



9. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICIÓN CALETONES

9.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Estimar los costos de inversión y costos incrementales de operación de la fundición Caletones, para enfrentar cada escenario regulatorio, indicando la factibilidad de cumplimiento, producto de las soluciones a implementar, y los plazos de proyectos necesarios.
- Realizar la evaluación con enfoque costo-eficiencia (US\$/ t abatida).
- Evaluación de VAC y CAE diferencial por escenario (tasa de descuento 6%).
- Caso Base

Para los fines del presente estudio, el Ministerio de Medio Ambiente ha definido dejar invariante la capacidad nominal de procesamiento de concentrados para las instalaciones, en base lo registrado el año 2010, vale decir considerar, que lo que cada faena puede procesar, se mantiene inalterada respecto del año base seleccionada, del cual se ha recabado información de mayor detalle y calidad.

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



Por lo tanto el escenario base para la fundición Caletones considera una capacidad de fusión nominal anual de 1.372 kt/año de concentrados de cobre, generados en la Mina el Teniente, con un contenido promedio de azufre de 32,41 % y 0,167 % de Arsénico para el quinquenio 2012-2016.

9.2 Descripción General de la Fundición

Esta instalación está ubicada en la Cordillera de los Andes, sexta región a 1.550 metros sobre el nivel del mar, en una explanada de limitado espacio, por lo que dispone sus escorias finales a alrededor de 5 km de Caletones. La población más cercana la constituye el poblado de Coya distante alrededor de 20 km, y a una cota de alrededor de 600 m sobre el nivel del mar.

La fundición Caletones inició sus actividades el año 1922 como una fundición integrada al complejo el Teniente y a la fecha ha pasado por sucesivos cambios tecnológicos, que derivan en su configuración actual constituida por:

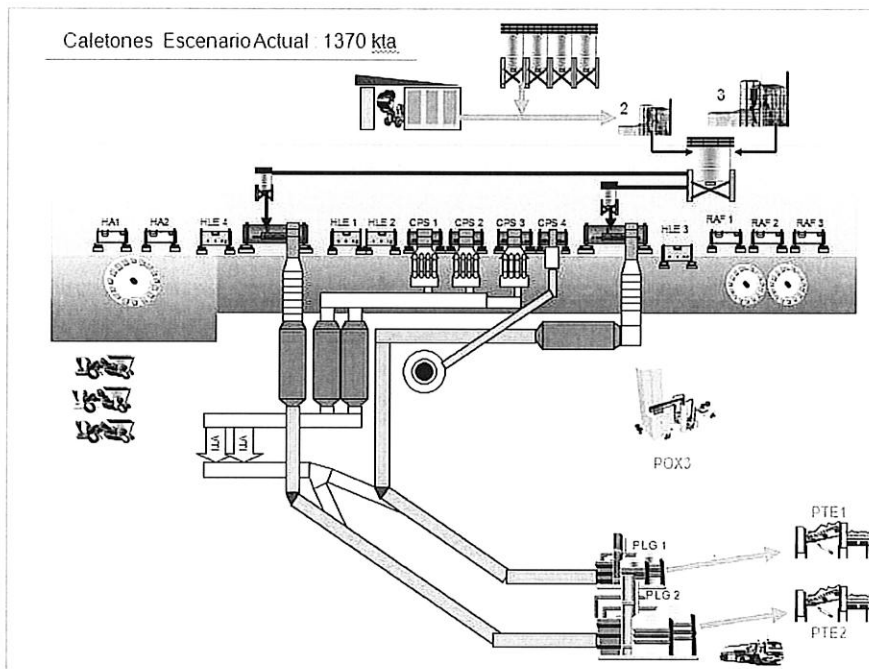
- Recepción en línea, sobre correa transportadora y tolvas 3.000, de concentrado húmedo con 9% humedad, desde el área concentración de Caletones.
- 2 Secadores de lecho fluidizado, para el secado de concentrados hasta 0,2% humedad, con 210 t/h de capacidad total. Existe una tercera planta en operación durante períodos de mantenimiento. Cada planta está equipada con separación sólido-gas, mediante filtros de manga, descarga y transporte neumático del concentrado "seco" hacia los CT.
- 2 Convertidores Teniente, como unidades de fusión que operan con 100% inyección de concentrados, fundiendo en promedio 2.150 t/d por unidad.



- 4 Convertidores Peirce Smith, tres de 4,65m Φ * 10,67 m L y uno de menor tamaño, 3,96 m Φ *10,67 m L, actualmente no conectado al sistema general de manejo gases, evacuación de gases por chimenea auxiliar.
- 2 Plantas de limpieza y producción de ácido sulfúrico de 172 y 280 kNm³/hr, con 8 - 8,7% SO₂, en operación desde los años 1998 y 2001 respectivamente, ambas como parte del Plan de Descontaminación de Caletones.
- 4 Hornos de limpieza de escorias (HLE) de tipo basculantes, con evacuación de gases por chimeneas independientes.
- 5 Hornos de Refino basculantes, con chimeneas independientes de evacuación de gases y sistema de moldeo de ánodos y RAF.

Adicionalmente la planta cuenta para sus procesos con una planta de aire, 2 plantas de oxígeno de 1.200 t/d, planta de chancado y manejo de circulantes, redes de servicio de agua industrial, circuitos de agua de enfriamiento primarios y secundarios, red de agua potable, energía eléctrica, patios de manejo y almacenamiento de productos, así como plataformas de despacho.

Figura 9.2 Diagrama operacional Fundición Caletones



Fuente: Base de datos Consultor-Caletones.

Dentro de los proyectos relevantes realizados las últimas décadas en Caletones se destacan:

El levantamiento de la Nave convertidores en 4,5 m realizado el año 1985, (con una detención de 45 días) para permitir la posterior instalación de los Convertidores Teniente de 5 m de diámetro, los años 1987 y 1989 respectivamente, considerando el diseño del sistema de gases primarios de cada CT en base cámara de enfriamiento evaporativo, un precipitador electrostático (Joy) y evacuación de gases a una chimenea centralizada de 500 pie de altura.



Posteriormente con la instalación de la primera planta de ácido, se incluyó el tendido de un ducto de 2,5 m de diámetro y alrededor de 500 m de longitud, para transportar los gases de 1 CT hacia la planta de lavado y limpieza de gases nominada PLG1 de 172 Nm³/h ubicada a menor cota en Caletones, que como parte del Plan de Descontaminación entró en operaciones el año 1998.

El año 2001 se concretó la instalación de nuevas campanas primarias y un sistema de enfriadores radiativos en 3 CPS, nuevos precipitadores Joy y 2 ventiladores de tiro inducido intermedios, ductos de empalme a la línea de gases del CT con conexión a un nuevo ducto de 3 m de diámetro para la alimentación a la PLG 2 de 280.000 Nm³/h de gas que inició operaciones el año 2002, para tratar los gases de 1 CT y 2 CPS en soplado.

Durante el año 2003 se consolidó el proyecto Aumento Capacidad de Fundición, (PDT), que limitado por el sistema de manejo y tratamiento de gases, dotó básicamente de mayor capacidad de secado, oxígeno, transporte neumático de concentrados para aumentar la capacidad de fusión de 1.250 a 1.330 kta, adecuándola a un mayor nivel de generación de concentrados del complejo mina-concentradora.

Posteriormente durante el año 2009 se concretó el proyecto Restitución de capacidad de la PLG1, que superó problemas en su soplador principal y otros, producto de su operación durante 12 años. La RCA del proyecto Restitución Capacidad Diseño Planta Limpieza de Gases N°1 – a través de la RCA 111/2005-de 21-09-2009 Ord. 000824 del 21 de Agosto de 2009, CONAMA Región de O'Higgins, llegó a concordar cuotas de emisión de SO₂ de esta instalación para el periodo 2010-2014, acotadas a 100 kta.



Con respecto al contaminante arsénico la normativa establece un límite máximo anual de emisión de 375 t/a, conforme al decreto DS N°165 de 1998.

En los últimos años la Fundición Caletones ha postulando y desarrollado una serie de estudios para proyectos que se encuentran en estados de pre-inversión e inversión, tal como se indica a continuación:

Tabla 9.2 Proyectos en Estudio Fundición Caletones

| Proyecto | Etapa |
|---|-------------------|
| Reemplazo Casco CPS N°4 | Ejecución al 2013 |
| Mejoramiento Sistema de Manejo de Gases – Convertidores Teniente (CT's) | Factibilidad |
| Adecuación Plantas Tratamiento de Efluentes | Factibilidad |
| Optimización Sistema de Secado Fluo-sólido | Pre-factibilidad |

Nota: Proyectos en Desarrollo - Continuidad Operacional

Fuente: Base de datos del consultor-Caletones.

9.2.1 Descripción de la Planta

La fundición está compuesta por los siguientes equipos principales

Recepción de concentrados : Sobre correa 212, Tolvas 3.000, canchas (100% concentrados Teniente).

Secado : 2 secadores Fluo-sólido Fuller (80 t/h), Metso (120 t/h).

Horno de fusión : 2 Convertidores Teniente (5,0 m x 22 m).



