



12. SOLUCIONES Y COSTOS MEDIOAMBIENTALES PARA FUNDICIÓN CHAGRES

12.1 General

- Alcance

El alcance del análisis considera los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y/o estimar costos de inversión y operación incrementales de la fundición Chagres, para enfrentar cada escenario regulatorio, indicando la factibilidad de cumplimiento y/o fiscalización, producto de estas inversiones. Evaluar cumplimiento de límites en chimenea dado que la fundición Chagres se encuentra cercana a un asentamiento poblacional.
- Realizar la evaluación con enfoque costo-eficiencia (US\$/t abatida).
- Evaluación de VAC y CAE diferencial por escenario (tasa de descuento social de 6%) y un horizonte de 25 años.

- Caso Base

Para los fines del presente estudio, el Ministerio de Medio Ambiente ha definido dejar invariante la capacidad nominal de procesamiento de concentrados para cada fundición registrada el año 2010, esto es, que la cantidad de concentrados que cada faena puede procesar se mantiene inalterada respecto del año base seleccionado.

El escenario base para fundición Chagres considera una capacidad nominal de fusión anual de 660 kt/año de concentrados de cobre.



12.2 Descripción General de la Fundición

La fundición de Chagres inició sus actividades a comienzos del siglo pasado y fue cerrada en los años 30. Posteriormente re-inició sus operaciones en los años 60 con un reverbero y tres convertidores Peirce Smith para producir cobre blister bajo la propiedad de la compañía francesa M.Du Zaita; luego de sucesivos traspasos el año 1978 pasa a ser propiedad de la compañía Exxon como parte de la Compañía Minera Disputada Las Condes.

El año 1991 inició un plan de expansión que finalizó el año 1995. Se instaló un horno Flash Outokumpu en reemplazo del horno reverbero, una planta de oxígeno Air Liquide, un horno de ánodos y una rueda de moldeo Outokumpu. Con Ello aumentó la capacidad de 45 kt/a de cobre a 118 kt/a. El proyecto también incluyó una planta de ácido de contacto simple, que dio como resultado una mayor fijación de azufre de alrededor de 90%.

En el año 1997 se convirtió la planta de ácido de simple a doble contacto, al mismo tiempo de reducir las emisiones aumentó la capacidad de producción a 130 kt/a de cobre. El año 2000 se convirtió un horno de retención en un segundo horno de ánodos, por un aumento en la producción de cobre a 147 kt/a.

El año 2002 la Compañía Minera Disputa Las Condes pasó a propiedad de Anglo American.

Posteriormente, el año 2004 la fundición se expandió a 160 kt/a de ánodos de cobre con modificaciones de la caldera recuperadora de calor, el sistema de limpieza de gases y modificaciones en la planta de ácido.

La fundición cuenta con dos precipitadores electrostáticos en el horno flash y un precipitador Fuller en los convertidores Peirce Smith.



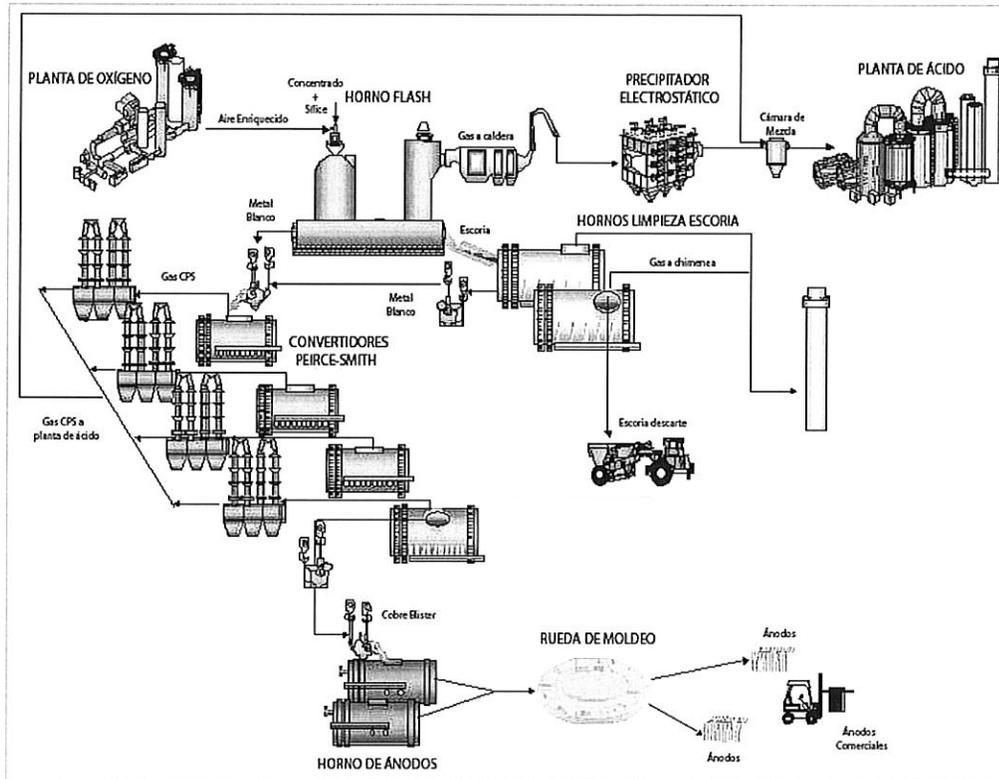
El paso siguiente a 184 kt/a de cobre se efectuó el 2005 con la instalación de un cuarto convertidor, por sobre los tres en operación de los años 60, con campanas primarias de diseño convencional.

12.2.1 Descripción de la Planta

La fundición está compuesta por los siguientes equipos principales:

Secado	: 4 silos de almacenamiento 1.700 t 2 secadores rotatorios a vapor (65 t/h cada uno)
Hornos de fusión	: 1 horno Flash OK (5,7 x 19,0 m x 3,3 m) con torre de reacción (4,2/4,6 m x 5,5 m)
Limpieza de escoria	: 2 hornos basculantes HLE (4,0 m x 7,9 m)
Convertidores	: 4 Peirce-Smith (3,0 m x 6,6 m)
Hornos de Ánodos	: 2 rotatorios (4,0 m x 7,0 m)
Planta de Moldeo	: 1 rueda de moldeo OK de 16 moldes (40 t/h)- ánodos 280 kg
Plantas de oxígeno	: 1 Air Liquide (380 t/d)
Plantas de Ácido	: 1 Lurgi/Fenco doble contacto (1.200 t/d)
Planta Vapor	: Recuperación de vapor del Horno Flash (caldera)

