

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL EN METALURGIA EXTRACTIVA

**“REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE  
AZUFRE: PROPUESTA DE GIRO A CARGA  
FRÍA PARA CONVERTIDOR PEIRCE-SMITH  
N°1 – FUNDICIÓN ALTONORTE”**

**Guillermo Enrique Bahamondes Jeraldo**

Profesor Guía:  
Álvaro Aracena Caipa

**2016**

*“Sin mis padres, yo no sería lo que hoy soy”*

## RESUMEN

Durante el segundo semestre del año 2014 y el primer semestre del año 2015 se tuvo un promedio de 22 incidentes medioambientales reportables por mes, en las estaciones de monitoreo de SO<sub>2</sub> ubicadas en Miljo reactor y Miljo CPS. Dentro de las principales causas que provocaban estos incidentes estaba la maniobra giro a carga fría, que consiste en sacar el convertidor de posición de soplado y llevarlo a posición de carga para la adición de carga fría. Esta maniobra deja expuesta la boca del convertidor distribuyendo los gases entre capturados por sistema secundario y el ambiente, mostrando ineficiencia de los sistemas actuales y mal manejo por parte de los operadores. Por este motivo resulta de importancia, estandarizar e instruir metodologías de trabajo a los operadores y optimizar el funcionamiento del sistema, para así reducir las emisiones y mejorar la captura de gases fugitivos. En esta memoria se trata parte de esta problemática enfocándonos principalmente en los giros a carga fría, para la cual se generó una propuesta de metodología de giro que permite disminuir las emisiones de dióxido de azufre cuando se efectúa esta maniobra. Esta metodología consiste en ajustar el flujo previo a la adición de carga fría para así evitar que cuando el convertidor salga de la línea de extracción de gases bajo la campana primaria, emita una menor cantidad de gases. Al comenzar el giro y salir de la línea de extracción existe un ángulo de giro en el cual las toberas ubicadas en la parte inferior del convertidor salen del baño fundido y quedan expuestas al aire, es ahí donde esta metodología pretende cortar el aire de soplado y evitar que siga reaccionando el oxígeno con el azufre en el baño fundido. Para volver al soplado del convertidor después de haber agregado la carga fría, se ajusta el flujo a 600 Nm<sup>3</sup>/min pero siempre cuidando que la presión en la línea de toberas sea sobre 6 Psi manométricos, de lo contrario se debe aumentar más el flujo, luego de esto se puede iniciar el giro para volver a la posición de soplado. Se estima que esta metodología reduce en un 37% las emisiones de gases principalmente SO<sub>2</sub>, además de mejorar el aspecto visual de la nave de fundición. También se presentan 3 sistemas de implementación para esta metodología, estos son manual, semiautomático y automático, obteniéndose mayores beneficios con esta última implementación (automático), dado que optimiza mejor el tiempo de operación de la metodología. Por

otro lado, este proyecto permite mejorar y aumentar en un 0,125% la producción de ácido sulfúrico debido al aumento en la captura de gases ricos en  $\text{SO}_2$ . El análisis económico se enfocó en la oportunidad de tratar el azufre que no se emitió al ambiente debido a que se ajustó el flujo y este pudo ser tratado en las Plantas de ácido. El análisis entregó un cálculo de una recuperación de US\$ 4091 mensuales, un VAN de US\$ 357 y un TIR de 15,58% para el sistema automático y semiautomático, para el sistema manual arrojó un VAN US\$ 11686 y un TIR 68,68 %. La propuesta de implementación automática y semiautomática permite recuperar la inversión de US\$16069 en un periodo aproximado de 5 meses, en cambio la propuesta manual permite recuperar la inversión de US\$ 4740 en un periodo de dos meses, la recuperación de la inversión es rápida dado que es una inversión de bajo costo. Se recomienda usar el sistema automático dado que otorga mejores beneficios técnicos con respecto a la disminución en las emisiones de gases, que es por lo cual nace este proyecto.

# INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN EMPRESA</b> .....	3
<b>2.1 RESEÑA HISTÓRICA</b> .....	3
<b>2.3 DESCRIPCIÓN PROCESO PRODUCTIVO</b> <sup>[2]</sup> .....	5
2.3.1 Conversión .....	6
2.3.2 Manejo de gases .....	7
<b>2.4 EQUIPOS INVOLUCRADOS</b> .....	8
2.4.1 Descripción de Convertidores Peirce-Smith.....	8
2.4.2 Convertidor Peirce Smith N°1 .....	8
<b>CAPÍTULO III: PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE MEJORA</b> .....	10
<b>3.1 PROBLEMÁTICA</b> .....	10
<b>3.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES</b> .....	12
3.2.1 Estimación emisión de SO <sub>2</sub> por agregado carga fría en CPS´s.....	12
<b>3.3 ANTECEDENTES SISTEMA AJUSTE DE AIRE DE SOPLADO</b> .....	14
<b>3.4 FUNCIONAMIENTO SISTEMA AJUSTE DE AIRE DE SOPLADO</b> .....	14
<b>3.5 LIMPIEZA DE TOBERAS</b> .....	16
<b>CAPÍTULO IV: TRABAJO EXPERIMENTAL</b> .....	17

<b>4.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA CPS´S A LA PREPARACIÓN DE GIROS</b> .....	17
4.1.1 Flujo de soplado .....	17
4.1.2 Presión línea de toberas .....	19
4.1.3 Válvula de ajuste de caudal de aire de soplado .....	20
<b>4.2 RESULTADOS INICIALES</b> .....	22
4.2.1 Determinación del ángulo de cambio de fase en toberas .....	22
<b>4.3 PRUEBAS DE AJUSTE DE FLUJO DE AIRE DE SOPLADO EN EL CPS N°1 PARA EL ROLLING-OUT.</b> .....	27
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	30
<b>5.1 FLUJO DE SOPLADO</b> .....	30
<b>5.2 PRESIÓN LÍNEA DE TOBERAS</b> .....	30
<b>5.3 APERTURA DE LA VÁLVULA</b> .....	31
<b>5.4 ÁNGULO SUMERSIÓN LÍNEA DE TOBERAS.</b> .....	32
<b>5.5 METODOLOGÍA DE OPERACIÓN PARA SISTEMA CONTROL DE FLUJO EN CPS N°1</b> .....	33
<b>5.6 PRUEBAS DE AJUSTE DE FLUJO DE AIRE DE SOPLADO EN ROLLING-OUT DEL CONVERTIDOR N°1.</b> .....	35
<b>5.7 CÁLCULO REDUCCIÓN DE EMISIONES EN ROLLING-OUT PARA CPS N°1 POR DÍA.</b> .....	36
<b>5.8 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN</b> .....	37
5.8.1 Metodología de ajuste de flujo de soplado de aire para el rolling-out.....	38
5.8.2 Metodología de ajuste de flujo de soplado de aire para el rolling-in. ....	41

5.8.3 Propuesta implementación “sistema de ajuste de flujo de aire soplado para CPS N°1” .....	43
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	51
<b>6.1 INGRESOS POR TRATAMIENTO DE GASES SO<sub>2</sub></b> .....	51
<b>6.2 CAPITAL TOTAL DE INVERSIÓN</b> .....	53
6.2.1 Capital total inversión para sistema automático y semiautomático .....	53
6.2.2 Capital total inversión para sistema manual .....	53
<b>6.3 FLUJO DE CAJA</b> .....	54
6.3.1 Flujo de caja para sistema automático y semiautomático .....	54
6.3.2 Flujo de caja para sistema manual .....	55
<b>CAPÍTULO VII CONCLUSIONES</b> .....	57
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	60
<b>ANEXOS</b> .....	61
<b>Anexo A Instalación de recopia de señal para válvula FV 4510</b> .....	61
A-1 Descripción Técnica .....	61
A-2 Cotización empresa Zurich-Chile instrumentación recopia de señal. ....	63
<b>Anexo B</b> .....	64
B-1 Metodología de cálculo para estimación extra producción ácido sulfúrico por concepto de sistema de ajuste de flujo de aire de soplado en CPS N°1 .....	64
<b>Anexo C: Datos operacionales y resultados pruebas</b> .....	65
C-1 Protocolo de pruebas para ajuste de flujo de aire de soplado CPS N°1 .....	65
C-2 Histograma comportamiento de flujo de operación CPS N°1 .....	66
C-3 Histograma comportamiento presión línea de toberas de operación CPS N°167	

C-4 Gráfica de predicción de flujo para CPS N°1 .....	68
C-6 Datos operacionales extraídos de planilla “Datos operacionales CPS” perteneiente a Altonorte.....	69
<b>Anexo D</b> .....	70
D-1 Decreto 28: Establece norma de emisión para las fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsenico. ....	70
<b>Glosario</b> .....	81

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imagen satelital de la ubicación de la empresa .....	4
Figura 2 Imagen Aérea Complejo Metalúrgico Altonorte S.A.....	5
Figura 3 Diagrama de Proceso y equipos, Conversión. ....	7
Figura 4 Diagrama de proceso y equipo sistema de manejo de gases.....	7
Figura 5 Convertidor Peirce Smith N°1 Fundición Altonorte .....	9
Figura 6 Gráfico pareto etapa incidentes reportables 2015 .....	11
Figura 7 Gráfico fuentes del incidente medioambiental .....	12
Figura 8 Esquema de funcionamiento sistema de ajuste de flujo de aire de soplado. .....	15
Figura 9-A Convertidor N°1 en posición de soplado .....	18
Figura 9-B Convertidor en posición de carga.....	18
Figura 10 Comportamiento flujo soplado de aire versus apertura de válvula FV 4510 .....	21
Figura 11 Control de flujo de válvula según apertura.....	22
Figura 12 Sección convertidor Peirce-Smith, donde $\alpha$ es el ángulo de salida de las toberas del baño fundido.....	23
Figura 13 radio convertidor Peirce Smith .....	24
Figura 14 Volumen ocupado por el baño fundido.....	24
Figura 15 Determinación catetos triángulo rectángulo formado por el ángulo sumersión de toberas.....	25
Figura 16 Ángulo de sumersión de toberas .....	26
Figura 17 Pantalla de control sección convertidores.....	29
Figura 18 Regresión para flujo de aire de sopado con respecto a la apertura de válvula.....	32
Figura 20 Prueba de ajuste de flujo de aire de soplado en el CPS N°1 .....	35
Figura 21 Metodología de control rolling-out.....	40
Figura 22 Metodología de control rolling-out.....	42
Figura 23 Histograma comportamiento flujo de operación.....	66

Figura 24 Histograma comportamiento presión línea toberas de operación CPS N°1 .....	67
Figura 25 Gráfica de predicción de flujo para CPS N°1 .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Características físicas usada .....	8
Tabla II. Dimensiones del Convertidor Peirce Smith N°1 Fundición Altonorte .....	9
Tabla III. Estadísticas de flujo de operación CPS N°1 .....	20
Tabla IV. Estadísticas de presiones de operación CPS N°1 .....	20
Tabla V. Resumen de parámetros críticos de operación para CPS N°1 .....	34
Tabla VI. Comparación propuestas de implementación sistema de ajuste de flujo de soplado de aire a CPS N°1 para adición de carga fría.....	49
Tabla VII. Producción planta de ácido N°1.....	52
Tabla VIII. Costos sistema automático y semiautomático .....	53
Tabla IX. Costos sistema manual.....	53
Tabla X. Flujo de caja para sistema automático y semiautomático.....	54
Tabla XI. Flujo de caja para sistema manual .....	55
Tabla XII. Datos operacionales de los convertidores Fundición Altonorte .....	69

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La industria de la fundición de cobre debe cumplir con normativas de emisiones de gases de SO<sub>2</sub> para su funcionamiento y no arriesgarse a multas ni al cierre de sus operaciones.

Mediante Decreto Supremo N° 28 del Ministerio del Medio Ambiente, publicado con fecha 12 de diciembre de 2013 en el Diario Oficial [1], entró en vigencia la nueva Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico, que establece distintas exigencias para las fuentes emisoras existentes y nuevas (Ver Anexo D-1). La normativa establece un límite máximo de emisiones de Dióxido de Azufre y Arsénico para las fundiciones existentes que contempla un 95% de captura y fijación de las emisiones, y se establece un plazo máximo de cinco años para su cumplimiento. Por otra parte, fuentes emisoras nuevas, deberán cumplir con un estándar más exigente, que equivale a una captura del 98% de estos elementos.

El día miércoles 22 de julio, la Comisión de Minería del Senado presentó al Gobierno un informe sobre la problemática que enfrentan las fundiciones de cobre en el país. El referido informe plantea postergar la norma de emisiones que exige a las fundiciones una captura de 95% en 2018, y en contrapartida aumentar la exigencia de captura por sobre 98%, pero en época posterior. Adicionalmente, propone que por el momento sólo se realicen adecuaciones en instalaciones que han quedado tecnológicamente desfasadas.

En Altonorte existe un sistema de monitoreo de las emisiones de SO<sub>2</sub> que cuenta con tres puntos de medición, esta mide la concentración de SO<sub>2</sub> y se reportan como incidentes medioambientales cuando se supera las 10 ppm por más de 3 minutos. Dentro de las principales causas de estos incidentes medioambientales esta la adición de carga fría a los convertidores Peirce-Smith.

En base a lo anterior, la presente memoria se enfocará en el área de manejo de gases, principalmente en las emisiones de gases de  $\text{SO}_2$  en el área de conversión cuando se adiciona de carga fría al convertidor Peirce Smith N°1. Así, se debería disminuir las emisiones de  $\text{SO}_2$  que se generan cuando el convertidor gira y sale de posición de soplado a posición de carga y viceversa, es aquí cuando la boca del convertidor queda expuesta y no tiene extracción de gases dado que no se encuentra bajo campana.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

- Propuesta técnica de disminución de SO<sub>2</sub> mediante la implementación de sistema de ajuste de flujo de aire de soplado para convertidor Peirce Smith N°1 de la fundición Altonorte.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinación de parámetros críticos de operación para operar el sistema de flujo de aire de soplado en convertidor Peirce Smith N°1
- Generación de metodología de giro a carga fría para convertidor Peirce Smith N°1
- Propuestas de implementación para convertidor Peirce Smith N°1
- Análisis económico para propuesta

## **CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN EMPRESA**

En este capítulo se presentará una breve descripción de la empresa Complejo Metalúrgico Altonorte S.A, ubicación y su proceso productivo.

### **2.1 RESEÑA HISTÓRICA**

En Agosto de 1993, el primer equipo de trabajo logra moldear la primera barra de cobre blíster en la recién terminada fundición de concentrados de cobre. A partir de ahí es que se comienza a construir con ingeniería chilena la séptima fundición de concentrados de cobre del país. Dando paso a sucesivas fases de expansión, en 1997 se amplía la capacidad de tratamiento de concentrados de cobre a cuatrocientas mil toneladas por año y en 1998 la empresa canadiense Noranda adquiere el 100% de Altonorte. Más tarde, Noranda y Falconbridge se fusionan, adoptándose este último nombre de la compañía y en 2006 la suiza empresa Xstrata adquiere Falconbridge. En 2013 la también suiza Glencore se fusiona con Xstrata y

adoptan el nombre Glencore, Actual propietario de Altonorte. El complejo Metalúrgico produce y comercializa ánodos de cobre, ácido sulfúrico y cobre en solución (PLS).

## 2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Complejo Metalúrgico Altonorte se ubica en el sector Industrial La Negra, en el kilómetro 1348, a 25 km de al sur de la ciudad de Antofagasta (Fig. 1). En la Fig. 2 se puede observar una imagen aérea del recinto.



Figura 1 Imagen satelital de la ubicación de la empresa



## 2.3 DESCRIPCIÓN PROCESO PRODUCTIVO <sup>[2]</sup>

La compañía se divide en las siguientes áreas:

- Recepción, pesaje y almacenamiento de materias primas.
- Fusión y secado
- Conversión, refinado y moldeo
- Manejo de gases
- Plantas de ácido
- Planta de escorias
- Planta de polvo
- Laboratorio químico y metalúrgico

Se estudiará el área de conversión y manejo de gases que son necesarias para comprender el trabajo de memoria.

### 2.3.1 Conversión

Posterior al proceso de fusión el Metal Blanco es trasladado a Convertidores donde se realiza la purificación del cobre eliminando el Fe y azufre remanente además de algunas impurezas menores como As, Pb y Bi, como resultado del proceso de oxidación. Lo que consiste en aumentar la pureza del cobre desde el 74% presente en el Metal Blanco, hasta un 98,5 – 99,2% presente en el cobre Blíster obtenido como producto de esta etapa, en la figura 3 se puede apreciar un esquema de la operación.

Para esta operación, Altonorte cuenta con cuatro convertidores Peirce Smith (CPS) que operan en ciclos batch con las siguientes etapas consideradas, preparación, carga, soplado y vaciado de blíster. Normalmente se encuentran 3 convertidores en operación y uno en mantenimiento. El tamaño de los convertidores son: CPS1 14 m largo x 4.5 Diámetro, CPS2 y 3, 11 m largo x 4.5 Diámetro y CPS4 10 m largo x 4.0 m diámetro

Dada la alta concentración de cobre en el Metal Blanco, generado en el reactor continuo, los convertidores se limitan a operar solamente en ciclos de soplado a cobre. La operación considera hasta dos CPS en ciclo de soplado simultaneo, quedando los dos restantes en ciclos de preparación, llenado, vaciado o en mantenimiento.

En la Fig. 3 se presenta un diagrama del proceso de conversión donde los gases metalúrgicos generados en los CPS son captados por campanas primarias, enfriados, limpiados de partículas sólidas y conducidos hacia la planta de ácido sulfúrico, mientras que los gases fugitivos emanados durante las etapas de carga, vaciado y espera son captados por campanas secundarias y conducidos por el sistema de gases fugitivos a la chimenea principal de Altonorte.

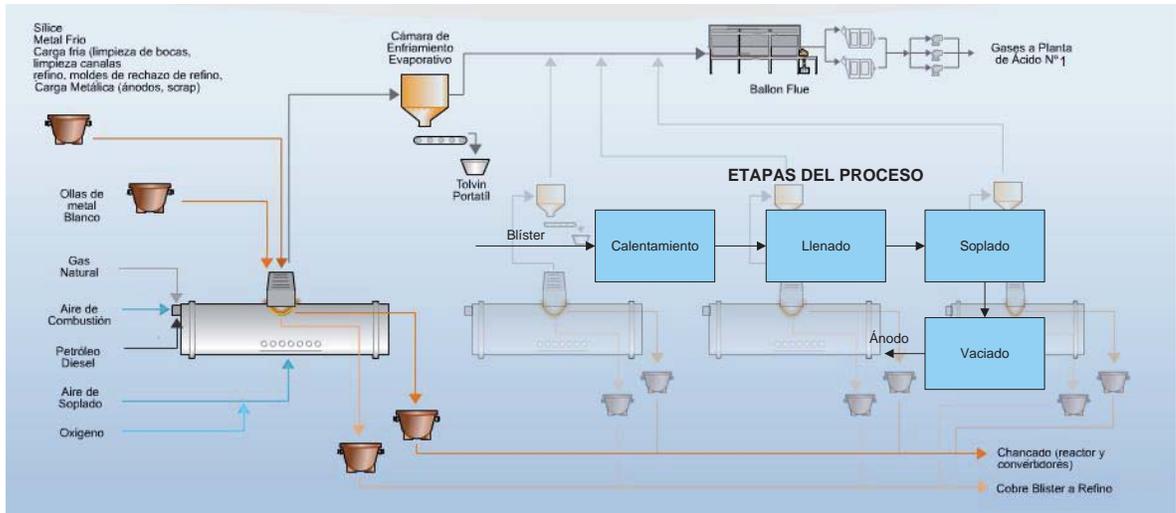


Figura 3 Diagrama de Proceso y equipos, Conversión.

