | 162              | 21                | Tres hornos basculante   |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico               | 6.917            | 0                 | Considera dos Plantas de limpieza y producción de ácido de igual volumen, una de simple con eficiencia de conversión 96,35% y una de doble contacto con EFI 98,6%, flujo total tratado 380.000 Nm <sup>3</sup> /h 11% SO <sub>2</sub> , gases a chimeneas. |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                  | 27.847           | 102               |  |
| Fijación distribuida calculada (%)                   | 90,9             | 94,8              |  |
| No identificada para distribución                    | -8.286           | -30               | Desviación emisión S calculada frente declarada de -42,4%  |
| Emisión declarada (t/a)                              | 19.561           | 72                |  |
| Captura /Fijación situación base (% declarada 2010)  | 93,7             | 96,4              |  |
| Alimentado en concentrado (t/a)                      | 310.484          | 1.975             |  |

Fuente: Elaboración propia.

Aunque Altonorte procesa concentrados de bajo arsénico, la emisión calculada de este contaminante presenta como mayores fuentes, la potencial eliminación de arsénico en el secado (por tostación en secador) y los gases fugitivos del RN, así como en las chimeneas de los hornos de refino, fijando el 96,4% de As ingresado. En base a la producción de ácido informada, la fijación de Azufre y As puede plantear desviaciones más significativas dependientes del azufre fijado en los polvos metalúrgicos y relaves, cuyas cantidades extraídas del sistema han sido

solo inferidas y dependen básicamente de la eficiencia colectora y diseño de las campanas primarias, temperatura de los enfriadores radiantes y de los precipitadores electrostáticos que dispone esta instalación de menor antigüedad que las otras en análisis.

#### 4.2.6 Fundición Chagres

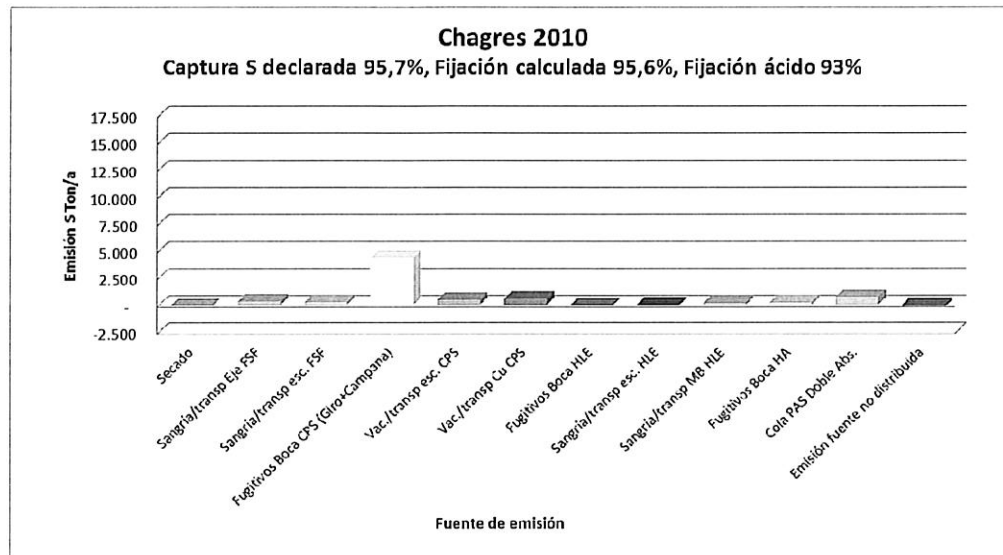
Esta instalación ubicada en la comuna de Catemu, que procesó el año 2010 un total de 529 kta de concentrados de 31% de azufre y bajos contenidos de Arsénico, presentó la mayor fijación de Azufre 95,7% y arsénico, producto de su configuración tecnológica; con dos secadores de vapor, un horno de fusión flash, con recuperación de calor. El proceso de conversión batch lo realiza en CPS (cuatro unidades de menor tamaño (3,05 m Ø\* 6,55 m L), con solo campanas primarias, disponiendo para el tratamiento de escorias dos HLE tipo Teniente y para el refinado dos hornos basculantes.

La nave relativamente ancha y de regular altura (95,6 m\*21 m\*16,5 m) opera con grúas de baja capacidad, lo que supedita el movimiento de materiales al uso de ollas o tazas de baja capacidad (4m<sup>3</sup>) y de potencial fuentes de emisiones fugitivas.

Para el tratamiento de gases de proceso cuenta con una planta de ácido (150 kNm<sup>3</sup>/h) de doble contacto y alta eficiencia informada 99,5%, alimentada con una mezcla de gases del Horno Flash y CPS con una concentración media de 12%, que sin embargo en promedio generaría emisiones por chimenea del orden de 950 mgr/Nm<sup>3</sup> en SO<sub>2</sub>.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.6 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Chagres 2010



Fuente: Elaboración propia.

La principal fuente emisora en esta instalación la constituyen los CPS y en menor grado las colas de la planta de ácido.

