

DEPARTAMENTO DE PLANES Y NORMAS – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME TÉCNICO DEL ANTEPROYECTO DE LA REVISIÓN DE LA NORMA DE EMISIÓN PARA
FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

Noviembre de 2024

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como planes de descontaminación y/o prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la ley N°19.300 sobre bases generales del medio ambiente y en el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión (D.S. N°38 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente), se requiere de un Informe Técnico de la propuesta regulatoria, con el resumen de antecedentes técnicos que fundamentan las decisiones y que sirva como apoyo a la Consulta Pública.

A saber, la revisión de normativa cuenta con criterios según el Reglamento de dictación de normas¹, que en el artículo 39 establece que, la revisión de las normas deberá sujetarse a criterios de eficacia de la norma en cuestión y de eficiencia en su aplicación. Los criterios anteriores se ponderarán según:

a) “Los antecedentes considerados para la determinación de la norma de conformidad con lo dispuesto en el artículo 26², 28 inciso 1^{o3}, 32 inciso 1^{o4} y 37 letra a) de este Reglamento”. Es decir, toda norma de emisión contendrá en Literal a) del artículo 37: “La cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora, o bien, la carga máxima permitida de efluente descargada al medio ambiente”.

¹ D.S. N° 38 de 2013, del MMA. Aprueba Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión.

² Artículo 26: “Toda norma primaria de calidad ambiental señalará los valores de las concentraciones y períodos máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos a combinación de ellos”

³ Inciso 1° del artículo 28: “Toda norma primaria deberá señalar, cuando corresponda, los valores críticos que determinen las situaciones de emergencia ambiental; el plazo para su entrada en vigencia; el programa y los plazos de cumplimiento y la forma para determinar cuándo se entiende sobrepasada”.

⁴ Inciso 1° del artículo 32.- Toda norma secundaria de calidad ambiental señalará los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, el ámbito de aplicación territorial, el plazo para su entrada en vigencia, el programa y los plazos de cumplimiento y la forma para determinar cuando se entiende sobrepasada.



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

- b) El nivel de cumplimiento informado por la Superintendencia del Medio Ambiente y vigencia actual de los objetivos tenidos en cuenta al momento de su dictación;*
- c) Los cambios en las condiciones ambientales consideradas al momento de dictarse la norma, y*
- d) Los resultados de las investigaciones científicas que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos a las personas o a los recursos naturales o sobre nuevas metodologías de medición.*

Por lo tanto, se presentan estos antecedentes que se tuvieron en cuenta para la revisión normativa y de las decisiones tomadas.



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

ÍNDICE

1. METODOLOGÍA.....	4
2. ACTUALIZACIÓN DE ANTECEDENTES CONSIDERADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA NORMA.....	5
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	5
2.2 DISEÑO DE LA NORMA VIGENTE.....	9
2.3 DESCRIPCIÓN DE NORMA VIGENTE.....	7
2.4 EMISIONES DE CONTAMINANTES.....	10
3. NIVEL DE CUMPLIMIENTO INFORMADO POR LA SMA.....	12
4. CAMBIO EN LAS CONDICIONES ACTUALES.....	17
5. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.....	19
6. ANTECEDENTES DE ACTUALIZACIÓN DE NORMA (VIGENCIA ACTUAL DE LOS OBJETIVOS).....	20
6.1 ESTADO ACTUAL DE LAS FUNDICIONES DE COBRE.....	20
6.2 PROYECCIÓN DE EMISIONES.....	22
6.3 REVISIÓN DE NORMATIVA INTERNACIONAL.....	22
6.4 PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN.....	23
7. CONCLUSIONES.....	26



1. Metodología

Para elaborar la presente revisión de norma de emisión se consideraron criterios técnicos, económicos y sociales, entre los que destacan:

- Completo diagnóstico de la condición tecnológica asociada a cada fundición existente
- Evolución de la emisión de contaminantes a la atmósfera de las fuentes
- Toxicidad y efectos de los contaminantes
- Eficiencia y eficacia de los instrumentos ambientales vigentes que les son aplicables a las fuentes en materia de emisiones al aire
- Disponibilidad de tecnologías de control y su potencial de reducción de emisiones
- Tendencia y enfoque de la regulación internacional.

Todos estos antecedentes se encuentran publicados en el estudio⁵ desarrollado para esta revisión normativa.

Por lo que, en este informe técnico del anteproyecto de la revisión de la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico se presentan de manera resumida los principales antecedentes que se tuvieron en consideración para la toma de decisión final respecto del anteproyecto.

