

---

**ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE POSIBLES EFECTOS  
AMBIENTALES  
CARGO 1**

**Empresa Nacional de Minería  
ENAMI**

**Resolución Exenta N° 3/Rol D-062-2019**

---

AGOSTO, 2020



**Ecos Chile**

***ECOS Environmental Compliance Services***

La Concepción 322, of.1201. Providencia, Santiago.  
contacto@ecos-chile.com / [www.ecos-chile.com](http://www.ecos-chile.com)

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2</b>	<b>OBJETO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA EXIGENCIA INFRINGIDA</b> .....	3
<b>3</b>	<b>POTENCIALES EFECTOS AMBIENTALES</b> .....	4
<b>4</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
4.1	Normas de Emisión.....	5
4.2	Normas de Calidad Ambiental .....	6
4.3	Fundiciones y control de emisiones .....	7
4.3.1	Antecedentes de la Fundición Hernán Videla Lira y del sistema de secado y absorción de gases.....	8
4.4	Fallas operacionales y sistemas de control.....	9
4.5	Anhídrido Sulfuroso (SO <sub>2</sub> ).....	11
4.6	Anhídrido Sulfúrico (SO <sub>3</sub> ) .....	12
<b>5</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	13
5.1	Fundamentación de la metodología utilizada .....	13
5.2	Actividades.....	14
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	14
6.1	Análisis de funcionamiento de la planta de fundición .....	14
6.2	Análisis de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras De Arsénico (D.S. N°28 del 12 de diciembre de 2013, Ministerio del Medio Ambiente) .....	15
6.3	Cumplimiento de Norma de Calidad Primaria y Secundaria .....	16
<b>7</b>	<b>DETERMINACION Y CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES</b> .....	18
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	19
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	20
<b>10</b>	<b>ANEXOS</b> .....	21

## 1 INTRODUCCIÓN

Mediante esta minuta técnica se presenta el análisis y estimación de los potenciales efectos ambientales asociados al **cargo N° 1** de la Res. Ex. N° 3/Rol D-062-2019, iniciado por la SMA en contra de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) asociada a la Fundición Hernán Videla Lira (FHVL), ubicada en la localidad de Paipote, cercana a 8 km de la ciudad de Copiapó, que establece incumplimientos asociados a exigencias contenidas en D.S. 28 de 2013, el cual corresponde a la “Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico”, específicamente asociados a los Artículos N° 15, letra b) literal ii. y su inciso final.

Adicionalmente la Fundición Hernán Videla Lira se encuentra actualmente regulada por el D.S.104 de 2018, que Establece Norma Primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)<sup>1</sup>; D.S.180 de 1994, que Establece Plan de Descontaminación de la Función Hernán Videla Lira de ENAMI; y las Resoluciones de Calificación Ambiental 199/2006, RCA 80/2010 y RCA 36/2012, todas ellas emitidas por la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA), Región de Atacama.

*Al respecto de la formulación de cargos, el **Cargo N° 1** contenido en la Res. Ex. N° 3/ Rol D-062-2019 fue calificado como grave en virtud de la letra b) del numeral 2 del artículo 36 de la LO-SMA y está expresado de la siguiente manera:*

*“No realizar inspecciones mensuales que incluyeran las observaciones de apariencia física y funcionamiento de la válvula de traspaso de ácido diluido, desde la Torre de Secado a la Torre de Absorción para el año 2015 y 2016”*

Para analizar los potenciales efectos ambientales asociados a la no realización de inspecciones mensuales, se debe considerar **el objeto de protección de la exigencia infringida y los antecedentes de cumplimiento de ésta.**

En base a lo anterior, se evalúan los posibles efectos sobre el objeto de protección, para proponer medidas para hacerse cargo de éstos, si correspondiera.

---

<sup>1</sup> Es importante precisar que a la fecha de ocurridos los hechos en los que se funda este cargo, estaba vigente el Decreto Supremo N° 113, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, de 6 marzo 2003, que establecía Norma Primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

## 2 OBJETO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA EXIGENCIA INFRINGIDA

Para definir el objeto de protección, en primer lugar, es necesaria la revisión de las condiciones que se estiman infringidas, según lo estipulado en el D.S. 28 de 2013, del Ministerio de Medio Ambiente que establece “Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico”.

Al respecto de lo anterior, es importante indicar que el objetivo de la respectiva norma queda establecido en su artículo 1º, que indica *“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)”*.

Adicionalmente a lo indicado, en los considerandos de este instrumento normativo, se establece *“que por medio de la norma de emisión se reducirán las emisiones al aire de sustancias tóxicas y emisiones directas de MP y de SO<sub>2</sub>, dando énfasis a este último contaminante, ya que corresponde a uno de los principales precursores en la formación de material particulado fino (MP 2.5)”*.

Para lograr estas reducciones, la 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”*.