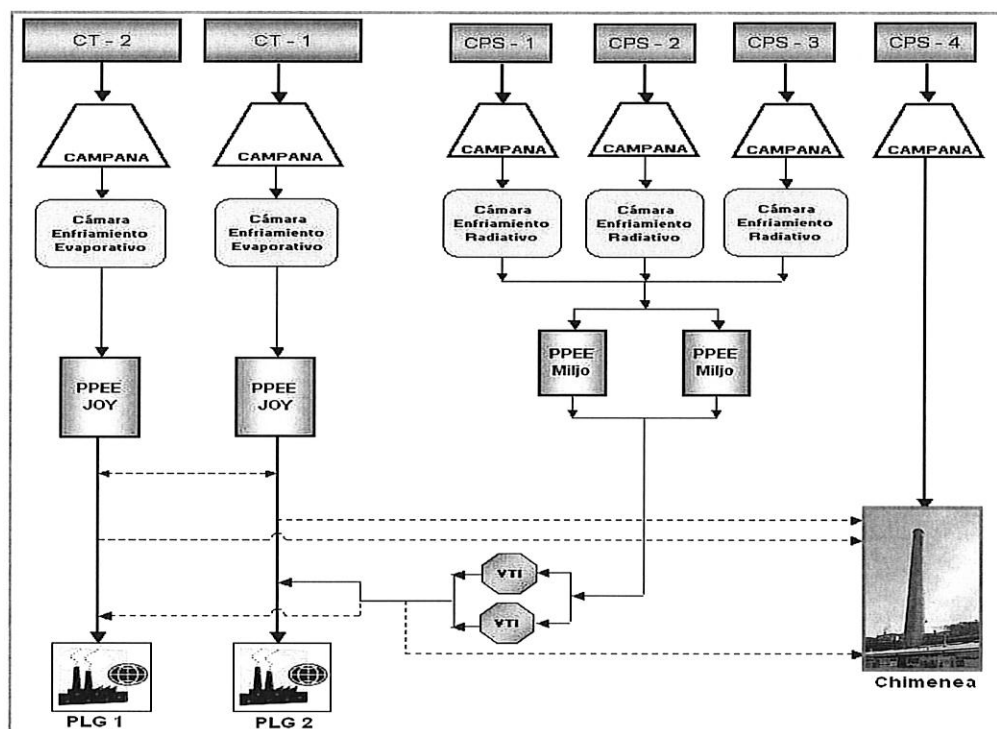
| | |
|---------------------|---|
| Limpieza de escoria | : 4 hornos basculantes limpieza escoria Teniente (4,6 m Φ * 12,7 y 10 m L) |
| Convertidores | : 4 Peirce-Smith (tres de 4,6 m Φ x 10,6 m y 1 de (4,0m Φ x 10,7mL). |
| Hornos de Ánodos | : 5 basculantes (4,0 m Φ x 11,7 m), dos ánodos, tres RAF. |
| Ruedas de Moldeo | : 1 ruedas OK (80 t/h)- ánodos 280-400 kg, 2 carruseles RAF |
| Plantas de oxígeno | : 2 Air Liquide (800 t/d y 400 t/d) |
| Plantas de ácido | : 2 Plantas simple contacto (3500 t/d) Mitsubishi y Kvaerner. |
| Otros | : 2 Planta de neutralización ácido débil con cal, oxidación, calcinación. |
| Dimensiones nave | : 350 m *19 m *25 m, con 4 puentes grúa de 100/50 |

9.2.2 Descripción del Sistema de Manejo y Limpieza de Gases

La fundición Caletones dispone de un sistema de manejo y limpieza de gases primarios para el tratamiento de 452.000 Nm³/h, en 2 plantas de ácido sulfúrico de simple contacto de 172.000 y 280.000 Nm³/h para 8,7% y 8% SO₂, respectivamente.

La configuración del sistema esta diseñada para el tratamiento permanente de los gases de soplado de los dos CT y 2 CPS, pero no permite el tratamiento de gases del CPS. N⁴, unidad que durante los días que requiere operar (110 d/a), tiene evacuación directa por chimenea, reduciendo la tasa de captura y fijación de S, según de muestra en el esquema siguiente.

Figura 9.2.2 Esquema Simplificado Sistema Manejo Gases Primarios Fundición Caletones.



Fuente: Base de datos del Consultor-Caletones.

El crecimiento progresivo y asincrónico en el tiempo, ya antes indicado de este sistema, genera debilidades para el control de tiraje y por ende la captura de gases primarios, caracterizado por:

- La ausencia de un ventilador dedicado para cada Convertidor Teniente (VTI), fuente principal de generación de SO_2 , que evacua sus gases por tiraje inducido desde la Planta de ácido N°1 para el CT2 y para el CT1 junto a los gases de CPS en la Planta de ácido N°2, incrementando la variabilidad del flujo.



- Campanas primarias en CT de diseño antiguo y que por alta dilución (110%-130%)²⁶ enfrían la corriente de gases de 113.000 Nm³/h-12,98% SO₂ a temperaturas cercanas a 600°C, gases que alimentan posteriormente en cada CT una cámara horizontal de enfriamiento evaporativo, que incorpora agua atomizada para bajar la temperatura de los gases a cerca de 390° C, generando un volumen adicional de agua a manejar de alrededor de 13.000 Nm³/h por unidad. Esta agua es extraída en la planta de lavado de gases que alimenta las plantas de efluentes y precipitación del arsénico, como arsenito-arseniato cálcico, generando la siguiente oxidación del arsenito y calcinación para estabilización. Ca₃ (AsO₄)₂*2 H₂O. Desde las cámaras de enfriamiento los gases pasan a cada precipitador electrostático y mediante ductos de conexión hacia la planta de lavado de gases y posterior tratamiento hasta ácido sulfúrico. **El tiraje en estas unidades es regulado desde la Planta de ácido (soplador y control de dampers).**
- Campanas primarias refrigeradas por agua en 3 de los 4 CPS, que con 100% a 120% de dilución evacuan del orden de 75.500 Nm³/h-7,2% SO₂ promedio por unidad, conectadas a enfriadores radiativos, donde se reduce la temperatura del gas a cerca de 390°C, para pasar a precipitadores electrostáticos para la limpieza de polvos y Ventiladores Intermedios de Tiro inducido, (VTI) que además de regular el tiraje permiten la descarga de estos gases en el ducto de la PLG2, generando algunas perturbaciones en la operación del CT1, por la discontinuidad operativa del soplado de los CPS.
- Restringidos los espacios por la topografía del lugar para conexiones de ductos del manejo de gases, Precipitadores Electrostáticos, Ventiladores de tiro inducido, y plantas de Limpieza de Gases y producción de ácido, distantes

²⁶ Base de datos de proyectos del Consultor.



alrededor de 400 m de desde la descarga de gases limpios de polvos de los CT, que a su vez se encuentran bastante alejados por la longitud de la Nave Convertidores, según disposición de equipos existentes con el CT1 en el extremo centro Rancagua y el CT2 en el extremo Sewell.

- Recirculación de los polvos recuperados en cámaras de enfriamiento y extracción a procesamiento externo de los polvos recolectados en los Precipitadores Electrostáticos, de mayor contenido de As (~2.730 t/a), que se procesan vía hidrometalurgia, retornando el ripio con contenido de cobre a Fundición.

Lo anterior es particularmente importante para la búsqueda de soluciones de mejoramiento medioambiental, ya que necesariamente debe analizarse el sistema de manejo de gases como un conjunto, dado que las limitaciones de espacio, junto a deficiencias presentes en el sistema de manejo de gases (dificultades de control de tiraje, infiltraciones de aire, falta de capacidad de enfriamiento de gases, capacidad insuficiente de VTI o de captación de polvos y limitaciones por las PAS) pueden hacer ineficientes o no factibles medidas de mejoramiento, tales como campanas primarias de alto rendimiento y secundarias de captación de gases, en este último caso restringidas por la altura de la Nave y la operación de los puentes grúas.

Como sistemas secundarios de evacuación de gases, la Fundición Caletones presenta la operación de las plantas de secado Fluo-sólido (2 en operación con sus respectivas plantas de filtros de mangas), 4 Hornos basculantes de limpieza de escoria y 5 Hornos de refinación, todos con chimeneas de baja altura independientes, además de las chimeneas para la evacuación de gases de cola de Plantas de ácido de simple absorción, chimeneas que en este caso no estarían sometidas a Límites de Emisión por no haber centros poblacionales adyacentes.



La fundición Caletones con la configuración de equipos actuales, declaró una captura y Fijación de 88% de S, fundamentalmente por la falta de conexión del CP4 al sistema Manejo de Gases Primarios, de disponer de dos PAS de simple contacto y por la condición general de su sistema de gases, con deficiencias para la operación de los CT, procesando un total de gases para saturar en volumen las PLG (452.000 Nm³/h_{BS}), que tienen una capacidad fija de conversión de 42.500 Nm³/h fino de SO₂, en base seca.