⁵ Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico, https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Estudio_terminado_99-579.pdf



2. Actualización de antecedentes considerados para la determinación de la norma

2.1 Descripción del proceso

La fundición de concentrados de cobre tiene como objetivo lograr una mayor concentración de cobre, a través de procesos que conllevan transformaciones químicas de los minerales sulfurados de cobre, hasta obtener ánodos de cobre de alta pureza.

Las fundiciones son instalaciones complejas, cada fundición tiene sus particularidades propias. Siendo las principales etapas: preparación de los concentrados de cobre (secado, tostación), fusión, conversión, limpieza de escorias, refinación y tratamiento de gases, ver Figura 1.

El proceso es del tipo discontinuo (Batch), con procesos individuales, con emisiones en chimenea (principal o primaria), más emisiones fugitivas con algunas capturas que pueden ser secundarias y terciarias.

Las fundiciones en Chile, cuenta con diferentes tipos de configuraciones, distribución física y equipos de procesos individuales, con diversidad de contaminantes y magnitud de emisión, ver Tabla 1.

La operación depende de características del concentrado, la tecnología disponible y las exigencias regulatorias, entre otras. El estudio⁶ desarrollado en el marco de la revisión, identifica el origen de los concentrados de cobre, detalla la tecnología y equipos utilizados en las fundiciones nacionales, para cada etapa del proceso de fundición de cobre, se presenta una compilación de las principales tecnologías y equipos, sus marcas y/o modelos según etapa, donde se observa que todas las fundiciones de cobre cuentan con equipos para todas las etapas, con distintas configuraciones.

⁶ Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico, página 615 y siguientes, https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Estudio_terminado_99-579.pdf