Ahora bien, considerando el proceso de formulación de cargos, se puede indicar que el Cargo N° 1, se encuentra asociado al título IV, del D.S. 28 de 2013, el cual establece las *“prácticas operacionales para el control de emisiones”*, asociadas al Decreto. El detalle de los artículos infringidos, que se encuentran considerados en la formulación de cargos, se presenta a continuación:

### **Artículo N° 15, letra b) literal ii.**

*“Prácticas operacionales para reducir emisiones al aire: con el fin de minimizar las emisiones al aire las fuentes emisoras deben cumplir con lo siguiente: (...)*

*b) Incorporar en el Plan de operación y mantención de los sistemas de captura de gases lo siguiente: (...)*

*ii) La inspección mensual que incluya observaciones de la apariencia física de los equipos y verificación del funcionamiento de los componentes de los mismos”*

**Artículo N° 15, inciso final.**

*“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”*

De acuerdo con los antecedentes presentados, se desprende que el objeto de protección de la norma es la salud de las personas y el medio ambiente, mediante la **reducción de emisiones atmosféricas al aire**. Por lo anterior, los potenciales efectos ambientales se analizarán sobre la base de si los hechos descritos anteriormente, impidieron o afectaron la reducción de emisiones sobre el componente aire, que a su vez pudieron haber afectado la salud de las personas, asociadas al entorno del proyecto, durante el evento.

**3 POTENCIALES EFECTOS AMBIENTALES**

A partir del análisis de la información disponible asociada al caso, en primera instancia es necesario indicar que, la realización de inspecciones mensuales de los equipos de la Fundición Hernán Videla Lira es una, entre varias acciones estipuladas en la norma, cuyo objetivo es reducir las emisiones al aire.

De acuerdo con los antecedentes planteados, el análisis de los potenciales efectos, de *no realizar inspecciones mensuales que incluyeran las observaciones de apariencia física y funcionamiento de la válvula de traspaso de ácido diluido, desde la torre de absorción para el año 2015 y 2016*, se debe realizar a nivel del componente ambiental potencialmente afectado, en la zona de intervención.

En este sentido, **la hipótesis a testear**, en el marco del procedimiento sancionatorio, es si:

*“Dada la no realización de las inspecciones mensuales de la válvula de traspaso de ácido diluido, se produjo un evento operacional que impidió reducir las emisiones atmosféricas de la Fundición Hernán Videla Lira, generando como resultado un incumplimiento de las metas normativas asociadas al D.S. 28/2013, lo que se tradujo en una afectación a la calidad del aire”*

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 Normas de Emisión

Las Normas de Emisión son aquellas que establecen los niveles de emisión de contaminantes, por la fuente emisora admisible en relación con cada fuente contaminante (Agudo, 2014). De esta forma las normas de emisión cumplen un rol de control durante la ejecución de las actividades contaminantes, y hacen posible el monitoreo en la fuente de emisión, por lo que se constituyen como uno de los instrumentos más eficaces para la protección del medio ambiente (Bermúdez, 2014).

Las normas de emisión determinan la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora de un residuo gaseoso, sólido o líquido. Este instrumento regulatorio es uno de los más utilizados para el control de la contaminación, y en particular para la contaminación hídrica y atmosférica, así como también en menor medida para evitar la contaminación de suelos (Del Favéro & Katz, 1998).

Un aspecto importante de resaltar es que “Las normas de calidad deben definir los niveles en los cuales la gestión ambiental normal da lugar a una gestión de emergencia y, por lo tanto, determinan el momento en que las acciones por aplicarse deben ser diferentes (más severas) de las establecidas, evitando así que la autoridad actúe (o no actúe) en forma precipitada o inconsulta o cediendo a presiones de grupos de interés (Ibíd.).

Según Bermúdez (2014), las normas de emisión corresponden a un típico instrumento de comando y control, el que sólo alcanza la finalidad de protección en la medida que el parámetro de regulación permita la protección del medio ambiente.

El proceso de dictación de normas es participativo, encontrándose regulado D.S. N° 38 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión. El proceso se inicia con la elaboración del anteproyecto de la norma, luego viene la etapa de consulta pública, se recoge los aportes del Consejo Consultivo Nacional y los Consejos Consultivos Regionales, cuando corresponda, así como de la sociedad civil, para finalmente, elaborar el proyecto definitivo. El proceso culmina con la tramitación final para su aprobación y publicación en el Diario Oficial.

## 4.2 Normas de Calidad Ambiental

Las normas de Calidad ambiental corresponden a instrumentos normativos técnicos, en virtud de los cuales se fijan los niveles de contaminación tolerables en un entorno o medio determinado (Bermúdez, 2014). Esta clase de normas son utilizadas normalmente en relación con la contaminación atmosférica e hídrica.

A través de las normas de calidad lo que se busca es alcanzar una finalidad de protección de un bien jurídico a través de la fijación de un estándar. Lo importante de este tipo de normas, es que a través de ellas radica la determinación de lo que debe ser entendido por medio ambiente libre de contaminación, lo cual se vincula con el artículo N° 2 m) de la Ley de Bases Generales del medio Ambiente (19.300), ya que atiende a las concentraciones y niveles de contaminación en el entorno (Bermúdez, 2014).