### 2.3.2 Manejo de gases

El sistema de manejo de gases es un sistema compuesto por dos circuitos similares e interconectables, para el Reactor Continuo y los cuatro Convertidores Peirce Smith (CPS), donde cada circuito es compuesto por subsistemas de captura, enfriamiento y de limpieza de partículas sólidas, esto se puede apreciar en la Fig. 4

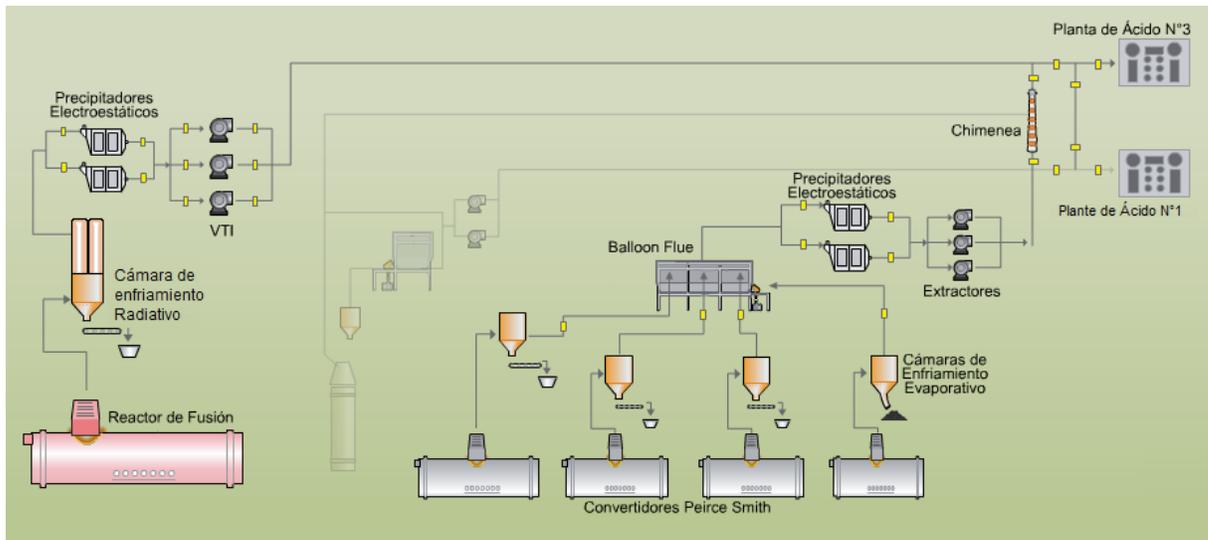


Figura 4 Diagrama de proceso y equipo sistema de manejo de gases

## 2.4 EQUIPOS INVOLUCRADOS

A continuación se presentara una descripción técnica de los principales equipos involucrados en la memoria.

### Convertidores Peirce-Smith

El área de conversión de Altonorte posee 4 Convertidores Peirce-Smith de los cuales pueden operar en simultaneo un máximo de 2, se realiza sólo un soplado (soplado de cobre) debido a que estos son alimentados con metal blanco (72-74 % Cu).

#### 2.4.1 Descripción de Convertidores Peirce-Smith.

El Convertidor de Peirce Smith o CPS es el dispositivo para la extracción de cobre utilizado en el 95% de las fundiciones de cobre. Su función es oxidar la mata fundida para obtener un cobre, denominado cobre blíster, de un 96 - 98% en pureza

El proceso es cerrado, es decir, la carga es la misma, tratada y llevada hasta el final del proceso sin recarga de material. De este modo mejoran las condiciones de trabajo y se reducen las emisiones ambientales.

Para el cálculo de la capacidad de llenado de cada convertidor, se presenta las consideraciones físicas usadas.

**Tabla I. Características físicas usada**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Densidad metal blanco	5.2	ton/m <sup>3</sup>
Densidad cobre blíster	7.8	ton/m <sup>3</sup>
Factor olla metal blanco	23	ton/olla
Factor olla Cu blíster	25	ton/olla

#### 2.4.2 Convertidor Peirce Smith N°1

El CPS N°1 en la Fig.5 es el convertidor de mayor tamaño y numero de toberas, lo cual permite alcanzar mayor flujo de soplado y capacidad de tratamiento de metal blanco en comparación con el resto de los CPS's. Este Convertidor cuenta 60 toberas de 2 1/2" de diámetro, su mampostería cuenta con ladrillos tipo cromo-

magnesita de 18” y 21”, cuenta con un sistema de giro que permite el la operación de llenado, vaciado y adición de carga fría y en su parte superior cuenta con una boca que permite la salida de los gases metalúrgicos. Más características en la tabla I a continuación.

Este convertidor tiene un rango de soplado establecido para la operación normal del convertidor es de 700-900 Nm<sup>3</sup>/min, con un nivel de enriquecimiento de 24% de O<sub>2</sub> como máximo y un nivel de llenado equivalente en ollas de 10-12 ollas/ciclo.

**Tabla II. Dimensiones del Convertidor Peirce Smith N°1 Fundición Altonorte**

Dimensiones	Valor	Unidades
Altura máxima	1.4	m
Largo	12.9	m
Superficie	3.6	m <sup>2</sup>
Área	3.8	m <sup>2</sup>
Volumen Útil	48.6	m <sup>3</sup>
Metal blanco a tratar	253	ton
Ollas metal blanco	11	Ollas

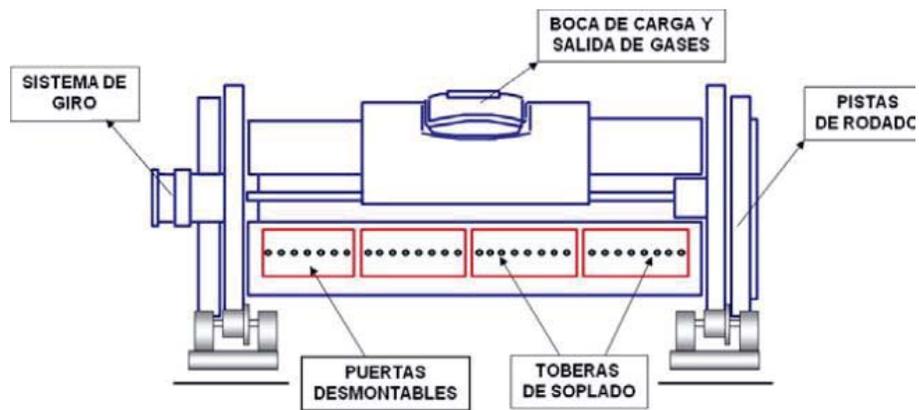


Figura 5 Convertidor Peirce Smith N°1 Fundición Altonorte

# CAPÍTULO III: PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se abordará una descripción del problema y como se pretende abordar la problemática existente.

## 3.1 PROBLEMÁTICA

En Altonorte existe un sistema de monitoreo de emisiones de SO<sub>2</sub>, y se reportan como incidente medio ambiental las emisiones de SO<sub>2</sub> que superan las 10 ppm por más de 3 minutos.

Las emisiones se clasifican como **puntuales** si estas son emitidas a través de una chimenea, y como **fugitivas** si estas se producen en otros puntos como ollas y bocas de hornos.

Para identificar las fuentes de emisiones fugitivas con mayor ocurrencia se realizó un diagrama pareto Fig.6. En este se representa que porcentaje de ocurrencia tiene una maniobra operacional que provoca un incidente medioambiental con respecto al total de incidentes medioambientales. Los óxidos a tope es la maniobra que tiene mayor porcentaje de ocurrencia esto es debido a la mezcla de óxidos y mazamorra en la zona denominada tope que se encuentra entre el reactor y el CPS N°1, actualmente ya existe un proyecto asociado a esta problemática y que pretende solucionarlo en el corto plazo. La segunda maniobra asociada es la adición de carga fría, maniobra en la cual nos enfocaremos en este trabajo de memoria, esta maniobra produce una gran cantidad de SO<sub>2</sub> dado que para adiccionarla se debe girar el CPS a posición de carga quedando fuera de la línea de extracción, además esta maniobra se realiza 4 veces por ciclo de conversión realizándose alrededor de unas 10 veces por día. Las maniobras con menos ocurrencia son carga de metal blanco, limpieza oxido final soplado y modulación dado en estas maniobras o el convertidor aún no empieza a soplar, ya termino y se encuentra en etapa de limpieza o existe una deficiencia del sistema.

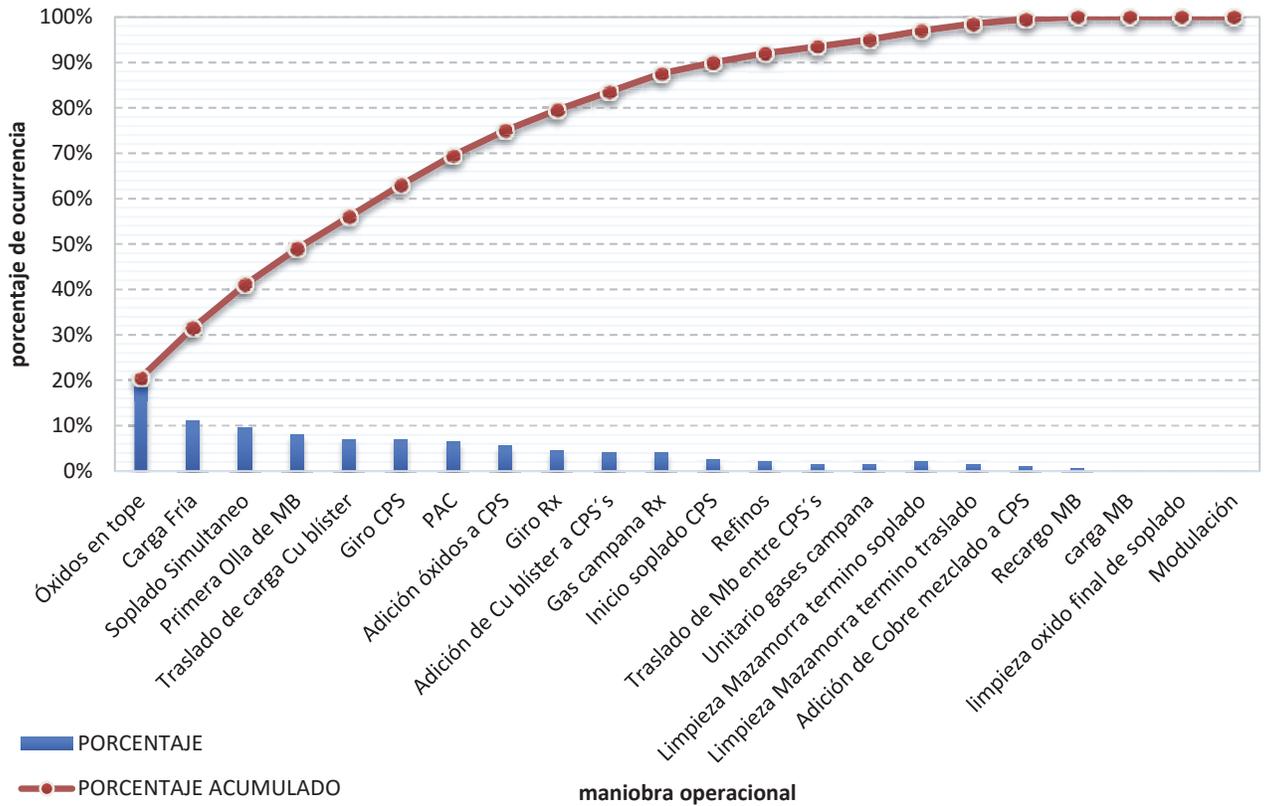


Figura 6 Gráfico pareto etapa incidentes reportables 2015

La Fig.7 nos muestra el porcentaje de ocurrencia por equipo que causó los incidentes medioambientales, siendo el CPS N°1 quien reporta la mayor cantidad debido a que es el convertidor que más ciclos realiza en el año y el que trata mayor volúmenes, lo sigue con un 13 % el CPS N°2 y con un 12% el CPS N°3 y 4, siendo así los CPS's quienes tienen el mayor porcentaje de ocurrencia con respecto a los demás equipos.

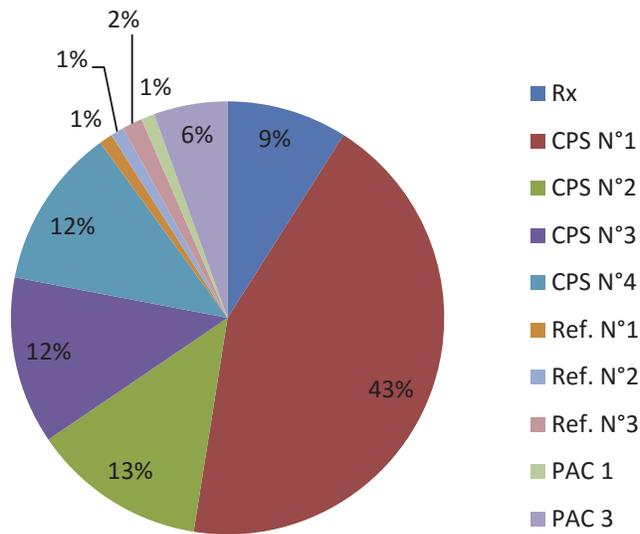


Figura 7 Gráfico fuentes del incidente medioambiental

### 3.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Se estimará la emisión de dióxido de azufre usando como base de cálculo datos operacionales correspondientes el primer trimestre del año 2015. (Ver anexo C-6 y anexo C-5)

#### 3.2.1 Estimación emisión de SO<sub>2</sub> por agregado carga fría en CPS's

El flujo de soplado fue determinado mediante el programa PI usando sólo el promedio de aire soplado cuando el CPS estuviera en una posición de giro entre los 5 y 50 grados que es cuando sale de posición de soplado para recibir carga.

El tiempo medio de giro del CPS se estimó como máximo en 1,5 min/olla (roll-in y roll-out) y el consumo por ciclo en 3.5 ollas/ciclo. También, mediante análisis químico

se determinó que el metal blanco que se carga en el convertidor tiene un 20% de S. A continuación se presenta la ecuación usada para determinar la emisión de SO<sub>2</sub>.

$$\text{Emisión de SO}_2 = \left[ \frac{\text{min}}{\text{olla}} \right] * \left[ \frac{\text{ollas}}{\text{ciclo}} \right] * \left[ \frac{\text{ciclo}}{\text{dia}} \right] * \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}} \right] * \% \text{SO}_2 = \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right] \text{SO}_2 \quad (1)$$

$$\text{Emisión de SO}_2 = 1,5 * 3 * 5 * 720 * 0.2 = 3240 \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right] \text{SO}_2$$

$$\text{masa} = \frac{[\text{atm}] * 3240 \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right]}{0.082 * 273} * 64 = \left[ \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \right] \quad (2)$$

$$\text{masa} = \frac{1 * 3240}{0.082 * 273} * 64 = 9,26 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \right] \text{SO}_2$$

En base a los datos anteriores, la emisión de dióxido de azufre al ambiente es de 9,26 ton/día por concepto de adición de carga fría a los convertidores. Asumiendo que el CPS N°1 opera 280 días este emite un alrededor de un 10 % del total de emisiones permitidas para Altonorte.

La forma de abordar esta problemática consistirá en crear una propuesta de metodología de giro basada en un sistema de control en el aire de soplado al convertidor que se pueda ejecutar cuando el convertidor gire para recibir una carga fría, con el fin de reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> por el concepto de giro del convertidor.

El sistema de control de aire de soplado consiste en ajustar a un flujo mínimo de aire de soplado antes de realizar el giro para recibir la carga fría, aunque este flujo mínimo está condicionado por la presión mínima de operación de la línea de toberas, es decir, el flujo no puede exceder cierto límite dado que provocará que la presión de la línea de toberas baje sobre el límite permitido produciendo que el baño fundido se infiltre a través de estas.

### **3.3 ANTECEDENTES SISTEMA AJUSTE DE AIRE DE SOPLADO**

El sistema de ajuste de aire de soplado permitirá facilitar la acción del operador para el inicio y corte de soplado al ejecutar maniobras de roll-in y roll-out de los convertidores Peirce-Smith. Además permitirá evitar la agitación excesiva del baño de metal fundido en las maniobras de roll-in y roll-out, reduciendo la proyección de salpicaduras de metal fundido y la generación de gases fugitivos. No requiere de instrumentación de terreno adicional a la que usualmente se dispone para el control de soplado. Sólo se requiere de programas de estrategia de control de secuencia, enclavamiento y control regulatorio en el sistema de control. Excepto por una señal de recopia del posicionador de la válvula de soplado de aire, que en base a esta señal se efectuarán todas las lógicas de ajuste de flujo (Ver anexo A-1 y Anexo A-2).

### **3.4 FUNCIONAMIENTO SISTEMA AJUSTE DE AIRE DE SOPLADO**

Consiste en ajustar gradualmente la inyección de aire de soplado por toberas en las maniobras de roll-out y roll-in. Previo a ejecutarse el roll-out, aún con el convertidor en posición de soplado, se disminuye el flujo de aire de soplado al caudal mínimo prefijado, teniendo como enclavamiento la restricción de la presión de la línea de toberas.

Antes de dar inicio al giro se debe tener el chispero y la campana primaria abierta, la campana secundaria cuando la olla con carga fría este frente al convertidor y lista para ser cargada, se inicia el giro cuando el flujo haya sido ajustado, llegando al ángulo de giro donde las toberas salen del baño se corta automáticamente el aire. De forma similar, al ejecutar la maniobra de roll-in el caudal de aire se aumenta rápidamente hasta el flujo prefijado de seguridad, se da inicio el roll-in hasta alcanzar posición de soplado, teniendo campana primaria y chispero cerrado, se puede aumentar el flujo, esto puede verse de forma más clara en la Fig. 8

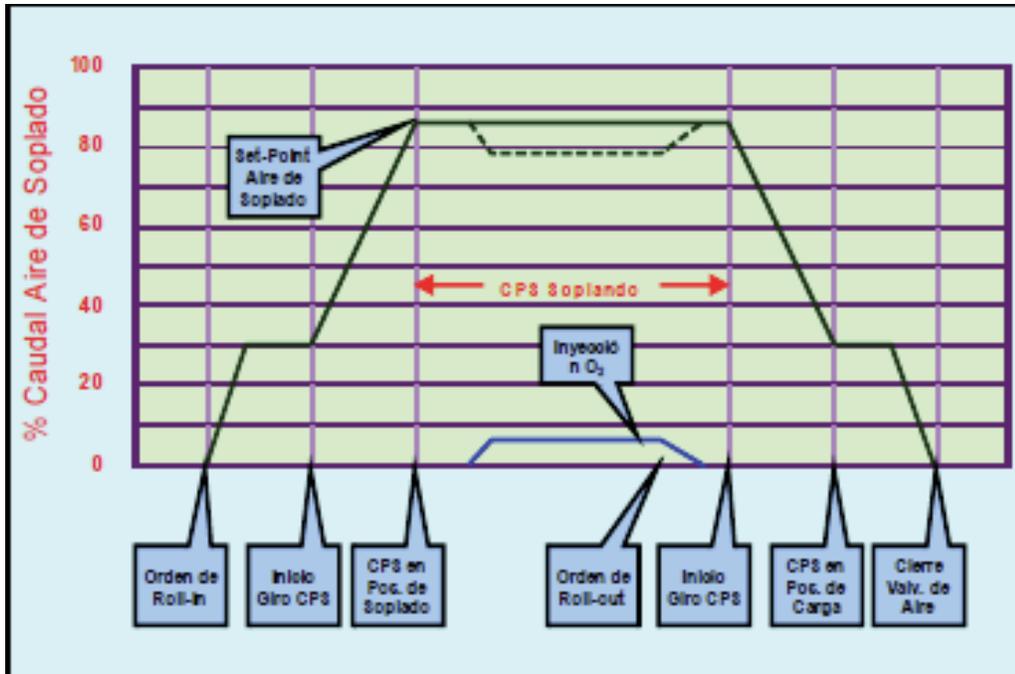


Figura 8 Esquema de funcionamiento sistema de ajuste de flujo de aire de soplado.

Si bien en el sistema de ajuste de aire de soplado no hace énfasis en el control de la presión, está en una variable que condiciona la metodología, dado que si no se cumple con una presión mínima no se podrá llevar a cabo el sistema de control. Es por eso que una de las cosas que se pueden hacer es que el operario tenga un punzado constante con la máquina de gaspé, para así tener limpias las toberas y la inyección de aire no se vea afectada.

### 3.5 LIMPIEZA DE TOBERAS

Para el funcionamiento de las estrategias de control de soplado es fundamental mantener las toberas de soplados limpias.

La limpieza de toberas se debe hacer en forma remota manual, no automática, por tanto es decisión del operador cuando comenzar a puncionar las toberas. El criterio recomendado para el buen funcionamiento de la metodología del sistema de control de aire, es dar inicio al puncionado de toberas cuando la válvula de control de soplado alcance como máximo 70% de apertura, y continuar hasta que la apertura de la válvula retorne a un valor cercano al inicial, usualmente en torno al 30 o 40% de apertura.

Para poder generar una propuesta de implementación del sistema de control de aire de soplado, es necesario definir ciertos parámetros y valores que no pongan en riesgo el normal funcionamiento tanto de los equipos como de la operación. Estos parámetros críticos son:

- Flujo crítico de soplado: Valor mínimo de soplado para mantener la seguridad en la operación, está directamente relacionado con la presión de las toberas.
- Presión crítica línea de toberas: Valor mínimo de presión de toberas en soplado para que el metal fundido no se introduzca a través de ella y produzca una obstrucción.
- Ángulo crítico de giro: Valor en el cual las toberas salen o entran en el baño fundido.

Con estos datos podemos establecer un rango de trabajo para poder trabajar en una propuesta de metodología de giro a carga fría del convertidor.

## **CAPÍTULO IV: TRABAJO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se dará a conocer el trabajo experimental realizado para poder resolver la problemática planteada en el trabajo de memoria.

### **4.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA CPS'S A LA PREPARACIÓN DE GIROS.**

Para poder establecer una metodología para el sistema de ajuste de aire de soplado al convertidor Peirce Smith N°1 se hace necesario establecer valores y rangos de trabajo para ciertos parámetros.