9.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

9.3.1 Emisión de Azufre y Arsénico

La distribución estimada de emisiones durante el año 2010, con 87,6% de fijación de S, presenta una diferencia menor respecto al valor inicialmente declarado de 88%, que se justifica al considerar la operación del CPS4 con evacuación de gases por chimenea. La diferencia es mayor contra los datos de emisión informados para el año 2010 (64.234 t/a de S y 201 t/a de As) que permite calcular una fijación de 85,4% de S. La distribución por fuentes de emisión, aplicada a la condición de mediano plazo se muestra a continuación:

Tabla 9.3.1 Emisiones de Azufre y Arsénico Fundición Caletones

| Caletones | Med. Plazo | |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Alimentación concentrado t/año | Nominal | 1.372.000 |
| Ley Media S en concentrados (%) | | 32,41 |
| Ley Media As en concentrados (%) | | 0,167 |

| Emisión por Fuentes t/a | Base Med. Plazo | |
|---|-----------------|-------------|
| | Azufre | Arsénico |
| Fundición Caletones | | |
| Fugitivo primario CT (giro+campana) | 12.744 | 59 |
| Residual tratamiento fugitivo primario CT | n/d | n/d |
| Fugitivo Sangría CT MB/Escoña | 4.261 | 18 |
| Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)+ CPS 4 | 22.826 | 6 |
| Residual tratamiento fugitivo primario CPS | n/d | n/d |
| Chimenea y sangrías HLE | 611 | 102 |
| Residual tratamiento PFE | n/d | n/d |
| Gases de cola PAS | 11.492 | 0 |
| Residual tratamiento gases de cola | n/d | n/d |
| Refino HA | 488 | 25 |
| Otras fuentes | 2.632 | 1 |
| Ajustes | -874 | -3 |
| Total emisión t/a | 54.180 | 208 |
| Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,19\%$ S | 87,8 | 90,9 |

Nota (n/d): No dispone.

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

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

9.3.2 Emisión de Mercurio

No existen antecedentes a futuro de procesamiento de concentrados con contenidos de Hg en esta instalación, aunque si existen registros en los concentrados del 2010.



En la Fundición Caletones la presencia de Hg habría sido detectada en el material precipitado en la planta de efluentes, residuo peligroso que Caletones finalmente dispone en Hidronor, a través del centro de procesamiento de RISES, a un costo significativo.

9.3.3 Emisión de material particulado

Las emisiones de material particulado de los procesos de secado, se controlan a través de la operación de los filtros de mangas asociados a las plantas, que fueron diseñados para asegurar una pérdida de "concentrado secado" inferior a 0,1%. El control es mediante mantención periódica, control de variaciones de presión e inspección visual incorporando la última planta en operación (PSFS3) sistemas de tipo modular compatibilizado, que facilitan el recambio de mangas.

Periódicamente se realizan mediciones isocinéticas de material particulado en la descarga de chimeneas. Se ha desarrollado ingeniería para el Potenciamiento de la PSLF N°2, que presenta limitaciones para la mantención de filtros.

Otras fuentes de emisión de material particulado, la constituyen los Hornos de Limpieza de escorias, en los que se inyecta carboncillo para el proceso de reducción, que genera más que material particulado, carbón incombusto (pet coke) y hollín (humos negros) durante la etapa de reducción, para lo cual estos hornos no cuentan con medidas de control.

En similar situación de emisiones de humos negros, se encuentran los hornos de refinación, que inyectan en el baño petróleo como reductor del oxígeno absorbido por el cobre blister en la primera etapa de oxidación del azufre residual.



Actualmente Caletones inyecta también carbonato de calcio y nitrato de sodio para aumentar la eliminación de arsénico y antimonio en las escorias, en el proceso de refinación para producir cobre refinado a fuego (RAF). En la etapa de reducción realiza un tratamiento de la eliminación de selenio y telurio, con agregado de carbón sobre el baño, con la generación de gases de alta temperatura y de humos coloreados por la presencia de seleniuro de sodio.

La producción de cobre refinado a Fuego como cobre RAF, será en breve discontinuada, en razón a condiciones comerciales, capacidad disponible de refinería, seguridad a las personas y fundamentalmente de control ambiental, ante la dificultad de generar un tratamiento de los gases para estos 3 hornos. Para tal fin se está adquiriendo una segunda rueda de moldeo de ánodos (dual) a instalar junto a los hornos de refino del sector Sewell, la que deberá estar operativa el 2013, llevando el 100% de la producción de Caletones a calidad y forma de ánodos (280 y 400 kg).

9.4 Limitaciones Medioambientales de la Arquitectura Tecnológica

Se mantiene acá la arquitectura tecnológica de 2CT- 3 CPS-4 HLE, con equipos que basculan, uno en proceso de soplado continuo, otro discontinuo (proceso batch) y los HLE, con unidades semi-continuas de reducción y sedimentación. Los CT y los CPS disponen para la evacuación de gases de boca de una campana de gases, que no tiene un sello perfecto y por lo tanto genera emisión de contaminantes como SO₂, As y otros contaminantes menores.

Para contrarrestar esta situación, en los ductos de gases de los CPS se dispone de ventiladores de tiro inducido (2 VTI), que por la succión producen una presión negativa dentro de la campana o tiraje entre 3 a 5 mm de agua, generando una



infiltración de aire externo hacia el interior de la campana (infiltraciones del orden de 110% a 120%).

En el caso de los CT, en esta Fundición el tiraje es generado directamente por los sopladores de las plantas de ácido sulfúrico y la actual infiltración de las campanas, a la fecha de alta data, entre 120 a 130%, presentando además perturbaciones en el tiraje por la operación de los CPS, que descargan sus gases en el ducto común del CT1 hacia la PLG2.

Se generan también emisiones en los CT, cuando la boca se desliza fuera de la campana, para operaciones tales como el cambio de tobera de inyección, cambio de pasaje de sangría y apertura de toberas, y operaciones que aunque no frecuentes implican carga o descarga por boca de materiales calientes, que en general impiden superar el 95% promedio de soplado.

En el caso de los CPS, el proceso mismo implica varios giros para el carguío y descarga de materiales caliente y por ende la generación de gases a la atmósfera, especialmente durante el giro mismo que se realiza con la unidad de soplado para evitar la obstrucción de las toberas, situación válida para CT y CPS. En el caso de los CPS, aunque el carguío de metal caliente es por boca, la adición de carga fría chancada, es agregada a través de una compuerta lateral en la campana, situación que en Caletones se genera en los CPS N° 1 y 2, siendo en el resto de los CPS, adicionada por boca.

En operación normal, la PAS N° 2 al procesar los gases de CT1 y CPS, frente cualquier restricción o variación significativa del flujo de gases a procesar por perturbaciones dinámicas, genera emisiones de gases contaminantes (puff de gases en boca).



Los Convertidores Teniente de Caletones, no cuentan con sistema de captura de emisiones en las sangrías de metal de los CT, canales y ollas, tanto en el caso de hornos estáticos como el Flash.

En Caletones el sistema de manejo de gases se encuentra confinado a espacios estrechos de circulación de camiones para la extracción del cobre, que no facilitan trabajos de intervención mayor a los equipos como el reemplazo u overhaul de Precipitadores Electrostáticos, o la instalación de nuevos VTI asociados a la operación de los Convertidores Teniente.

9.5 Selección de Soluciones Tecnológicas Viables en el Control de Emisiones de Azufre y Arsénico

De la tabla de emisiones por fuentes considerada para el mediano plazo, podemos concluir que las emisiones relevantes se encuentran en:

- En los CPS, donde las emisiones relevantes se dan en las campanas y en los giros realizados para recibir las ollas de MB, la adición de carga fría, para el control de temperatura (CPS N°3 y 4) y los giros para descarga de blister. Especial fuente de emisiones a resolver, en la situación del CPS4, no conectado actualmente al sistema de enfriamiento y limpieza de gases, que evacúa sus gases directamente por chimenea auxiliar, cuando es requerida su operación por mantenimiento de alguno de los 3 CPS, emitiendo alrededor de 5.700 t/a de S (durante 110 días por años).
- En los CT por presión puntual en las campanas, emisiones durante los giros y en las sangrías de MB.
- Los gases de cola de las Plantas de ácido, que en este caso son de simple contacto, con una eficiencia de conversión de 97,0%.



Las soluciones tecnológicas se han priorizado tomando en consideración criterios de cuantía en relación al monto de emisiones, la factibilidad de reemplazo de equipos con menores interferencias operativas y requerimientos de modificaciones de infraestructura.

En este sentido, la captación de los gases fugitivos por boca de CT y CPS, que requiere de campanas secundarias, será considerada como solución más tardía en razón de lograr un buen control del sistema primario, y a que la altura de la nave de fundición es relativamente limitada con una altura de 25 m. La posterior ingeniería deberá revisar la posibilidad de su instalación por sobre las campanas primarias, para la circulación de los puentes grúas.

Como mejoramientos del mediano plazo, existen estudios en los que se analizó la posible sustitución del sistema de enfriamiento evaporativo de los CT en su cámara de enfriamiento horizontal, por un sistema mixto con enfriadores radiantes²⁷, que representa una holgura volumétrica para el tratamiento de gases en Planta de ácido de hasta 26.000 Nm³/hr, aprovechables para captura de SO₂, con las adecuaciones necesarias en contacto y absorción o el reemplazo de esta cámara y la campana por un caldera recuperadora de calor, según estudio desechado por baja rentabilidad.

Como base de mejoramiento previo a soluciones de ingeniería, la Fundación Caletones durante el año 2011 y 2012 realiza acciones de mejoramiento operacional, para:

- Copar la capacidad de las plantas de limpieza de gases en Flujo y concentración

²⁷ Solución extraída de base de datos y experiencia del consultor



- Eliminar infiltraciones en los trenes de gases
- Lograr continuidad en la secuencia de soplado de los CPS

9.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

Los proyectos a implementar para incrementar el nivel de fijación de Azufre y Arsénico por la Fundición Caletones en desarrollo y los previstos por el Consultor, se indican a continuación:

- Conexión CPS N°4 al tren de gases (Manejo Operacional)

Este proyecto a implementar el año 2013, posterior al reemplazo de casco del CPS 4, permitirá incorporar a esta unidad al tren de gases de los Convertidores Peirce Smith (3 unidades), con su campana, sistema de enfriamiento radiativo y sistema de recuperación de polvos.