Figura 12.2.1 Diagrama de flujo de la Fundición Chagres



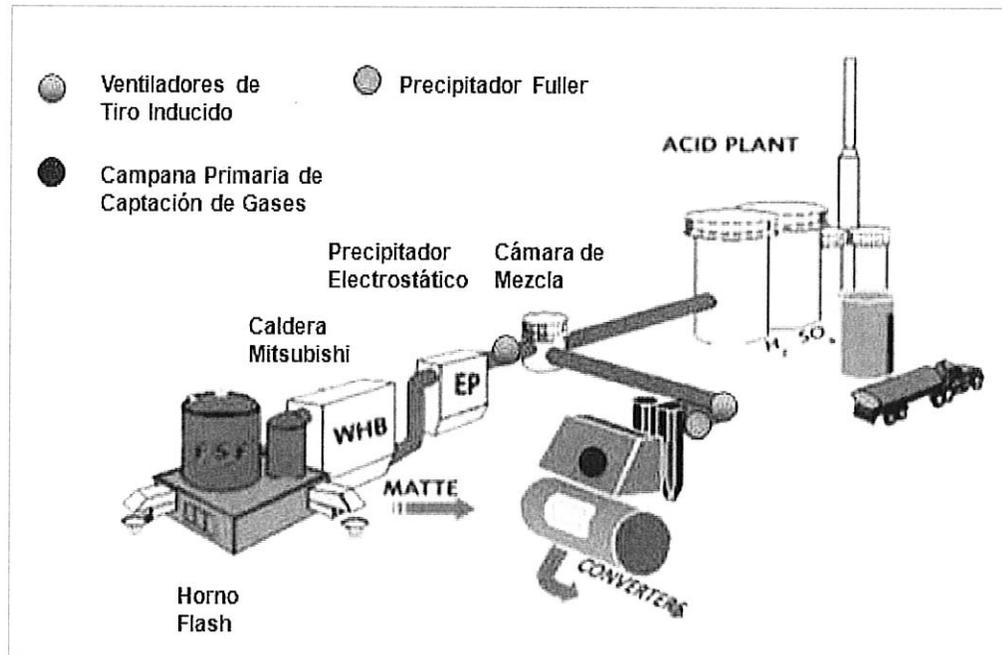
Fuente: Informe Final "Antecedentes Técnicos y económicos para elaborar una norma de emisión para Fundiciones de Cobre". Departamento de Ingeniería de Minas Universidad de Chile.

12.2.2 Descripción Sistema de Manejo y Limpieza de Gases

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

En la figura siguiente, se muestra el esquema operativo del sistema de captación, manejo y limpieza de gases de fundición Chagres.

Figura 12.2.2 Manejo y limpieza de gases Fundición Chagres



Fuente: Antecedentes entregados por el MMA-Chagres.

La instalación cuenta de un sistema de manejo de gases con líneas independientes dedicadas, para atender a las operaciones unitarias de fusión y conversión.

Los gases metalúrgicos provenientes de la fusión en horno flash son captados mediante la acción de los VTI. Estos gases son enfriados en una caldera recuperadora de calor y limpiados de sus polvos en precipitadores electrostáticos. Posteriormente son conducidos hacia la cámara de mezcla, antes de su ingreso a la planta de ácido.



Los gases de conversión en CPS, son también captados desde las campanas primarias mediante la acción de VTI independientes, enfriados en cámaras radiativas, limpiados en un precipitador y luego conducidos hasta la cámara de mezcla, donde son mezclados con los del horno flash y llevados hacia la planta de ácido sulfúrico.

12.3 Distribución de Emisiones Situación Base Mediano Plazo

12.3.1 Distribución de Emisión de Azufre y Arsénico

Considerando el criterio de distribución de emisiones por fuente, bajo el valor medio de fijación Azufre y Arsénico declarado versus el detallado en capítulo 4, la distribución estimada de emisiones y contenidos proyectados de azufre para el mediano plazo, permite visualizar las siguientes emisiones por fuentes.

Tabla 12.3.1 Emisiones de Azufre y Arsénico Fundición Chagres

Chagres	Med. Plazo	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	660.000
Ley Media S en concentrados (%)		29,37
Ley Media As en concentrados (%)		0,098

Emisión por Fuentes t/a Fundición Chagres	Base Med. Plazo	
	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario FSF	0	0
Fugitivo Sangría FSF Eje/Escoña	719	4
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	5.254	1
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d
Chimenea y sangrías HLE	239	23
Residual tratamiento PFE	n/d	n/d
Gases de cola PAS	884	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d
Refino HA	249	9
Otras fuentes	1.255	0,2
Ajustes	-137	-0,6
Total emisión t/a	8.464	37
Captura y Fijación ajustada con desviación \pm 0,07% S	95,6	94,3

Nota (n/d): No dispone.

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



La tabla 12.3.1 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.

Según lo indicado en la Tabla 12.3.1 la fijación de arsénico alcanza un nivel de 94,3%, inferior al valor obtenido con el azufre, debido a que la configuración de la fundición se concentra principalmente en el abatimiento de SO₂.

12.3.2 Emisión de Mercurio

No se dispone de antecedentes de caracterización de contenidos de mercurio en los concentrados de Chagres.

12.3.3 Emisión de material particulado

La fundición Chagres posee un FSF, en donde el material particulado es recuperado en su mayor parte en la caldera recuperadora de calor y en precipitadores electrostáticos. En los CPS el material particulado se recupera en el sistema de enfriamiento radiativo y en menor cantidad en el precipitador.

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

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



Chagres utiliza para el manejo de concentrado a fundir camiones encarpados cubiertos por una lona para evitar el arrastre por viento. Los camiones vacían su carga en una instalación techada y cerrada en tres de sus cuatro costados laterales. Luego el concentrado es transportado mediante una correa a un edificio cerrado, desde el actual se despacha los concentrados para consumo. En los puntos de cambio de dirección de las correas, existen sistemas de encapsulamiento (cubiertas o encierro) para evitar la generación y pérdida de partículas.

12.4 Limitaciones Medioambientales de la Arquitectura Tecnológica

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

La conversión del eje generado en el FSF se realiza en los CPS, que es un proceso discontinuo (proceso batch) con carguíos discretos y vaciados del material, que implican giros de los reactores. Además la boca de estos equipos con su campana de gases no tiene un sello perfecto y por lo tanto se generan emisiones de gases secundarios contaminantes en SO_2 , As y otros. Para contrarrestar esta situación, se dispone en los ductos de gases, de ventiladores de tiro inducido (VTI), que por la succión producen una presión negativa dentro de la campana, generando una infiltración de aire externo hacia el interior de ésta (se opera idealmente con infiltraciones del orden de 100% a 120%).



Pese a lo anterior, las mayores emisiones son generadas cuando los CPS están recibiendo materiales por boca, girando desde su posición de soplado, y por lo tanto, emitiendo los gases de proceso a la atmósfera. Por esta razón, operacionalmente debería reducirse el giro del CPS a lo estrictamente necesario, incorporar en lo posible un sistema regulador del flujo de aire en función del giro y realizar el agregado de carga fría, scrap y otros, a través de una compuerta lateral en la campana.

Otra fuente importante de emisión de SO_2 , es la que se produce en los gases de cola de la planta de ácido sulfúrico (PAS). Chagres posee una planta de doble absorción, la cual produce menor emisión respecto a una planta de simple absorción. Sin embargo por su cercanía a las poblaciones estos gases deberán ser tratados.