Según Bermúdez (2014), existe una relación directa entre las normas de calidad ambiental y medio ambiente libre de contaminación, pues en la medida que se mantengan y no se sobrepasen los niveles que establecen las primeras se dará por cumplido lo segundo. Por lo anterior, el nivel máximo de contaminantes presentes en el componente ambiental será fijado por las normas, las cuales se clasifican en Normas Primarias y Secundarias, según su objetivo de protección, la salud de la población o un componente del patrimonio ambiental.

Al respecto de lo anterior, la ley 19.300, establece que las Normas Primarias de Calidad Ambiental son *“aquéllas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”*.

Mientras que las normas Secundarias de Calidad Ambiental corresponden a *“aquéllas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza”*.

Por último, es importante indicar que las Normas de Calidad fijan los niveles, estándares, medidas o valores que se consideran para determinar si se está o no

en presencia de un medio ambiente libre de contaminación, y si se afecta o no el bien jurídico protegido por la respectiva norma (Bermúdez, 2014).

### **4.3 Fundiciones y control de emisiones**

Las industrias de fundición de metales son establecimientos que obtienen como resultado de su proceso piezas de metal que no podrían ser producidas de otra forma. Los procesos que son llevados a cabo por este tipo de industria presentan variantes que dependen de diversos factores, tales como el tipo de metal a fundir, así como también de los métodos y de las tecnologías aplicadas (Sosa *et al.*, 2013).

Con respecto a las etapas generales del proceso, éstas consideran la manipulación y almacenamiento de materiales, fabricación de moldes, fusión del metal, colada y limpieza de piezas fundidas. Producto de la diversidad de acciones que son llevadas a cabo en las fundiciones, se generan una serie de impactos ambientales asociadas a sus procesos, siendo la generación de residuos y emisiones gaseosas las principales (Sosa *et al.*, 2013)

Entre los principales contaminantes producidos en los procesos de fusión de metales, se encuentra la generación de material particulado, metales, monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, humos inorgánicos, dioxinas, entre otros (Sosa *et al.*, 2013)

Para poder controlar las emisiones atmosféricas, existe una serie de mecanismos y/o tecnologías utilizadas, las cuales dependen de una serie de factores, entre los cuales se destaca, tipo de material a fundir y tecnologías empleadas en los procesos, entre otros elementos.

Con respecto al proceso de control de las emisiones, el primer paso es identificar aquellas tecnologías o técnicas de control que tengan una practica potencial de aplicación a la unidad de emisión y al contaminante bajo evaluación. La aplicación de tecnologías o técnicas de control incluyen la aplicación de cambios en los procesos de producción, sistemas y técnicas de abatimiento, entre otros, los cuales deben ser viables, tanto de un punto de vista técnico como también económico (CEC, 2005).

Por lo anterior la definición de los sistemas de abatimiento de emisiones depende de muchos factores, partiendo por el tema de los recursos, hasta por la posibilidad

real de realizar las modificaciones de procesos en la planta o instalación donde se desean realizar, para lograr los objetivos de reducción de emisiones.

#### **4.3.1 Antecedentes de la Fundición Hernán Videla Lira y del sistema de secado y absorción de gases**

La fundición Hernán Videla Lira, es la primera fundición estatal del país, inaugurada oficialmente en 1952. El proceso productivo de la Fundición considera actividades de recepción de productos, preparación de mezclas, secado e inyección de concentrados, fusión – conversión en Convertidor Teniente, conversión de metal blanco, limpieza de escorias, tratamiento de gases en la planta de ácido, refinado y modelo de ánodos (ENAMI, 2016).

Con respecto al sistema de tratamiento de gases en Plantas de Ácido, la FHV cuenta con 2 plantas de ácido, la primera con una capacidad de 50.000 Nm<sup>3</sup>/hora, que procesa principalmente los gases del convertidor Pierce Smith (CPS) en operación, mientras que la Planta de ácido 2, con capacidad de 80.000 Nm<sup>3</sup>/hora, procesa principalmente los gases del Convertidor Teniente (CT). En conjunto las plantas producen alrededor de 850 a 1.000 toneladas de ácido sulfúrico al día.

Con la finalidad de reducir aún más las emisiones, durante el año 2018 se incorporó al proceso de control de emisiones, la Planta De Tratamiento de Gases de Cola (PTGC), la cual tiene por objetivo hacer más eficiente el tratamiento de los gases de las plantas de ácido, mejorando la eficiencia del sistema de captura de gases.

Con respecto al proceso de secado y absorción de gases, éste considera tanto las Torres de Secado (TS), como la Torre de Absorción (TA), así como el sistema de regulación de flujos entre torres mediante sistema de válvulas. El detalle de las funcionalidades, de cada elemento del sistema de secado y absorción de gases se presenta a continuación.

##### **Torre de Secado:**

En la torre de secado, se extrae el agua contenida en el flujo de gas de SO<sub>2</sub>, proveniente del sistema de limpieza de gases antes de pasarlo al convertidor catalítico (Torre de Catálisis) y posteriormente a la torre de absorción.