Por el requerimiento de mantener siempre 3 unidades calientes, esta unidad debe operar durante los periodos en que una de las 3 unidades restantes se encuentra en mantención general, periodo estimado en 110 días al año, evitando así la generación de alrededor de 11.400 t/a de SO₂ evacuados a la atmósfera, a través de la chimenea auxiliar.

Este proyecto, más condiciones de un mejor manejo operacional comprometido por la fundición, permitirían operar con un nivel de fijación de S esperado cercano al 90% (44.470 t/a de S y por ende el doble de SO₂), con una inversión reportada de 26.000 kUS\$, para este proyecto.



- Reemplazo de Campanas Primaria CT y Ventiladores de Tiro Inducido (VTI)

El reemplazo de las campanas primarias por unidades de mayor eficiencia, es requerido para ambos CT, que como antes se indicó utilizan campanas con alta infiltración y más de 20 años en operación.

El reemplazo de campanas a realizar por línea de CT, idealmente durante las reparaciones generales de cada unidad, (21 días cada 18 meses) deberá incluir la revisión del sistema de enfriamiento, el overhaul del precipitador existente en cada unidad, la instalación de nuevos VTI para esta unidades, un nuevo trazado de conexión de gases del CT1 con CPS, con posible cámara de homologación de presiones y concentración, para el mejoramiento global del tiraje en estos equipos que constituyen el núcleo del proceso de tratamiento de concentrados de Caletones y tienen un alto potencial de incremento de fusión.

Detenciones para conexiones de mayor plazo que la reparación general, generan en el caso de Caletones, serios problemas de manejo de concentrados a ventas, por cuanto es una instalación que opera en línea, con mínimo inventario intermedio con la concentradora en un sistema just in time, situación que ha llevado anteriormente a postergar proyectos de reemplazo de equipos.

Se estima que los plazos requeridos para los estudios de factibilidad, autorización de recursos, adquisiciones e instalación, (2014-2015) permitirían tener operativo el sistema a comienzos de 2016, en atención a que fundición Caletones tiene ya estudios conceptuales sobre el tema.



La inversión requerida para el reemplazo de campanas y acondicionamiento del sistema de manejo de gases de CT, como proyectos complementarios se estima en 47.200 kUS\$.

De acuerdo al potencial de reducción de emisiones de esta mejora por proyecto, se tendrá una disminución de emisiones de azufre de 1,2 %.

- Reemplazo de Campanas Primarias de CPS

El reemplazo de campanas de los CPS (3 unidades), y sus sistemas de refrigeración primarios y secundarios, permitirá reducir niveles de infiltración y emisiones por mejor control de tiraje. El proyecto puede realizarse entre el año 2015 y 2016 con una inversión estimada de 42.300 KUS\$, operando a mediados del 2016.

- Cambio de Plantas de ácido a Doble Absorción

Involucra readecuar el reactor de conversión de cada planta (PLG 1 y 2), usualmente en la salida del tercer lecho con un absorbedor intermedio, que recupera parte del SO₃ como ácido, favoreciendo así la reacción de conversión en el último lecho, lo que permite incrementar la eficiencia de conversión hasta niveles de 99,2-99,5%. Se recomienda cambiar también catalizador del primer lecho del reactor (Cs) para operar con mayores concentraciones de SO₂ y potenciar los sistemas de enfriamiento, e instalar sistemas de recuperación de calor como opción técnicamente más factible y conveniente.

Existe experiencia previa en la Corporación del Cobre para esta adaptación, realizada anteriormente en la Planta de Ventanas, con especialistas fabricantes



de planta de ácido por lo que el proyecto podría realizarse los años 2015 y primer semestre del 2016 durante las detenciones de cada planta.

La inversión requerida se estima en 51.700 KUS\$ y permitiría reducir las emisiones de Azufre en 1,9%

Con los proyectos anteriores a mediados del año 2016, la Fundación Caletones estaría en condiciones cercanas de alcanzar un 93,9% de fijación S +/- 0,19% de S y 92,4 % de As.

- Captación y tratamiento de gases fugitivos en boca CT y CPS, y sangrías CT (MB)

Para el control de emisiones fugitivas desde la boca de los CT y CPS, como solución tecnológica se plantea la instalación de campanas secundarias adosadas a las campanas primarias, las que deberán captar las emisiones asociadas también al giro de estas unidades.

Como condición mejorada de los ambientes de trabajo, el sistema de manejo de emisiones fugitivas también debiera considerar la instalación de campanas en las sangrías de metal de los CT. El diseño deberá considerar ventiladores de tiro inducido y una planta de lavado alcalino de los gases para un volumen estimado de 660.000 Nm³/hr. Un diseño preliminar de estas instalaciones, aunque con evacuación de gases por la antigua chimenea fue anteriormente desarrollado²⁸, considerando el limitado espacio de Caletones para la instalación de equipos, que en este caso consideraron la incorporación de 5

²⁸ Ingeniería Conceptual proyecto Desarrollo del negocio Fundación y Manejo de gases fugitivos, Hatch Ingeniería, 2007.



VTI, en la ubicación de los antiguos precipitadores Koppers de evacuación de gases a la antigua chimenea.

Las inversiones asociadas a este proyecto a realizar el año 2016 y 2017, representan alrededor de 105.800 kUS\$, y permitirán reducir emisiones en alrededor de 1,7%.

Con los proyectos anteriores a comienzos del año 2018, la Fundación Caletones estaría en condiciones de cumplir un **escenario 95% de captura, con una fijación global de azufre de 95,6% +/- 0,19% de S y 93,3 % de As.**

- Remplazo Hornos de Limpieza de Escoria por planta de flotación

En la actualidad en Caletones existen 4 Hornos basculantes de tratamiento de escoria que utilizan la inyección de carbón pulverizado para la reducción de la magnetita contenida en las escorias de los Convertidores Teniente, componente que aumenta la viscosidad, desfavorece la separación metal escoria y facilita el atrapamiento de cobre sulfurado. Reducida la magnetita de escorias con un contenido de sílice adecuado, los hornos de tratamiento durante un tiempo sedimentan fases, extrayendo por boca las escorias más limpias, y con menor periodicidad el metal acumulado en el fondo, recargando el horno con nuevas ollas de escoria en un proceso semi-continuo.

Las escorias finales obtenidas con contenidos mayores a 1% son enviados a Colón para su procesamiento marginal por flotación, en razón a mejorar la recuperación metalúrgica de la instalación.

La reducción de escorias es un proceso endotérmico, que requiere uso de quemadores, y genera gases con contenido de material particulado, SO₂ y



arsénico, que son evacuados por chimeneas independientes. Desde la perspectiva ambiental es recomendable la eliminación de esta fuente emisora de difícil control y tratamiento por el proceso del enfriamiento, chancado, molienda y flotación de estas escorias, como en el caso de Altonorte, retornando a fusión el concentrado de escoria generado.

Bajo el objetivo de aumentar abatimiento de Azufre y principalmente Arsénico, con una fijación al menos en un 1% superior a la de azufre, el Consultor recomienda incorporar para la Fundición Caletones el reemplazo de los Hornos de Tratamiento de Escoria, por una Planta de Flotación de Escorias de CT, permitiendo una mayor fijación de As de 4,5% y de 0,8% de S según evaluación de esquemas operativos de fundición, desarrollado en el punto 3 de este informe.

Este proyecto permitiría utilizar las actuales instalaciones de enfriamiento de escoria final y transporte hasta el sector de la Nueva planta (Caballo Muerto o Barahona), lugar cercano al paso de la canal de relave, donde se mezclaría con los relaves primarios de complejo concentración, ya que representaría no mas del 4% de éstos.

La inversión estimada para esta planta de 80.000 kUS\$, escalados por capacidad de un estudio referencial desarrollado por el Consultor, en que analizó esta opción²⁹. Aunque se han determinado los requerimientos de energía eléctrica y agua para esta opción, no se incluyen costos incrementales de operación, ya que estos serían levemente inferiores a los actuales de los Hornos de Limpieza de Escoria, de alrededor de 14 US\$/t escoria al año 2008, con la ventaja de una mayor recuperación de cobre.

²⁹ Base de datos de proyectos del Consultor



Sobre los anteriores, el último proyecto a realizarse entre los años 2017 y 2018, permitirían alcanzar en Caletones al año 2019, **el escenario de 96% de captura con una fijación de 96,4 +/- 0,19 % de Azufre y 97,8% de arsénico.**

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

Tabla 9.5.1 Proyectos de Reducción Emisiones Fundición Caletones

| Medidas de mejoramiento ambiental | Reducción emisión S % | Reducción emisión As % | Ton abatida SO ₂ t/a | Ton abatida As t/a |
|---|-----------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Fundición Caletones | | | | |
| Escenario 95% S | | | | |
| Manejo operacional | 0,8 | 0,3 | 6.958 | 8 |
| Conexión CPS 4 | 1,3 | 0,1 | 11.490 | 2 |
| Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 1,2 | 1,1 | 10.601 | 25 |
| Reemplazo campanas CPS | 1,0 | 0,1 | 8.799 | 1 |
| Plantas de ácido doble absorción | 1,9 | - | 16.502 | - |
| Captación y tratamiento gases campana secundaria CT | 0,6 | 0,5 | 5.363 | 12 |
| Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS | 0,7 | 0,2 | 6.640 | 4 |
| Captación y tratamiento gases fúgitivos de sangrías MB CT | 0,4 | 0,3 | 3.207 | 7 |
| Escenario 96% S | | | | |
| Planta de flotación de escorias /reemplazo HLE | 0,8 | 4,5 | 6.842 | 104 |

Fuente: Elaboración propia.