La fundición Chagres en el Horno Flash posee campanas colectoras locales en las sangrías de eje. Estos gases son filtrados antes de ser enviados a una chimenea.

Chagres posee dos hornos basculantes para limpieza de escoria, los cuales operan con petróleo 6 (Fuel oil) como reductor. En estos hornos no existe tratamiento de gases, solo existe campana para su captura y conducción a chimenea.

Para la limpieza de escorias, la fundición posee dos hornos basculantes, los cuales producen una fuente emisora de gases con material particulado, SO_2 , As e hidrocarburos incombustos. Si bien los gases son capturados en campanas, éstos finalmente son conducidos a una chimenea.



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

De la distribución de emisiones asumida, las fuentes más relevantes son los gases fugitivos de los CPS, provenientes de las campanas primarias y de los giros realizados al recibir la carga fría y el eje. Es por eso que como parte de las soluciones, se tomará en consideración la incorporación de campanas secundarias en los CPS y tratamiento alcalino de los gases capturados.

En segunda instancia, pero igualmente importante, se encuentran las emisiones generadas en los gases de cola de la planta de ácido de doble absorción. La chimenea de la planta de ácido deberá cumplir un límite de 400 mg/Nm³, por estar cerca de centros poblacionales, por lo que se considerará como parte de las soluciones a incorporar, un tratamiento alcalino de gases de cola. El costo de disposición del residuo sólido generado por esta solución se ha considerado en 300 US\$/t.

El consultor recomienda que la fundición estudie el proceso Cansolv, ya que la fundición genera vapor, el cual es requerido para el funcionamiento del proceso. El proceso Cansolv concentra los gases de cola provenientes de plantas de ácido, abatiendo el azufre con recuperación de ácido sulfúrico. El consultor a la fecha no dispone de antecedentes válidos de inversiones, eficiencias y costos de operación para incorporarlo en este análisis normativo, por lo cual ha considerado la solución de lavado alcalino tradicional con cal.

Desde el punto de vista de la emisión de arsénico, y dado que Chagres es una fundición cercana a poblaciones, se considerará cambiar el proceso existente de limpieza de escorias de piro-metalurgia por el de flotación, debido a que en la etapa de limpieza de escorias con HLE se produce una gran emisión de arsénico.



La flotación de escorias como solución de mejora, logrará principalmente un abatimiento de arsénico, y en menor proporción de azufre.

La fundición Chagres actualmente se encuentra estudiando esta solución de mejora, como parte del proyecto de mejoramiento. Las escorias serían tratadas por una empresa externa.

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

12.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

Los proyectos a implementar para incrementar el nivel de fijación de Azufre y Arsénico previstos por el Consultor, se indican a continuación:

- Adición de carga fría por campana a CPS

Para evitar las emisiones de gases de procesos en la operación de agregado de carga fría por boca a los CPS, se requiere de un sistema de agregado mecánico lateral, mediante una correa transportadora.

Se estima estar operativo el sistema en el 2014. La inversión se proyecta en 2,0 MUS\$ para el año 2013.

- Planta de Tratamiento de Gases de Cola

Para cumplir límites de emisión por chimeneas se hace necesario un tratamiento de los gases residuales de la planta de ácido (gases de cola), con los que se persigue alcanzar una concentración de SO_2 inferior a 400 mg/Nm^3 .



Se considera para el tratamiento de gases de cola, lavado alcalino. Los costos de inversión para una planta alcalina de tratamiento de gases residuales se estiman en 19,9 MUS\$ y los plazos requeridos para los estudios de ingeniería, adquisiciones, construcción, instalación y puesta en marcha son de aproximadamente 24 meses, estimándose en operación el 2015.

Para el cumplimiento de límites en chimenea además del tratamiento de gases de cola de PAS, se han incorporado inversiones de 3,0 MUS\$ para sistemas poscombustión en los 2 hornos de ánodos así como opacímetros de control de humos negros, y recursos equivalentes a 0,6 MUS\$ para infraestructura de monitoreo y control de límites, con un gasto operacional de 0,56 MUS\$/año.

- Captación y tratamiento de Gases Fugitivos CPS

Para la captación de los gases fugitivos de la boca se requiere instalar campanas secundarias en cada uno de los CPS, como las descritas en el capítulo 5, Soluciones Tecnológicas Generales para la Captura y Tratamiento de Gases Fugitivos y Secundarios.

Esta solución requiere que la nave posea una cierta altura, que le permita tener holgura, para poder incorporar la campana secundaria. La fundición Chagres actualmente esta estudiando esta solución de mejora y los estudios en desarrollo determinarán los espacios requeridos para esta medida.

Con la implementación de este proyecto, se estima que se obtendrá un mejoramiento en la captación y abatimiento de azufre respecto al alimentado de 0,8% S.

La inversión estimada de este proyecto es de 40,8 MUS\$, con un plazo de ejecución de 2 años, por lo que su operación se esperaría para comienzos del año 2016.



- Reemplazo Hornos de Limpieza de Escoria por Flotación de escorias

En la actualidad en Chagres existen dos Hornos basculantes de tratamiento de escorias, los cuales utilizan petróleo como reductor. En esta etapa se reduce la magnetita de las escorias y transcurrido un tiempo sedimentan fases en los hornos, extrayendo por boca la escoria final y el metal acumulado en el fondo. Luego se recarga el horno con nuevas ollas de escoria en un proceso semi-continuo.

La reducción de escorias es un proceso que requiere de un reductor inyectado por toberas, y el ser endotérmico genera gases de SO_2 , As y material particulado, los cuales son evacuados por chimenea.

Desde la perspectiva ambiental es recomendable la eliminación de esta fuente emisora de difícil control, remplazándola por la flotación de escorias que tiene menor emisión de estos contaminantes en la etapa de enfriamiento.

Bajo el objetivo de aumentar el abatimiento de arsénico y en menor proporción de azufre, el Consultor considerará incorporar para la Fundición Chagres el reemplazo de los Hornos de limpieza de Escoria, por el proceso de Flotación de Escorias, limitado por la disposición de relaves en su actual ubicación. Las escorias tienen que ser tratadas externamente, mejora que la fundición debe estudiar, permitiendo una fijación de arsénico de alrededor de 4% y para azufre de 0,6% según evaluación de esquemas operativos de fundición, desarrollado en el punto 3 de este informe.

Puesto que se considerará que la fundición traté sus escorias por flotación con una empresa externa, o propia en otra localización cercana, se asume solo el costo de inversión de la planta de flotación estimado en 60 MUS\$, más el costo asociado a manejo, enfriamiento de las escorias y pre-chancado



estimado en 4 MUS\$. Se considera un costo pre-inversional para estudios previos del 7% de la inversión.

Por otra parte los costos de operación y disposición del relave que implican llevar a cabo esta mejora, se estiman que deben compensarse con la reducción de costos por los HLE y las ganancias por recuperación de cobre.