Los parámetros involucrados para el sistema de ajuste aire de soplado son:

1. Flujo de soplado de aire inyectado al CPS N°1
2. Presión línea de toberas
3. Apertura de la válvula de aire de soplado del CPS N°1
4. Angulo de sumersión de las toberas

A continuación se presentará en detalle los parámetros de estudio:

#### **4.1.1 Flujo de soplado**

Actualmente en Altonorte los giros a carga fría se realizan con un flujo de soplado alrededor de los 800 Nm<sup>3</sup>/min en soplado unitario lo que genera una gran cantidad de gases al momento de salir de posición de soplado a posición de carga, quedando la boca del CPS fuera de la línea de extracción de gases de la campana primaria y secundaria. La Fig. 9-A muestra el convertidor en posición de soplado y bajo campana pudiéndose capturar los gases sin mayor problema, en cambio la Fig. 9-B muestra el convertidor en posición de carga, posición en la cual se genera una fuga de gases que deberían ser capturados por el sistema de extracción pero no sucede.

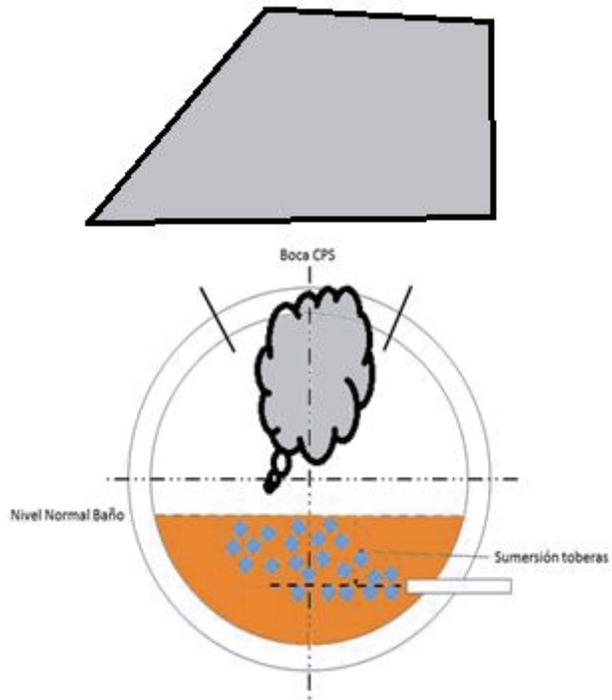


Figura 9-A Convertidor N°1 en posición de soplado

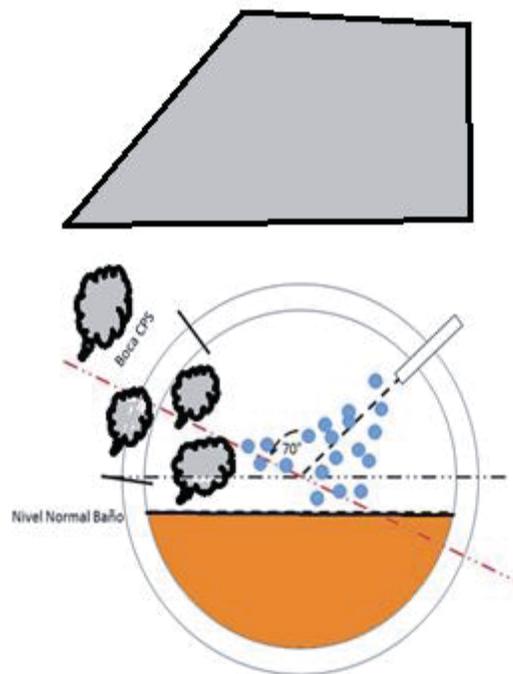


Figura 9-B Convertidor en posición de carga

Es por eso que se propone para el giro a carga fría disminuir el flujo para el Rolling-out, este flujo de operación que pretende disminuir las emisiones de gases de SO<sub>2</sub> debe cumplir con ciertas condiciones y es que este debe ser menor por al flujo de operación normal y además que este flujo genere una presión mínima de 6 psi en la línea de toberas, mientras más bajo sea el flujo menor serán las emisiones de gases.

#### 4.1.2 Presión línea de toberas

Esta variable es dependiente del flujo de aire de soplado, por ende va relacionada directamente con este. Esta variable es restrictiva y será quien determine hasta donde podemos disminuir el flujo de aire de soplado, es importante mencionar que la presión de la línea cuando ajustemos el flujo no puede ser menor a 6 psi dado que el convertidor producirá un giro de emergencia.

Para estos parámetros se buscó datos operacionales mediante el sistema PI Datalink del CPS N°1 durante el periodo de mayo a agosto, lo anterior pretende demostrar que el convertidor no tiene problemas para operar con flujos menores a 600 Nm<sup>3</sup>/min y con presiones cercanas a los 6 PSI.

Para la obtención de estos datos se usó un filtro para el rango de 600 a 400 Nm<sup>3</sup>/min, un ángulo del CPS N°1 menor a 5 grados y un rango de tiempo de 4 meses (mayo-agosto). A continuación se presenta las estadísticas de los datos obtenidos (Ver anexo C-2 y C-3).

Tabla III. Estadísticas de flujo de operación CPS N°1

Estadísticas de flujo aire soplado a CPS N°1	Flujos [Nm <sup>3</sup> /min]
Media	547.8
Mediana	561.0
Moda	544.5
Desviación estándar	46.2
Rango	198.4
Mínimo	401.6
Máximo	600.0
Cuenta	3047.0
Mayor (1)	600.0
Menor(1)	401.6

Tabla IV. Estadísticas de presiones de operación CPS N°1

Estadísticas de presión línea de toberas CPS N°1	Presión[Psi]
Media	13.4
Mediana	13.4
Moda	12.7
Desviación estándar	3.4
Rango	18.4
Mínimo	4.5
Máximo	22.9
Cuenta	3046.0
Mayor (1)	22.9
Menor(1)	4.5

#### 4.1.3 Válvula de ajuste de caudal de aire de soplado

La válvula es de tipo mariposa, consta de una apertura rápida por la cual en una 50% de apertura pasa el 80% del caudal máximo, esta válvula es la que controla el suministro de aire al interior del Convertidor. El aire es suministrado por un turbosoplador Howden.

Los datos operacionales para determinar el comportamiento de la válvula de control de aire de soplado del CPS N°1 se obtuvieron mediante PI PROCESSBOOK. La Fig.10 muestra 5 cierres de válvula en donde se observa un comportamiento de apertura rápida, la válvula tiene mayor control del aire que pasa cuando esta entre 0 a 50% de apertura y controla el 80% del flujo total que pasa en este rango.

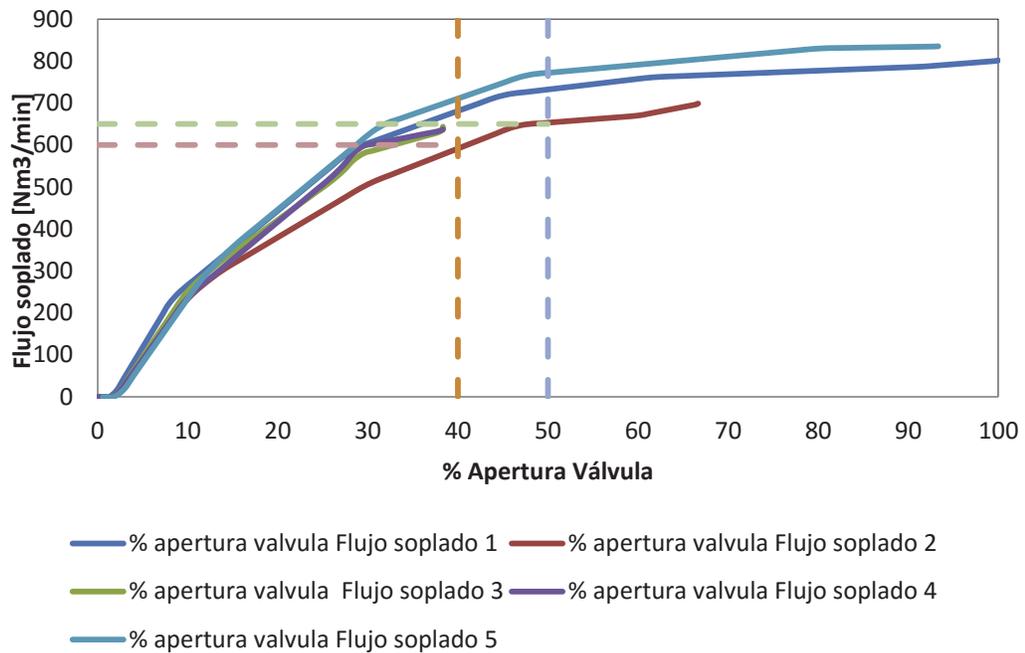


Figura 10 Comportamiento flujo soplado de aire versus apertura de válvula FV 4510

El rango inicial para el ajuste de flujo de aire de soplado será de 40 a 50%.

Aparte de conocer el tipo de apertura de la válvula, es importante además conocer el tiempo de apertura de esta para poder establecer y optimizar el tiempo en el control.

En la Fig.11 la línea roja representa el flujo de aire de soplado y la línea azul representa el porcentaje de apertura de la válvula, este gráfico muestra cómo afecta el cierre de la válvula en el flujo de soplado y el rango donde tiene mayor variación, además del tiempo en el que se lleva a cabo esta maniobra. El cierre completo de la válvula demora 70 segundos y en el segundo 40 recién empieza a generar grandes cambios en el flujo, coincidiendo así con un porcentaje de cierre de entre 40 a 50 %.

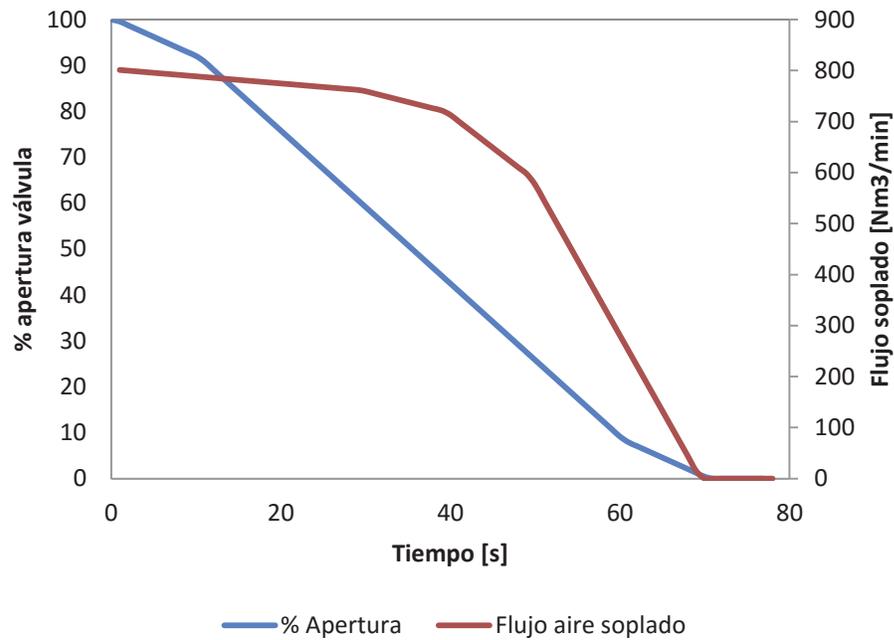


Figura 11 Control de flujo de válvula según apertura

## 4.2 RESULTADOS INICIALES

### 4.2.1 Determinación del ángulo de cambio de fase en toberas

El convertidor N°1 tiene una capacidad de giro de 360°, está establecida como posición cero grados la posición de soplado, para una maniobra de carga fría es de 75 grados. En la Fig. 12 se muestra la sección del convertidor N°1, lo que pretende representar es el ángulo que existe entre las toberas y el baño fundido.

En la Fig. 12 se presenta el ángulo entre la posición de soplado y la sumersión de las toberas, esta figura servirá para ejemplificar el cálculo del ángulo.

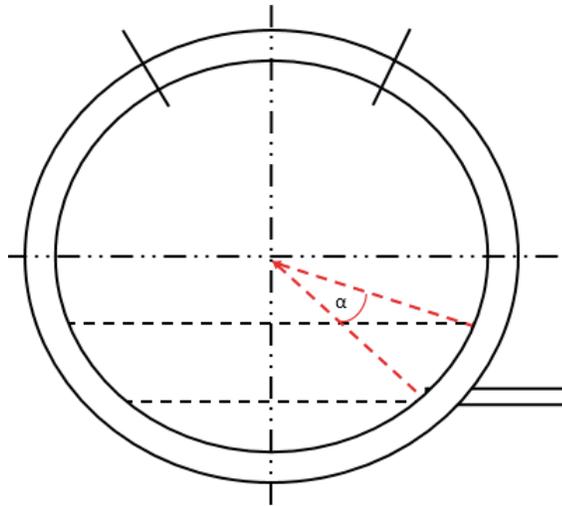


Figura 12 Sección convertidor Peirce-Smith, donde  $\alpha$  es el ángulo de salida de las toberas del baño fundido.

A continuación se presenta la metodología para el cálculo del ángulo de sumersión de las toberas en el baño y los resultados iniciales.

Determinación altura máxima del baño fundido. [3]

Para determinar el radio interno ocupado del CPS, se ocupó la Ec. 3

$$R = \text{radio interno} - \text{espesor ladrillos refractarios} \quad (3)$$

$$R = 2.25 - 0.53$$

$$R = 1.71 \text{ m}$$

La Fig. 13 muestra la nomenclatura usada para el cálculo de la sección de interés.

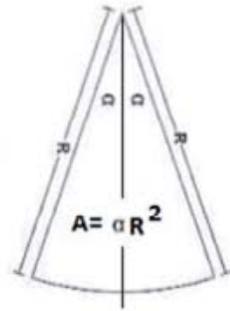


Figura 13 radio convertidor Peirce Smith

$$R^2 = Base^2 + (R - h)^2 \quad (4)$$

$$Base^2 = R^2 - (R - h)^2$$

$$Base^2 = R^2 - (R^2 - 2 * R * h + h^2)$$

$$Base^2 = 2 * R * h - h^2$$

$$Base^2 = 2 * R * h - h^2$$

$$Base = \sqrt{(2 * R * h - h^2)} \quad (5)$$

En la Fig. 14 se muestra dos áreas, el área pintada representa el espacio ocupado por el baño fundido dentro del CPS y el área marcada por un triángulo con un vértice en el centro y con base en el nivel del baño fundido. La base de este triángulo fue determinada en la Ec. 5.

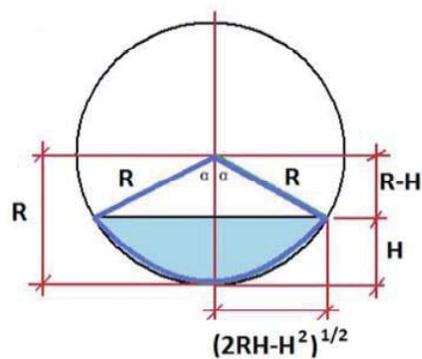


Figura 14 Volumen ocupado por el baño fundido.

En la Fig. 15 tenemos determinado las medidas del triángulo, para poder pasar a la determinación del ángulo mediante el teorema de Pitágoras

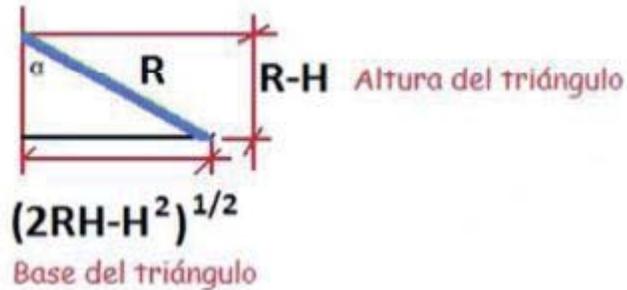


Figura 15 Determinación catetos triángulo rectángulo formado por el ángulo sumersión de toberas.

$$\alpha = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{R-h}{R}\right) \quad (6)$$

$$\text{Volumen ocupado CPS} = (R^2 * \text{Cos}^{-1}\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h) * \sqrt{2 * R * h - h^2}) * L \quad (7)$$

$$\text{Volumen ocupado} = \frac{\text{ollas} * \text{Factor olla metal blanco} \left[\frac{\text{ton}}{\text{olla}}\right]}{\text{densidad metal blanco} \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right]} \quad (8)$$

$$\text{Volumen ocupado} = \frac{11 * 27.1}{5.2}$$

$$\text{Volumen ocupado} = 57.32 \text{ m}^3$$

Con la Ec. 7 y la Ec. 8 se calcula la altura.

$$57.32 = \left( 1.79^2 * \cos^{-1} \left( \frac{1.79 - h}{1.79} \right) - (1.79 - h) * \sqrt{2 * 1.79 * h - h^2} \right) * 12.9$$

$$h = 1.63$$

El ángulo de cambio de fase de las toberas se determinara por el método del teorema de Pitágoras. La Fig.16 ayuda a ver el cálculo de forma más clara.

Se tomarán las siguientes consideraciones:

- Ladrillos refractarios nuevos de 18" de diámetro.
- Altura máxima del baño considerando 1,63 m.

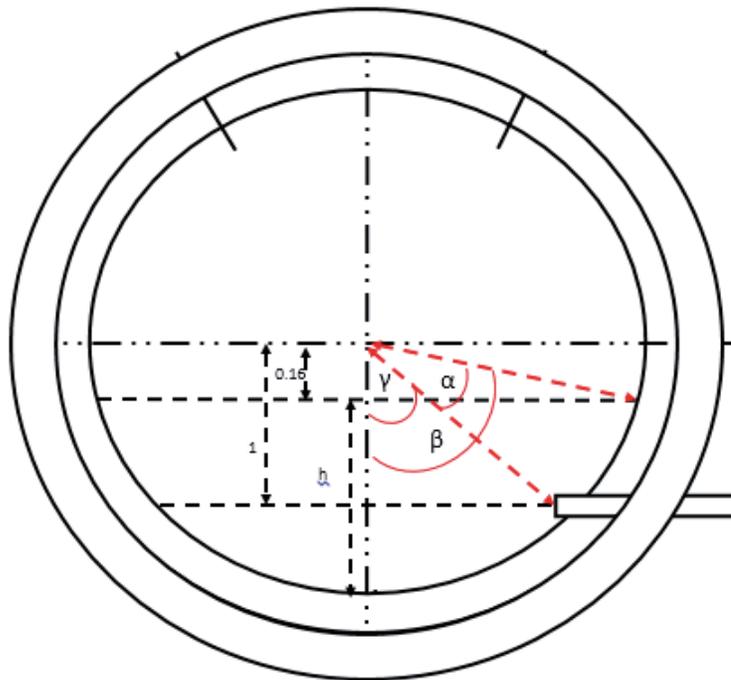


Figura 16 Ángulo de sumersión de toberas

*hipotenusa = radio interno CPS*

$$\text{donde } \beta = \text{Cos}^{-1} \left( \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{Radio interno CPS}} \right) \quad (9)$$

$$\text{donde } \beta = \text{Cos}^{-1} \left( \frac{0.16}{1.79} \right)$$

$$\beta = 84,87^\circ$$

$$\text{donde } \gamma = \text{Cos}^{-1} \left( \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{Radio interno CPS}} \right) \quad (10)$$

$$\gamma = \text{Cos}^{-1} \left( \frac{1}{1.79} \right)$$

$$\gamma = 56^\circ$$

$$\alpha = \beta - \gamma \quad (11)$$

$$\alpha = 85^\circ - 56^\circ$$

$$\theta = 29^\circ$$

Añadiendo un factor de seguridad de 1.25 nos queda que el ángulo en que las toberas entran y salen del baño es de 35°

### **4.3 PRUEBAS DE AJUSTE DE FLUJO DE AIRE DE SOPLADO EN EL CPS N°1 PARA EL ROLLING-OUT.**

Para poder realizar las pruebas se generó un protocolo de pruebas (ver anexo C-1) en el cual se mencionan los ajustes que se harían en la operación del CPS N°1, este protocolo fue presentado al jefe general área conversión para su revisión y corrección, luego fue presentado al superintendente del área conversión para su aprobación.

Posterior a la aprobación, se capacitó al operador del convertidor N°1 (encargado de girar el convertidor, abrir el chispero y la campana primaria), al operador de sala

conversión encargado de ajustar el flujo mediante la pantalla de control y se informó al jefe de turno conversión del inicio de las pruebas (Ver anexo C-7)

Con estas etapas cumplidas se iniciaron las pruebas de ajuste de flujo de soplado de aire en el convertidor N°1, cabe destacar que estos ajustes fueron hechos de forma manual.

En Fig. 17 se muestra la pantalla de control del convertidor N°1 en donde se realizan los ajustes de flujo. Desde esta pantalla, en conjunto con el operador de sala, se hicieron las pruebas.