9.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

Con las mejoras indicadas en los puntos anteriores se obtienen las siguientes distribuciones de emisiones residuales por fuentes, expresadas en toneladas.



Tabla 9.6 Emisiones según Captura-Fijación de Azufre y Arsénico por escenario
Fundición Caletones

| Caletones | Med. Plazo | |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Alimentación concentrado t/año | Nominal | 1.372.000 |
| Ley Media S en concentrados (%) | | 32,41 |
| Ley Media As en concentrados (%) | | 0,167 |

| Emisión por Fuentes t/a | Base Med. Plazo | | Escenario de 95% S | | Escenario de 96% S | |
|---|-----------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | Azufre | Arsénico | Azufre | Arsénico | Azufre | Arsénico |
| Fundición Caletones | | | | | | |
| Fugitivo primario CT (giro+campana) | 12.744 | 59 | | | | |
| Residual tratamiento fugitivo primario CT | n/d | n/d | 3.232 | 15 | 3.232 | 15 |
| Fugitivo Sangría CT MB/Escofia | 4.261 | 18 | 2.657 | 12 | 2.657 | 12 |
| Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)+ CPS 4 | 22.826 | 6 | | | | |
| Residual tratamiento fugitivo primario CPS | n/d | n/d | 7.411 | 2 | 7.411 | 2 |
| Chimenea y sangrías HLE | 611 | 102 | 611 | 102 | | |
| Residual tratamiento PFE | n/d | n/d | n/d | n/d | 31 | 1 |
| Gases de cola PAS | 11.492 | 0 | 3.241 | 0 | 3.241 | 0 |
| Residual tratamiento gases de cola | n/d | n/d | n/d | n/d | n/d | n/d |
| Refino HA | 488 | 25 | 488 | 25 | 488 | 25 |
| Otras fuentes | 2.632 | 1 | 2.632 | 1 | 2.632 | 1 |
| Ajustes | -874 | -3 | -874 | -3 | -3.715 | -5 |
| Total emisión t/a | 54.180 | 208 | 19.400 | 153 | 15.979 | 49 |
| Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,19\%$ S | 87,8 | 90,9 | 95,6 | 93,3 | 96,4 | 97,8 |
| Toneladas abatidas (t/a) | - | - | 34.780 | 55 | 3.421 | 104 |
| Toneladas de ácido incremental (t/a) | | | 84.921 | | 0 | |

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

En la sección de ajustes de la tabla 9.6 para el escenario de 96% S se incluye adicionalmente un ajuste por circuito de flotación de escorias debido a que existe una menor recirculación de azufre y arsénico en el proceso. En la flotación de escorias una parte del azufre y en mayor proporción de arsénico son descartados en los relaves.

Para fundición Caletones no se ha incorporado proyectos para el control de emisiones por límites en chimeneas, por la disposición de esta instalación alejada de centros poblados.



9.6.1 Cronograma de cumplimiento de los escenarios establecidos

Para poder dar cumplimiento a los escenarios definidos y desarrollar las soluciones tecnológicas establecidas para disminuir las emisiones de SO₂, As se considera el siguiente cronograma:

Tabla 9.6.1 Cronograma de cumplimiento de Escenarios

| CRONOGRAMA DE PROYECTOS PARA CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION CALETONES | | | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|------------|------------|
| PROYECTOS PARA DESCONTAMINACION | AÑO | | | | | |
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Nivel de fijación de SO ₂ | 87,8% | 89,9% | | 93,9% | 95,6% | 96,4% |
| Conexión CPS N ⁴ a Tren de gases CPS (Manejo operacional) | xxxxxxxx | | | | | |
| Reemplazo Campanas Primarias 2 CT y Nuevos VTI | | xxxxxx | xxxxxx | | | |
| Reemplazo Campanas Primarias CPS (3 unidades) | | | xxxxxx | xxxxxx | | |
| Doble Absorción en PLG1 y PLG2 | | | xxxxxx | xxxxxx | | |
| Captación y Neutralización Gases Secundarios CT y CPS, y sangrías CT (MB) | | | | xxxxxx | xxxxxxxxxx | |
| Reemplazo Hornos Tratamiento Escoria por Planta de Flotación | | | | | xxxxxx | xxxxxxxxxx |

Fuente: Elaboración propia.

De este cronograma se puede inferir que el 94% de fijación de Azufre, es factible alcanzarlo como fecha más temprana a mediados del año 2016, en razón a que se realiza primero el mejoramiento de los sistemas de manejo de gases primarios y posteriormente la transformación de las plantas de ácido a doble contacto, proyecto que implica intervenir ambas plantas, que realizan su mantención general cada 18 meses, reparando a menos una por año.

El escenario de 95% para Caletones es posible de lograr a fines del año 2017 con el tratamiento total de gases fugitivos por boca de CT y CPS, y sangrías del CT.



Como opción final una fijación de 96,4% al eliminar la operación de los HLE y flotar la totalidad de las escorias de los CT.

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

La situación de sustentabilidad ambiental de Caletones, dependerá además de las prácticas operacionales de Manejo de gases principalmente de la oportuna y exitosa realización de los proyectos planteados y del fiel cumplimiento de sus programas de reemplazo de equipos, situación que por razones técnico económicas ha postergado en frecuentes ocasiones, como es el caso del reemplazo de campanas de CT en operación por mas de 25 años, el reemplazo u overhaul de precipitadores electrostáticos y soluciones al trazado general de manejo de gases primarios en análisis desde el año 2004.

Por otra parte esta instalación tiene el potencial cierto de aumentar niveles de fusión en los Convertidores Teniente desde los 2.100 t/d de concentrados por unidad a niveles promedios de 2.400 t/d, que le permitirían enfrentar mayores niveles de producción del complejo mina-concentradora, actualmente en análisis, lo cual debe ser una perspectiva para el diseño de los sistemas de captura o tratamiento a reemplazar o incorporar, ya que como equipos de procesamiento metalúrgico utilizarían los actuales CT potenciados.

Los equipos de captura y abatimiento entonces, deben lograr eficiencias mayores a las consideradas (eficiencia de campanas primarias CT 98,5 % y 98% para CPS, eficiencias de campanas secundarias CT de 98,5% y 80% para CPS, eficiencia planta de tratamiento 85%, entre otros), para absorber con un mayor nivel de fijación el cumplimiento de cuotas de emisión.



9.6.3 Análisis sobre Infraestructura, Espacios Disponibles e Interferencias

En general los trabajos de conexión o reemplazo de equipos asociados a los proyectos para la Fundición Caletones, están acotados por los periodos de reparación generales de los CT y PLG cada 18 meses, donde una línea de fusión y tratamiento de gases se detiene por alrededor de 21 días, con la detención de una planta de ácido junto a la detención de un CT, oportunidad en que la instalación ajusta su capacidad de tratamiento a alrededor del 60% de su tratamiento diario, programando en forma paralela con intervenciones en el área mina-concentradora, para reducir excedentes de concentrados a ventas.

Para enfrentar el procesamiento de los gases fugitivos que se captarían desde las campanas de los CT, CPS y sangrías de MB se dispone de limitado espacio para instalación de los VTI, en el lugar en que se encontraba a los antiguos precipitadores electrostáticos de los hornos de reverbero, ubicado en el sector norte de la Fundición. Adyacente aunque en un nivel superior se encuentra las instalaciones de la antigua planta de ácido, donde podría ubicarse la planta de neutralización de gases, evacuando finalmente los gases por la antigua chimenea.

La opción de eliminación de los Hornos de Limpieza de Escoria (4 unidades), para el tratamiento de escorias vía Flotación, deberá analizar en profundidad la ingeniería, para la modificación mayor del piso nave de Convertidores en los sectores de sangrías de escoria requeridas para la recepción de ésta, mediante los camiones Krebs utilizados hoy para la recepción y transporte de escorias finales de descarte, que cuentan con una ruta bajo nivel al interior de la nave adyacente al CT2. La realización de estos trabajos es usualmente de alta interferencia operativa, al igual que los de reemplazo de campanas que tienen que realizar trabajos en altura al interior de la nave, durante periodos estrechos de mantención



y también modificaciones externas en los circuitos primarios y secundarios de agua de refrigeración.

Otra área de alta complejidad por limitaciones de espacio la constituye el sector de las plantas de ácido adyacentes a los reactores de conversión, donde se debería instalar la nueva torre de absorción intermedia para cada planta.

9.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

9.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

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

- Escenario 95% fijación de S con 292,1 MUS\$.
- Escenario 96% fijación de S y 97% en As con 377,7 MUS\$.