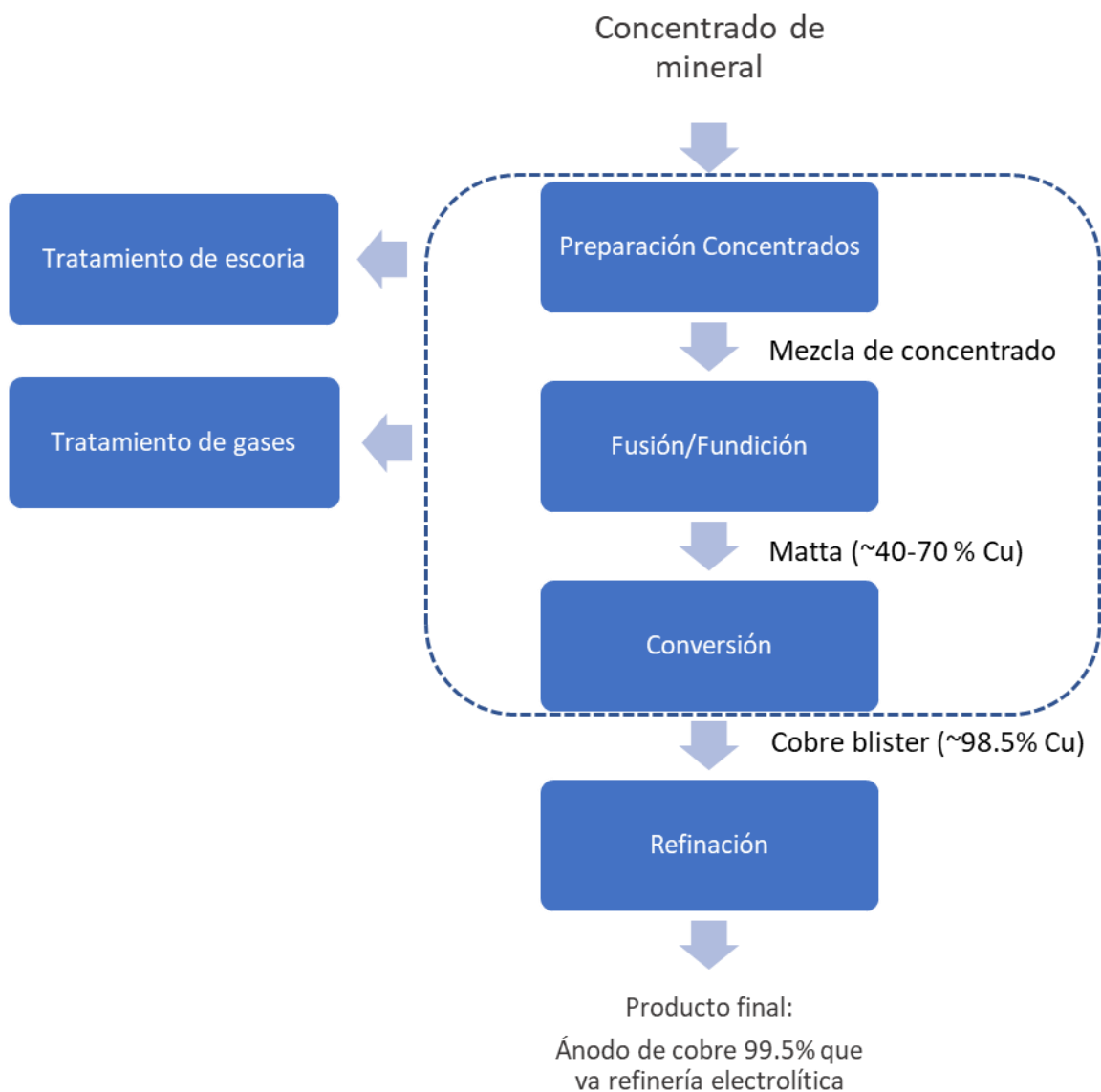


Figura 1: Descripción general del proceso de fundiciones de cobre



Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

Tabla 1: Configuración de fundiciones y fuentes emisoras de arsénico recopilada por el Estudio, año base 2021 (DCH: Fundición Chuquicamata; ALN: Fundición Altonorte; POT: Fundición Potrerillos; DVE: Fundición Ventanas; CHG: Fundición Chagres; CAL: Fundición Caletones).

Fuente Emisora	Capacidad procesamiento (Mt/año)	Reactor	Número de CPS	Tratamiento Escoria	Hornos de Refino	Planta de ácido
DCH	1,17	Horno Flash	4	Flotación	6 hornos de refino	2 PAS doble contacto
ALN	1,16	Reactor Noranda	4	Flotación	3 hornos de refino	2 PAS doble contacto
POT	0,68	Convertidor Teniente	3	Flotación	2 hornos de refino	1 PAS doble contacto
HVL	0,38	Convertidor Teniente	2	HELE/HLE	1 horno derefino	2 PAS contacto simple + PTGC
DVE	0,43	Convertidor Teniente	3	HELE/HLE	2 hornos de refino + 1 hornos basculante	1 PAS doble contacto
CHG	0,65	Horno Flash	4	HELE/HLE	2 hornos de refino	1 PAS doble contacto
CAL	1,40	Convertidor Teniente (x2)	4	Flotación	4 hornos de refino	2 PLG

CPS: Convertidor Pierce-Smith

2.2 Descripción de norma vigente

Desde el 12 de diciembre se encuentra vigente el Decreto N° 28 de 2013⁷, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico.

La norma tiene por objeto proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional y aplica tanto para fuentes existentes como nuevas. Se indicó que como resultado de su aplicación se reducirán las emisiones al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂), arsénico (As) y mercurio (Hg), donde existía suficiente evidencia que comprobaba los efectos adversos crónicos y agudos sobre la salud de las personas y sobre el medio ambiente.

Esta norma establece exigencias para la fundición y para algunas operaciones unitarias relevantes dentro de la fundición y para el sistema global.

Las exigencias de la Norma para Fuentes Existentes son las siguientes:

- Desde la publicación de la norma se congelan las emisiones anuales de SO₂ y As, es decir, se establecen límites anuales de emisión para cada fundición de SO₂ y As y adicionalmente se exige cumplir con una captura de SO₂ y As mayor o igual a un 95%. Ambas exigencias se deben verificar utilizando balances de masa.
- Se establecen límites de emisión en chimenea para operaciones unitarias relevantes, tales como: secador (MP), horno de limpieza de escoria (MP, As) y planta de ácido (SO₂)
- Atendiendo el principio de gradualidad y considerando la factibilidad técnica y el tipo de adecuaciones que se requiere implementar en cada una de las fuentes existentes, se establecen plazos para dar cumplimiento a los límites de emisión de 2.5 años para aquellas fundiciones que

⁷ <https://bcn.cl/2fa1u>



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

tienen plantas de ácido de doble contacto y de 5 años para aquellas que tienen planta de ácido de simple contacto.