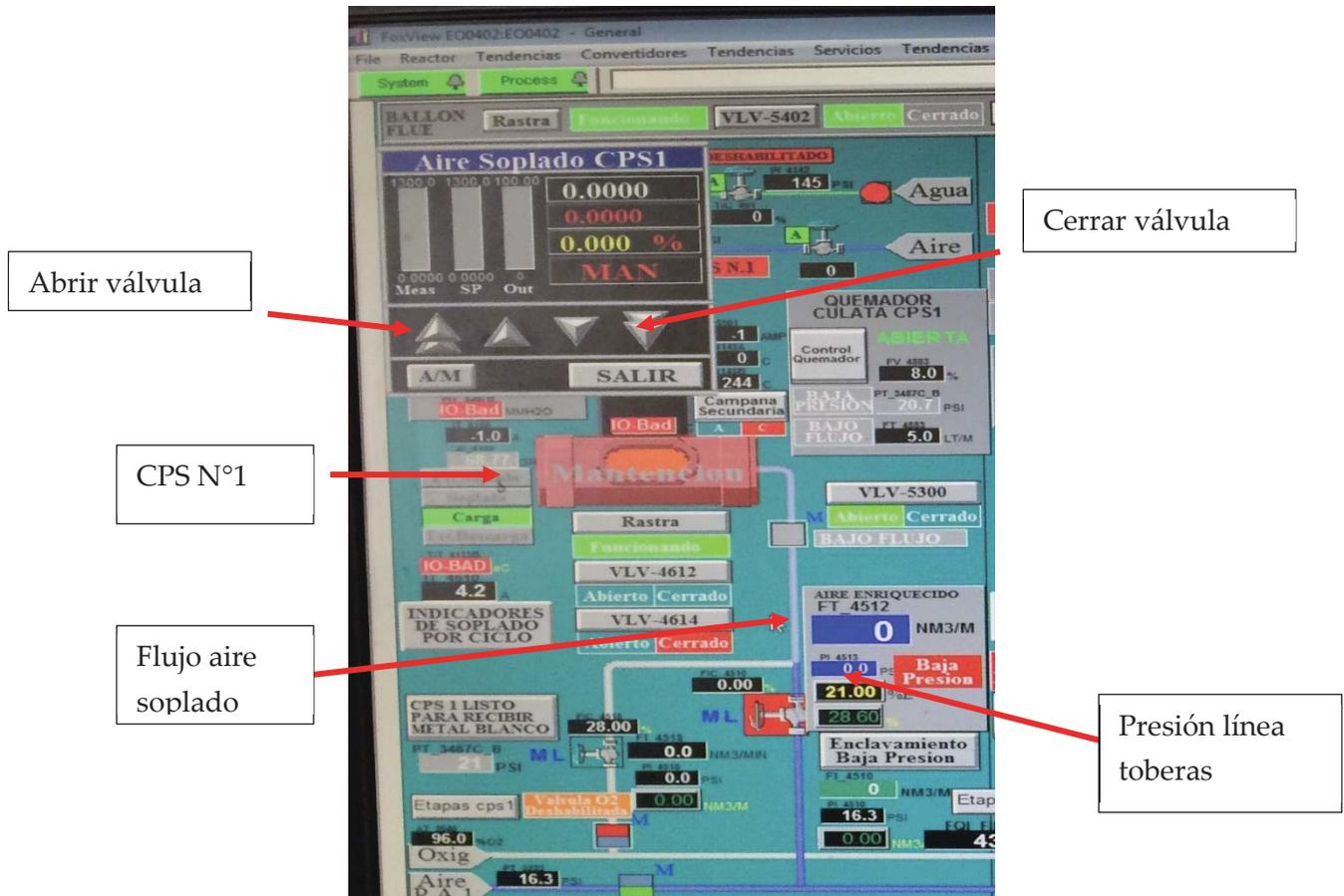


Figura 17 Pantalla de control sección convertidores

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

En base al trabajo experimental, en este capítulo se presentarán los resultados y discusiones obtenidas en esta memoria.

### **5.1 FLUJO DE SOPLADO**

La determinación de los parámetros críticos de operación del sistema de ajuste de aire de soplado para el convertidor Peirce-Smith son de gran importancia dado que nos otorgan dos cosas, la primera es que nos permite establecer un rango mínimo de operación del convertidor para que este no sufra daños debido a la infiltración de material fundido a través de las toberas por una baja presión. Lo segundo nos permite bajar nuestras emisiones de  $\text{SO}_2$  debido a que cuando se realice el giro, el flujo será menor al flujo del soplado actual (Alrededor de los  $800 \text{ Nm}^3/\text{min}$  en soplado unitario). Lo primordial de esta etapa fue encontrar un equilibrio entre bajar al mínimo el flujo de soplado para efectuar el giro y resguardar la seguridad del equipo en la operación.

Este parámetro fue establecido dentro de un rango dado que también depende de la presión de la línea de toberas, este rango quedo en  $450\text{-}550 \text{ Nm}^3/\text{min}$ . Se escogió este rango dado que en el CPS N°1 se ha operado en rangos incluso menores de  $400 \text{ Nm}^3/\text{min}$  no generando ningún daño, lo ideal es operar en  $500 \text{ Nm}^3/\text{min}$  para las pruebas de ajuste de flujo.

### **5.2 PRESIÓN LÍNEA DE TOBERAS**

La presión de la línea de toberas es la variable más crítica y la más difícil de controlar, dado que para ajustar esta variable lo único que podemos manipular es la apertura de la válvula, además también depende del estado de avance del ciclo de conversión dado que al principio el CPS se encuentra con metal blanco con una menor densidad que el cobre blíster que podemos encontrar al final del ciclo.

La forma que se controla la presión en la operación es mediante el ajuste del flujo de aire de soplado, por ejemplo, si la presión aumenta demasiado se disminuye el flujo. También existe una maquina gaspé la cual se encarga de mantener las toberas limpias, a mayor frecuencia de punzonado, menor es la presión en la línea de

toberas. Estas dos maniobras son importantes para mantener la presión dentro de rangos estables (mayor que 6 Psi y menor que 21 Psi).

### 5.3 APERTURA DE LA VÁLVULA

La apertura de válvula es la variable que se manipuló para obtención del flujo adecuado y la presión fue una restricción.

Al momento de realizar las pruebas, se vió claramente que la válvula FV 4510 tenía una apertura rápida, dado que al comenzar el cierre de esta en el rango de 100 a 50 % el flujo no tuvo grandes variaciones, Sin embargo desde el 50 al 30% los ajustes debieron hacerse más pausados para no generar un cambio drástico en flujo y por ende en la presión, generando así un giro de emergencia por baja presión en la línea de toberas en el CPS N°1.

Otro punto importante a mencionar es que en las pruebas la válvula FV 4510 no se pudo cerrar más allá del 30% cuando el convertidor estuvo en posición de soplado debido a un enclavamiento de seguridad que tiene el CPS N°1, aunque no fue necesario porque en ese porcentaje de apertura se pudo ajustar el flujo a los 500 Nm<sup>3</sup>/min.

Para el ajuste de la válvula FV 4510 se propone el siguiente modelo el cual sólo tendrá validez para un porcentaje de apertura de 30 a 60% que es donde tiene mayor exactitud (Ver anexo C-4).

La Fig. 18 muestra el modelo obtenido a través del programa Minitab 17, el cual nos entrega una gráfica del flujo de aire de soplado con respecto a la apertura de la válvula. El modelo representado por la Ec. 12 a continuación:

$$FS = -276,9 + 32,81(\%AP) - 0.2428(\%AP)^2$$

(12)

Nos sirve para predecir el flujo según la apertura de la válvula, aunque el modelo tiene restricción y sirve solo para una apertura entre 30 y 60 %. Para una apertura de 30% tenemos un flujo cercano a los 450 Nm<sup>3</sup>/min, que es el flujo al cual se llegó en

las pruebas realizadas, en cambio para una apertura de 60% tenemos un flujo cercano a los 800 Nm<sup>3</sup>/min, estos serán los límites para el ajuste del flujo.

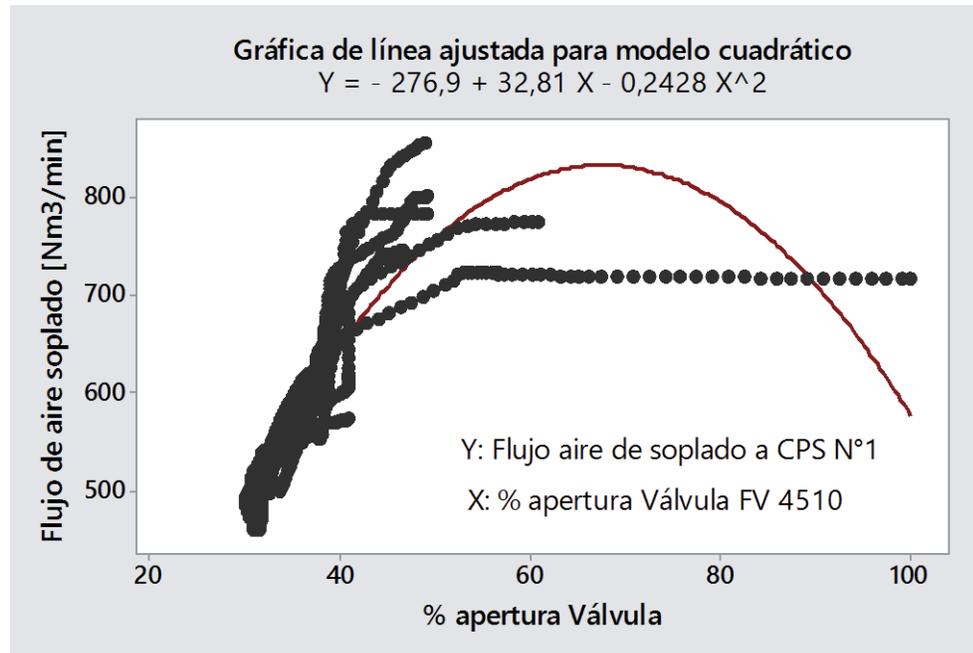


Figura 18 Regresión para flujo de aire de sopado con respecto a la apertura de válvula.

#### 5.4 ÁNGULO SUMERSIÓN LÍNEA DE TOBERAS.

La determinación del parámetro Encoder, se refiere principalmente al ángulo de giro en el cual las toberas emergen o entran al baño fundido. Saber el ángulo de giro nos permitirá cortar el flujo cuando la línea de toberas salga completamente del baño y así disminuir la emisión de gases, principalmente SO<sub>2</sub> al ambiente.

Este ángulo fue determinado en el capítulo anterior y se determinó en un valor de 35° usando un factor de seguridad de 1.25 (este factor de seguridad fue discutido y aprobado por el jefe general área conversión). Con este factor de seguridad evitamos cualquier daño o posible incidente de infiltración de baño fundido al interior de las toberas.

La importancia de la determinación de este ángulo de giro es que mediante una automatización se cerrará la válvula FV4510, cortando así el suministro de aire al

interior del CPS, evitando así la emanación de gases fugitivos al ambiente en el giro a carga fría. También permitirá eliminar el mensaje de cortar el flujo de aire cuando el CPS haya llegado a posición de carga entre el operario CPS y el maestro de sala.

No es necesario la instalación de un medidor de ángulo de giro en CPS N°1 ya que este ya consta con uno. En la operación real no se utiliza, pero con esto se podrá anexar a la metodología y darle un uso más que informativo.

## **5.5 METODOLOGÍA DE OPERACIÓN PARA SISTEMA CONTROL DE FLUJO EN CPS N°1**

Lo que pretende la metodología de operación del sistema de control de aire de soplado en los giros del convertidor, es disminuir las emisiones de gases, principalmente SO<sub>2</sub>. La metodología presentada en la Fig. 19 consta de dos partes, la primera está enfocada en el ajuste de flujo para el rolling-out y la segunda para el rolling-in, dado que los ajustes previos son distintos. Para el rolling-out primero se debe ajustar el flujo a un flujo crítico de 500 Nm<sup>3</sup>/min, para luego dar paso al inicio de giro. Con el giro en carrera, al momento de que la línea de toberas salga del baño (35°) se debe cortar completamente el aire para finalizar en posición de carga (70°), posterior a esto se lleva a cabo la maniobra que adiciona la carga fría al convertidor mediante el uso de grúas. Luego se debe ajustar el flujo a 600 Nm<sup>3</sup>/min con una presión mayor a los 6 Psi. Antes de comenzar el retorno del convertidor a posición de soplado, el flujo debe estar ajustado, al llegar a posición de soplado se puede volver a ajustar el flujo a 800 Nm<sup>3</sup>/min para seguir con el proceso de conversión.

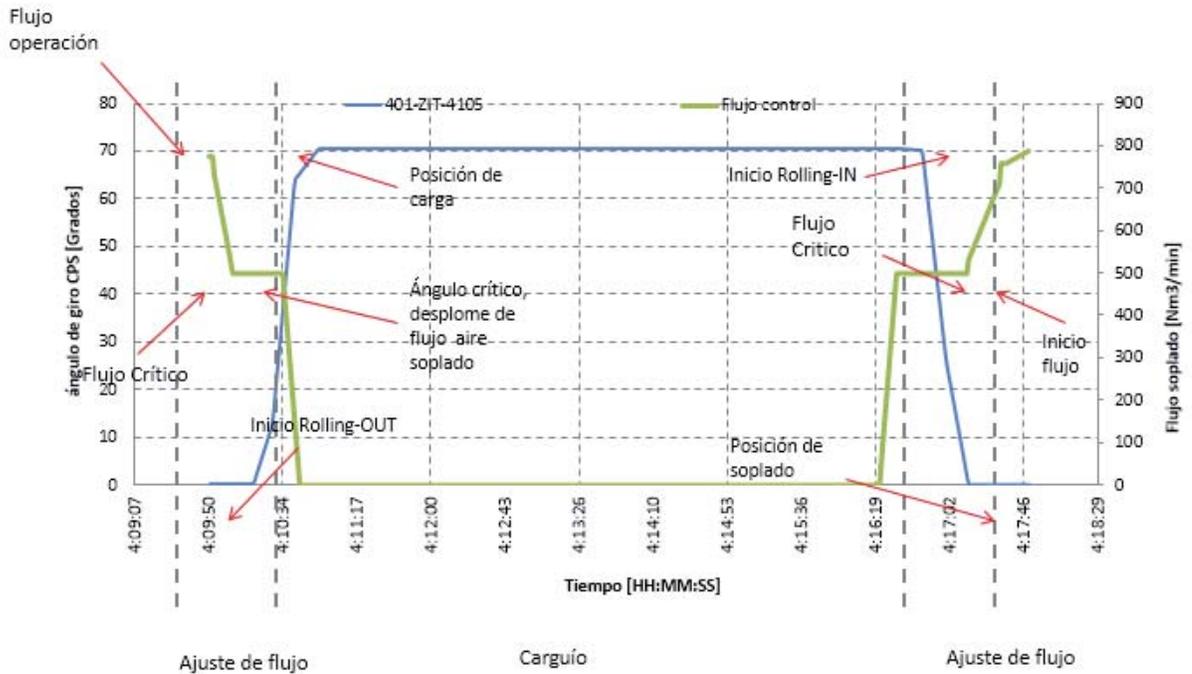


Figura 19 Metodología de giro actual versus metodología usando el ajuste de flujo de aire de soplado

A continuación se presentan los parámetros críticos para la metodología del sistema de control de aire de soplado en el convertidor Peirce-Smith.

Tabla V. Resumen de parámetros críticos de operación para CPS N°1

Parámetros críticos	Valor	Unidades
Flujo de soplado	500	Nm <sup>3</sup> /min
Presión línea de toberas	6	6Psi
Ángulo sumersión línea de toberas	35	Grados
Rango para ajuste de válvula	0-50	%

Los parámetros presentados en la Tabla V y la metodología presentada en la Fig.19 fueron los utilizados para la realización de las pruebas de ajuste de flujo que se presentan a continuación.

## 5.6 PRUEBAS DE AJUSTE DE FLUJO DE AIRE DE SOPLADO EN ROLLING-OUT DEL CONVERTIDOR N°1.

Como se vió anteriormente, los parámetros críticos y la metodología planteada fueron usados para la realización de pruebas. Estas pruebas permitieron construir la Fig. 20 siguiente.

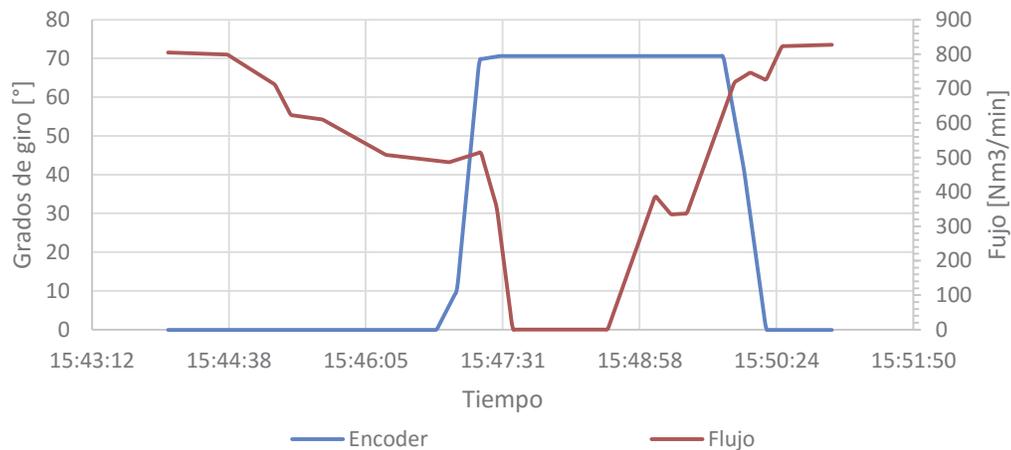


Figura 20 Prueba de ajuste de flujo de aire de soplado en el CPS N°1

La prueba que permitió construir esta gráfica consistió en que cuando el baño fundido excedía una temperatura sobre los 1240 °C se adicionó una carga fría, para ellos fue necesario ajustar el flujo de 800 Nm<sup>3</sup>/min a 500 Nm<sup>3</sup>/min antes de realizar el giro, inmediatamente finalizado el giro se corta el suministro de aire al interior del CPS, luego para iniciar el rolling-in o vuelta a posición de soplado se ajustó a un flujo que nos diera una presión mayor a 6 Psi.

Las pruebas hechas permitieron decir que es factible ajustar el flujo a 500 Nm<sup>3</sup>/min antes de realizar el giro a carga fría sin generar problemas en los KPI de soplado de la operación debido a que el ajuste en forma manual fue rápido alrededor de 2 minutos, no hubo grandes problemas de baja presión en las toberas y se logró una reducción de las emisiones de gases, sobre todo a nivel de impacto visual.

Algunos aspectos que se deben tener en consideración son:

La apertura de la válvula tiene un enclavamiento de 30 % de apertura en posición de soplado. Para las pruebas se llegó hasta este porcentaje de apertura y el flujo se ajustó a los 500 Nm<sup>3</sup>/min aproximadamente, pero al momento de comenzar el giro se activaba el giro de emergencia por problemas de baja presión, es por eso que se recomienda llegar hasta 31 % de apertura, dado que en esta posición de apertura no hubieron problemas con el giro de emergencia.

El ajuste de la válvula debe hacerse de forma paulatina, es decir, ajustar la apertura y esperar un momento a que se ajuste el flujo. Como consideración se debe tener en cuenta que la mayoría del control del flujo de aire de soplado se tiene bajo el 50% de apertura, por ende desde aquí los cambios deben ser menores alrededor del 2% y esperar que se ajuste el flujo, sobre el 50% de apertura pueden hacerse cerrando de 10 en 10.

Si se aplicara este sistema en el convertidor N°1 las emisiones de SO<sub>2</sub> bajarían un 37,5 % con el solo hecho de ajustar el flujo al momento de realizar el giro a carga fría, además de mejorar el aspecto visual en el ámbito de emanaciones de gases en la fundición.

## 5.7 CÁLCULO REDUCCIÓN DE EMISIONES EN ROLLING-OUT PARA CPS N°1 POR DÍA.

En esta sección se presenta una estimación de las emisiones de SO<sub>2</sub> tanto para la operación normal como para las pruebas realizadas con ajuste de flujo.

$$Emisión\ de\ SO_2 = \left[ \frac{min}{olla} \right] * \left[ \frac{ollas}{ciclo} \right] * \left[ \frac{ciclo}{dia} \right] * \left[ \frac{Nm3}{min} \right] * \% SO_2 = \left[ \frac{Nm3}{dia} \right] SO_2 \quad (13)$$

$$masa = \frac{[atm] * \left[ \frac{Nm3}{dia} \right]}{0.082 * T^{\circ}} * 64 = \left[ \frac{ton}{dia} \right] SO_2 \quad (14)$$

El cálculo para la emisión de SO<sub>2</sub> se hizo utilizando la Ec. 13 y la Ec.14.

Para la operación normal se tiene lo siguiente:

$$\text{Emisión de } SO_2 = 1.5 * 4 * 2 * 800 * 0.2 = 1280 \left[ \frac{Nm^3}{dia} \right] SO_2$$

$$\text{masa} = \frac{1 * 1280}{0.082 * 273} * 64 = 3.66 \left[ \frac{ton}{dia} \right] SO_2$$

Se estima que las 3,66 ton/día representan un 4,17 % de las emisiones totales permitidas de la fundición.