Tabla 9.7.1.a Costos de capital por escenario y proyectos Fundición Caletones

| COSTOS DE INVERSIÓN | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | Inversión Sub Total | Costos PreInversionales | TOTAL | CRITERIO REEMPLAZO EQUIPOS |
| COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS | | KUS \$ | KUS \$ | KUS \$ | |
| 1 | Escenario Captura 95% S | | | | |
| 1.1 | Manejo Operacional | 0 | 0 | 0 | No aplica |
| 1.2 | Conexión CPS 4 | 26.000 | 1.820 | 27.820 | 20 años |
| 1.3 | Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 47.200 | 3.304 | 50.504 | 15 años |
| 1.4 | Reemplazo camapanas CPS | 42.300 | 2.961 | 45.261 | 15 años |
| 1.5 | Plantas de ácido doble absorción | 51.700 | 3.619 | 55.319 | 18 años |
| 1.6 | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT | 46.000 | 3.220 | 49.220 | 20 años |
| | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS | 36.800 | 2.576 | 39.376 | 20 años |
| | Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrias MB CT | 23.000 | 1.610 | 24.610 | 20 años |
| | Total Escenario Captura 95% S | 273.000 | 19.110 | 292.110 | |
| 2 | Escenario Captura 96% S | | | | |
| 2.1 | Planta de flotación de escorias | 80.000 | 5.600 | 85.600 | 20 años |
| | Total Escenario Captura 96% S | 353.000 | 24.710 | 377.710 | |

Fuente: Elaboración propia.

A continuación la tabla 9.7.1.b muestra la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.

Tabla 9.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición
Caletones

| COSTOS DE INVERSIÓN | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 |
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS | | | | | | | | | |
| 1 | Escenario Captura 95% S | | | | | | | | |
| 1.1 | Manejo Operacional | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 | Conexión CPS 4 | 0 | 1.820 | 26.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.3 | Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 0 | 0 | 3.304 | 23.600 | 23.600 | 0 | 0 | 0 |
| 1.4 | Reemplazo camapanas CPS | 0 | 0 | 0 | 2.961 | 28.200 | 14.100 | 0 | 0 |
| 1.5 | Plantas de ácido doble absorción | 0 | 0 | 1.810 | 1.810 | 32.027 | 19.673 | 0 | 0 |
| 1.6 | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT | 0 | 0 | 0 | 2.147 | 1.073 | 15.333 | 30.667 | 0 |
| | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS | 0 | 0 | 0 | 1.717 | 859 | 12.267 | 24.533 | 0 |
| | Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrias MB CT | 0 | 0 | 0 | 1.073 | 537 | 7.667 | 15.333 | 0 |
| | Total Escenario Captura 95% S | 0 | 1.820 | 31.114 | 33.308 | 86.295 | 69.040 | 70.533 | 0 |
| 2 | Escenario Captura 96% S | | | | | | | | |
| 2.1 | Planta de flotación de escorias | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.800 | 2.800 | 40.000 | 40.000 |
| | Total Escenario Captura 96% S | 0 | 1.820 | 31.114 | 33.308 | 89.095 | 71.840 | 110.533 | 40.000 |

Fuente: Elaboración propia.

9.7.2 Costos incrementales de operación

Se han determinado los costos incrementales de operación, asociados a las naturalezas de gastos relevantes, relacionadas con las medidas de control de emisiones, que considera el incremental de recursos energéticos asociados a los nuevos sistemas de manejo de gases (VTI intermedios de CT, nuevos VTI para manejo de gases fugitivos y planta de lavado de gases, entre otros), los costos de mantención asociados a las nuevas unidades, el personal y los reactivos necesarios para el acomplejamiento de Azufre y Arsénico como yeso impuro en la planta de tratamiento de gases fugitivos, producto final que como tal ha incluido un costo de disposición.



Para la disposición de residuos sólidos, en el caso específico de la Fundición Caletones, se ha valorizado la disposición de estos materiales a una tarifa de 300 US\$/t.

La mayor captura de Azufre en Caletones llevaría a una mayor producción de ácido sulfúrico en el primer escalón, equivalente a 65.823 t/a de ácido, cuya venta se ha incorporado como un crédito a los costos, a un ingreso marginal de 20 US\$/t, considerando su venta final en Mejillones a un precio de LP de 65 US\$/t y la distancia a puerto y Mejillones de esta Fundición.

No se han incorporado en este caso inversiones, como tampoco costos de operación asociados a monitoreo y control de emisiones por chimenea, que al menos las plantas de ácido sulfúrico deben mantener operativos o instalar, como prevención al medio ambiente laboral, debiendo esta instalación sus estaciones de monitoreo y registro de impacto en las zonas aledañas.

Tabla 9.7.2 Costos incrementales de operación por escenario Fundición Caletones

| ITEM | DESCRIPCIÓN | COSTOS INCREMENTALES | | | | | Tone la da Abatida (Ton/a) |
|------------------------------|---|--------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| | | COSTO INCREMENTAL ANUAL DE OPERACIÓN | Costo Energía | Costo Insumos y otros | Costo Mantenición | Costo disposición | |
| COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS | | KUS \$/a | KUS \$/a | KUS \$/a | KUS \$/a | KUS \$/a | SO2 |
| 1 | Escenario Captura 95% S | | | | | | |
| 1.1 | Manejo Operacional | 0 | - | - | - | - | 6.958 |
| 1.2 | Conexión CPS 4 | 11 | 11 | 0 | 0 | - | 11.490 |
| 1.3 | Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 336 | 335 | 2 | 0 | - | 10.601 |
| 1.4 | Reemplazo campanas CPS | 2 | 0 | 2 | 0 | - | 8.799 |
| 1.5 | Plantas de ácido doble absorción | 3.750 | 2.582 | 0 | 1.168 | - | 16.502 |
| - | Producción de ácido sulfúrico | -1.698 | - | -1.698 | - | - | - |
| 1.6 | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT | 8.326 | 1.318 | 1.329 | 1.329 | 4.350 | 5.363 |
| | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS | 8.581 | 1.055 | 1.063 | 1.063 | 5.400 | 6.640 |
| | Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrias MB CT | 4.598 | 659 | 665 | 665 | 2.610 | 3.207 |
| | Total Escenario Captura 95% S | 23.907 | 5.960 | 1.362 | 4.225 | 12.360 | 69.560 |
| 2 | Escenario Captura 96% S | 0 | | | | | 6.842 |
| 2.1 | Planta de flotación de escorias | No Considera | No Considera | No Considera | No Considera | No Considera | 6.842 |
| | Total Escenario Captura 96% S | 23.907 | 5.960 | 1.362 | 4.225 | 12.360 | 76.402 |

Fuente: Elaboración propia.



9.7.3 Energía Eléctrica Incremental y agua adicional requerida

El consumo adicional de energía eléctrica, para lograr el cumplimiento de reducción de emisiones en estudio, se verá incrementado significativamente por los volúmenes de los gases a procesar, estimados considerando un estándar de 3.300 KWH por cada 100.000 Nm³/h en los sistemas de manejo como los VTI y de 5.200 KWH por igual base, al estar enclavados a una torre lavadora.

El costo promedio usado para el mediano plazo para la energía eléctrica alcanza a 84,5 US\$/MWH.

Las medidas de control planteadas como proyectos, llevan a determinar un consumo incremental anual de 70,5 GWH/año, para lograr el escenario de fijación de azufre de 95%, situación significativa frente el actual consumo de Caletones cercano a 405 GWH/año.

Para el escenario de 96% este incremento se hace más significativo, con 122,5 GWH/a, en este último considera los equipos asociados al chancado y molienda de la planta de flotación, que probablemente no estaría instalada en el mismo Caletones, sino más cercana al sector Barahona, por la cercanía a la canal centralizada de relaves.



Tabla 9.7.3 Consumo incremental de energía y agua industrial

| Medidas de mejoramiento ambiental | Puesta en operación | Consumo incremental Energía | Consumo incremental de agua |
|---|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Fundición Caletones | Año | MW/h/a | m ³ /a |
| Escenario 95% S | | | |
| Manejo operacional | 2013 | - | - |
| Conexión CPS 4 | 2014 | 132 | - |
| Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 2016 | 3.960 | 12.393 |
| Reemplazo campanas CPS | 2016 | - | 11.107 |
| Plantas de ácido doble absorción | 2016 | 30.555 | 15.598 |
| Captación y tratamiento gases campana secundaria CT | 2018 | 15.600 | 4.500 |
| Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS | 2018 | 12.480 | 3.600 |
| Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías MB CT | 2018 | 7.800 | 2.250 |
| Consumo MWh/a | | 70.527 | |
| Escenario 96% S | | | |
| Planta de flotación de escorias/reemplazo HLE | 2019 | 52.000 | 712.500 |
| Consumo MWh/a | | 122.527 | |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9.7.3.a Incremento Energía Eléctrica