- Los límites de emisión para fuentes existentes de SO₂ y As se muestran en la Tabla 2 con la respectiva fecha que deberá dar cumplimiento y en la Tabla 3 se muestran los límites de emisión por chimenea para fuentes existentes y nuevas:

Tabla 2: Cantidad máxima permitida de SO₂ y As para fuentes existentes (Artículo 3 y 6)

Fundición	SO ₂ (ton/año)	As (ton/año)	Fecha de cumplimiento
Altonorte	24.000	126	12 diciembre 2016
Caletones	47.680	130	12 diciembre 2018
Chagres	14.400	35	12 diciembre 2016
Chuquicamata	49.700	476	12 diciembre 2018
Hernán Videla Lira	12.880	17	12 diciembre 2018
Potrerosillos	24.400	157	12 diciembre 2018
Ventanas	14.650	48	12 diciembre 2016

- Las exigencias de la Norma para Fuentes Nuevas corresponden a cumplir una captura de SO₂ y As mayor o igual a un 98% y con los límites de emisión en chimenea para operaciones unitarias en: secador (MP), horno de limpieza de escoria (MP, As) y planta de ácido (SO₂, Hg).

Tabla 3: Límites de emisión por chimenea para procesos emisores en fuentes nuevas y existentes

Chimenea	Contaminante	Fuente Existente Límite de emisión	Fuente Nueva Límite de emisión
Planta de ácido	SO ₂	600 ppm	200 ppm
	As	1 mg/m ³ -N	1 mg/m ³ -N
	Hg	No aplica	0,1 mg/m ³ -N
Secador	MP	50 mg/m ³ -N	30 mg/m ³ -N
Horno de limpieza de escoria	As	1 mg/m ³ -N	1 mg/m ³ -N

- Tanto como fuentes existentes y nuevas deben implementar medidas para mejorar las prácticas operacionales con el fin de reducir el riesgo de eventos de contaminación de corta duración, tales como: i) Informar a la entidad fiscalizadora sobre el encendido o detención de la planta de ácido, del horno de fusión y la duración de los periodos de mantención, ii) Mantener una inspección visual de los humos de la o las chimeneas del horno de refinación para mantener una opacidad inferior o igual a 4%, iii) Contar con un plan de operación y mantención de los sistemas de captura de emisiones SO₂ y MP; y, iv) Minimizar las emisiones de MP desde el transporte y acopio del concentrado.



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

- Cabe recordar que corresponde el control y fiscalización del cumplimiento de la norma a la Superintendencia del Medio Ambiente (Art. 11).

2.3 Diseño de la norma vigente

Los principios que se utilizaron en el diseño regulatorio, fueron los siguientes:

1. La norma fue aplicable para las 7 fundiciones existentes, en esa época:
 - Se establecieron límites de emisión en algunas fuentes específicas (Planta de ácido, secadores y hornos de limpieza de escoria y hornos de refinó).
 - Monitoreo continuo de emisiones (CEMS) para el contaminante dióxido de azufre (SO₂) en la planta de ácido.
 - Debido a que no existía una regulación, se congelaron las emisiones, donde se utiliza la información de los últimos 4 años. Además, se establecen metas anuales (Ver Figura 2).
Para el cálculo del punto anterior, se reconoció las diferentes concentraciones de S y As, contenidas en el mineral de ingreso al proceso y que varía de acuerdo a la ubicación de la fundición.

Luego, la meta se estimó como sigue:

$$\text{Meta}_{\text{contaminante}} = \text{NA} * \text{Contenido}_{\text{contaminante}} * (1 - \text{Captura}_{\text{contaminante}})$$

Donde,

$\text{Meta}_{\text{contaminante}}$: emisión del contaminante que puede ser en el congelamiento o como valor final de cumplimiento.

NA: nivel de actividad

$\text{Contenido}_{\text{contaminante}}$: porcentaje del contenido del contaminante en el material a procesar

$\text{Captura}_{\text{contaminante}}$: porcentaje de captura del contaminante (S,As)

2. La norma vigente estableció un valor de 95% como captura para los contaminantes SO₂ y As.
3. En caso de existencia de límites anuales más exigentes, debido a Resoluciones de calificación ambiental (RCA), se mantuvieron esos valores.