## **Control de concentración de ácido en la Torre de Secado.**

El agua captada diluye el ácido de riesgo de esta torre, proveniente de la cuba de la TS, por lo cual, para mantener la concentración de ácido deseado (96%) en la cuba TS, se realiza transferencia de ácido concentrado de la cuba TA. Para estos movimientos de líquidos, hay tubería de conexión entre las torres (TA y TS) con sus correspondientes bombas de transferencia y válvulas de control de flujo.

## **Torre de Absorción**

El objetivo de la torre de absorción es transformar el  $SO_3$ , generado en el convertidor catalítico, en ácido sulfúrico concentrado (cercano al 99%). Para este proceso por la parte superior de la torre se realiza una lluvia de ácido sulfúrico de 98,5% de concentración, inyectando mediante bomba, el cual actúa en contra corriente con el gas  $SO_3$ , produciéndose un aumento en la concentración del ácido, llegando hasta el 99%.

Luego el ácido concentrado en la cuba TA, es diluido desde la cuba TS, para posteriormente ser comercializado.

### **4.4 Fallas operacionales y sistemas de control.**

Un sistema productivo considera procesos de producción, los cuales corresponden a secuencias de operaciones dirigidas a transformar materias primas en productos, bienes o servicios, utilizando las instalaciones, el personal y los medios tecnológicos adecuados (Olarte *et al.*, 2010).

Producto de la diversidad de procesos, que son llevados a cabo en las diferentes industrias, pueden generarse una diversidad de procesos, que dependen de los diferentes productos a elaborar. Estos procesos son llevados a cabo por equipos, piezas y operarios, los cuales pueden presentar fallas o tomar malas decisiones. En relación con las fallas, es importante indicar que éstas corresponden a un deterioro o daño presentado en una de las piezas de una máquina la cual produce un trastorno en su funcionamiento, afectando el proceso productivo (Olarte *et al.*, 2010).

Para el caso de los procesos de fundición, no sólo se deben satisfacer los requerimientos de producción, rentabilidad, calidad y cantidad de productos, sino que también se debe garantizar que los niveles de riesgo sean aceptables en las diferentes etapas del proceso, porque siempre está la posibilidad de fallas dentro

del proceso, y con ello la reducción de los impactos que puedan producir al entorno (Portal-Nordase *et al.*, 2012).

De acuerdo con lo anterior, es importante indicar que un proceso industrial provee una gran cantidad de variables medidas, controladas y manipuladas que se asocian a no linealidades e incertidumbres, por lo que es fundamental su monitoreo y seguimiento, con el fin de adquirir información sobre el comportamiento dinámico de los procesos productivos. (Ramírez *et al.*, 2018).

Para lograr lo anterior la información de diversas fuentes dinámicas, adquirida por sensores instalados en los procesos, es parte fundamental de los sistemas de monitoreo, supervisión y diagnóstico (Ramírez *et al.*, 2017). Principalmente la información es almacenada en bases de datos que luego terminan por convertirse en registros de gran volumen de información; donde en algunos casos los datos se muestran en línea y se supervisan por operadores humanos, y en otros casos los datos se almacenan y se menosprecian. En ambos casos y debido a la cantidad de datos adquiridos, se presentan problemas que se sintetizan en el análisis de la información, así como también en la toma de decisiones por parte de los operadores (Ramírez *et al.*, 2018).

Así es importante indicar que las tareas de monitoreo dependen del período de registro de los datos. Donde períodos cortos de información, producen bases de datos de gran volumen difícilmente interpretadas por un operador humano, mientras que períodos de adquisición largos provocan pérdida de información que generalmente se encuentra inmersa en eventos esporádicos asociados a las no linealidades de la dinámica de los mecanismos en las máquinas, y a su desgaste por operación (Ramírez, *et al.*, 2016).

De lo anterior, se desprende que, si bien los procesos productivos pueden tener diversos mecanismos de control, éstos no aseguran el hecho que no existan problemas o fallas en el sistema, ya que éstas dependen de los sistemas de control, de los procesos, de los equipos, y del ser humano que interprete los datos mostrados, esto último dado por la visualización de ellos y no un análisis de éstos. Por lo que la confiabilidad o la certeza de no generar una falla está condicionada por diversos factores, tanto internos como externos, los cuales deben ser evaluados desde diferentes perspectivas (Gómez *et al.*, 2012).

Si bien, en el mundo actual se han mejorado las prácticas de seguridad en las industrias químicas, la participación del elemento humano en el sistema aún sigue siendo insuficiente (Edmonds *et al.*, 2016).

Revisando la historia, siempre existen temas recurrentes que se pueden gestionar mejor mediante la aplicación de procesos o procedimientos para reducir los errores operativos, a través de medidas para reducir la probabilidad de un evento, como la inspección y prueba, monitoreo de condiciones, entre otros. Aún así, contando con el conocimiento del operador sobre las posibles fallas y los pasos a seguir, este puede asumir que las instrucciones o visualización de los sensores de operaciones pueden ser seguras, y por lo tanto continuar con el proceso con normalidad, esto último puede ser debido a las deficiencias de la interfaz de visualización, que puede conducir a un menor conocimiento de la situación, y que por lo tanto puede contribuir a un incidente posterior (Edmonds *et al.*, 2016).