Se entrega una sensibilidad de los indicadores al excluir la inversión de la planta de flotación, del plan de reducción de emisiones SO₂.

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

Tabla 12.5.1 Proyectos de Reducción Emisiones Fundición Chagres

Medidas de mejoramiento ambiental	Reducción emisión S %	Reducción emisión As %	Ton abatida SO ₂ t/a	Ton abatida As t/a
Fundición Chagres				
Escenario 96% S				
Adición de carga fría por campana CPS	0,3	-	968	-
Límites de chimenea				
Eliminación humos negros y opacímetro HA (Dos)	-	-	-	-
Infraestructura monitoreo control	-	-	-	-
Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm ³ /h	0,4	-	1.503	-
Escenario 97% S				
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	0,8	0,1	3.032	0,4
Flotación de escorias externa	0,6	3,9	2.365	25

Fuente: Elaboración propia.



12.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

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

Tabla 12.6.a Emisiones según Captura-Fijación de Azufre y Arsénico por escenario
Fundición Chagres

Chagres	Med. Plazo	
Alimentación concentrado t/año	Nominal	660.000
Ley Media S en concentrados (%)		29,37
Ley Media As en concentrados (%)		0,098

Emisión por Fuentes t/a Fundición Chagres	Base Med. Plazo		Escenario de 96% S		Escenario de 97% S	
	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario FSF	0	0	0	0	0	0
Fugitivo Sangría FSF Eje/Escoria	719	4	719	4	719	4
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	5.254	1	4.770	1		
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d	n/d	n/d	3.254	1
Chimenea y sangrías HLE	239	23	239	23		
Residual tratamiento PFE	n/d	n/d	n/d	n/d	13	0,1
Gases de cola PAS	884	0	133	0	133	0
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Refino HA	249	9	249	9	249	9
Otras fuentes	1.255	0,2	1.255	0,2	1.255	0,2
Ajustes	-137	-0,6	-137	-0,6	-1.093	-2,4
Total emisión t/a	8.464	37	7.228	37	4.529	12
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,07\%$ S	95,6	94,3	96,3	94,3	97,7	98,2
Toneladas abatidas (t/a)	-	-	1.235	0	2.699	25
Toneladas de ácido incremental (t/a)			0		0	

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

En la sección de ajustes de la tabla 12.6.a para el escenario de 97% 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.



Por encontrarse la Fundición Chagres, cercana a centros poblados, la autoridad ha proyectado también la exigencia del cumplimiento de límites en chimenea, que en base a las eficiencias de equipos proyectadas se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 12.6.b Tabla cumplimiento límites por chimenea Fundición Chagres

Cumplimiento Límites en Chimenea Fundición Chagres										
Fuente Generadora y Sistema de Tratamiento	Tecnología a Implementar	Volumen Nm ³ /hr	Conc. SO ₂ mg/Nm ³	Conc As mg/Nm ³	Efi trat %	Concentración proyectada mg/Nm ³				Observaciones
						400 SO ₂	0,5 As	0,07-0,1 Hg	50 MP	
Tratamiento gases de Cola PAS doble absorción	Lavado scrubber solución alcalina	123.000	1.713	-	85	257	-	-	-	Requiere disponer 4.060 t/a yeso
Captura y Tratamiento gases Fugitivos CPS	Campanas, VTI, Lavado alcalino 80% capt	210.000	2.020	0,7	85	303	0,1	-	0,1	Requiere disponer 8.200 t/a yeso impuro

Fuente: Elaboración propia.

12.6.1 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 12.6.1 Cronograma de cumplimiento de Escenarios

CRONOGRAMA DE CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION CHAGRES					
MEDIDA DE DESCONTAMINACION	AÑO				
	2013	2014	2015	2016	2017
Nivel de fijación de SO ₂ 95,6%		96,3%		97,7%	
Adición de craga fría por campana CPS	xxxxxxxxxxxx				
Tratamiento de gases de cola PAS		xxxxxxxxxxxx			
Captación y tratamiento Gases Fugitivos CPS		xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx		
Flotación de escorias externa			xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx	

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama, el escenario de 96% se cumpliría a partir del año 2015 y finalmente el escenario de 97% se cumpliría a partir del año 2017.

Aun cuando el nivel de fijación alcanzado en la fundición es de 97,7%, y el bajo rango de dispersión frente al inicial declarado, se sostiene una fijación no superior al 97%, con la implementación de las medidas planteadas, por las razones que se explican en el punto siguiente.

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

Es importante la realidad de una fundición en términos de que las operaciones unitarias deben operar a su máxima eficiencia en cada una de sus variables: parámetros operacionales de calidad de la carga, capacidad de procesamiento de ella, equipos de captura y manejo de gases metalúrgicos, planta de limpieza de gases y captura/limpieza de gases fugitivos como conjunto, para que la fundición cumpla un determinado nivel de captura y emisión de contaminante.



En la práctica, lo normal es que después de un tiempo, los equipos bajen su eficiencia o fallen. Consecuentemente como conjunto no se cumple el nivel de captura y emisión de contaminante. Lo anterior requiere reevaluar los sistemas de control con eficiencias promedio durante la campaña operacional.

12.6.3 Comentarios sobre Infraestructura, Espacios Disponibles e Interferencias

La fundición Chagres es un complejo industrial compacto, donde es difícil encontrar espacios para nuevas instalaciones, afortunadamente la fundición posee un FSF.

En la etapa de conversión, la fundición Chagres debe evaluar si el espacio es suficiente para instalar campanas secundarias.

Algunas interferencias menores podrían surgir con los tendidos de los ductos de gases fugitivos de campanas secundarias hacia la planta de lavado que debería ubicarse en un sector periférico. Su instalación y conexión puede efectuarse durante una mantención anual. Los gases residuales emitidos de la planta de tratamiento pueden ser evacuados en una de las chimeneas existentes.

Chagres tiene la ventaja de poseer una planta de ácido sulfúrico de doble absorción de 150.000 Nm³/h, a la cual se le ha considerado la solución de tratar los gases de cola mediante un lavado alcalino tradicional con cal. Pero la fundición puede estudiar el proceso Cansolv, que le permitiría una mayor producción de ácido y abatimiento de azufre. El proceso Cansolv requiere de un compuesto derivado de la amina y generación de vapor en su proceso. La fundición tiene la ventaja de generar vapor proveniente de la caldera, ya que recupera calor de los gases del FSF.

Las plantas de tratamiento para gases de cola de la planta de ácido y fugitivos de CPS, pueden requerir de espacios que deben ser evaluados por la fundición. Del



mismo modo el proyecto de flotación de escorias que requiere de espacios para el enfriamiento de las escorias.

12.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

12.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

A continuación se indican los montos de inversión por proyectos de la fundición Chagres, como consecuencia de la implementación de cada uno de los proyectos de mejoramiento ambiental, dirigidos a controlar el SO₂ y As para el cumplimiento de los tres escenarios en estudio.