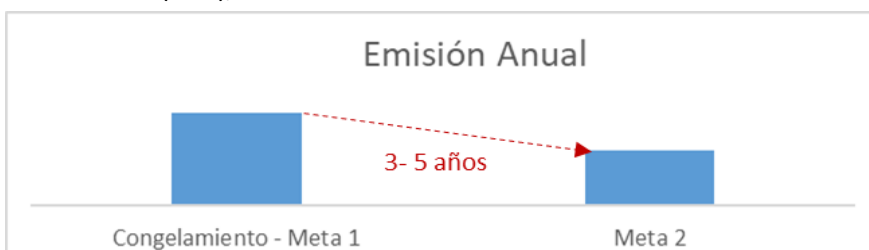


Figura 2: Evolución de metas para As y SO₂

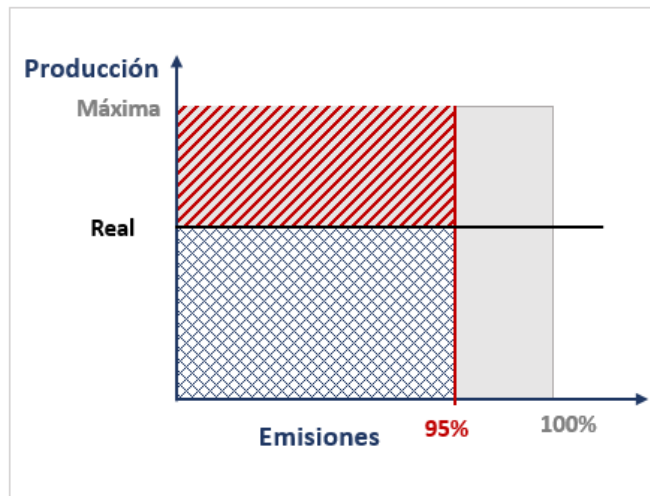


Figura 3:
Ejemplificación
producción versus el
porcentaje de las
emisiones

Es importante observar que se establecieron el cumplimiento de ambos requisitos, meta de emisión (tope) considerando la máxima producción que tiene la fuente emisora y con un porcentaje de captura de 95%. Pero, también se solicitó la captura del 95% por lo tanto, este 95% se debe cumplir aun cuando la producción sea menor. La Figura 3, ejemplifica esto, donde lo emitido finalmente corresponde a lo marcado solamente en color plomo y descontando lo achurado.

Tabla 4: Cálculo de las metas de emisiones anuales establecidas en la norma vigente para las fundiciones de cobre.

NORMA VIGENTE

Cálculo de Valores vigentes del D.S N° 28 de 2013

	Nivel de Actividad (ton/año)		Contenidos en el Concentrado		Tasas de Captura (tecnológicas)		Metas de Emisión (ton/año)		
	Base 2010	Base 2010 + 5%	S (%)	As (%)	SO ₂ (%)	As (%)	SO ₂	As	
Chuquicamata	1.650.000	1.732.500	28,70	0,550	0,95	0,95	49.723	476	
Potrillo	680.000	714.000	34,20	0,440	0,95	0,95	24.419	157	
Paipote (HVL)	350.000	367.500	35,05	0,090	0,95	0,95	12.881	17	
Ventanas	436.000	457.800	32,00	0,210	0,95	0,95	14.650	48	
Caletones	1.372.000	1.440.600	33,10	0,180	0,95	0,95	47.684	130	
Chagres	660.000	693.000	30,00	0,100	0,95	0,95	20.790	35	
Altonorte	1.160.000	1.218.000	31,00	0,420	0,95	0,95	37.758	256	
							TOTAL	207.904	1.118

Para SO₂ Valores Redondeados

Metas de Emisión (ton/año) VIGENTE	
SO ₂	As
49.700	476
24.400	157
12.880	17
14.650	48
47.680	130
14.400	35 RCA
24.000	126 RCA
187.710	989

2.4 Emisiones de contaminantes

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 SO₂, MP y trazas de sustancias tóxicas, tales como: As, Hg, plomo (Pb), Cadmio (Cd) 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, conversión, refinación y al ser liberados a la atmósfera, como gases y partículas en fases líquida y gaseosa, aumentan su nivel de agresividad y toxicidad.



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

Las emisiones estimadas considerando todos las fuentes de emisiones y los respectivos sistemas de control de emisiones para las fundiciones de cobre existentes, realizado mediante método de balance de masa, así como emisiones medidas de As y SO₂ en las fundiciones en el marco del D.S. N° 28 de 2013 del MMA son de 472 (ton/año) y 81496 (ton/año), respectivamente para el año 2020.

Respecto a otras fuentes emisoras de arsénico, se cuenta con la planta de tostación de Ministro Hales, la cual tiene sistemas de captura y tratamiento de polvos y gases, contribuyendo con una emisión de As de 23 kg y 238 ton de emisión de SO₂, durante el año 2020.