Para la operación con sistema de ajuste de aire de soplado para el giro a carga fría

$$\text{Emisión de } SO_2 = 1 * 4 * 2 * 500 * 0.2 = 800 \left[ \frac{Nm^3}{dia} \right] SO_2$$

$$\text{masa} = \frac{1 * 800}{0.082 * 273} * 64 = 2,29 \left[ \frac{ton}{dia} \right] SO_2$$

Para la operación con ajuste de flujo se estima una emisión diaria de 2,29 Ton/día lo que representa un 2,67% de las emisiones totales permitidas.

Al implementar el sistema de ajuste de flujo de aire de soplado, nos permitiría disminuir en 1,5 puntos porcentuales las emisiones permitidas, lo que en un año se traduce en una disminución de 360 Ton de SO<sub>2</sub>.

## 5.8 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Los objetivos de la memoria fueron generar una propuesta de implementación a base de lo discutido anteriormente, se puede llegar tanto a una metodología de giro tanto para el rolling-in como para el rolling-out que puede ser implementada en el sistema de control de la operación DSS. Además de la propuesta de implementación en terreno con la instrumentación involucrada. A continuación se da a conocer las metodologías planteadas.

### 5.8.1 Metodología de ajuste de flujo de soplado de aire para el rolling-out.

Lo que establece esta metodología es plantear una forma de operar el Rolling-out con el fin de disminuir las emisiones de gases provocadas por la salida de la boca del convertidor Peirce-Smith de la posición de extracción de gases por campana. La Fig. 21 muestra la filosofía de control para la implementación del rolling-out, esta puede ser implementada en el sistema de control de la empresa llamado DSS, el cual controla la instrumentación en terreno.

Esta metodología consiste en lo siguiente:

#### **Lectura de datos de operación**

- A
  - F
  - E
  - P
- ✓ Revisar si el flujo cumple las condiciones de operación (  $450 < F < 550$  y  $P > 6$ )
  - ✓ **Análisis de apertura de válvula.**  
*Verificar si la válvula está en posición de apertura sobre el 50%, si es así cerrar la válvula hasta un 50%, si se encuentra con un porcentaje de apertura menor no hacer ningún cambio y seguir el siguiente paso.*
  - ✓ **Revisión de flujo y control del flujo a parámetros de seguridad CPS N°1**  
Se verificarán que el flujo este en el rango de 450-550 Nm<sup>3</sup>/min y la presión de toberas sea mayor a 6 Psi.  
*Ahora si no se cumplen las condiciones antes señaladas se manipulara la válvula FV 4510 para controlar el flujo de soplado de aire y poder ajustarlo al rango antes señalado (Mediante iteración del controlador)*
  - ✓ **Cumplimiento de condiciones.**

*Si se cumplen las condiciones de flujo ajustado y presión sobre 6 Psi en la línea de toberas y la carga fría esta lista para la adición se puede iniciar el giro de retorno a la posición de soplado.*

- ✓ **Abrir campana y chispero**
- ✓ **Activación giro**
- ✓ **Cuando las toberas salgan del baño (35°), cerrar completamente la válvula y no permitir el retorno a posición de soplado.**
- ✓ **Abrir campana secundaria.**

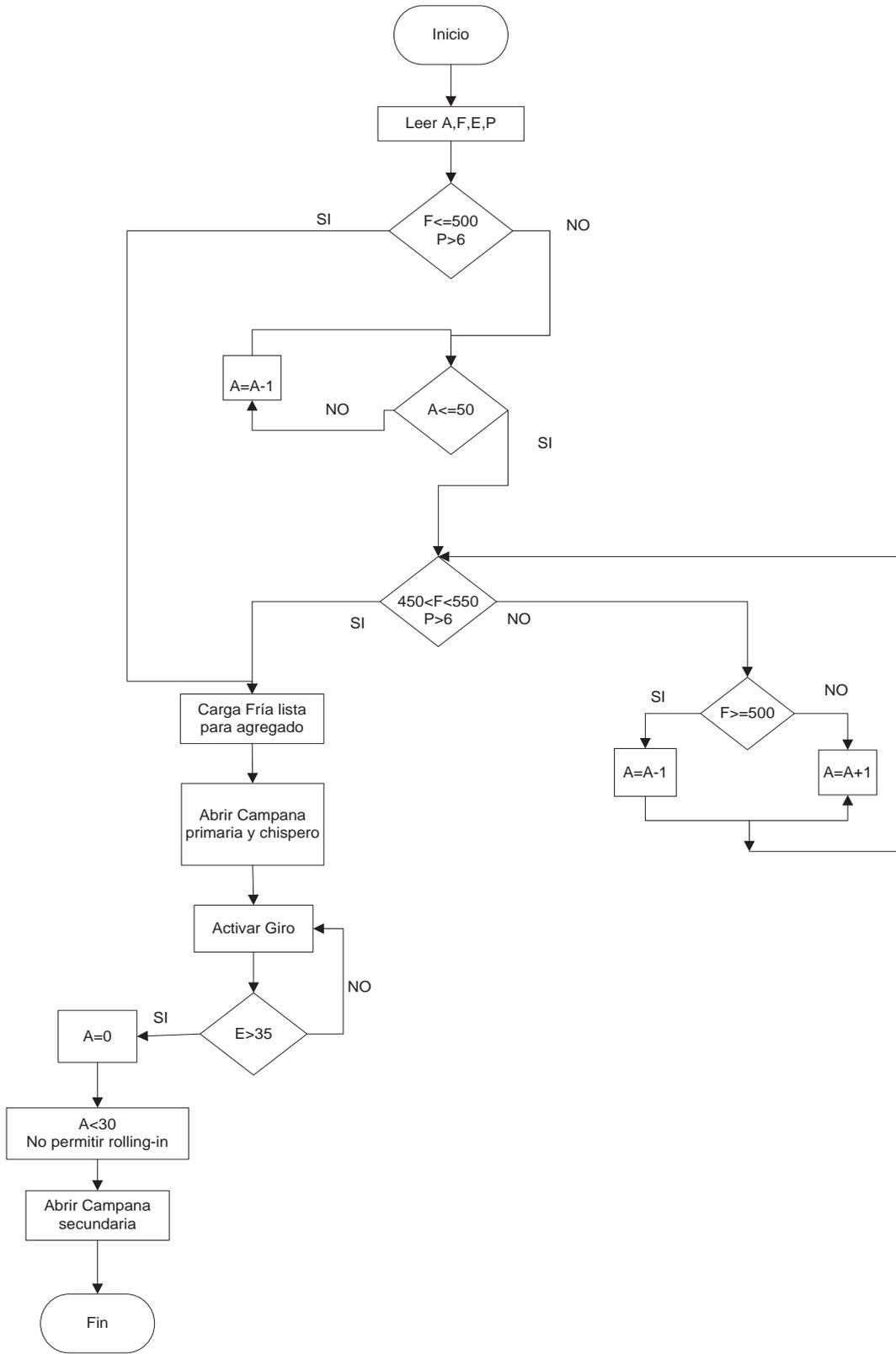


Figura 21 Metodología de control rolling-out

### 5.8.2 Metodología de ajuste de flujo de soplado de aire para el rolling-in.

Lo que establece esta metodología es una forma de operar el Rolling-in para llevar el convertidor de posición de carga a posición de soplado, con el fin de reducir emisiones de SO<sub>2</sub>. En la Fig. 22 se muestra la filosofía de control para su implementación en el sistema de control de la empresa.

A continuación una descripción de esta metodología planteada.

✓ **Lectura de datos de operación.**

- A
- F
- E
- P

✓ **Análisis de apertura de válvula.**

*Revisar si la apertura de la válvula se encuentra cerrada y ajustarla al 50% de apertura.*

✓ **Revisión de flujo y control del flujo a parámetros de seguridad CPS N°1**

Se verificarán que el flujo este en el rango de 500-650 Nm<sup>3</sup>/min.

*Ahora si no se cumplen las condiciones antes señaladas se manipulara la válvula FV 4510 para controlar el flujo de soplado de aire y poder ajustarlo al rango antes señalado (Mediante iteración del controlador).*

✓ **Cumplimiento de condiciones.**

✓ **Activación giro.**

✓ **CPS en posición de soplado cerrar campana y chispero.**

✓ **Ajustar a flujo operación normal (soplado simultaneo o unitario)**

✓ **Cerrar campana secundaria.**

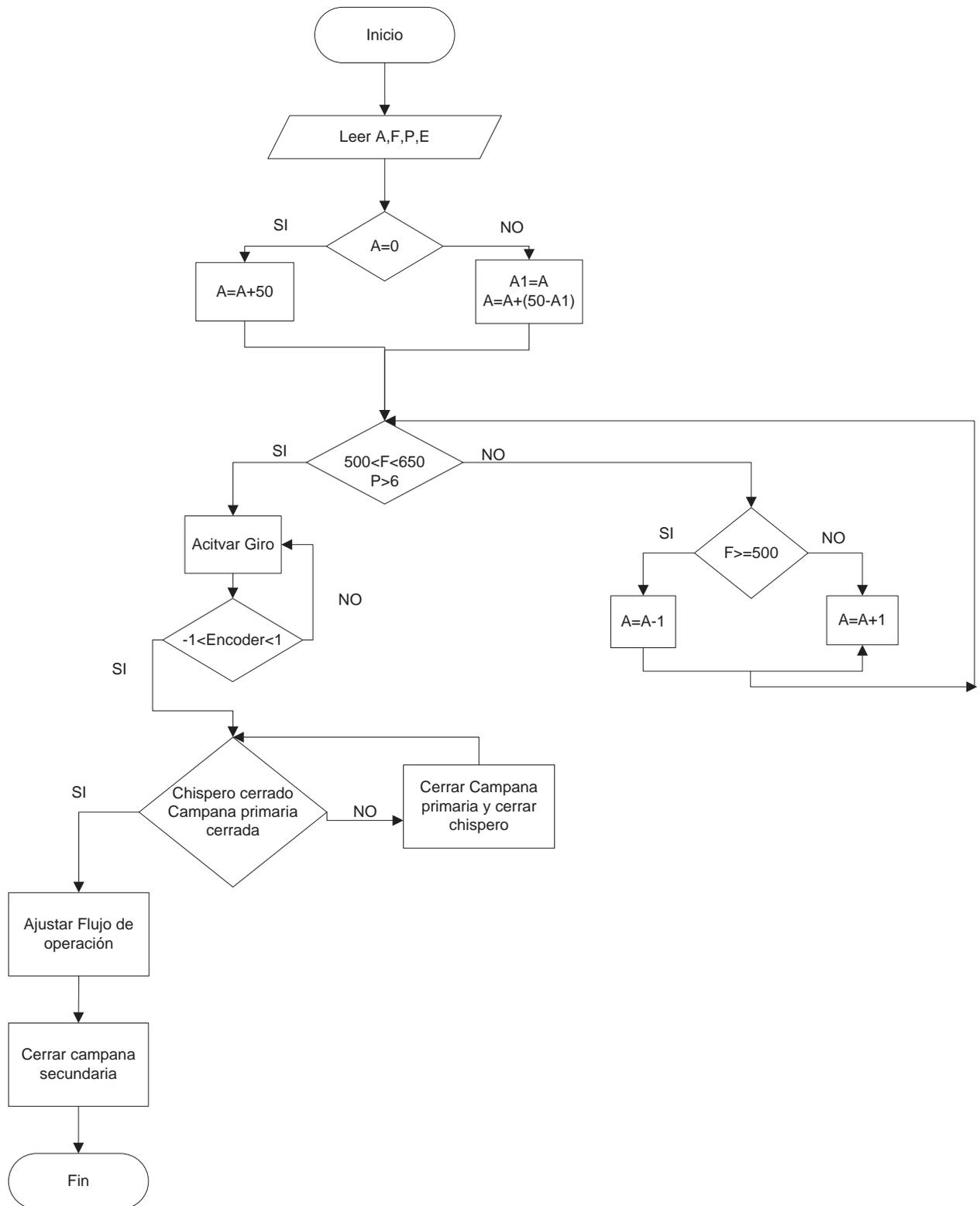


Figura 22 Metodología de control rolling-out

### 5.8.3 Propuesta implementación “sistema de ajuste de flujo de aire soplado para CPS N°1”

Según lo planteado anteriormente se sugieren 3 formas de implementación de este sistema manual, semiautomático y automático. Estas tres formas de implementación se describen a continuación.

#### A. Propuesta sistema automatizado

Se requiere para implementar propuesta de sistema automatizado la siguiente instrumentación:

- I. Botonera local/alarma pantalla sala control (se debe licitar/alarma en pantalla puede ser implementado por encargado de sistema)
- II. Botón remoto pantalla sala control CPS/Alarma Local\* CPS (Botón se puede implementar por parte de encargado de sistema y alarma local se debe licitar)
- III. Retorno de señal apertura válvula FV 4510 (licitación, ver descripción técnica en el anexo)
- IV. Revisión límites de apertura chispero y campana primaria.

Los potenciales beneficios de implementar la propuesta de sistema automatizado son:

- I. Disminuye la interacción radial entre el operador sala y el maestro CPS, por ende mejora los tiempos de respuesta.
- II. Baja la carga de trabajo del operador de sala y del maestro CPS.

Las desventajas de esta propuesta son:

- I. Requiere una inversión en instrumentación para la instalación de un retorno de señal, alarmas y botones en terreno, además de unas alarmas y botones en pantalla de la sala operador CPS.

## Para Rolling-out

Se propone un botón activación para el ajuste de flujo, este puede ser local o remoto.

Si el botón es con ubicación remota

- El botón sería digital y estaría ubicado en la pantalla de convertidores este indicaría una notificación “ajustando flujo” cuando este ajustando el flujo, cuando el flujo haya sido ajustado aparecerá otra notificación que diría “Parámetros OK”. Además se sugieren dos luces de notificación en el área del CPS, luz roja indicaría flujo ajustándose y luz verde indicaría que se puede realizar el giro, como ubicación se sugiere la instalación de estas luces tanto en la cabina de la maquina gaspé como en la cabina al costado del CPS N°1.

Si es local

- Se podría presionar el botón de ajuste de flujo en dos partes, cabina gaspé y cabina costado del CPS N°1. Este botón tendrá asociado dos luces, una roja que indicaría que el flujo se está ajustando y una verde que diría que el flujo ya está ajustado y que se puede girar el CPS para recibir carga fría. Además le entregaría un notificación en pantalla al operador sala que diría cuando el flujo se esté ajustando o cuando este ya ajustado.
- Parámetros OK, se continuaría con la siguiente secuencia.(esta secuencia actuaría de forma similar al giro de emergencia pero tomando la precauciones del paso 3)
  1. Apertura chispero se realizaría de forma automática
  2. Apertura campana primaria se haría de forma automática
  3. Se chequearía de forma automática que la apertura del chispero y la campana primaria estén abiertas, cumpliéndose esto se comenzara el giro automático.
- Cuando el CPS tenga un ángulo de giro de 36 ° la válvula FV 4510 se cerraría.

- Finalización del giro.

#### Para Rolling-in

- Se propone utilizar los mismos botones y la misma disposición que para el rolling-out
- Parámetros OK, se propone seguir la siguiente secuencia.
  1. Giro Automático a posición de soplado
  2. Cierre Chispero automático
  3. Cierre Campana primaria automático
  4. Ajuste a flujo operacional
  - 5.

#### B. Propuesta Sistema manual

No requiere la instalación de instrumentación extra.

Los beneficios de implementar el sistema manual son:

- I.No requiere una inversión monetaria para su implementación.
- II.Es de fácil implementación.

Las principales desventajas del sistema manual son

- I. Los tiempos de ejecución de la maniobra dependen de la comunicación radial entre el operador sala y el maestro CPS. (tiempos de respuesta mayores en comparación con el sistema automatizado y el sistema semi-automatizado)
- II. Que el ajuste de flujo se lleve a cabo dependerá exclusivamente del operario y se correrá el riesgo que a veces no lo haga.
- III. Que el sistema funcione dependerá del nivel de coordinación entre las partes involucradas.

#### Para Rolling-out

- Se propone que el operador sala CPS debería ajustar flujo manualmente a un rango de 450-550 Nm<sup>3</sup>/min con una presión sobre los 6 Psi

- Parámetros OK, se propone la siguiente secuencia que debería hacerla el maestro CPS.
1. Operador sala avisa por radio a maestro CPS que puede efectuar maniobra de giro.
  2. Apertura compuerta del chispero de forma manual
  3. Apertura campana primaria de forma manual
  4. Giro a posición de carga de forma manual. (no dará inicio al giro hasta que el operador sala control se lo permita)
- Dejar válvula FV 4510 en 0% de apertura, ejecutado por parte del operador de sala CPS

#### Para Rolling-in

- Se propone que el operador sala CPS debería ajustar flujo manualmente a un rango de 500-650 Nm<sup>3</sup>/min.
  - Parámetros OK, se propone la siguiente secuencia que debería hacerla el maestro CPS.
1. Giro manual maestro CPS a posición de soplado
  2. Cierre Chispero manual maestro CPS
  3. Cierre Campana primaria manual maestro CPS
  4. Ajuste a flujo operacional manual operador sala.
- Termina de la carga fría.

#### C. Propuesta sistema semiautomático

Para la instalación de la propuesta semiautomática se requiere la siguiente instrumentación:

- i. Botonera local-alarma pantalla sala control (se debe licitar- alarma en pantalla puede ser implementado por encargado de sistema)
- ii. Botón remoto (pantalla sala control CPS-Alarma Local CPS (Botón se puede implementar por parte de encargado de sistema y alarma local se debe licitar)

- iii. Retorno de señal apertura válvula FV 4510 (licitación, ver descripción técnica en el anexo)

Los beneficios de implementar el sistema semiautomático son:

- i. Disminuye la interacción radial entre el operador sala y el maestro CPS, por ende mejora los tiempos de respuesta.
- ii. Baja la carga de trabajo del operador de sala y del maestro CPS.
- iii. Disminuye los movimientos de ajuste de flujo por parte del operador de sala conversión, pero no la del maestro CPS.

Las principales desventajas del sistema semiautomático son:

- i. Una parte de la secuencia dependerá de la comunicación entre el operador sala control y el maestro CPS, esto puede retardar el tiempo de ejecución de la maniobra.
- ii. Requiere instrumentación para la parte de ajuste de flujo (retorno de señal de la válvula FV 4510), botón de activación para el ajuste de flujo tanto en terreno como en pantalla sala control.

#### Para Rolling-out

- Se propone un botón activación para el ajuste de flujo, este puede ser local o remoto.
  - ✓ Si es remoto
    - El botón sería digital y estaría ubicado en la pantalla de convertidores este indicaría una notificación “ajustando flujo” cuando este ajustando el flujo, cuando el flujo haya sido ajustado aparecerá otra notificación que diría “Parámetros OK”. Además se sugieren dos luces de notificación en el área del CPS, luz roja indicaría flujo ajustándose y luz verde indicaría que se puede realizar el giro, como ubicación se sugiere la instalación de estas luces tanto en la cabina de la maquina gaspé como en la cabina al costado del CPS N°1.
  - ✓ Si es local

- Se podría presionar el botón de ajuste de flujo en dos partes, cabina gaspé y cabina costado del CPS N°1. Este botón tendrá asociado dos luces, una roja que indicaría que el flujo se está ajustando y una verde que diría que el flujo ya está ajustado y que se puede girar el CPS para recibir carga fría. Además le entregaría un notificación en pantalla al operador sala que diría cuando el flujo se esté ajustando o cuando este ya ajustado.

- Parámetros OK, se continuaría con la siguiente secuencia.(esta secuencia actuaría de forma similar al giro de emergencia pero tomando la precauciones del paso 3)

1. Apertura chispero se realizaría de forma manual
2. Apertura campana primaria se haría de forma manual
3. Giro CPS a posición de carga de forma manual.

- Cuando el CPS tenga un ángulo de giro de 36 ° la válvula FV 4510 se cerraría de forma automática.

- Finalización del giro.

#### Para Rolling-in

- Se propone utilizar los mismos botones y la misma disposición que para el rolling-out

- Parámetros OK, se propone seguir la siguiente secuencia.

1. Giro CPS a posición de soplado de forma manual por parte maestro CPS.
2. Cierre Chispero forma manual por parte maestro CPS.
3. Cierre Campana primaria manual por parte maestro CPS.
4. Ajuste a flujo operacional manual por parte operador sala

\*Alarma local: Se propone un sistema con luces, por ejemplo se encenderá el color verde cuando el flujo este ajustado y el convertidor esté listo para ejecutar la acción de giro y se encenderá el botón rojo de forma intermitente cuando el sistema esté en proceso de ajuste de flujo.

En la Tabla VI a continuación se puede ver una comparación de los 3 sistemas propuestos de implementación, todos estos sistemas funcionan bajo la misma metodología de control mencionadas anteriormente y sus variaciones tienen que ver con el tipo de implementación que tendrán en terreno.

Tabla VI. Comparación propuestas de implementación sistema de ajuste de flujo de soplado de aire a CPS N°1 para adición de carga fría.