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

- Escenario 96% fijación de S y límites de chimenea con 27,3 MUS\$
- Escenario 97% fijación de S y límites en chimenea con 136 MUS\$

Tabla 12.7.1.a Costos de capital por escenario y proyectos Fundación Chagres

COSTOS DE INVERSIÓN					
ITEM	DESCRIPCIÓN	Inversión Sub total	Costos PreInversionales	TOTAL	CRITERIO REEMPLAZO EQUIPOS
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS		KUS \$	KUS \$	KUS \$	
1	Escenario Captura 96% S				
1.1	Adición de carga fría por campana CPS	2.000	140	2.140	15 años
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Eliminación humos negros y opacímetro HA (Dos)	3.000	210	3.210	20 años
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	606	42	648	20 años
1.1.3	Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm ³ /h	19.890	1.392	21.283	20 años
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	23.496	1.645	25.141	
	Total Escenario Captura 96% S	25.496	1.785	27.281	
2	Escenario Captura 97% S				
2.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	37.672	2.637	40.309	20 años
2.2	Flotación de escorias externa	64.000	4.480	68.480	20 años
	Total Escenario Captura 97% S	127.168	8.902	136.070	

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de estas inversiones, y su reposición por término de vida útil, en un plazo de 25 años, han permitido al Consultor calcular la inversión actualizada INVA por escenario, utilizando una tasa de descuento de 6% anual y considerando como año cero, el 2011.

La tabla 12.7.1.b muestra la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.

Tabla 12.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición Chagres

COSTOS DE INVERSIÓN		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
ITEM	DESCRIPCIÓN	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS								
1	Escenario Captura 96% S							
1.1	Adición de carga fría por campana CPS	0	140	2.000	0	0	0	0
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea							
1.1.1	Eliminación humos negros y opacímetro HA (Dos)	0	0	210	3.000	0	0	0
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	0	0	42	606	0	0	0
1.1.3	Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm ³ /h	0	0	1.392	19.890	0	0	0
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	0	0	1.645	23.496	0	0	0
	Total Escenario Captura 96% S	0	140	3.645	23.496	0	0	0
2	Escenario Captura 97% S							
2.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	0	1.319	1.319	18.836	18.836	0	0
2.2	Flotación de escorias externa	0	2.240	2.240	0	32.000	32.000	0
	Total Escenario Captura 97% S	0	3.699	7.203	42.332	50.836	32.000	0

Elaboración propia.

12.7.2 Costos incrementales de operación

Los costos anuales incrementales de operación, determinados en 4,5 MUS\$/año para el escenario 96% y 10,2 MUS\$/año para el escenario de 97%, valor que para la flotación de escorias solo incluye los costos de operación para manejo y pre-chancado de las escorias. Se considera que los riles de la planta de lavado de gases son parcialmente usados para el enfriamiento final de las escorias.

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



Tabla 12.7.2 Costos incrementales de operación por escenario Fundición Chagres

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTOS DE OPERACIÓN INCREMENTALES					Tonelada Abatida (Ton/a)
		COSTO TOTAL INCREMENTAL ANUAL DE OPERACIÓN KUS \$/a	Costo Energía KUS \$/a	Costo Insumos y otros KUS \$/a	Costo Mantenición KUS \$/a	Costo disposición KUS \$/a	
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS							SO ₂
1	Escenario Captura 96% S	16	11	5	0	0	968
1.1	Adición de carga fría por campana CPS	16	11	5	0	-	968
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea						
1.1.1	Eliminación humos negros y opacimetro HA (Dos)	1.036	-	1.036	0	-	-
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	560	-	560	0	-	-
1.1.3	Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm ³ /h	2.848	540	545	545	1.218	1.503
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	4.444	540	2.141	545	1.218	1.503
	Total Escenario Captura 96% S	4.460	552	2.145	545	1.218	2.471
2	Escenario Captura 97% S						
2.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	5.244	923	930	930	2.460	3.032
2.2	Flotación de escorias (Enfriamiento)	500	-	500	-	-	2.365
	Total Escenario Captura 97% S	10.204	1.475	3.576	1.475	3.678	7.868

Elaboración propia.

12.7.3 Energía Eléctrica Incremental y agua adicional requerida

La instalación de nuevos equipos generará requerimiento de energía y agua industrial, aunque éstos puedan incorporar mejoras de eficiencia energética. Los sistemas de manejo de gases representan una fracción importante de consumo y costo de las fundiciones.

Sin embargo los nuevos sistemas incorporados para el control de emisiones implicarán un aumento en el consumo energético del orden de 6,5 GWH/a para el escenario de 96% y de 17,4 GWH/a para el escenario 97%. De igual modo habrá un incremento del consumo de agua industrial de reposición, según se indica en tabla siguiente:

Tabla 12.7.3 Consumo incremental de energía y agua industrial

Medidas de mejoramiento ambiental	Puesta en operación	Consumo incremental Energía	Consumo incremental de agua
Fundición Chagres	Año	MW/h/a	m3/a
Escenario 96% S			
Adición de carga fría por campana CPS	2014	100	-
Límites de chimenea			
Eliminación humos negros y opacímetro HA (Dos)	2015	1.490	-
Infraestructura monitoreo control	2015	-	-
Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm3/h	2015	6.396	1.845
Consumo MWh/a		6.496	
Escenario 97% S			
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	2016	10.920	3.600
Flotación de escorias	2016	-	-
Consumo MWh/a		17.416	

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

Elaboración propia.

En el proyecto de flotación de escorias no se consideran incrementos de consumo de energía y agua, debido a que esta solución se externalizará.

Los gráficos 12.7.3.a y 12.7.3.b, muestran el consumo incremental de energía y agua industrial para cada escenario, y los correspondientes a proyectos por límites de chimenea.

En el escenario de 96% S, los proyectos de mayor consumo de energía y de agua industrial corresponden a límites por chimenea.