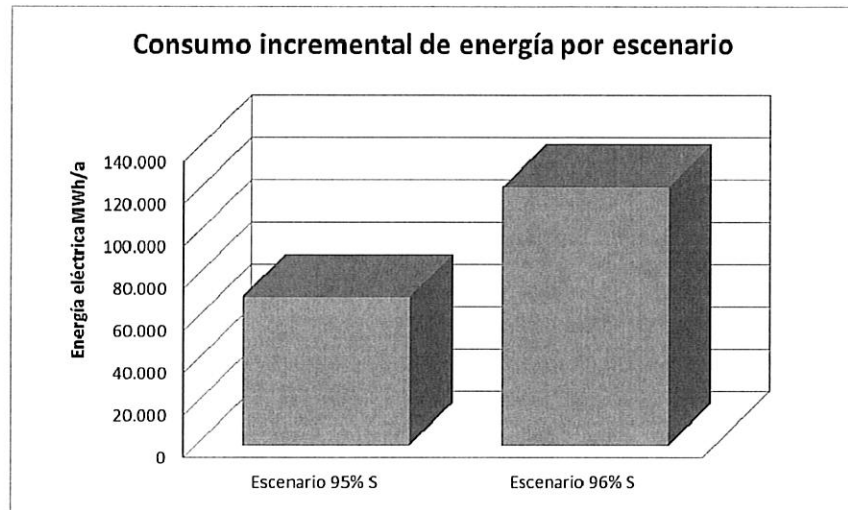
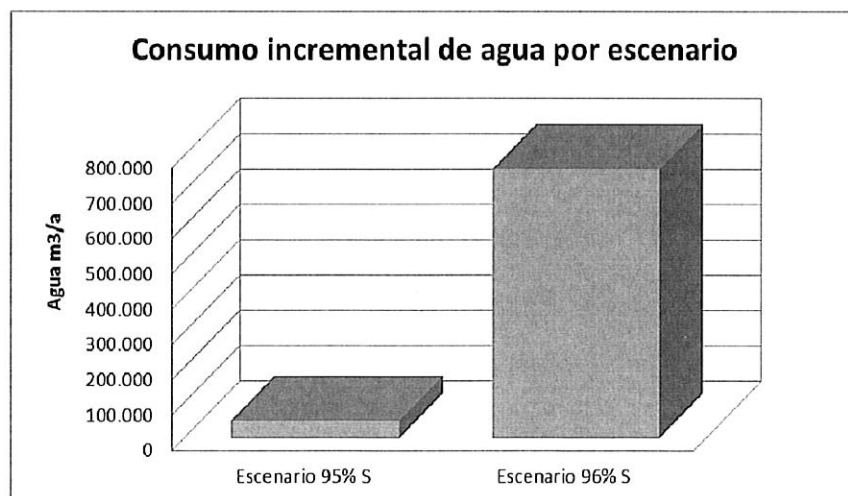


Gráfico 9.7.3.b Incremento Consumo Agua industrial



Fuente Gráficos 9.7.3 a y b: Elaboración propia.

La sustitución de los hornos de tratamiento piro metalúrgicos de escorias por flotación, conlleva también a un incremento significativo del agua de reposición, necesaria para las operaciones de molienda, flotación y transporte de relaves, con un índice de 0,75 m³/t de escoria.

9.8 Resultados Técnico/Económicos de Cumplimiento de Escenarios Regulatorios

9.8.1 Reducción de Emisiones de SO₂ y As por escenarios

La reducción proyectada de emisiones de SO₂ y As, por fuentes para la Fundición Caletones se muestra en gráficos 9.8.1 a y b. Incluye una sección otros en color rojo, la cual contiene emisiones provenientes de otras fuentes, ajustes para llegar al valor medio entre lo declarado y modelado por el consultor, y ajustes por circuito de flotación de escorias.

Gráfico 9.8.1.a Emisiones Caletones de SO₂ por escenario

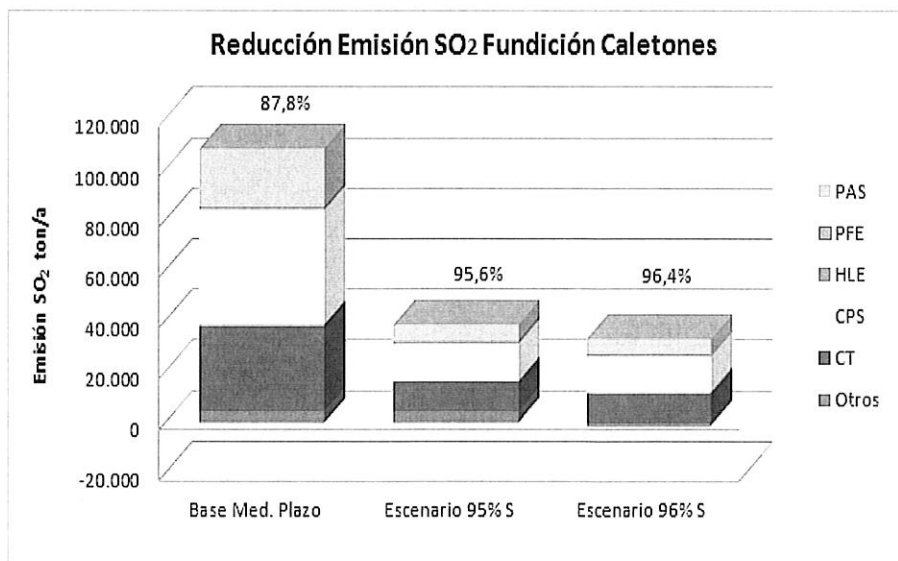
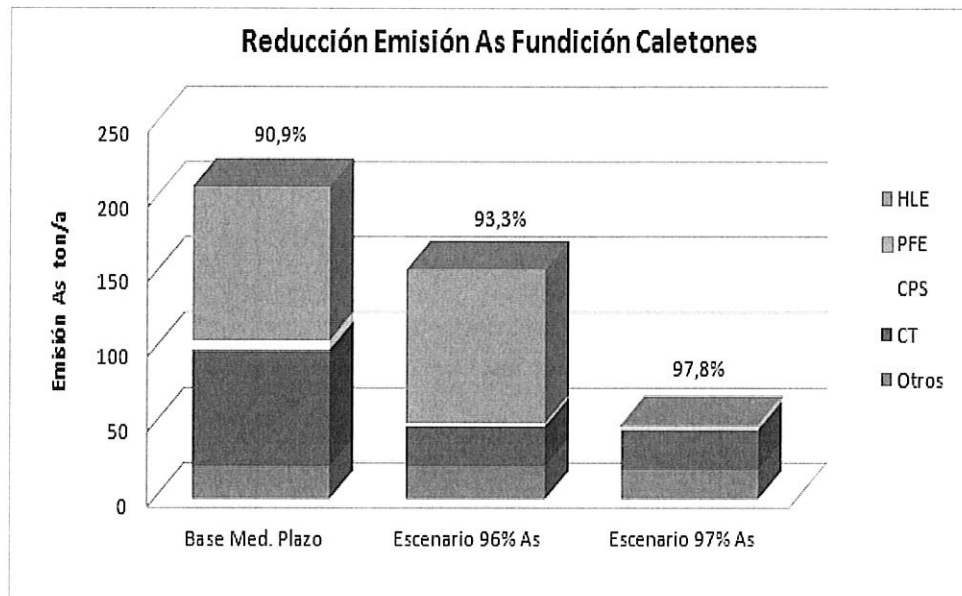


Gráfico 9.8.1.b Emisiones Caletones de Arsénico por escenario



Fuente Gráficos 9.8.1 a y b: Elaboración propia.

9.8.2 Cumplimiento de cuotas con emisiones proyectadas Azufre y Arsénico

Las figuras siguientes muestran que a partir del año 2018 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO_2 y As proyectadas por la autoridad para la Fundición Caletones.

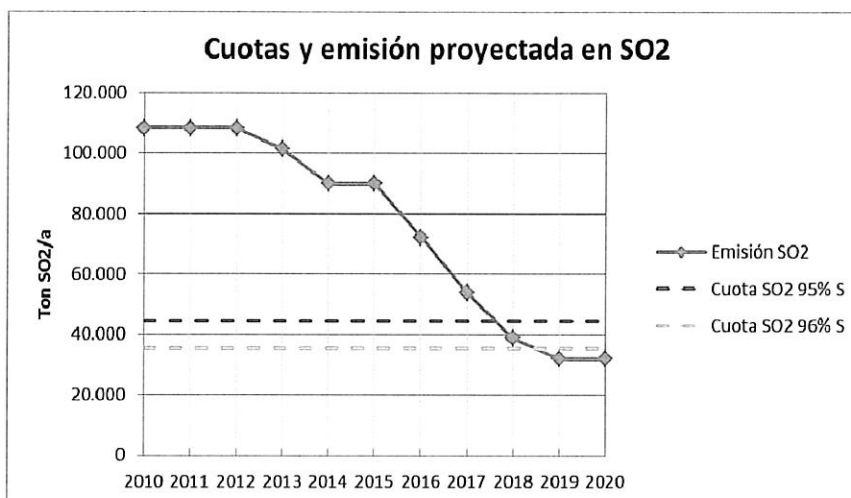
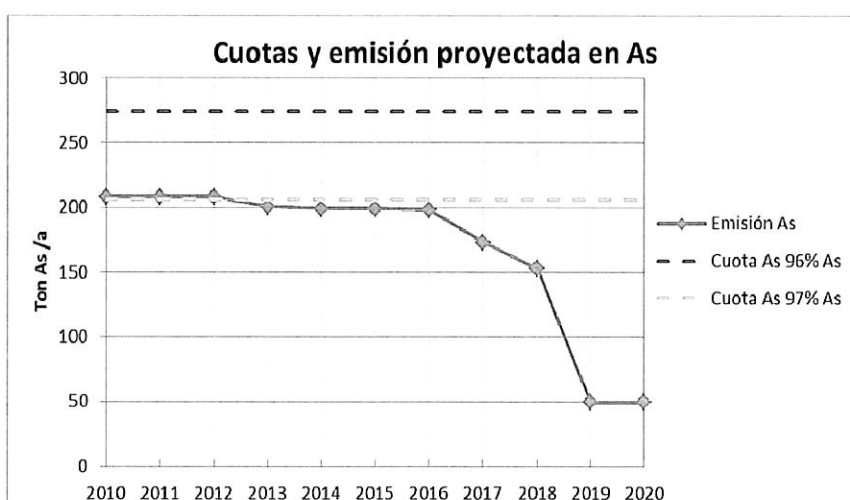
Gráfico 9.8.2.a Cuotas de Emisiones SO₂ Caletones por escenario