Otro factor importante es la comunicación crítica de seguridad y la fatiga asociada a los trabajos por turnos, el primero se relaciona con la transmisión y recepción de información crítica de seguridad, particularmente importante para las transferencias de turnos y por otra parte el rendimiento del personal de salida, causado por una mala calidad de sueño, entre otros. (Edmonds, *et al.*, 2016).

De esta forma, la confiabilidad de un sistema o un equipo es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado período de tiempo sin pérdida de su función, lo que no quiere decir que no pueda ocurrir una falla producto de una diversidad de factores asociados, como fueron descritos previamente.

En dicho sentido el D.S. 28. de 2013 del Ministerio de Medio Ambiente, establece en su considerando nueve, 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”*. Se desprende de lo anterior que la norma, en su esencia, no descarta posibles fallas asociadas a los procesos unitarios.

#### 4.5 Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>)

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), o también llamado Dióxido de Azufre, es un gas incoloro

de olor penetrante. Bajo presión es un líquido, y se disuelve fácilmente en agua. Adicionalmente no tiene características inflamables (ATSDR, 2019).

El anhídrido sulfuroso en el aire se genera principalmente por actividades asociadas con la combustión de combustibles fósiles (carbón, aceite) tal como ocurre en plantas de energía eléctrica, así como también en las fundiciones de cobre (ATSDR, 2019).

Una vez liberado al ambiente, el anhídrido sulfuroso se moviliza principalmente por el aire, pudiendo ser transformado en ácido sulfúrico, anhídrido sulfúrico y sulfatos. Así también, el anhídrido sulfuroso se disuelve en agua pudiendo generar y formar ácido sulfuroso. El suelo puede absorber anhídrido sulfuroso, pero se desconoce como se moviliza por el suelo (ATSDR, 2019).

Según la United States Environmental Protection Agency -USEPA- (2019) los estándares nacionales de calidad del aire de Estados Unidos están asociados a las emisiones de  $\text{SO}_2$ , siendo diseñados estos para proteger contra la exposición a todo el grupo de óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ). Lo anterior, ya que el  $\text{SO}_2$ , es el componente de mayor preocupación y se utiliza como indicador para el grupo más grande de óxidos de azufre gaseosos. En dicho sentido, se puede esperar que las medidas de control que reducen el  $\text{SO}_2$  reduzcan la exposición de las personas a todos los  $\text{SO}_x$  gaseosos. Esto puede tener el importante co-beneficio de reducir la formación de contaminantes particulados de azufre, como las partículas finas de sulfato.

#### **4.6 Anhídrido Sulfúrico ( $\text{SO}_3$ )**

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), el anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) se llama también óxido sulfúrico y trióxido de azufre, generalmente se presenta como un líquido incoloro. También puede existir en forma de cristales parecidos al hielo o a fibras. Cuando el  $\text{SO}_3$  se expone al aire, se hidrata rápidamente y emite vapores blancos. Al entrar al aire, puede reaccionar con agua para formar ácido sulfúrico, por lo cual el  $\text{SO}_3$  se usa principalmente para la producción de ácido sulfúrico y de otros productos químicos y explosivos (ATSDR, 2019).

De igual forma, es usado como intermediario en la producción de ácido sulfúrico, así como de otras sustancias químicas y de explosivos. Es improbable que el anhídrido sulfúrico se disperse en el ambiente excepto por períodos muy breves durante los cuales puede estar presente en el aire en forma de gas (ATSDR, 2019).

En el aire, el anhídrido sulfúrico puede formarse lentamente a partir del anhídrido sulfuroso. Una vez formado, el anhídrido sulfúrico reaccionará con agua en el aire formando ácido sulfúrico. Sin embargo, es más probable encontrar anhídrido sulfuroso o ácido sulfúrico en el aire que anhídrido sulfúrico. Sin embargo, la mayor parte del ácido sulfúrico en el aire se forma a partir del anhídrido sulfuroso liberado cuando se quema carbón, petróleo y gas natural (ATSDR, 2019).

Adicionalmente, según ATSDR (2019), cuando una sustancia se libera desde un área extensa, por ejemplo, desde una planta industrial, o desde un recipiente como un barril o botella, la sustancia entra al ambiente. Esta liberación no siempre conduce a exposición de la población, ya que las personas pueden estar expuestos a una sustancia solamente cuando entra en contacto con ésta en forma directa.

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Fundamentación de la metodología utilizada

Para identificar los eventuales efectos que pudieron haber ocurrido producto de *“no realizar inspecciones mensuales que incluyeran las observaciones de apariencia física y funcionamiento de la válvula de traspaso de ácido diluido, desde la torre de absorción para el año 2015 y 2016”*, se ha considerado realizar un análisis de la información asociada al evento, con la finalidad de determinar si, como resultado del hecho infraccional, se produjo un incumplimiento de la norma de emisión D.S. 28 de 2013, del Ministerio de Medio Ambiente, que establece *“Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico”* y que posteriormente ello provocara un efecto sobre el objetivo de la norma, que corresponde a la reducción de emisiones, para la protección de la salud de las personas y el medio ambiente.