Gráfico 12.7.3a Incremento Energía Eléctrica

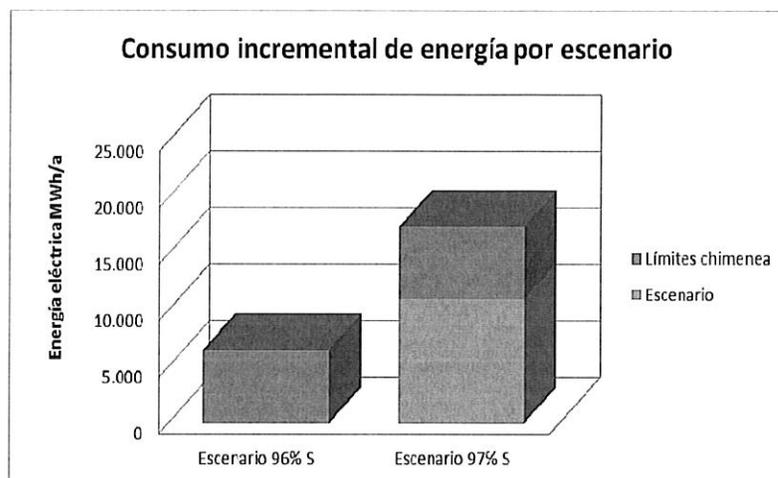
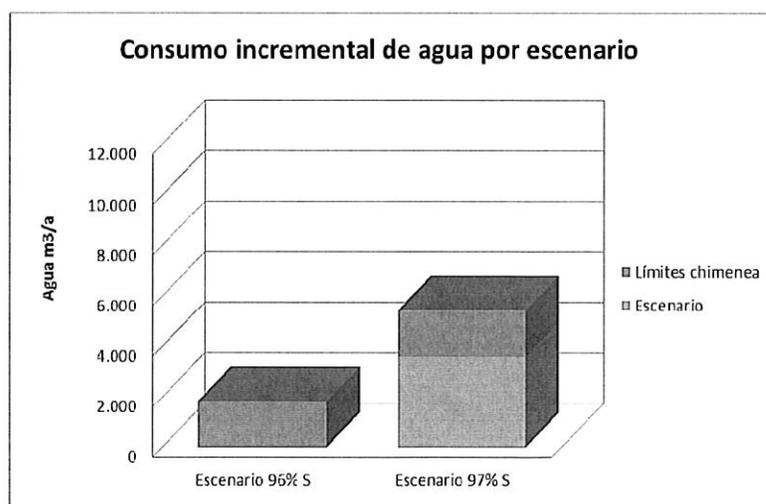


Gráfico 12.7.3 b Incremento Consumo Agua industrial



Fuente Gráficos 12.7.3 a y b: Elaboración propia.



12.8 Resultados Técnico/Económicos de Cumplimiento de Escenarios Regulatorios

En cumplimiento a los objetivos de este estudio, se han indicado las soluciones medio ambientales posibles de incorporar en la Fundición Chagres en el mediano plazo, que le permitirían reducir emisiones de azufre y arsénico, con niveles de captura y fijación de 96 y 97% en azufre y superiores en arsénico.

Lo anterior, junto a las estimaciones de costos de inversión y operación incrementales permiten evaluar el valor presente (VAC) de dichas medidas, la determinación del Costo anual equivalente (CAE) como una medida comparativa a la razón costo efectividad, determinando el costo unitario por tonelada de SO₂ abatida (CUE).

12.8.1 Reducción de Emisiones de SO₂ y As por escenarios

La reducción proyectada de emisiones de SO₂ y As por fuentes, para la Fundición Chagres se muestra en los gráficos 12.8.1 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 ajuste por circuito de flotación de escorias.



Gráfico 12.8.1.a Emisiones Chagres de SO₂ por escenario

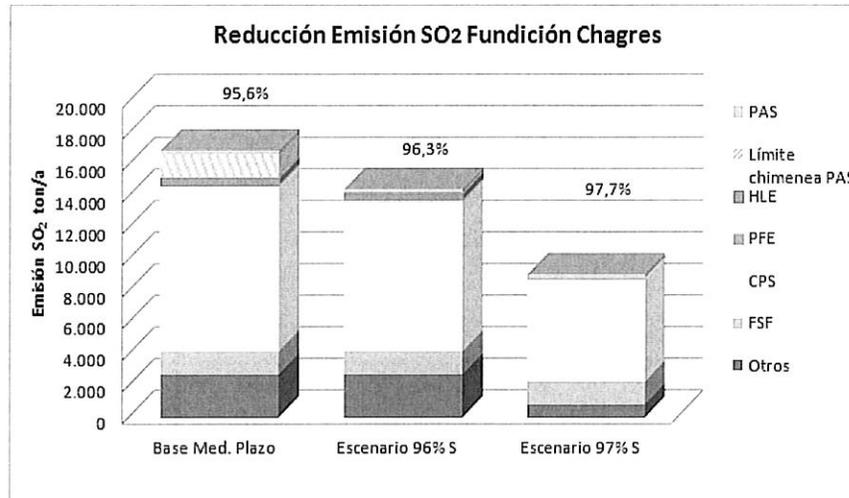
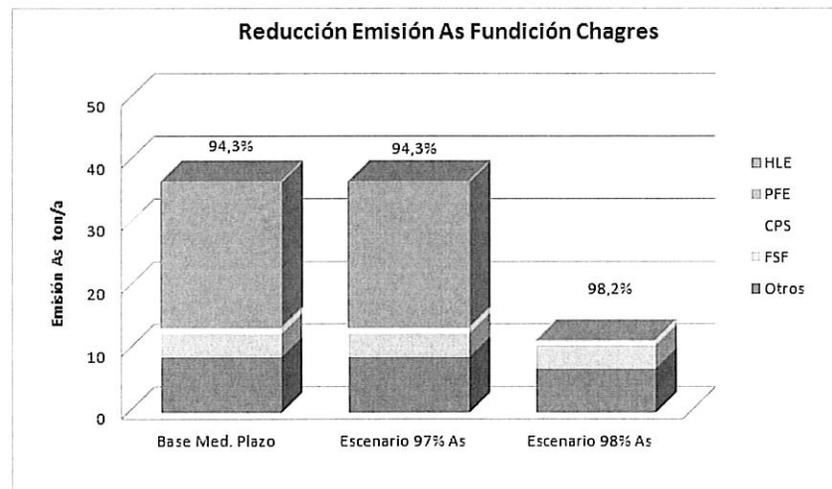


Gráfico 12.8.1.b Emisiones Chagres de Arsénico por escenario

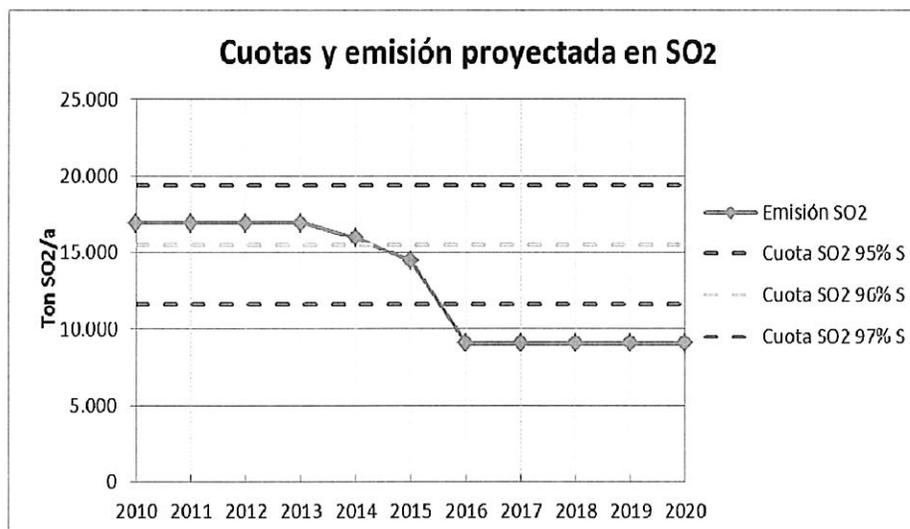


Fuente Gráficos 12.8.1 a y b: Elaboración propia.