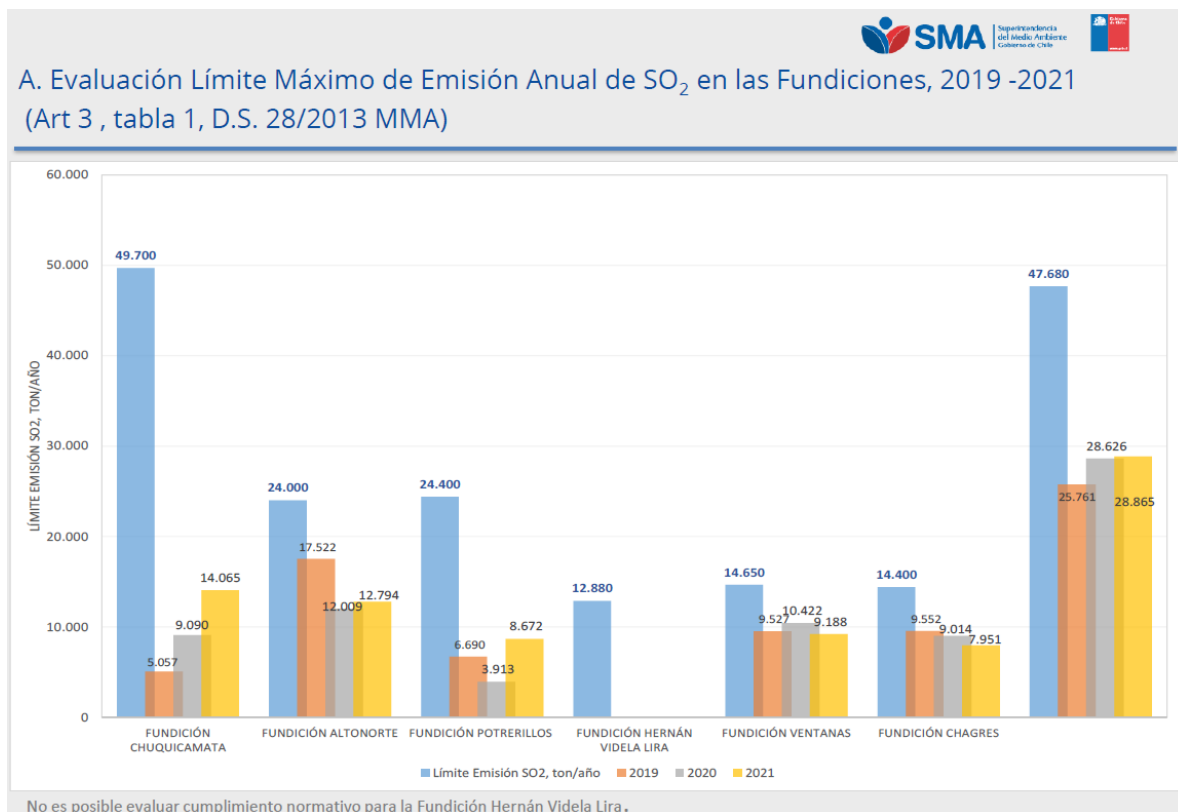
De acuerdo al estudio, se observa una captura de entre 98,6% y 95,2% de azufre y entre 97,7% y 95% de captura de arsénico para las fundiciones durante el 2020. Se puede observar que las emisiones puntuales representan un pequeño porcentaje respecto a las emisiones finales totales, correspondiendo a un 0,6% de las emisiones totales de As y a un 6,8% de las emisiones totales de SO₂.

3. Nivel de cumplimiento informado por la SMA

Mediante el oficio ordinario N° 2541, 17 de septiembre de 2020 y N°3613, del 2 de noviembre de 2021, la Superintendencia del Medio Ambiente, informó sobre el estado de cumplimiento de la Norma de Fundiciones⁸.

Además, durante el proceso de revisión de la norma, la Superintendencia del Medio Ambiente realizó presentaciones del estado de cumplimiento para todas las fuentes afectas a la norma, estas se encuentran publicadas para el comité operativo entre los folios 78 al 98 del expediente público de la norma y folio 907-920 del expediente público⁹ de la norma para comité operativo ampliado.

Los resultados se presentan en las siguientes figuras desde la A hasta I (Figura 4).