	Sistema automático	Sistema manual	Sistema Semiautomático
Requiere instrumentación adicional	X		X
Requiere comunicación entre operador sala y operador CPS		X	X
Disminuye la carga de trabajo del operador CPS	X		
Disminuye la carga de trabajo del operador sala	X		X
Conversión			
Disminuye las emisiones de SO <sub>2</sub> por giro CPS	X	X	X
Mejora los tiempos de adición de carga fría	X		
Estandariza el carguío de carga fría	X		
Costos asociados a su implementación	X		X

Nos muestra un resumen de las principales características que tiene cada sistema de ajuste, la que tiene mayores beneficios es el sistema automático, no obstante es el más complejo de implementar dado que requiere instrumentación adicional e instalar nuevas lógicas de control para la operación del sistema. Por otro lado tenemos el sistema manual, su implementación no requiere grandes cambios, más bien establecer algunos protocolos y mejorar algunos procedimientos dentro de la operación, a fin de que los ejecutores los cumplan. Los beneficios con respecto a la

mejora en la emisiones de gases fugitivos son peores que el sistema automático, aun así no dejan de ser significativas. Se recomienda instalar la propuesta del sistema automático dado que el gasto no es mucho mayor que los otros dos, pero tiene mucho mejores beneficios, disminuyendo las emisiones de gases fugitivos de manera estandarizada y siempre igual, no queda margen para error de manipulación, disminuye la carga de trabajo del operario y lo expone a menor cantidad de gases.

En caso de instalar el sistema automático, se recomienda tener un programa de mantención de la instrumentación involucrada a fin de que el sistema de ajuste funcione correctamente.

## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO**

La presente memoria es un proyecto que busca mejorar la captura de emisiones fugitivas de gases de SO<sub>2</sub>, generando algunos cambios en la operación. Estos cambios están enfocados en los giros a carga fría del convertidor N°1 del área de conversión.

El análisis económico está basado en la recuperación de gases principalmente SO<sub>2</sub> para ser tratados en plantas de ácido y así mejorar la producción de ácido sulfúrico y por ende aumentar las ganancias.

### **6.1 INGRESOS POR TRATAMIENTO DE GASES SO<sub>2</sub>**

Oportunidad de procesamiento de SO<sub>2</sub> utilizando sistema de ajuste de flujo aire de soplado en adición de carga fría a CPS N°1.

- Entrada de SO<sub>2</sub> a Planta de ácido N°1 actualmente: 190.000 Nm<sup>3</sup>/hora
- Concentración de SO<sub>2</sub> a Planta de ácido N°1 actualmente: 8 %
- Producción Ácido sulfúrico Planta N°1 actualmente: 1.244 Ton/día
- Entrada adicional de SO<sub>2</sub> utilizando sistema de ajuste de aire de soplado a CPS N°1: 420 Nm<sup>3</sup>/día
- 28 días de operación en el mes Planta de ácido N°1
- Precio ácido sulfúrico: 102 US\$/Ton.

Tabla VII. Producción planta de ácido N°1

Producción PAC N°1	Cantidad	Unidades
Volumen de SO <sub>2</sub> mensual entrada Planta de ácido N°1	10.214.400	Nm <sup>3</sup> /mes
Volumen de SO <sub>2</sub> extra por uso de sistema de ajuste de flujo de aire de soplado al CPS N°1	11.760	Nm <sup>3</sup> /mes
Producción mensual ácido sulfúrico PAC	34.832	Ton/mes
Producción extra mensual ácido sulfúrico PAC 1	40,1	Ton/mes
Ingreso extra mensual por ácido sulfúrico	4091,3	US\$/mes

La tabla presentada anteriormente muestra los datos de producción de la planta de ácido N°1 perteneciente a la Fundición Altonorte, en donde los datos mostrados son mensuales (Los cálculos pueden ser vistos en el anexo B-1). La PAC N°1 tiene una producción de ácido de 34.832 ton/mes y con el sistema de ajuste de flujo esta producción aumenta en 40,1 Ton/mes, indicando un aumento en las ganancias de 4091,3 US\$/mes, no es un gran aumento pero en corto plazo paga la inversión hecha por el sistema de ajuste de flujo de aire al CPS N°1.

## 6.2 CAPITAL TOTAL DE INVERSIÓN

### 6.2.1 Capital total inversión para sistema automático y semiautomático

La tabla VIII muestra los costos asociados tanto al sistema automático como el sistema semiautomático, el principal gasto está enfocado en la instrumentación y es la gran diferencia con el sistema manual.

Tabla VIII. Costos sistema automático y semiautomático

Sistema automático y semiautomático	Valor US\$
<b>Capital fijo directo</b>	
Instrumentación	9600
<b>Capital fijo indirecto</b>	
Ingeniería	4969
Imprevistos	1500
<b>Total inversión</b>	<b>16069</b>

### 6.2.2 Capital total inversión para sistema manual

La tabla IX muestra los costos asociados tanto al sistema, este sistema no tiene gastos asociados a instrumentación y su principal gasto estuvo asociado a la generación de la metodología.

Tabla IX. Costos sistema manual

Sistema automático y semiautomático	Valor US\$
<b>Capital fijo directo</b>	
Instrumentación	0
<b>Capital fijo indirecto</b>	
Ingeniería	3240
Imprevistos	1500
<b>Total inversión</b>	<b>4740</b>

## 6.3 FLUJO DE CAJA

Se usó una TMAR de 15% y una proyección en el tiempo para evaluar el proyecto de 10 meses.

### 6.3.1 Flujo de caja para sistema automático y semiautomático

Tabla X. Flujo de caja para sistema automático y semiautomático.

<b>Flujo de caja</b>		Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
Ingresos por venta	+		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Costo del producto	-											
Utilidad operacional	=		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Depreciación	-											
Interés	-											
Venta activo	+											
Pérdida del ejercicio anterior	-											
Utilidad antes del impuesto	=		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Impuesto a empresas	-	20%	818	818	818	818	818	818	818	818	818	818
Utilidad después del impuesto	=		3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273
Depreciación	+											
Valor de salvamento	+											
Pérdida del ejercicio anterior	+											
Amortización	-											
Inversión	-	16069										
Préstamo	+											
<b>Flujo de caja neto</b>	=	-16069	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273
<b>VAN</b>			<b>357,6</b>									
<b>TIR</b>			<b>15,58</b>									

### 6.3.2 Flujo de caja para sistema manual

Tabla XI. Flujo de caja para sistema manual

<b>Flujo de caja</b>		Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
Ingresos por venta	+		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Costo del producto	-											
Utilidad operacional	=		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Depreciación	-											
Interés	-											
Venta activo	+											
Pérdida del ejercicio anterior	-											
Utilidad antes del impuesto	=		4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091	4091
Impuesto a empresas	-	20%	818	818	818	818	818	818	818	818	818	818
Utilidad después del impuesto	=		3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273
Depreciación	+											
Valor de salvamento	+											
Pérdida del ejercicio anterior	+											
Amortización	-											
Inversión	-	4740										
Préstamo	+											
<b>Flujo de caja neto</b>	=	-4740	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273
<b>VAN</b>			<b>11686,6</b>									
<b>TIR</b>			<b>68,68</b>									

Para este proyecto tenemos una TMAR de 15%.

A. El flujo de caja para el sistema automático y semiautomático nos da un VAN de US\$ 357 y un TIR de 15,58 % proyectado en un periodo de 10 meses.

Por tanto  $TMAR < TIR$  por ende el proyecto es económicamente rentable.

B. El flujo de caja para el sistema manual nos da un VAN de US\$11.686 y un TIR de 68,68 % proyectado en un periodo de 10 meses.

Por tanto  $TMAR < TIR$  por ende el proyecto es económicamente rentable.

El sistema manual tiene mejor rentabilidad que el sistema automático y semiautomático aunque los beneficios otorgados con respecto a la captura y emisiones de gases fugitivos son mejores.

## CAPÍTULO VII CONCLUSIONES

La determinación de los parámetros críticos fue de vital importancia para esta propuesta, determino los límites inferiores seguros para la operación del sistema de ajuste de flujo de soplado de aire.

- i. Flujo aire de soplado: 500 Nm<sup>3</sup>/min
- ii. Presión línea de toberas: mayor a 6 Psi
- iii. Control de válvula: 0 a 50%
- iv. Ángulo sumersión de toberas: 35°

Estos parámetros fueron probados y no generaron ningún problema en la operación, a base de estos parámetros se pudo generar una metodología de giro. La metodología de giro fue probada mediante pruebas generando buenos resultados y en las pruebas si se disminuyó las emisiones de gases. Esto se pudo observar visualmente mediante la revisión de las cámaras que vigilan la operación.

Con respecto a las propuestas de implementación se llegó a 3 (automática, semiautomática y manual) de las cuales el cliente elegirá la que más le acomode, aunque se recomienda la instalación del sistema automático.

Además se presenta un análisis económico con el fin de ver que este sistema también genera un beneficio extra, capturando más SO<sub>2</sub> para así aumentar la producción de ácido sulfúrico. El sistema manual es quien obtuvo una mejor evaluación económica pero como los montos de gasto no superan los 16 mil US\$ no hay mayor influencia en esto. Y se debiese escoger aquel que tenga mejores ventajas en la disminución de emisiones.

Para el flujo de soplado el parámetro crítico más importante de todos, bajar el flujo de soplado de 800 Nm<sup>3</sup>/min a 500 Nm<sup>3</sup>/min significó una disminución de las emisiones de un 37 %, además de la efecto visual que provocan las emisiones fugitivas.

La presión de las toberas fue un parámetro complejo de controlar, ya que depende tanto del flujo de soplado de aire, como del grado de limpieza de las toberas, este se estableció en 6 Psi, y no hubo mayores problemas con la presión al realizar las pruebas.

Con respecto a la apertura de válvula controladora podemos decir que, esta variable fue la manipulada, el único problema fue el tiempo de actuación de la válvula pero este no fue impedimento para llevar a cabo las pruebas de buena forma. Se estableció que para el control de la válvula, esta se cerrara hasta el 50% rápidamente y de ahí en adelante hasta el 30% se comenzara a cerrar de a 2 puntos porcentuales, dándole un tiempo de 5 segundos para que el cambio se vea reflejado en el flujo.

El ángulo de sumersión de la línea de toberas quedó fijado en 35° desde la posición de soplado, este ángulo permitirá saber en qué momento cortar el flujo de aire para no dañar las toberas.

La metodología de operación para los giros a carga fría fue generada basándose en los procedimientos de operación, esta metodología permite disminuir considerablemente las emisiones de SO<sub>2</sub> con el solo hecho de hacer algunos ajustes al inicio del rolling-out y de rolling-in.

Con las pruebas de ajuste de flujo de aire de soplado realizadas pudimos concluir que el sistema de ajuste de flujo de aire tiene un efecto considerable en la disminución de las emisiones. Permitted probar esta propuesta con grandes resultados. Se notó visualmente un gran cambio en las emisiones fugitivas cuando se realizó el giro a carga fría. Las principales complicaciones de las pruebas fue que todas las pruebas realizadas se hicieron de forma manual, y fue el único sistema que se pudo probar.

Se estimó la reducción de emisiones comparando el sistema actual con el sistema de ajuste de flujo y se obtuvo una reducción del total de emisiones de la Fundición Altonorte de 1,5 puntos porcentuales.

Para la propuesta de implementación se obtuvieron dos partes, una es la metodología de operación del sistema que consiste en una lógica de control de operación y la otra es una propuesta de implementación en terreno, más bien que se requiere y como se instalará el sistema de ajuste de flujo de aire de soplado. En esta última parte se recomiendan 3 sistemas de implementación. Se recomienda instalar el sistema automático aunque genere unos gastos más elevados dado que sus beneficios con respecto a la captura de emisiones de gases son mayores.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, «Biblioteca nacional del congreso de Chile,» 12 12 2013. [En línea]. Available: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1057059&idVersion=2013-12-12>. [Último acceso: 30 11 2015].
- [2] O. Mendoza, «Descripción Técnica de procesos - Fundición Altonorte,» Antofagasta, 2010.
- [3] D. E. Reyes, «Cálculo para el volumen de tanque horizontal,» SPS Honduras, 2011.
- [4] AMEC, «Estudio de ingeniería de disminución de emisiones de SO<sub>2</sub> en la Fundición Altonorte,» Antofagasta, 2011.
- [5] Complejo Metalúrgico Altonorte, «Giro de emergencia CPS,» Antofagasta, 2012.
- [6] Complejo Metalúrgico Altonorte, «Giro normal de CPS a posición de carga,» Antofagasta, 2012.
- [7] Complejo Metalúrgico Altonorte, «Agregado de metal frío o carga fría a CPS en posición de carga o soplado,» Antofagasta, 2012.
- [8] C. M. Altonorte, «Agregado de fundente a CPS en posición de carga o soplado,» Antofagasta, 2012.
- [9] Complejo Metalúrgico Altonorte, «Agregado de metal blanco a CPS en posición de carga o soplado,» Antofagasta, 2012.

# ANEXOS

## Anexo A Instalación de recopia de señal para válvula FV 4510

### A-1 Descripción Técnica

Servicio: “instalación recopia de señal de posicionador perteneciente a la válvula FV-4510.”

- Introducción

La presente descripción técnica tiene por objetivo entregar los antecedentes requeridos para los trabajos a realizar en el Servicio, instalación recopia de señal de posicionador perteneciente a la válvula FV-4510, materia de esta licitación, en cuanto a alcances y condiciones que deberán ser considerados por parte de las empresas contratistas invitadas al proceso de licitación.

- Objetivos y alcances del trabajo

El objetivo del servicio es instalar una recopia de señal del posicionador de la válvula FV-4510 correspondiente a la línea de aire de soplado del CPS N°1, ubicada en el túnel de convertidores, esto nos permite tener una retroalimentación de la real apertura de la válvula.

- Descripción del trabajo

Se requiere realizar por parte del oferente, según detalle en punto anterior la instalación de una recopia de señal de un posicionador.

1. Cambio de posicionador por un posicionador con salida de recopia más el kit de montaje compatible con el actuador DeZurik.
2. Realizar cableado desde posicionador hasta escalerilla eléctrica usando cañería ¾” o ½” galvanizada, luego el cableado debe ir por la escalerilla hasta llegar al gabinete ubicado en el tercer piso de la nave sector convertidores para la conexión en el puerto disponible.
3. Conectar en el punto a designar por el departamento de sistema.

4. El cable a usar debe ser 1 x 1Par X 16 AWG Apantallado para la conexión desde el posicionador hasta la sala de gabinete de CPS.

Para tal caso quien se adjudique el trabajo deberá considerar los EPP necesarios según normativa Altonorte para el resguardo del personal.

- Aporte de Altonorte
  - Autorización para acceso a terreno y ejecución de trabajos.
  - Visita a terreno (de ser necesario).
  - Entrega información necesaria
  - Documentos Estructurales DS como fuente de información de requisitos en materia de Salud, Seguridad, Comunidad, Medio Ambiente.
  - En términos generales, Altonorte entregará al contratista todas las facilidades para el buen desarrollo de los trabajos del contrato.
  
- Aporte del servicio
  - Todos los gastos que demanden la operación, mantenimiento y/o reparación de los vehículos de apoyo, herramientas y equipos usados en la ejecución de los trabajos serán de exclusivo cargo del contratista.
  - Movilización para todo el personal hacia la planta.
  - Vehículos apropiados para el traslado de sus herramientas y Equipos.
  - Personal Competente y Capacitado (Incluir Currículum).
  - Alimentación.
  - Supervisor

## Tiempo de Ejecución

Trabajos deben ser coordinados con el jefe de turno para no interferir en la operación de soplado.

A-2 Cotización empresa Zurich-Chile instrumentación recopia de señal.



### Oferta M260815-2932VR

Para: Guillermo Bahamondes Jeraldo  
Gerencia de Operaciones  
Complejo Metalúrgico Altonorte

Ref.: Solicitud cotización Posicionadores Siemens SIPART PS2  
Protocolo 4-20mA, HART con feedback + kit de montaje

Términos: Neto a 30 días

Entrega: Su Transporte en Santiago

Despacho: 6-7 semanas previa recepción de orden de compra

Garantía: 12 meses

Moneda y valores expresados en USD (\$) + IVA

Fecha: 28 de agosto de 2015

Validez: 30 días

Enviar O/C a: ZURICH CHILE S.A.

RUT 99.528.620-3

Las Garzas 950, Módulo A

Santiago - Chile

Tel. +56 2 2951 9750

Preparado por: Jean Jaure

[jjoure@zurich-chile.cl](mailto:jjoure@zurich-chile.cl)

Contacto Zona Norte: Rodolfo Gonzalez

[rgonzalez@zurich-chile.cl](mailto:rgonzalez@zurich-chile.cl)

Ítem	Qty	DESCRIPTION	Unit Price (\$)	Total Price (\$)
1	1	POSICIONADOR ELECTRONEUMATICO SIEMENS SIPART PS-2 SIMPE EFECTO, PROTOCOLO 4-20mA, HART, FEEDBACK, BLOCK DE MANOMETROS, CONEXIÓN AIRE 1/4" NPT, CONEXIÓN ELECTRICA 1/2" NPT, GRADO DE PROTECCION 4X/IP66. ORDER CODE: P85SHN-F-G P/N 6DR52100EN010AA1	2.850	2.850
2	1	POSICIONADOR ELECTRONEUMÁTICO SIEMENS SIPART PS-2 DOBLE EFECTO, PROTOCOLO 4-20mA, HART, FEEDBACK, BLOCK DE MANOMETROS, CONEXIÓN AIRE 1/4" NPT, CONEXIÓN ELECTRICA 1/2" NPT, GRADO DE PROTECCION 4X/IP66. ORDER CODE: P85DHN-F-G P/N 6DR52100EN010AA2	2.980	2.980
3	2	KIT DE MONTAJE PARA POSICIONADOR SIEMENS SIPART PS-2 ACTUADOR DeZURIK; MATERIAL ACERO INOXIDABLE AISI 316	670	1.340
<b>TOTAL USD \$</b>			<b>7.170</b>	

Nota 01: El valor es válido por la totalidad de la oferta.

## Anexo B

B-1 Metodología de cálculo para estimación extra producción ácido sulfúrico por concepto de sistema de ajuste de flujo de aire de soplado en CPS N°1

Volumen de SO<sub>2</sub> mensual entrada Planta de ácido N°1

$$190.000 \frac{Nm3}{hora} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{28 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} * 0.08 = 10.214.400 \frac{Nm3}{mes}$$

Volumen de SO<sub>2</sub> extra por uso de sistema de ajuste de flujo de aire de soplado al CPS N°1

$$420 \frac{Nm3}{dia} * \frac{28 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 11.760 \frac{Nm3}{mes}$$

Producción mensual ácido sulfúrico PAC 1

$$1244 \frac{Ton}{dia} * \frac{28 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 34.832 \frac{Ton}{mes}$$

Factor entrada de SO<sub>2</sub> PAC 1/producción ácido PAC 1

$$\frac{34.832}{10.214.400} = 0,00341009 \frac{Ton \text{ ácido sulfurico PAC 1}}{Nm3 \text{ entrada PAC 1}}$$

Producción extra mensual ácido sulfúrico PAC 1

$$11760 \frac{Nm3}{mes} * 0,00341009 \frac{Ton}{Nm3} = 40,1 \frac{Ton}{mes}$$

Ingreso extra mensual por ácido sulfúrico

$$40,1 \frac{Ton}{mes} * 102 \frac{US\$}{Ton} = 4091,3 \frac{US\$}{mes}$$

## Anexo C: Datos operacionales y resultados pruebas

### C-1 Protocolo de pruebas para ajuste de flujo de aire de soplado CPS N°1

Se pretenden hacer las siguientes pruebas para ver los tiempos de control de flujo al hacer variar la apertura de la válvula. Estas pruebas se realizaran cuando se agregue una carga fría al CPS N°1.