12.8.2 Cumplimiento de cuotas con emisiones proyectadas S y As

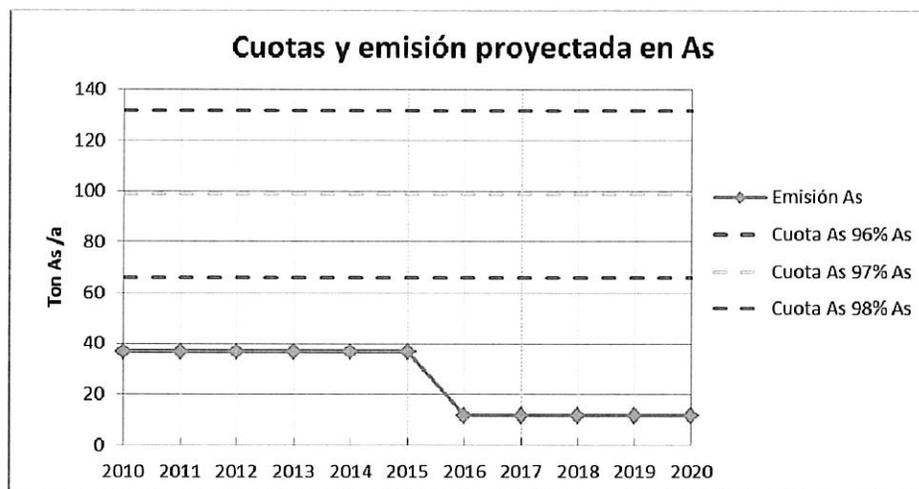
Las figuras siguientes muestran que de acuerdo a la planificación planteada, a partir del año 2016 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO₂ y As proyectadas por la autoridad para la Fundición Chagres.

Gráfico 12.8.2.a Cuotas de Emisiones SO₂ Chagres por escenario



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12.8.2.b Cuotas de Emisiones As Chagres por escenario



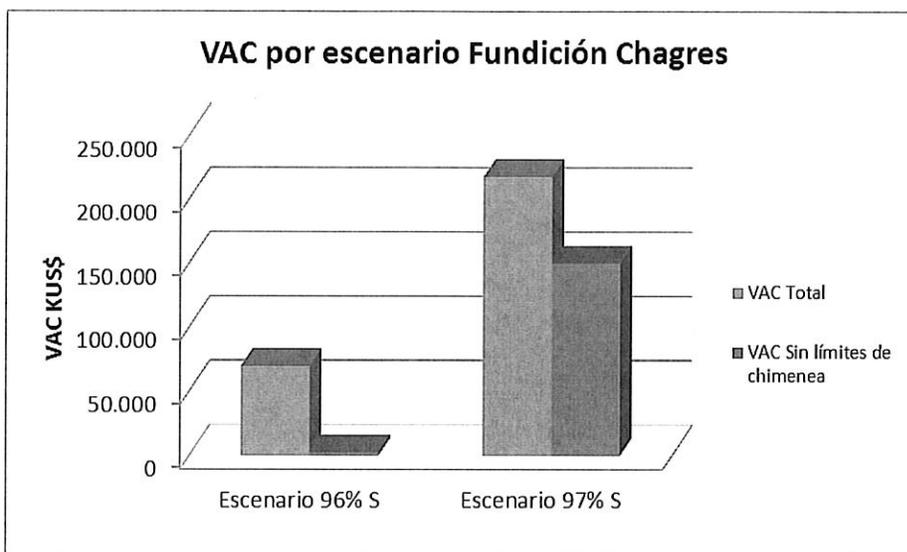
Fuente: Elaboración propia.

12.8.3 Determinación de VAC y CAE

La determinación en un período de 25 años del valor actualizado de costos (VAC) para la Fundición Chagres, considera una tasa social de descuento de 6%. Para lograr el cumplimiento de los escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, se obtienen los siguientes VAC, valorizados como escenarios acumulativos:

- Escenario de 96% Fijación SO_2 VAC total de 69,8 MUS\$, de los cuales 67,2 MUS\$ corresponden a soluciones para el control de límites en chimenea.
- Escenario de 97% Fijación SO_2 VAC de 217,2 MUS\$ de los cuales 67,2 MUS\$ se mantienen por soluciones para el control de límites en chimenea.

Gráfico 12.8.3.a Valor Actualizado de Costos soluciones medioambientales
Chagres por escenario

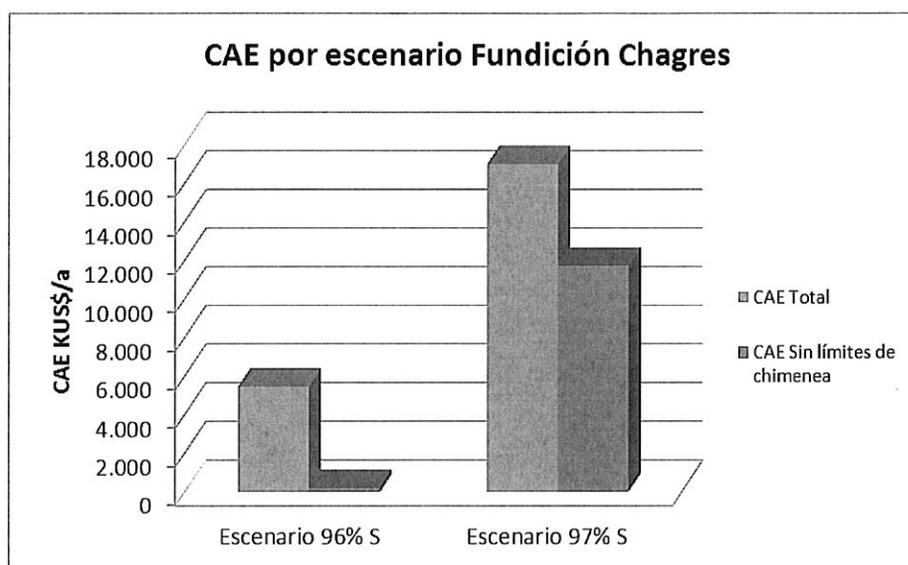


Fuente: Elaboración propia.

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

- Escenario de 96% Fijación SO_2 de un CAE de 5.466 kUS\$/a
- Escenario de 97% Fijación SO_2 de un CAE de 16.992 kUS\$/a

Gráfico 12.8.3.b Costo anual equivalente Soluciones medioambientales Chagres por escenario



Fuente: Elaboración propia.