Gráfico 9.8.2.b Cuotas de Emisiones As Caletones por escenario



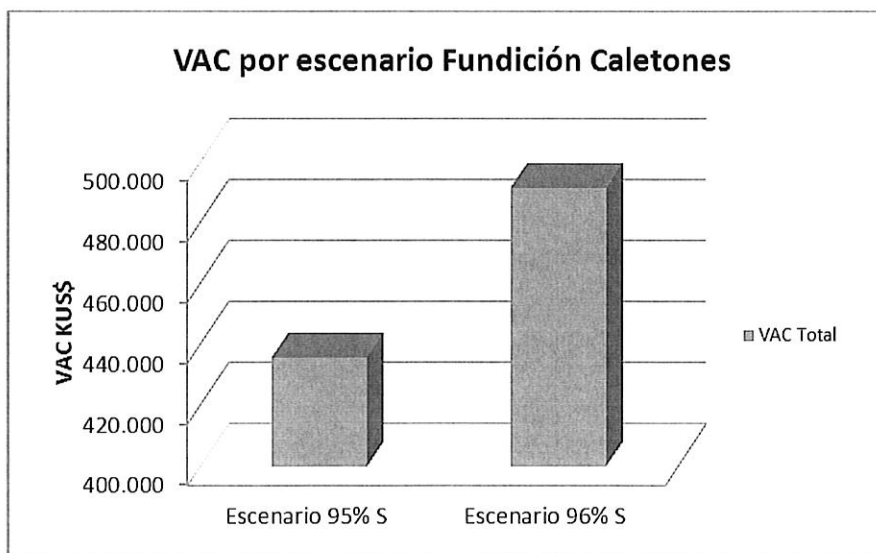
Fuente Gráficos 9.8.2 a y b: Elaboración propia.

9.8.3 Determinación de VAC y CAE

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

- Escenario de 95% Fijación SO₂ de un VAC de 435,9 MUS\$
- Escenario de 96% Fijación SO₂ de un VAC de 491,6 MUS\$

Gráfico 9.8.3.a Valor Actualizado de Costos soluciones medioambientales Caletones por escenario

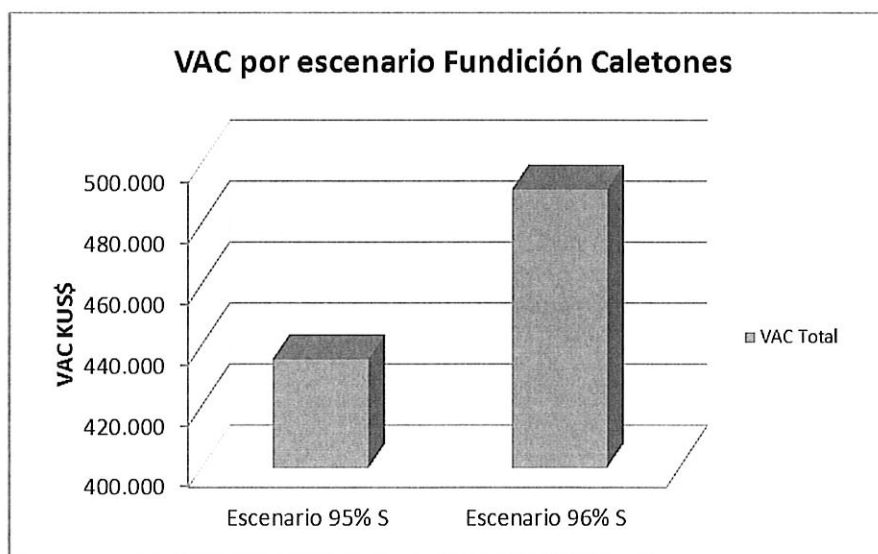


Fuente: Elaboración propia.

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

- Escenario de 95% Fijación SO_2 de un CAE de 34.099 kUS\$/a
- Escenario de 96% Fijación SO_2 de un CAE de 38.461 kUS\$/a

Gráfico 9.8.3.b Costo anual equivalente Soluciones medioambientales Caletones por escenario



Fuente: Elaboración propia.



9.8.4 Relación Costo /Efectividad para el control de Emisiones de SO₂.

Con los antecedentes entregados, para el cumplimiento de los escenarios de abatimiento de azufre proyectados, se requieren los siguientes recursos expresados como indicadores económicos y que llevan a los siguientes costos unitarios equivalentes por tonelada de SO₂ abatida promedio en el periodo:

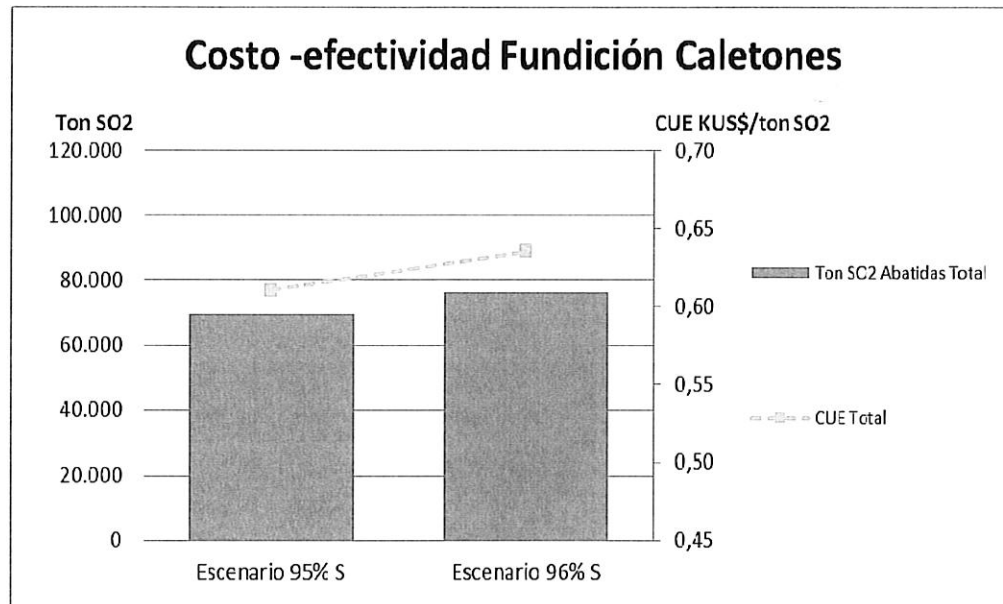
- **Escenario de 95% Fijación SO₂ de un CUE de 0,61 kUS\$/ t SO₂**
- **Escenario de 96% Fijación SO₂ de un CUE de 0,64 kUS\$/t SO₂**

Por el volumen de procesamiento de la instalación, los valores proyectados son de menor cuantía, que el de instalaciones de mayor nivel porcentual de abatimiento, en correspondencia con la parte inferior de la curva exponencial esperada de costo/nivel de abatimiento.

Tabla 9.8.4 indicadores económicos por escenarios Fundición Caletones

| ITEM | DESCRIPCIÓN | INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6% | | | |
|------------------------------|---|----------------------------------|----------------|---------------|------------|
| | | INVA | VAC | CAE | CUE |
| COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS | | KUS \$ | KUS \$ | KUS \$/a | KUS \$/Ton |
| 1 | Escenario Captura 95% S | | | | |
| 1.1 | Manejo Operacional | 0 | 0 | 0 | |
| 1.2 | Conexión CPS 4 | 30.257 | 30.369 | 2.376 | |
| 1.3 | Reemplazo campanas CT y nuevos VTI | 54.262 | 57.145 | 4.470 | |
| 1.4 | Reemplazo camapanas CPS | 46.298 | 46.312 | 3.623 | |
| 1.5 | Plantas de ácido doble absorción | 53.997 | 85.636 | 6.699 | |
| - | Producción de ácido sulfúrico | - | -15.956 | -1.248 | |
| 1.6 | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CT | 33.707 | 93.665 | 7.327 | |
| | Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS | 26.966 | 88.758 | 6.943 | |
| | Captación y tratamiento gases fugitivos de sangrías MB CT | 16.853 | 49.965 | 3.909 | |
| | Total Escenario Captura 95% S | 262.340 | 435.895 | 34.099 | 0,6 |
| 2 | Escenario Captura 96% S | | | | |
| 2.1 | Planta de flotación de escorias | 55.765 | 55.765 | 4.362 | |
| | Total Escenario Captura 96% S | 318.105 | 491.660 | 38.461 | 0,6 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9.8.4 Costo Unitario Equivalente por tonelada de SO₂ abatida Caletones

Fuente: Elaboración propia.

9.8.5 Proyección de futuro para la Fundición Caletones

Como antes se indicó, la perspectiva de cumplimiento de escenarios de mayor abatimiento de SO₂ en esta instalación, debe ir acorde a mejorar la captura de gases de los CT y CPS, incrementando en los primeros la continuidad del soplado y evitando todo giro para retorno o extracción de materiales, que indirectamente genera un aumento de nivel de fusión y captura. Para tal fin paralelamente también deberá generar opciones para el tratamiento sólido de las escorias de refinación y conversión o tratamiento alternativo de éstas.



Como propuesta de cambio estructural, la opción del procesamiento total o parcial hasta 50% del cobre hasta metal blanco granallado y el proveniente del soplado continuo de un CPS, permitirían integrar esta instalación de Codelco con el de la Fundición Ventanas, que con nueva tecnología de conversión y la Refinería Electrolítica dejaría de ser un centro de fusión, opción anteriormente estudiada, según datos bases del consultor.