Adicionalmente, y con la finalidad de reconocer la potencial afectación directa a la calidad del aire, producto del evento, también se realizará un análisis de información asociada al estado de cumplimiento del D.S. 113 de 2003, vigente en el periodo del evento, el que establece Norma Primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ) y del D.S. 22 de 2010, que establece Norma de Calidad Secundaria de aire para Anhídrido Sulfuroso ( $SO_2$ ), únicos instrumentos normativos de calidad del aire asociados a las emisiones de las familia de óxidos de azufre ( $SO_x$ ) para la fecha asociada a los cargos formulados.

## 5.2 Actividades

Para determinar la existencia o no, de potenciales efectos ambientales producidos por la falla operacional de la válvula TS-TA, se realizaron las siguientes actividades:

- a) Revisión de fuentes de Información asociada a la formulación de cargos (informe de fiscalización, formulación de cargos, información de la operación de la planta).
- b) Análisis de funcionamiento de la planta de fundición.
- c) Análisis de fuentes de información oficial para determinar cumplimiento de la Norma de Emisión.
- d) Análisis de fuentes de información oficial para determinar cumplimiento de las Normas de Calidad.

El enfoque metodológico expuesto permitirá poner a prueba la hipótesis asociada al hecho infraccional, para así concluir si existen o no efectos ambientales sobre el objeto de protección.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Análisis de funcionamiento de la planta de fundición

De acuerdo con el análisis de información de los antecedentes asociados a los informes de fiscalización DFZ-2016-3114-III-NE-EI, y del informe Técnico de emisiones en la Planta de Ácido N°1 de Fundición Hernán Videla Lira (anexos), se desprende que los factores que contribuyeron a la generación del evento, corresponden a fallas en una válvula del sistema de secado y absorción de gases, denominada válvula TS-TA, que no fue detectado por el indicador disponible para medir el funcionamiento del proceso, lo que generó una dilación en la toma decisiones por parte del operador de turno de la Planta de Ácido (detención del proceso).

A mayor abundamiento, según lo indicado en el informe, DFZ-2016-3114-III-NE-EI, la causa raíz del evento ocurrido el 29 de junio de 2016, *“es atribuible al mal funcionamiento de la válvula de traspaso desde la Torre de Secado a la Torre de Absorción”*. Así como también, a que el personal a cargo de la planta no logró realizar un análisis adecuado de la información asociada a los niveles de ácido en las cubas, lo que gatilló en forma conjunta el evento, impidiendo prever lo que ocurriría.

Sin embargo, en relación con los incidentes, tal como se señaló precedentemente, el D.S. 28 de 2013, en su esencia, no descarta posibles fallas asociadas a los procesos unitarios. Lo anterior, queda explícito en el considerando N° 9 que *“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”*.

Sin perjuicio de lo anterior, la evidencia presentada en los puntos siguientes, indican que tanto la norma de emisión como las normas de calidad primaria y secundarias para SO<sub>2</sub> no fueron superadas para el periodo en el cual ocurrió el evento.

Considerando, que un sistema o equipo de trabajo (materiales y personas), esta influenciado por una diversidad de factores vinculados, es importante avanzar en el desarrollo de un sistema confiable a través del tiempo, el cual se puede fundar en la incorporación de nuevas tecnologías, procedimientos de trabajo, monitoreo y seguimiento, con el fin de adquirir información sobre el comportamiento dinámico de los procesos productivos, y así mejorar estos (Ramírez *et al.*, 2018).

## **6.2 Análisis de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras De Arsénico (D.S. N°28 del 12 de diciembre de 2013, Ministerio del Medio Ambiente)**

Del análisis de antecedentes asociados a la Unidad Fiscalizable “Fundición Hernán Videla Lira – ENAMI”, se revisaron para el año 2016 las emisiones reportadas, en el marco del cumplimiento del D.S. 28 de 2013 que fueron reportadas a la Superintendencia del Medio Ambiente.

En primer lugar, es importante indicar que el artículo 6° del D.S. N° 28 de 2013, estableció los plazos para el cumplimiento de las fuentes emisoras existentes, estableciendo en su letra a) un plazo de 5 años a contar de la fecha de publicación de la norma en el Diario Oficial, cuando la fuente emisora no contara con una planta de ácido de doble contacto.

En dicho sentido, es importante indicar que para el año 2016, la Fundición Hernán Videla Lira, presentaba dos plantas de ácido de simple contacto, por lo tanto, debía dar cumplimiento a los límites de emisión establecidos en el artículo transitorio N° 19, que indicaba *“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 6º". Siendo para el año 2016, la meta de emisión de SO<sub>2</sub> de 24.500 (ton/año).

De los antecedentes revisados se pudo verificar en el informe de fiscalización ambiental de la SMA, número expediente DFZ-2017-5848-III-NE-EI, que las emisiones de SO<sub>2</sub> para el año 2016 correspondieron a 18.326 (ton/año), siendo su límite 24.500 (ton/año), lo que corresponde a un porcentaje de emisión de un 75% con respecto al límite de emisión anual. Por lo cual, se habrían cumplido con las emisiones establecidas en la norma, de acuerdo con el análisis realizado por la SMA.