12.8.4 Relación Costo /Efectividad para el control de Emisiones de SO₂

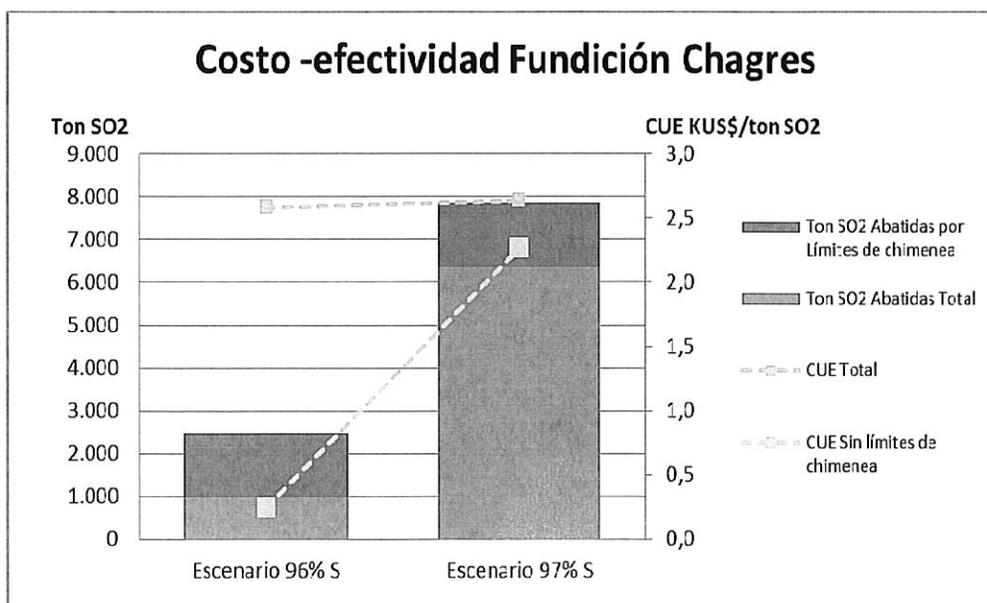
Con los antecedentes entregados, para el cumplimiento de los escenarios de abatimiento de azufre proyectados, se requieren los siguientes recursos expresados como indicadores económicos y que llevan a los siguientes costos unitarios equivalentes por tonelada de SO₂ abatida promedio en el periodo:

- **Escenario de 96% Fijación SO₂ CUE de 2,6 kUS\$/ t SO₂**
- **Escenario de 97% Fijación SO₂ CUE de 2,64 kUS\$/t SO₂**

Tabla 12.8.4 indicadores económicos por escenarios Fundición Chagres

ITEM	DESCRIPCIÓN	INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6%			
		INVA	VAC	CAE	CUE
	COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS	KUS \$	KUS \$	KUS \$/a	KUS \$/Ton
1	Escenario Captura 96% S	2.505	2.667	209	0,2
1.1	Adición de carga fría por campana CPS	2.505	2.667	209	
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Eliminación humos negros y opacímetro HA (Dos)	3.294	12.946	1.013	
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	665	5.883	460	
1.1.3	Tratamiento gases de cola PAS 123.000 Nm ³ /h	21.837	48.378	3.784	
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	25.795	67.207	5.257	4,2
	Total Escenario Captura 96% S	28.300	69.874	5.466	2,6
2	Escenario Captura 97% S				
2.1	Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	40.317	85.259	6.670	
2.2	Flotación de escorias externa	57.801	62.087	4.857	
	Total Escenario Captura 97% S	126.418	217.220	16.992	2,6

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12.8.4 Costo Unitario Equivalente por tonelada de SO₂ abatida Chagres

Fuente: Elaboración propia.



El escenario 96%, considera solo algunos proyectos para el cumplimiento de límites en chimeneas, sin abatimiento significativo de SO₂, incorporando soluciones para el control de humos negros en los hornos de ánodos, e infraestructura para monitoreo y control de emisiones por chimeneas, (estimación del 1% de la inversión relativa a medidas de control de límites y de nuevas plantas de abatimiento con descarga final de gases por chimeneas).

12.8.5 Proyección de futuro para la Fundición Chagres

Los gases fugitivos provenientes de giros y de boca de los CPS es la fuente de emisión más significativa en esta instalación, ya que Chagres es una fundición cercana a centros poblados, el consultor recomienda revisar y optimizar los equipos de conversión, campanas de gases primarios y control de tiraje para maximizar el tratamiento hasta ácido sulfúrico.

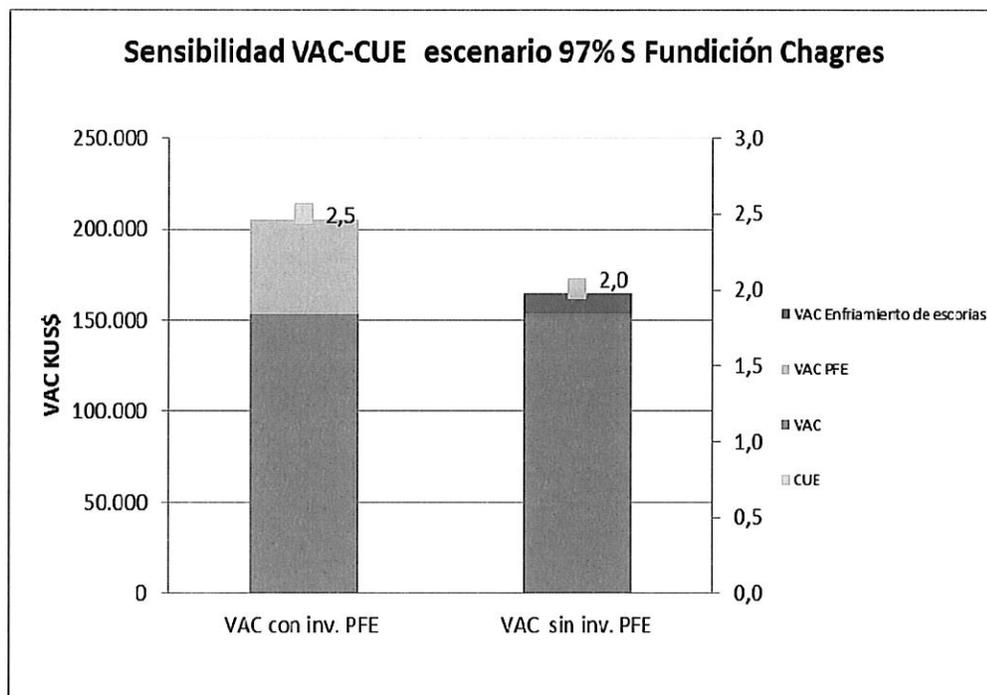
Respecto a los gases de cola provenientes de la planta de ácido, se debe estudiar el proceso Cansolv, que de ser factible permitiría un mayor abatimiento de azufre y producción de ácido.

12.8.6 Sensibilidad de situación Fundición Chagres en relación a la inversión de la planta de flotación

Se entrega una sensibilidad para valorizar los indicadores al excluir la inversión de la planta de flotación de escorias del plan de reducción de emisiones SO₂, considerando solo los costos de inversión que implican el manejo, enfriamiento y pre-chancado de las escorias.

Bajo tal condición el valor actualizado de costos total alcanzaría a 164,9 MUS\$, frente al valor actualizado que incluye la planta de flotación de escorias de 205,2 MUS\$.

Gráfico 12.8.6.a Costo para alcanzar escenario 97% S Fundición Chagres



Fuente: Elaboración propia.