⁸ https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/1_MC12318_ORD_2541_SMA_2020_01-04.pdf
https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2021/proyectos/25_02112021_ORD_3613_SMA_2021_Estado_Cumpl_folio_56-56.PDF

⁹ https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=937836

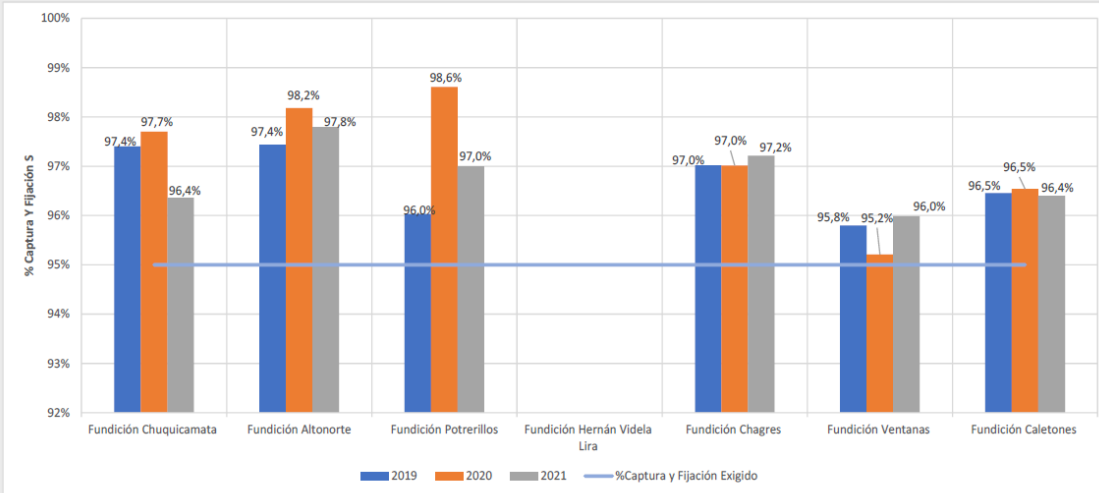


Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

B. Porcentaje de Captura y Fijación Anual S, 2019 -2021

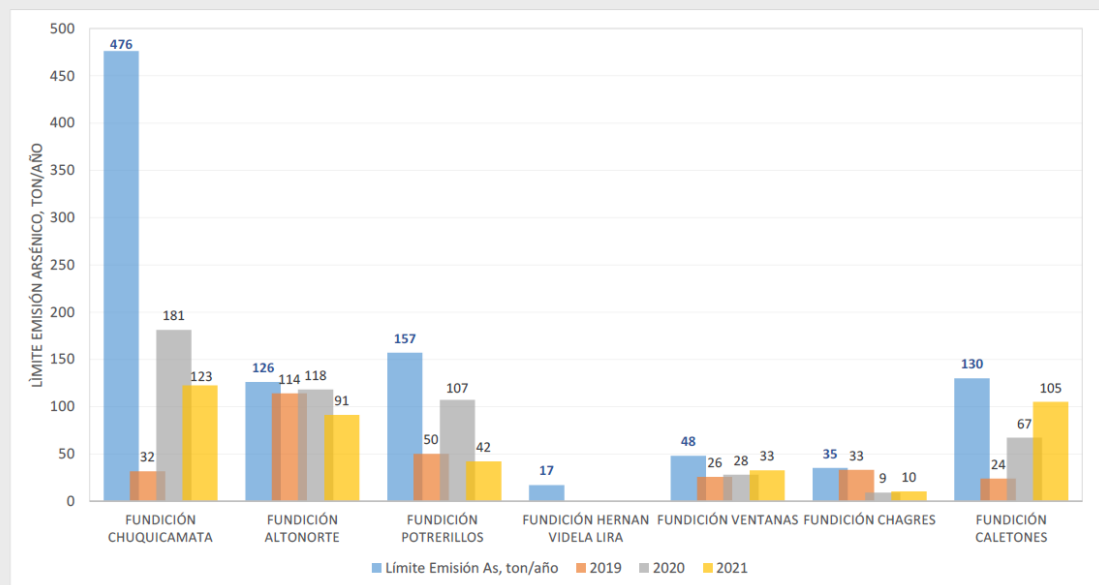


Art. 3 " ... Las fundiciones existentes deberán cumplir con un porcentaje de captura y fijación de azufre (s) y arsénico (As) igual o superior a un 95%"



No es posible evaluar cumplimiento normativo para la Fundición Hernán Videla Lira.