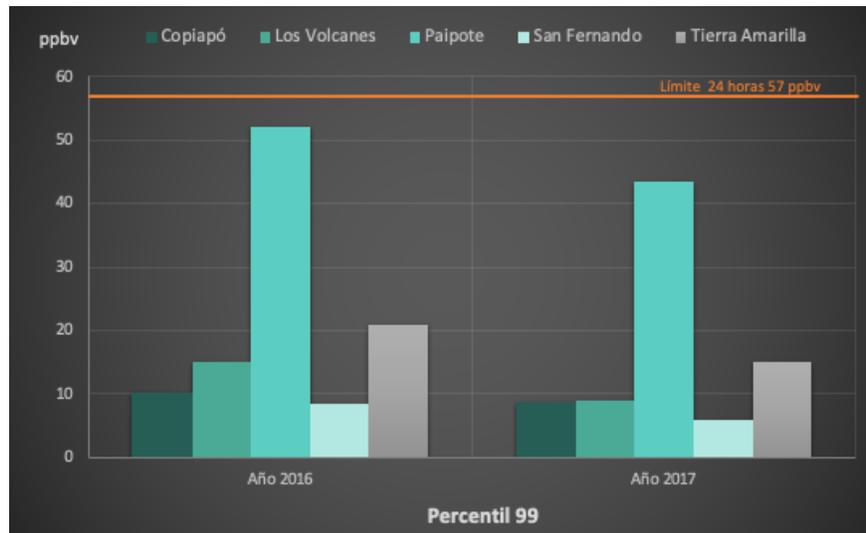
A mayor abundamiento, el informe de fiscalización ambiental DFZ-2017-5848-III-NE-EI, concluye que "de la revisión y verificación realizada a los reportes mensuales y antecedentes asociados a la Unidad Fiscalizable Fundición Hernán Videla Lira perteneciente a la Empresa Nacional de Minería, es posible concluir que durante el año 2016 las emisiones de arsénico (As) de la Fundición no excedieron el límite de emisión anual establecido en el D.S. 165/1998 MINSEGPRES y en los años 2014, 2015 y 2016 las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) no excedieron el límite de emisión anual establecido en el D.S. 28 de 2013 de MMA".

### **6.3 Cumplimiento de Norma de Calidad Primaria y Secundaria**

Con la finalidad de poder verificar si existió afectación a los receptores asociados a la Unidad Fiscalizable, producto de los hechos descritos en la formulación de cargos, se analizó si esta cumplía con los estándares normativos, para lo cual se verificó el cumplimiento de las normas de calidad asociadas a las emisiones de azufre que debe cumplir el regulado.

Al respecto del tipo de emisiones generadas en el evento, el instrumento normativo de Chile, en vigor al momento del hecho, que regula en materia de calidad primaria las emisiones atmosféricas de azufre era el D.S. 113 de 2003, el cual "Establecía norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)". En este sentido los valores presentados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire, para el año 2016, se encuentran en la , que se presenta a continuación:

Figura 1 Datos de calidad del aire para SO<sub>2</sub> año 2016



Fuente: Información de calidad del aire FHVL (2016-2017)

En relación con lo anterior, se revisaron los antecedentes disponibles de verificación normativa, reconociéndose que, en el informe de fiscalización de la SMA, número de expediente DFZ-2016-3114-III-NE-EI, no se detectaron alzas en las concentraciones de SO<sub>2</sub> para el día 29 de junio de 2016. Fecha en la cual se generaron los eventos asociados a la formulación de cargos.

De hecho, el informe de fiscalización, antes individualizado, indica que “De acuerdo a la información revisada sobre las concentraciones de SO<sub>2</sub> en el aire registradas el 29 de junio de 2016 en las estaciones de monitoreo Paipote, Copiapó, Los Volcanes, San Fernando y Tierra Amarilla se verifica que no existió alzas en las concentraciones de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) registradas por las estaciones de monitoreo de calidad del aire.....”

Adicionalmente, y en el mismo sentido, se revisaron otros antecedentes de cumplimiento normativo, vinculados a la Norma de Calidad del Aire, número de expediente DFZ-2018-2609-III-NC, el cual indica que para las emisiones de SO<sub>2</sub> durante el periodo de evaluación que comprende los años 2015-2017, no existen superaciones de la norma de Calidad Primaria y Secundaria por parte de la Fundación Hernán Videla Lira.

En específico para el cumplimiento de la Norma Primaria de Calidad del Aire para SO<sub>2</sub>, el informe DFZ-2018-2609-III-NC indica que “La evaluación de la norma primaria de SO<sub>2</sub> concluye que la norma 24 horas 96 ppbv no fue superada en las estaciones

para el período en evaluación (2015 al 2017) y los valores se encontraron por debajo del 80% de la norma y del límite normativo. Respecto de la norma anual, se determinó que no fue superada en ninguna de las estaciones para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2015 y el día 31 de diciembre de 2017, y los valores se encontraron por debajo del 80% y del límite de la norma anual de 31 ppbv”.