Tabla 4.2.6 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición Chagres

| Fundición Chagres<br>Fuente Emisora                  | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para el Control de Emisiones   |
|--|------------------|-------------------|---|
| Secadores  | 0                | 0                 | Dos secadores indirectos con vapor de 60 t/hr,  |
| Horno Flash (Una unidad )                            | 0                | 0                 | Equipo hermético por diseño, capta 100% gases primarios, enfriamiento mediante caldera, limpieza de polvos en PE para posterior tratamiento en PLG y PAS (30.000 Nm <sup>3</sup> /hr- 35% SO <sub>2</sub> ).                  |
| Fugitivos sangrías de Mata y Escoria HF              | 598              | 1                 | Considera sistema de captura de gases sangrías de metal y escoria, evacuado por chimenea 0% Fijación, posible usar como gas de dilución en PAS.   |
| Fugitivos Boca CPS (Cuatro unidades, dos en soplado) | 4.373            | 0                 | Reactores de menor tamaño (3 m D* 6,55m L) con campanas primarias de regular eficiencia (97,5%), con flujos de soplado menores al modelado 19.500 Nm <sup>3</sup> /hr, giros acorde a lazas de menor tamaño 4m <sup>3</sup> . |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS             | 1.044            | 0                 | Determinados por el sistema de transporte de materiales, ollas de 4 m <sup>3</sup> .  |
| Limpieza Escorias HLE chimenea y sangrías.           | 199              | 9                 | Dos hornos de limpieza escoria, evacuación de gases por chimenea (6.900 Nm <sup>3</sup> /hr con 3% SO <sub>2</sub> ).   |
| Chimenea Hornos Refino                               | 207              | 4                 | Dos hornos basculante, sin elementos adicionales de control emisiones, flujo de 35.000 Nm <sup>3</sup> /hr con 0,1% SO <sub>2</sub> .   |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico               | 736              | 0                 | Una planta de limpieza y producción de ácido doble contacto con eficiencia de conversión de 99,5% , flujo 150.000 Nm <sup>3</sup> /h 12 %SO <sub>2</sub> , gases a chimenea con SO <sub>2</sub> > a 400 mg/Nm <sup>3</sup> .  |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                  | 7.157            | 15                |   |
| Fijación distribuida calculada (%)                   | 95,6             | 94,2              |   |
| No identificada para distribución                    | -221             | 0                 | Desviación emisión S calculada frente declarada de -3,2%  |
| Emisión declarada (t/a)                              | 6.937            | 15                |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarada 2010)  | 95,7             | 94,4*             | (*) Dato modelado, informado 99%  |
| Alimentado en concentrado (t/a)                      | 161.316          | 261               |   |

Fuente: Elaboración propia

La desviación entre la emisión calculada por fuentes y el valor de fijación de S declarada por la instalación presentan una baja diferencia porcentual -3,2%, aunque sí, una menor fijación de arsénico de 94,2%, atribuida a errores en los factores de emisión usados, ligados a la baja concentración de este contaminante en el concentrado procesado. La principal fuente de emisión de Arsénico la constituye en este caso los Hornos de Limpieza de Escoria y los fugitivos de las sangrías y del transporte de metal del Horno Flash.

Se destaca, que el bajo contenido de arsénico del concentrado procesado en Chagres puede generar desviaciones en los cálculos de emisión de arsénico, según lo refrenda niveles de fijación informados para el año 2010 de 99% fijación As<sup>5</sup>.

#### 4.2.7 Fundición HVL

Esta instalación de ENAMI, aledaña a la ciudad de Copiapó y centros agrícolas, procesó el año 2010 un total de 322 kta de concentrados provenientes de la pequeña y mediana minería, declaró una fijación de Azufre de 89,4%, producto de su configuración tecnológica y equipamiento.

La fundición dispone de un secador rotatorio, un Reactor tipo Teniente de 3,9 m Ø y 16 m L y de conversión batch realizada en uno de los dos CPS que posee, también, comparativamente de menor tamaño que los existentes en otras fundiciones (3,0 m Ø\* 7,2 m L), con solo campanas primarias, disponiendo para el tratamiento de escorias de un Horno Eléctrico, para refino de un hornos basculante y para el tratamiento de gases primarios, dispone de dos antiguas plantas de ácido sulfúrico de contacto simple, potenciada para esa instalación, pero actualmente en estado deficitario, al igual que su sistema de manejo y enfriamiento de gases.<sup>6</sup>

La nave de convertidores es la de menor tamaño y menor altura, lo que presenta limitaciones para rediseños de mejoramiento de la captura de gases (130 m\*12 m\*12 m). La Fundición opera con grúas de baja capacidad, lo que supedita el movimiento de materiales al uso de ollas o tazas de baja capacidad (6m<sup>3</sup>).