Los pasos se detallan a continuación

1. Ajustar apertura de válvula FV 4510 al 50% si la válvula supera este parámetro (si es que el flujo supera los  $650 \text{ Nm}^3/\text{min}$ )  
*(Según gráfica adjunta el flujo no varía considerablemente dado que se controla el 80% de flujo en el primer tramo de 0 a 50% de apertura)*
2. Una vez, ajustada válvula, variar de a poco la apertura de válvula hasta encontrar un flujo cercano a los  $500 \text{ Nm}^3/\text{min}$  o hasta que la presión sea menor igual a 6 Psi.
3. El inicio del giro será dado por el maestro sala control y no se efectuará hasta que él lo diga.
4. Maestro sala control reactor informa a maestro CPS N°1 que puede efectuar giro.
5. CPS N°1 en posición de carga se cierra válvula FV 4510 (0% de apertura)
6. **Ante cualquier anomalía o emergencia se suspenderá la prueba.**

## C-2 Histograma comportamiento de flujo de operación CPS N°1

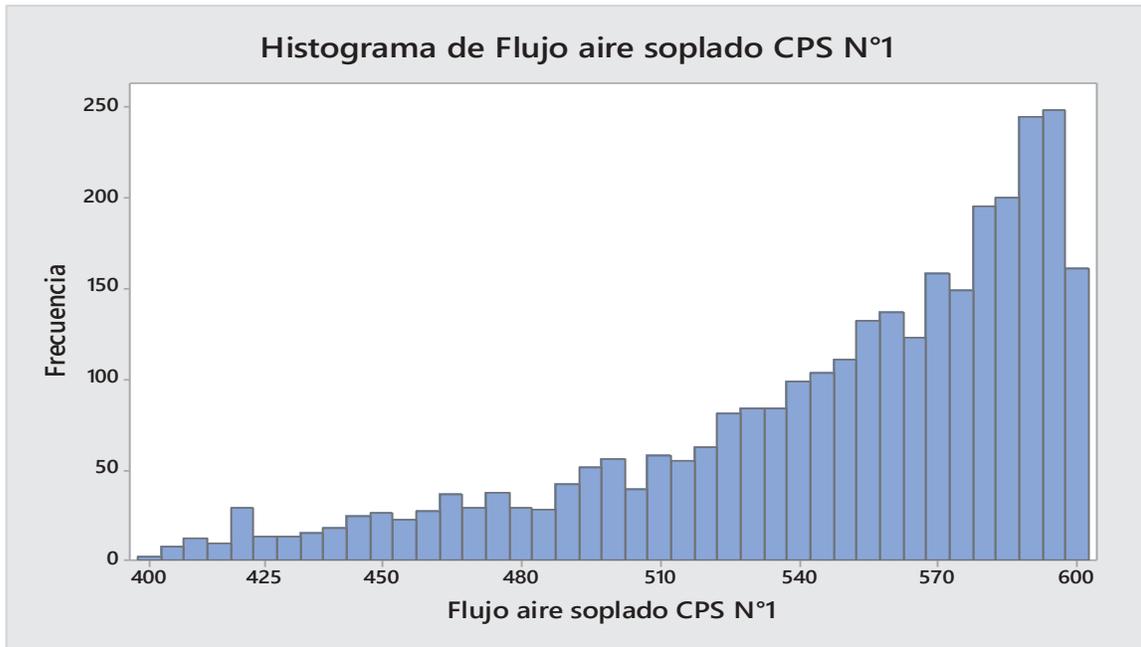


Figura 23 Histograma comportamiento flujo de operación

### C-3 Histograma comportamiento presión línea de toberas de operación CPS N°1

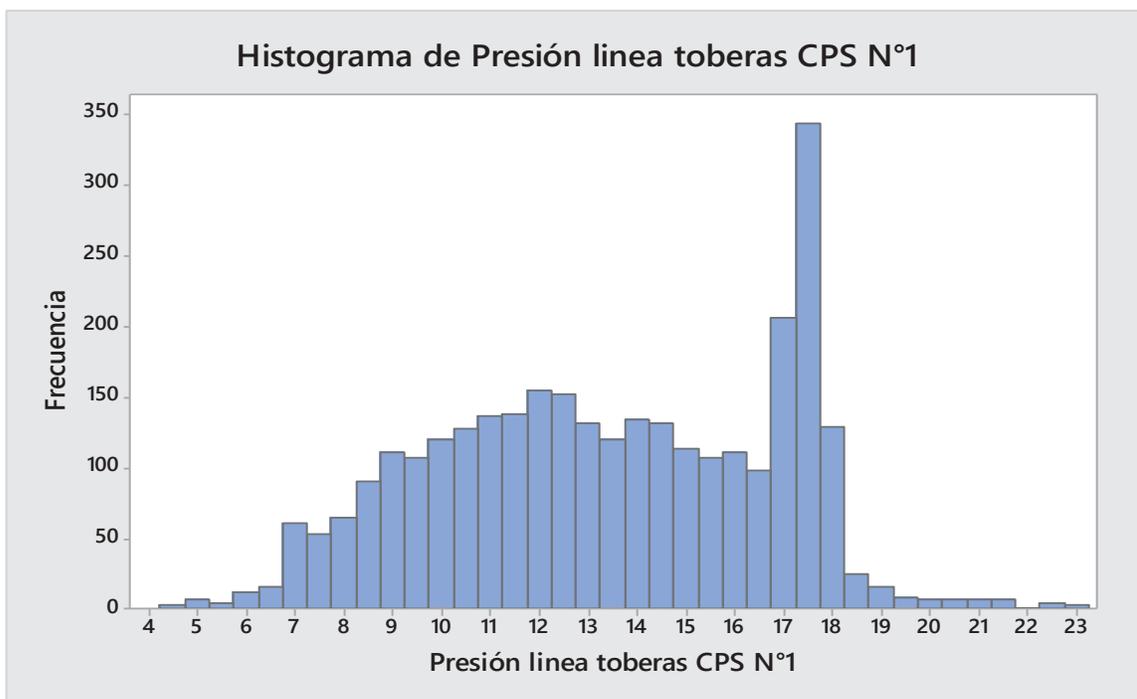


Figura 24 Histograma comportamiento presión línea toberas de operación CPS N°1

## C-4 Gráfica de predicción de flujo para CPS N°1

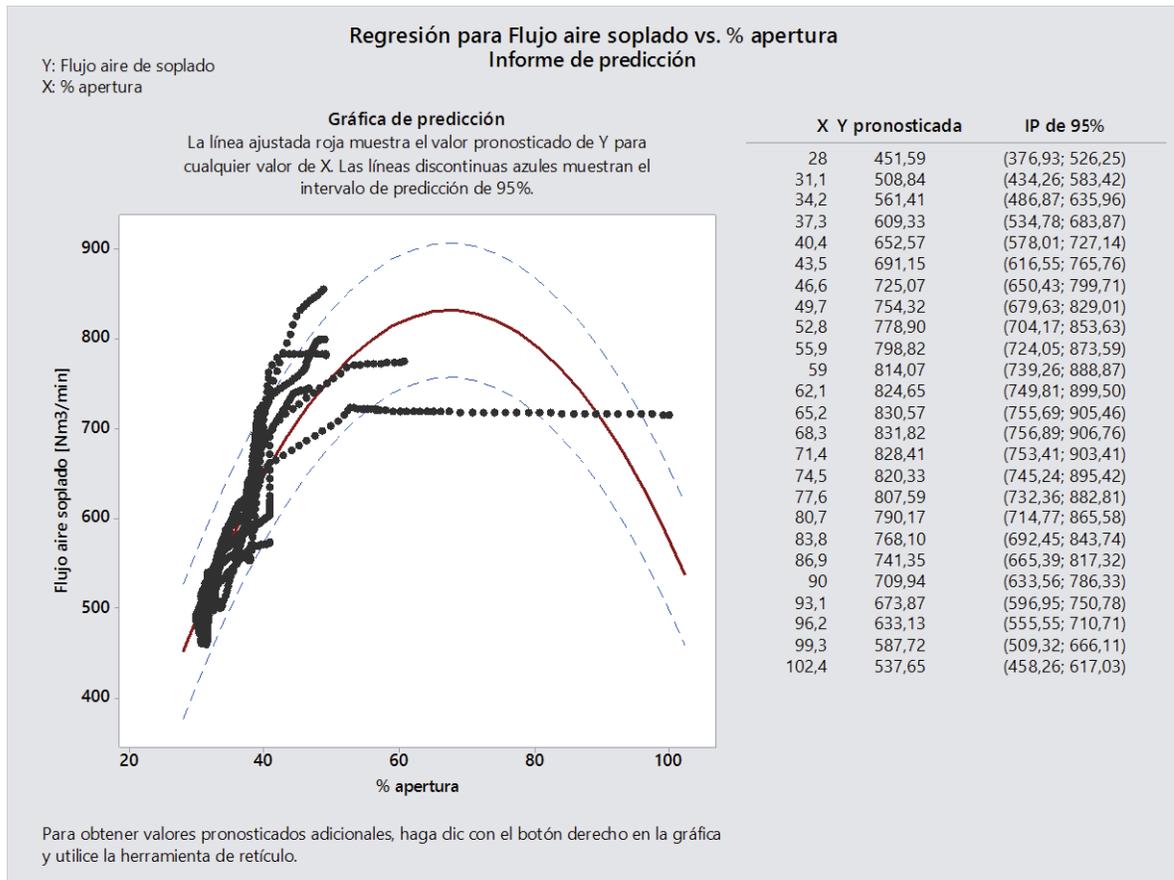


Figura 25 Gráfica de predicción de flujo para CPS N°1

C-6 Datos operacionales extraídos de planilla “Datos operacionales CPS” perteneciente a Altonorte.

Tabla XII. Datos operacionales de los convertidores Fundición Altonorte

CPS	Soplado Unitario [Nm <sup>3</sup> ]	Soplado Simultáneo [Nm <sup>3</sup> ]	Soplado Unitario	Soplado Simultáneo	Ollas MB	Tiempo efectivo de soplado	Tiempo perdido por ciclo	Tiempo adición de carga fría	Ollas Carga fría
1	778,609	610,536	22,79%	21,97%	10	0.89	41,76	4	3,97
2	704,427	586,598	23,07%	23,05%	8	0.87	49,4	4	2,44
3	712,441	590,387	23,83%	23,97%	8	0.89	33,86	4	3,19
4	581,904	538,505	23,13%	23,30%	5	0.85	39,3	4	2,29

## Anexo D

D-1 Decreto 28: Establece norma de emisión para las fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsenico.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile



Legislación chilena



Tipo Norma	:Decreto 28
Fecha Publicación	:12-12-2013
Fecha Promulgación	:30-07-2013
Organismo	:MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
Título	:ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO
Tipo Versión	:Única De : 12-12-2013
Inicio Vigencia	:12-12-2013
Id Norma	:1057059
URL	: <a href="http://www.leychile.cl/N?i=1057059&amp;f=2013-12-12&amp;p=">http://www.leychile.cl/N?i=1057059&amp;f=2013-12-12&amp;p=</a>

### ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

Núm. 28.- Santiago, 30 de julio de 2013.- Vistos: Lo dispuesto en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el artículo segundo de la Ley N° 20.417, Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente; en el decreto supremo N° 93, de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que aprueba el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión; en el acuerdo del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), que aprobó el Programa Estratégico de Normas 2007-2009, y que fuera oficializado mediante resolución exenta N° 285, de 24 de marzo de 2010, del Director Ejecutivo de Conama; en la resolución exenta N° 300, de 7 de marzo de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial el 15 de marzo del mismo año, que dio inicio a la elaboración de la norma de emisión para fundiciones; en la resolución exenta N° 528, de 4 de mayo de 2011, que da inicio a la revisión de la norma de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire (decreto N° 165, de 1999, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia) y ordena su acumulación al proceso de elaboración de la norma de emisión para fundiciones; en la resolución exenta N° 536, de 25 de junio de 2012, que aprobó el anteproyecto de norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico; la opinión formulada por el Consejo Consultivo del Ministerio del Medio Ambiente de fecha 4 de octubre de 2012; el acuerdo N° 8, de 2 de mayo de 2013, del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad; los demás antecedentes contenidos en el expediente respectivo; la resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón, y

#### Considerando:

Que la Constitución Política de la República reconoce en el artículo 19 N° 1 el derecho a la vida y la integridad física de las personas, y en su artículo 19 N° 8, el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. En este sentido, y de acuerdo con lo preceptuado en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, es función del Estado dictar normas de emisión con el propósito de prevenir el riesgo sobre la salud de las personas, la calidad de vida y el medio ambiente.

Que la presente norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico tiene por objetivo proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional. Como resultado de su aplicación se reducirán las emisiones al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), arsénico (As) y mercurio (Hg). Para tales contaminantes, existe suficiente evidencia que comprueba los efectos adversos crónicos y agudos sobre la salud de las personas y sobre el medio ambiente.

Que la presente norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico se fundamenta en el principio de eficiencia, el cual consiste en evaluar las medidas que deben abordar las fuentes reguladas para reducir sus niveles de contaminación, al menor costo social posible, privilegiando la mejor asignación de los recursos.

Que la Evaluación del Desempeño Ambiental realizada por la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) al año 2005 a Chile indica respecto a la fuente que se regula: "las actividades de fundición todavía son causantes del grueso de las emisiones y deben reducir aún más", recomendando a Chile "avanzar en el desarrollo de normas de emisión nacional, que incluyan la regulación de contaminantes tóxicos en el aire y que reduzcan aún más el impacto



de la contaminación por SO<sub>2</sub> y arsénico\*.

Que para elaborar la presente norma de emisión se consideraron criterios técnicos, económicos y sociales, entre los que destacan: un completo diagnóstico de la condición tecnológica asociada a cada fundición existente; la evolución de la emisión de contaminantes a la atmósfera de las fuentes; la toxicidad y efectos de los contaminantes; la eficiencia y eficacia de los instrumentos ambientales vigentes que les son aplicables a las fuentes en materia de emisiones al aire; la disponibilidad de tecnologías de control y su potencial de reducción de emisiones; la tendencia y enfoque de la regulación internacional.

Que las fundiciones de cobre y las fuentes emisoras de arsénico se caracterizan por generar emisiones al aire, tanto en forma fugitiva como por chimeneas. Las emisiones se caracterizan por contener SO<sub>2</sub>, MP y trazas de sustancias tóxicas, tales como: As, Hg, plomo (Pb) y Níquel (Ni), entre otros. Tales elementos forman parte natural de la composición química de los concentrados o de los minerales, que al ser sometidos a procesos térmicos de fusión y conversión y al ser liberados a la atmósfera, como gases y partículas en fases líquida y gaseosa, aumentan su nivel de agresividad y toxicidad.

Que dependiendo de las características químicas de la sustancia emitida y de su tiempo de vida en la atmósfera, los contaminantes se transportan a escala local, regional o meso escala. De esta forma, los impactos y los efectos no deseados sobre distintos receptores se pueden producir a diferentes distancias desde la fuente emisora y con distintos niveles de daño o toxicidad.

Que con la norma de emisión se reducen las emisiones al aire de sustancias tóxicas y emisiones directas de MP y de SO<sub>2</sub>. Este último contaminante es a su vez uno de los principales precursores en la formación de material particulado fino (MP2.5).

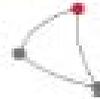
Que la presente norma establece límites de emisión tanto para los procesos unitarios de las fuentes emisoras como para las emisiones fugitivas de las mismas. La importancia de los primeros radica en que su control reduce la probabilidad de eventos de corta duración, producto de inadecuadas prácticas operacionales o fallas en los sistemas de control. Por su parte, el control de las emisiones fugitivas es de gran importancia, ya que los procesos de fusión y conversión, cuando correspondan a procesos abiertos y discontinuos como es el caso general, emiten la mayor proporción de contaminantes. Por tal razón, con la aplicación de la norma se espera optimizar la captura de gases fugitivos, mejorando la calidad del aire del entorno.

Que para la elaboración de esta norma se consideró la evaluación de los escenarios de control simulados respecto de la situación sin norma. Para cada escenario evaluado se estimó el potencial de reducción de emisión de cada fundición así como los costos asociados, simulándose los efectos de la reducción de las emisiones en la calidad del aire.

Que se evaluaron tres escenarios de captura y fijación de SO<sub>2</sub> para fuentes existentes -95%, 96% y 97%-, seleccionándose el escenario de 95%, por presentar la mayor eficiencia y costo efectividad en las reducciones logradas. Con este escenario se calcularon los límites de emisión de SO<sub>2</sub> para cada fundición existente, respecto a la capacidad nominal declarada al año 2010 y los contenidos proyectados de azufre (S) en el concentrado. Idéntico criterio se utilizó respecto de los límites de emisión de As. Estos criterios se aplicaron para las fundiciones Hernán Videla Lira, Ventanas, Chagres, Potrerillos, Caletones y Chuquicamata. En el caso de las fundiciones Chagres y Altonorte, que fueron sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, se constató que ambas cuentan con exigencias ambientales que limitan sus emisiones de SO<sub>2</sub> a niveles menores que los resultantes de aplicar el criterio descrito. Para el caso del As, el límite de emisión para Chagres se establece utilizando el criterio de 95% de captura y fijación antes descrito. Para Altonorte, se fija de acuerdo a exigencias ambientales ya existentes, contenidas en su resolución de calificación ambiental. De esta forma, por aplicación del principio de eficiencia se ha optado por mantener aquellos límites de emisión menores, los cuales no implican, producto de la implementación de la norma, costos incrementales para estas fundiciones.

Que con respecto a los límites de emisión para MP y SO<sub>2</sub> en chimenea, se consideró especialmente la disponibilidad de tecnologías para recuperar el material y reducir las emisiones.

Que con respecto a los límites de emisión de Hg en las plantas de ácido, se



ha estimado suficiente exigirles a las fuentes existentes la medición e información de los niveles de Hg, dado que se espera como co-beneficio que las emisiones de esta sustancia tóxica se reduzcan producto de las mejoras aplicadas. Para las fuentes nuevas se han considerado para fijar el parámetro las mejores técnicas disponibles.

Que respecto a los límites de emisión de As en las chimeneas de los hornos de limpieza de escoria se ha estimado pertinente establecer un valor de 1 mg/Nm<sup>3</sup> para la emisión de As de las fuentes existentes. Para las fuentes nuevas se han considerado para fijar el parámetro las mejores técnicas disponibles.

Que los plazos de cumplimiento dispuestos en la presente norma, atendido al principio de gradualidad, se han establecido en consideración a la factibilidad técnica y al tipo de adecuaciones que se requiere implementar a cada una de las fuentes existentes. Por otra parte, además del cumplimiento de los límites de emisión, se establecen medidas operacionales y mecanismos de seguimiento a las emisiones que pueden ser implementados en forma inmediata una vez publicada la norma.

Que durante el período de transición, que comprende desde la entrada en vigencia de la presente regulación hasta el plazo que se establece para el cumplimiento de las metas de emisión, se ha considerado apropiado congelar las emisiones de las fuentes emisoras existentes.

Decreto:

#### TÍTULO I

#### Objetivo, aplicación territorial y definiciones

Artículo 1°.- Objetivo: La presente norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico tiene por objeto proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional. Como resultado de su aplicación se reducirán las emisiones al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), arsénico (As) y mercurio (Hg).

Artículo 2°.- Definiciones: Para los efectos de lo dispuesto en esta norma, se entenderá por:

- a) Fuente emisora: toda fundición de cobre o cualquier otra fuente industrial emisora de As donde se realiza un tratamiento térmico de compuestos minerales o metalúrgicos de cobre y oro, cuyo contenido de As en la alimentación sea superior a 0,005% en peso en base mensual.
- b) Fuente emisora existente: corresponde a las fundiciones: Altonorte, Calstones, Chagres, Chuquicamata, Hernán Vidala Lira, Potrerillos y Ventanas, y a toda otra fuente industrial emisora de arsénico que hubiera obtenido una resolución de calificación ambiental favorable con anterioridad a la publicación de esta norma en el Diario Oficial.
- c) Fuente emisora nueva: fuente emisora que ha obtenido su resolución de calificación ambiental con posterioridad a la publicación de esta norma en el Diario Oficial.
- d) Límite del sistema: corresponde al límite de la fuente emisora que determina los flujos de entrada y salida de un conjunto de operaciones consideradas para establecer el balance de masa de arsénico y de azufre. En particular, las corrientes o flujos de entrada se ubicarán inmediatamente antes del o los equipos de tostación, si existieran, o antes del o los equipos de lavado de material o, si éstos no existieran, del o los equipos de fusión. Por su parte, las corrientes o flujos de salida incluyen a todos los productos y subproductos generados por una fuente emisora y por los equipos de control de emisiones, que no son recirculados dentro del límite del sistema. Se excluyen del interior del límite del sistema las operaciones de recepción y acopio del concentrado.
- e) Porcentajes de captura y fijación: Capacidad de una fuente emisora, expresada en porcentajes, de colectar, retener y abatir una o más sustancias tóxicas o átomos precursores de contaminantes, tales como azufre y arsénico.



## TÍTULO II

## Límites máximos de emisión al aire y plazos para el cumplimiento

Artículo 3°.- Límites de emisión anual para fundiciones existentes: Las fundiciones existentes no deberán exceder los siguientes límites máximos de emisión para SO<sub>2</sub> y As por año calendario:

Tabla 1: Límites máximos de emisión de SO<sub>2</sub> y As para fuentes existentes.

Fuente emisora	SO <sub>2</sub> (ton/año)	As (ton/año)
Altonorte	24.000	126
Caletones	47.680	130
Chagres	14.400	35
Chuquicamata	49.700	476
Hernán Videla Lira	12.880	17
Potrerrillos	24.400	157
Ventanas	14.650	48

Simultáneamente, las fundiciones existentes deberán cumplir con un porcentaje de captura y fijación del azufre (S) y del arsénico (As) igual o superior a un 95%.

Para el primer año de vigencia de la norma las fuentes emisoras existentes deben calcular sus emisiones anuales de SO<sub>2</sub> y de As según la siguiente relación:

$$\text{Emisión} = (\text{Límite máximo de emisión} / 12) * N^{\circ} \text{ de meses restantes.}$$

Donde el N° de meses restantes corresponda a los meses contados desde la entrada en vigencia del decreto hasta diciembre de ese año.