Al respecto de la Norma Secundaria de Calidad del aire para SO<sub>2</sub>, el informe establece que para el periodo antes indicado que “La evaluación del cumplimiento de la norma secundaria 1 hora, que establece un límite de 382 ppbv, mediante el cálculo del promedio trianual del percentil 99,73; se constató que de las dos estaciones que cuentan con EMRRN solo a estación Tierra Amarilla se le pudo evaluar la norma. **El resultado obtenido para la estación Tierra Amarilla determinó que el valor obtenido se encontró por debajo del 80% de la norma.** De igual modo, se evaluó el percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas para cada año, donde se obtuvo que durante el periodo analizado, las concentraciones para la estación Tierra Amarilla se encontraron por debajo del 80% del límite 1 hora anual definido para este caso en 764 ppbv”.

La evaluación de la norma secundaria de 24 horas (140 ppbv), muestra que el promedio aritmético de tres años calendarios sucesivos, para la estación Tierra Amarilla, se encontró por debajo del 80% de la norma. Por otro lado, de la evaluación de la norma anual por cada año por separado, 2015, 2016 y 2017, se concluyó que la estación Tierra Amarilla no sobrepasa el 80% del límite (280 ppbv).

Por último, para la norma anual secundaria (31 ppbv), se determinó que el valor obtenido para la estación Tierra Amarilla, como promedio trianual se encontró por debajo del 80% del límite (31 ppbv). Del mismo modo, se evaluó la concentración anual para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla se encontró por debajo del 80% del límite (62 ppbv).

## **7 DETERMINACION Y CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES**

En conformidad a lo expuesto en los acápites anteriores, el análisis efectuado permite señalar que si bien se generó un evento asociado a la falla operacional en la planta de ácido N° 1, como resultado del hecho infraccional relevado, lo anterior no se tradujo en incumplimientos a los parámetros establecidos en el D.S. N° 28 de 2013 del MMA, el cual tiene por objeto proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional.

Adicionalmente, el hecho verificado por la Superintendencia, de la no superación del D.S. 113 de 2003 (vigente a la época del incidente), que regulaba los niveles de contaminación de SO<sub>2</sub>, para el periodo 2015-2017, tanto para las emisiones horarias como anuales, permiten colegir que no existió una afectación producto del evento. Lo anterior, también ocurre en materia de la Normas Secundarias asociadas al D.S. 22 de 2010, asociadas al dióxido de azufre, tal como fue relevado previamente.

## 8 CONCLUSIONES

En conformidad a lo expuesto en los acápites anteriores, el análisis efectuado permite concluir que, si bien existió un evento operacional el día 29 de junio de 2016 en la Fundición Hernán Videla Lira, **éste no generó efectos adversos sobre la calidad del aire del sector**. Lo anterior, se desprende del hecho que no se incumplieron las normas de emisión y de calidad asociadas a las emisiones de azufre, por lo cual el objeto de protección no fue vulnerado.

Lo anterior permite rechazar la hipótesis de generación de efectos, como resultados de los hechos infraccionales analizados.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo J. (2004). El control de la contaminación: técnicas jurídicas de protección medioambiental. Madrid: Monte-Corvo.
- Bermúdez J. (2014). Fundamentos de Derecho Ambiental. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- ATSDR. (2019). Resúmenes de Salud Pública - Anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico (Sulfur Trioxide and Sulfuric Acid). julio 30/2019, de ATSDR Sitio web: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs117.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs117.html).
- Del Favéro, G. & Katz, R. (1998). El sistema de generación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. Estudios Públicos, 72 (primavera 1998).
- Commission for Environmental Cooperation (CEC) of North America. (2005). Best Available Technology for Air Pollution Control: Analysis Guidance and Case Studies for North America. Montreal, Quebec Canada: MJ Bradley & Associates.
- Sosa B, Banda-Noriega R., Guerrero E. (2013). industrias de fundición: aspectos ambientales e indicadores de condición ambiental. Revista de Metalurgia, 49, 5-19.
- Ramírez J, A. (2016). Diagnóstico Inteligente de las Variables para el Control de Calidad de la Producción de Aire Medicinal del Hospital Manuel Uribe Ángel. Monografía para obtener título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Ramírez, J., Sarmiento, H., & López J. (2017). Diseño de un Clasificador Difuso para el Establecimiento de los Estados Funcionales de un Sistema de Producción de Aire Medicinal. Revista Información Tecnológica, 28, 147-160.
- Ramírez J., Sarmiento H., & López-Lezama J. (2018). Diagnóstico de fallas en procesos industriales mediante inteligencia artificial. Revista ESPACIOS, 39, 1-12.
- US EPA. (2019). Sulfur Dioxide Basics. julio 31, 2019, de US EPA Sitio web: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>.

## 10 ANEXOS

Los documentos revisados de la SMA se presentan a continuación:

- Informe de fiscalización ambiental DFZ-2017-5848-III-NE-EI, link de acceso <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1007070>
- Informe de fiscalización ambiental DFZ-2018-2609-III-NC, link de acceso <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1041944>