Para el tratamiento de gases cuenta con dos plantas de ácido (50 y 80 kNm<sup>3</sup>/h) de simple contacto y eficiencias informadas de 94% y 96%, ambas bajo estándar, las

---

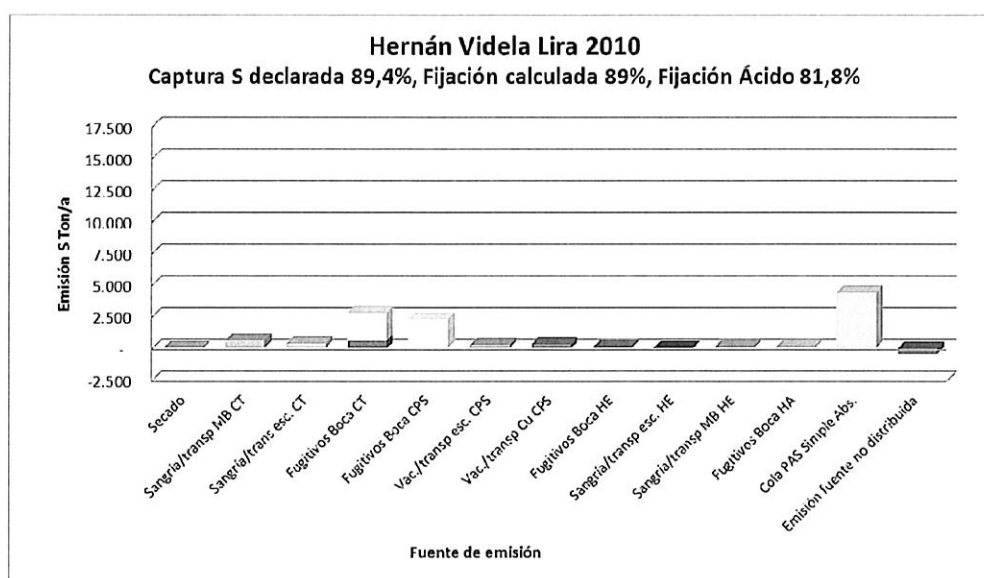
<sup>5</sup> Antecedentes entregados por MMA. "Antecedentes y precisiones respecto a información de Chagres"

<sup>6</sup> Informe Jacobs, Estudio de perfil "Aumento captación SO<sub>2</sub> Fundición HVL", 2011.

que son alimentadas con una concentración de gases de 8 a 8,5%, mostrando alta dilución en las campanas.

Las emisiones calculadas para esta fundición y criterios de instalaciones considerados se indican en el gráfico y tabla siguiente:

Gráfico 4.2.7 Distribución de Emisión de Azufre Fundición Hernán Videla Lira 2010



Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 4.2.7 Distribución de Azufre por Fuentes Fundición HVL

| Fundición HVL<br>Fuente Emisora                     | Emisión S<br>t/a | Emisión As<br>t/a | Consideraciones Situación 2010 en Operaciones y Sistemas para<br>el Control de Emisiones  |
|---|------------------|-------------------|---|
| Secadores   | 40               | 0                 | Un secador rotatorio directo 55 t/hr.   |
| Fugitivos Boca CT                                   | 2.791            | 3                 | Considera campanas primarias en situación deficiente, eficiencia 95%, problemas en sistema Manejo Gases y VTI.  |
| Fugitivos sangrías de MB/ Escoria CT                | 995              | 1                 | Considera que no tiene sistema de captura de gases sangrías de MB y escoria, transporte en tazas de 6m3.  |
| Fugitivos Boca CPS (Dos unidades, una en soplado)   | 2.282            | 0                 | Considera campanas primarias en situación deficiente, eficiencia 92%, problemas en sistema Manejo Gases y VTI.  |
| Fugitivos transporte cobre, escorias CPS            | 575              | 0                 | Determinados por el sistema de transporte materiales, ollas capacidad media 6 m3 y 4m3 para blister.  |
| Limpieza Escorias HE chimenea y sangrías.           | 247              | 5                 | Considera un homo eléctrico de limpieza escoria, evacuación de gases por chimenea (ND, inferido 39.000 Nm3/hr con 0,4% SO2).  |
| Chimenea Hornos Refino                              | 114              | 1                 | Un homo basculante (4m D* 9m L), descarga gases a chimenea, flujo y concentración N/D.  |
| Chimenea de Plantas de Ácido Sulfúrico              | 4.405            | 0                 | Considera dos plantas de limpieza y producción de ácido de simple, antiguas con eficiencia de conversión de 94% y 96% , flujos 50.000 y 80.000 Nm3/h 8 % SO2, gases a chimenea. |
| Emisión distribuida calculada (t/a)                 | 11.449           | 10                |   |
| Fijación distribuida calculada (%)                  | 89,0             | 91,1              |   |
| No identificada para distribución                   | -437             | 0                 | Desviación emisión S calculada frente declarada de -4,0%  |
| Emisión declarada (t/a)                             | 11.012           | 10                |   |
| Captura /Fijación situación base (% declarada 2010) | 89,4             | 91,4              |   |
| Alimentado en concentrado (t/a)                     | 103.888          | 115               |   |

Fuente: Elaboración propia.

La desviación de emisión de S frente a la declarada es de -4%, está dentro de rangos aceptables para el posterior análisis.