Artículo 4°.- Límites de emisión en chimenea para fundiciones existentes: Las fundiciones existentes no deberán exceder los límites de emisión en la o las chimeneas de los siguientes procesos unitarios:

- Las plantas de ácido deben emitir una concentración de SO<sub>2</sub> inferior o igual a 600 ppm, partes por millón en volumen. El valor límite de emisión de SO<sub>2</sub> se verificará como concentración promedio horaria, durante cada hora de operación de la planta de ácido.
- Las plantas de ácido deben emitir una concentración de As inferior o igual a 1 mg/Nm<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de As se verificará una vez al mes.
- Los secadores y los hornos de limpieza de escoria deben emitir una concentración de MP inferior o igual a 50 mg/Nm<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de MP se verificará una vez al mes.
- Los hornos de limpieza de escoria deben emitir una concentración de As inferior o igual a 1 mg/Nm<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de As se verificará una vez al mes.
- Las chimeneas de los hornos de refinado deberán mantener un nivel de opacidad de los humos inferior o igual a 20%, según método de escala Ringelman o método 9, de Determinación visual de la opacidad de las emisiones de fuentes estacionarias, de acuerdo al Código de Regulaciones Federales (CFR) 40 de los Estados Unidos, Parte 60.



Las condiciones normales N corresponden a: 25 °C y 1 atmósfera.

Artículo 5°.- Límites de emisión para otras fuentes industriales emisoras de arsénico existentes: Las otras fuentes industriales emisoras de arsénico existentes no deberán exceder los límites de emisión en la o las chimeneas del siguiente proceso unitario:

- a) Las plantas de ácido deben emitir una concentración de SO<sub>2</sub> inferior o igual a 400 ppm, partes por millón en volumen. El valor límite de emisión de SO<sub>2</sub> se verificará como concentración promedio horaria, durante cada hora de operación de la planta de ácido.
- b) Las plantas de ácido deben emitir una concentración de As inferior o igual a 1mg/M<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de As se verificará una vez al mes.

Artículo 6°.- Plazos para el cumplimiento de fuentes emisoras existentes: Las fundiciones existentes deben cumplir con las exigencias establecidas en los artículos 3° y 4°, en los plazos que se disponen a continuación:

- a) 5 años a contar de la fecha de publicación de la norma en el Diario Oficial si la fuente emisora no cuenta con una planta de ácido de doble contacto.
- b) 3 años a contar de la fecha de publicación de la norma en el Diario Oficial si la fuente emisora cuenta con al menos una planta de ácido de doble contacto.

Las otras fuentes industriales emisoras de arsénico deberán cumplir con las exigencias establecidas en el artículo 5° en un plazo de 2 años y medio a contar de la publicación de la norma en el Diario Oficial.

Artículo 7°.- Modificaciones en una fuente emisora existente: Si alguna de las fuentes emisoras existentes señaladas en el artículo 3° modificase su capacidad de tratamiento, fusión o conversión o algún proceso unitario indicado en el artículo 4°, le seguirá aplicando las mismas exigencias establecidas en los artículos 3° y 4°.

Artículo 8°.- Límites de emisión para fuentes nuevas y plazo para el cumplimiento: Las fuentes emisoras nuevas deben cumplir con las siguientes disposiciones:

Durante cada año calendario:

- a) Emitir una cantidad inferior o igual al 2% en peso del azufre ingresado a la fuente emisora.
- b) Emitir una cantidad inferior o igual al 2% en peso del As ingresado a la fuente emisora.

Límites de emisión en chimeneas:

- a) Las plantas de ácido deben emitir una concentración de SO<sub>2</sub> inferior o igual a 200 ppm, partes por millón en volumen. El valor límite de emisión de SO<sub>2</sub> se verificará como concentración promedio horaria, durante cada hora de operación de la planta de ácido.
- b) Las plantas de ácido deben emitir una concentración de As inferior o igual a 1 mg/M<sup>3</sup>; y una concentración de Hg inferior o igual a 0,1 mg/M<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de As y Hg se verificará una vez al mes.
- c) Los secadores y los hornos de limpieza de escoria deben emitir una concentración de MP inferior o igual a 30 mg/M<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de MP se verificará una vez al mes.
- d) Los hornos de limpieza de escoria deben emitir una concentración de As inferior o igual a 1 mg/M<sup>3</sup>. El valor límite de emisión de As se verificará una vez al mes.
- e) Las chimeneas de los hornos de refino deberán mantener un nivel de opacidad de los humos inferior o igual a 20%, según método de escala Ringelman o método 9, de Determinación visual de la opacidad de las emisiones de fuentes estacionarias, de acuerdo al Código de



Regulaciones Federales (CFR) 40 de los Estados Unidos, Parte 60.

Las condiciones normales N correspondan a 25 °C y 1 atmósfera.

Las fuentes emisoras nuevas deben cumplir con lo dispuesto en el presente artículo desde su entrada en operación.

Artículo 9°.- Relación con límites de emisión fijados en resoluciones de calificación ambiental: Las fuentes emisoras existentes y nuevas deberán cumplir con los límites establecidos en el presente decreto, salvo que los límites máximos fijados en las respectivas resoluciones de calificación ambiental sean más exigentes, en cuyo caso se deberá aplicar y dar cumplimiento a estos últimos.

Artículo 10.- Compensación o cesión de emisiones: Las fuentes emisoras que reduzcan emisiones para cumplir con los límites establecidos en la presente norma, sólo podrán compensar o ceder emisiones si acreditan una reducción adicional, permanente y verificable a lo requerido para el cumplimiento de la presente norma.

### TÍTULO III

#### Fiscalización y metodologías para verificar el cumplimiento

Artículo 11.- Control y fiscalización: Corresponderá al control y fiscalización del cumplimiento del presente decreto a la Superintendencia del Medio Ambiente, en conformidad a lo dispuesto en el artículo 2° de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, contenida en el artículo segundo de la ley N° 20.417.

Artículo 12.- Verificación de los límites de emisión anual y del porcentaje de captura y fijación: La Superintendencia del Medio Ambiente establecerá los protocolos para implementar los balances de masa de arsénico y azufre. No obstante, para el balance de masa de arsénico se debe considerar lo indicado en el Título III, Metodologías de medición y control de la norma, párrafos del 1 al 5, artículos del 15 al 29, del decreto supremo N° 165, de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece la Norma de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire.

Para verificar el cumplimiento de los límites máximos de emisión de SO<sub>2</sub> y de As y del porcentaje de captura y fijación de azufre y de As, las fuentes emisoras nuevas y existentes deberán presentar a la Superintendencia del Medio Ambiente, para su aprobación, las metodologías específicas conforme las cuales se realizarán los balances de masa mensuales para azufre y arsénico dentro del límite del sistema, en el plazo de 45 días hábiles a contar de la entrada en vigencia del presente decreto o de la entrada en operación, según se trate de fuentes existentes o nuevas, respectivamente. Las emisiones anuales de azufre y de arsénico resultan de la suma de los balances mensuales de cada contaminante durante un año calendario.

Sobre los balances de masa:

- i. Una tonelada de azufre es equivalente a dos toneladas de SO<sub>2</sub>.
- ii. Los balances de masa mensual de azufre y arsénico se obtienen como la diferencia entre las cantidades netas de azufre y de arsénico que ingresan a la fuente emisora y las cantidades netas de azufre y arsénico presentes en todos los flujos de salida, menos la cantidad neta acumulada mensualmente.
- iii. Se debe restar en el balance de masa anual de arsénico la cantidad total de arsénico recuperado de operaciones de mantención o limpieza, del reemplazo parcial o total de los equipos o de la suspensión temporal o permanente de uno o varios equipos, durante el transcurso del año. Se debe informar las cantidades recuperadas en cada acción de mantenimiento.
- iv. Se debe excluir del balance de masa mensual de arsénico la cantidad total de arsénico proveniente de acciones de mantención y/o limpieza, que impliquen acumulación. Estas deberán ser informadas, pero no incluidas en el balance.



- v. Se deben validar los balances de masa mensual de arsénico y de azufre utilizando los balances de masa de cobre (Cu) o de fierro (Fe).
- vi. Si los balances de masa mensuales de arsénico y azufre son ajustados, se debe informar sobre todos aquellos flujos medidos y ajustados.
- b) Los flujos de entrada para el balance de masa mensual comprenden al menos: concentrado y su contenido promedio mensual de arsénico y azufre, otros flujos que contengan azufre y arsénico, calcinas, scrap y otros materiales fundentes.
- c) Los flujos de salida para el balance de masa mensual comprenden al menos: ácido sulfúrico, polvos captados no recirculados producto de la operación de equipos de control, afluentes producto de la limpieza de los gases, escorias de desarte producto de la limpieza de escoria y los productos de cobre, como ánodo, raf u otro refinado.
- d) Los porcentajes de captura y fijación de SO<sub>2</sub> y As de la fuente emisora se deben calcular en base mensual y anual.

Artículo 13.- Auditoría externa: Las fuentes emisoras nuevas y existentes deben realizar una auditoría, con el objeto de revisar y verificar la aplicación de las metodologías usadas en los balances de masa y en la estimación de MP. Para tales efectos:

- i. La auditoría se deberá realizar anualmente, por una entidad certificadora de conformidad autorizada por la Superintendencia del Medio Ambiente.
- ii. La auditoría se deberá implementar durante el primer semestre de cada año calendario. Se deberá informar a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Secretaría Regional Ministerial (Seremi) del Medio Ambiente respectiva sobre el inicio y duración de la auditoría.
- iii. Una vez finalizada la auditoría, el informe se deberá remitir a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del Medio Ambiente respectiva, en un plazo no mayor a 15 días hábiles.
- iv. La primera auditoría se deberá realizar a partir del año siguiente de la publicación de la presente norma, la cual tendrá por objeto validar la aplicación de la metodología específica implementada por cada fuente emisora.

Artículo 14.- Metodologías de medición en chimeneas: Las fuentes emisoras nuevas y existentes deben implementar las siguientes metodologías para verificar el cumplimiento de los límites máximos de emisión en chimeneas:

- a) Para medir SO<sub>2</sub> en las plantas de ácido, se debe implementar y validar un sistema de monitoreo continuo, de acuerdo a lo indicado en la Parta 75, volumen 40 del Código de Regulaciones Federales (CFR) de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) o aquel protocolo que establezca la Superintendencia del Medio Ambiente.

Las fuentes emisoras existentes tendrán un plazo de un año para instalar y validar el sistema de monitoreo continuo de emisiones, contado desde la fecha de entrada en vigencia del presente decreto. Las fuentes emisoras nuevas, en tanto, deberán incorporar el sistema de monitoreo continuo desde su entrada en operación. El sistema de monitoreo continuo de emisiones será aprobado mediante resolución fundada por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Los valores límites de emisión para SO<sub>2</sub> en plantas de ácido se evaluarán sobre la base de promedios horarios que se deberán cumplir el 95% de las horas de funcionamiento. El 5% de las horas restantes comprende horas de encendido, apagado o posibles fallas.

Los datos que se obtengan del monitoreo continuo deberán estar en línea con los sistemas de información de la Superintendencia del Medio Ambiente y con la Seremi del Medio Ambiente que corresponda.

- b) Para medir As y Hg en las plantas de ácido y en los hornos de



limpieza de escoria, se debe utilizar el método CH-29 denominado "Determinación de emisión de metales desde fuentes fijas", aprobado por el Ministerio de Salud.

- c) Para medir MP, en los secadores y en los hornos de limpieza de escoria, se debe utilizar el método CH-5 denominado "Determinación de las emisiones de partículas desde fuentes estacionarias", aprobado por el Ministerio de Salud.

Las fuentes emisoras existentes tendrán un plazo de 12 meses para el cumplimiento de lo dispuesto en las letras b) y c) de este artículo, contados desde la fecha de entrada en vigencia del presente decreto. Las fuentes emisoras nuevas, en tanto, deberán darles cumplimiento desde su entrada en operación.

Las mediciones en chimenea deben ser realizadas por entidades de inspección autorizadas por la Superintendencia del Medio Ambiente. De la misma forma, la Superintendencia podrá requerir que se informe en otros períodos y frecuencias sobre los mismos u otros contaminantes o parámetros de interés.

Lo dispuesto en este artículo es sin perjuicio de las atribuciones de la Superintendencia del Medio Ambiente, establecidas en el artículo 3° letra f) de su ley orgánica.

#### TÍTULO IV

##### Prácticas operacionales para el control de emisiones

Artículo 15.- Prácticas operacionales para reducir emisiones al aire: Con el fin de minimizar las emisiones al aire las fuentes emisoras deben cumplir con lo siguiente:

- a) Informar a lo menos con un mes de anticipación, a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del Medio Ambiente respectiva, sobre el apagado o detención programada de la planta de ácido y del horno de fusión, así como también la duración de cada período de mantención.
- b) Incorporar en el Plan de operación y mantención de los sistemas de captura de gases lo siguiente:
- i. Las instrucciones del proveedor de los equipos y los procedimientos especificados para el plan de mantención.
  - ii. La inspección mensual que incluya observaciones de la apariencia física de los equipos y verificación del funcionamiento de los componentes de los mismos.
  - iii. Un plan de contingencia que tenga por objetivo informar inmediatamente cuando ocurra un evento a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del Medio Ambiente respectiva, así como las acciones correctivas para enfrentar las fallas relacionadas con fugas o emisiones al aire.
  - iv. Incorporar un sistema de detección de rotura de manga. En caso de rotura de alguna manga, esta deberá ser reemplazada oportunamente. Se debe incorporar un registro de fechas de detección y reemplazo de mangas en un anexo del informe mensual respectivo.
  - v. Detener la operación del secador en el caso que el filtro de mangas u otro equipo de control de MP no se encuentre operando.
  - vi. Detener la operación de los hornos de fusión y de conversión en caso que las plantas de ácido no se encuentren operando.
  - vii. Cada lavador de gases (scrubber) deberá mantener la caída de presión horaria y el flujo de agua igual o sobre el nivel mínimo establecido por diseño.
  - viii. Ante cualquier evento que implique la detención de algún equipo de control de emisiones al aire, se debe registrar en el informe mensual respectivo.

Las medidas indicadas en el presente artículo se deben implementar en un plazo no mayor a 18 meses, contados desde la entrada en vigencia del presente decreto.

Artículo 16.- Sobre los informes y sus plazos: Los titulares de las fuentes emisoras deberán remitir a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del



Medio Ambiente correspondiente, informes mensuales que den cuenta sobre el cumplimiento de la presente norma y un informe anual que consolide la información del año calendario.

Los contenidos y el formato de presentación del informe mensual y anual serán establecidos por la Superintendencia del Medio Ambiente. Sin perjuicio de lo indicado, los informes se deberán presentar en papel y en medio electrónico, y deberán incluir a lo menos la siguiente información:

- a) Resultados de los balances de masa mensual y del balance de masa anual cuando corresponda.
- b) Medición en chimenea para cada contaminante de cada proceso regulado.
- c) Porcentaje de captura y fijación de SO<sub>2</sub> y As en base mensual y anual.
- d) Base de datos de las emisiones horarias de SO<sub>2</sub> expresadas en ppm, de cada planta de ácido.
- e) Base de datos de la producción de ácido en toneladas/hora.
- f) Emisiones de Hg medido en la o las chimeneas de las plantas de ácido y emisiones de MP dentro del límite del sistema de las fuentes existentes, en base mensual y anual.
- g) Los siguientes indicadores de desempeño ambiental en base mensual y anual:
  - Kilogramos de SO<sub>2</sub> por tonelada de cobre fino (Kg/ton de Cu fino)
  - Kilogramos de SO<sub>2</sub> por tonelada de ácido sulfúrico al 100% (Kg/ton de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
  - Gramos de As por tonelada de cobre fino (g/ton de Cu fino)
  - Kilogramos de CO<sub>2</sub> por tonelada de cobre fino (Kg/ton de Cu fino)
- h) Composición química del concentrado como promedio y máximo mensual, para los siguientes elementos: plomo, mercurio, cadmio y níquel.
- i) Tipo y consumo mensual de todos los combustibles fósiles utilizados dentro del límite del sistema.
- j) Registro mensual de las horas de operación de la fuente emisora y de las horas de operación, encendido y detención de cada proceso regulado.
- k) Registro de fechas de detección y reemplazo de mangas de los filtros de manga en un anexo del informe mensual respectivo.
- l) Registro de todo evento que implique la detención de algún equipo de control de emisiones al aire.
- m) En particular, el informe mensual del mes de enero de cada año debe incluir un diagrama de proceso y una descripción de todas las chimeneas dentro del límite del sistema. La descripción debe contener como mínimo:
  - identificación de todos los procesos que evacúan parte o al total de sus emisiones por chimenea, identificando también estas últimas con sus coordenadas UTM (elipsoidal WGS84), diámetro (m), altura (m), caudal (Nm<sup>3</sup>/h), temperatura (Celsius), presión (atm) y velocidad de los gases de salida (m/s). En caso de evacuar una parte de los gases emitidos por chimeneas utilizadas para esos fines, se debe describir en qué situaciones, y duración de este tipo de descargas.
  - consignar en el diagrama de proceso una identificación de todos los equipos de control de emisión de MP y SO<sub>2</sub> y de su eficiencia de remoción garantizada o indicada por el fabricante.
  - programa de mantención y calendario de los principales equipos de proceso y de control, en particular: de las plantas de ácido, de los hornos de fusión, de los hornos de conversión, secadoras, hornos de limpieza de escoria y de todos los equipos de control de emisiones.

El titular de la fuente emisora remitirá el primer informe a partir de enero del año siguiente a la aprobación de la metodología específica de cada fuente emisora por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente. Posteriormente, los informes mensuales se presentan dentro de los veintidós días del mes siguiente al período que se informa. Mientras que el informe anual, correspondiente al año calendario, se debe presentar junto al informe del mes de diciembre.

#### TÍTULO V



## Entrada en vigencia

Artículo 17.- Vigencia de la norma: El presente decreto entrará en vigencia desde la fecha de publicación en el Diario Oficial.

## TÍTULO VI

## Derogaciones o modificaciones

Artículo 18.- Derogaciones: Las fuentes emisoras a que se refieren los artículos 3° y 5°, que actualmente deban cumplir con el DS N° 165, de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Norma de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire, deberán cumplir con lo dispuesto en dicho decreto hasta que sean exigibles los límites máximos de emisión establecidos en la Tabla N° 1 de la presente norma. A partir de dicha fecha se tendrá por derogada la norma de emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire, excepto el Título III, sobre Metodologías de medición y control de la norma, párrafos del 1 al 5, artículos del 15 al 29.

## Artículo Transitorio

Artículo 19.- Congelamiento de emisiones de fuentes existentes: Durante el período de transición que comprende desde la publicación en el Diario Oficial de la presente norma hasta el plazo de cumplimiento de los límites de emisión anual establecidos en el artículo 5°, las fuentes emisoras existentes no deberán exceder los valores límites de emisión para SO<sub>2</sub> de la Tabla 2.

Tabla 2: Emisión de SO<sub>2</sub> (Ton/año) Fuentes Existentes Período de transición

Fuente Emisora	SO <sub>2</sub> (ton/año)
Altonorte	*
Caletones	80.000
Chagres	13.950
Chuquicamata	96.500
Hernán Videla Lira	24.500
Potrerillos	89.500
Ventanas	16.500

\* Deberá cumplir con la resolución exenta N° 193, del año 2012, de la Comisión de Evaluación de la Región de Antofagasta.



Para el primer año de vigencia, la emisión máxima de SO<sub>2</sub> se calculará según la siguiente relación:

$$\text{Emisión} = (\text{Emisión Anual Máxima} / 12) * N^{\circ} \text{ de meses restantes.}$$

Donde el N° de meses restantes corresponde a los meses contados desde la entrada en vigencia del decreto hasta diciembre de ese año.

Anótase, tómesese razón y publíquese.- SEBASTIÁN PIÑERA ECHENIQUE, Presidente de la República.- María Ignacia Sanfiez Pereira, Ministra del Medio Ambiente.- Hernán de Solminihac Tampier, Ministro de Minería.  
Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda Atta. a Ud., Rodrigo Sanfiez Urata, Subsecretario del Medio Ambiente.

## Glosario

CPS: Convertidor Peirce Smith, es un reactor cilíndrico donde se procesa el metal blanco proveniente del reactor Noranda.

SO<sub>2</sub>: Dióxido de Azufre

Gases fugitivos: Son los gases emitidos no capturados.

Carga fría: Material que se usa para bajar la temperatura del convertidor.

Boca convertidor: apertura por donde se carga, descarga y salen los gases de reacción de la reacción de conversión.

Roll-out o rolling-out: acción de giro del convertidor cuando pasa de posición de soplado a posición de carga.

Roll-in o rolling-in: acción de giro del convertidor cuando pasa de posición de carga a posición de soplado.

Blíster: Cobre con una pureza entre el 96 al 98.5 % se obtiene como producto del proceso de conversión.

Encoder: sistema que mide el ángulo de giro del convertidor, entrega datos en grados.

Máquina gaspé: Máquina punzadora que permite la limpieza de las toberas, mediante la introducción de una barretilla al interior de la tobera.

Miljo: Precipitador electrostático seco que sirve para capturar polvo de los gases provenientes del convertidor Peirce-Smith.

PAC: Abreviación usada para la planta de ácido.