C. Evaluación Límite Máximo de Emisión Anual de As en las Fundiciones, 2019 -2021
(Art 3, tabla 1, D.S. 28/2013 MMA)



No es posible evaluar cumplimiento normativo para la Fundición Hernán Videla Lira.

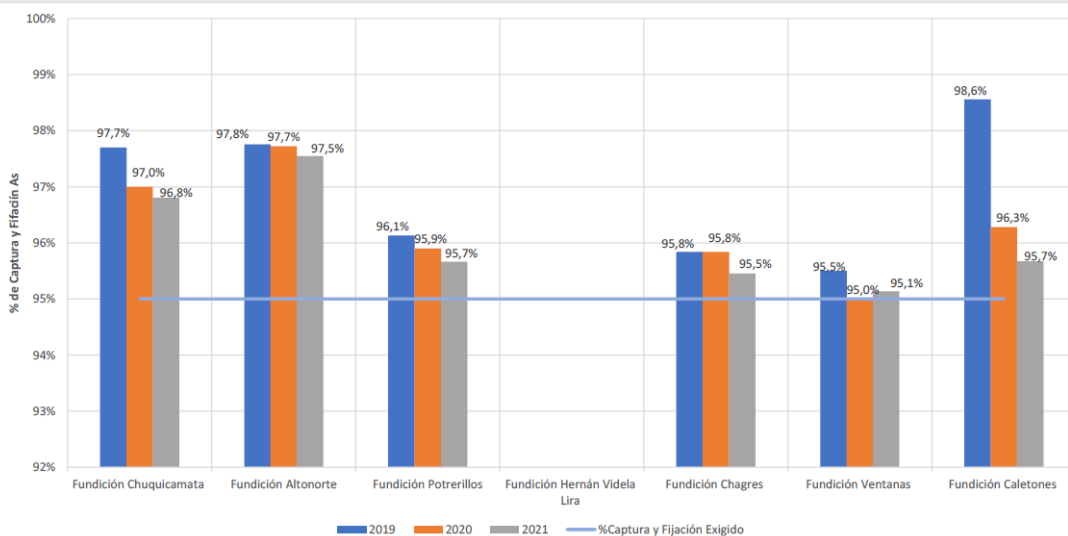


Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

D. Porcentaje de Captura y Fijación Anual As, 2019 -2021.



Art. 3 “ ... Las fundiciones existentes deberán cumplir con un porcentaje de captura y fijación de azufre (s) y arsénico (As) igual o superior a un 95%”

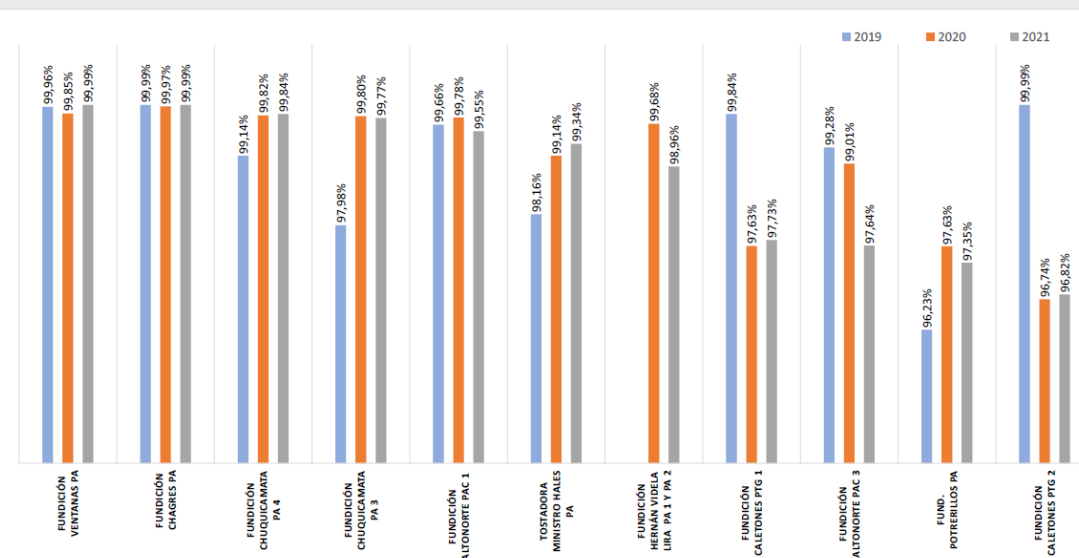


No es posible evaluar cumplimiento normativo para la Fundición Hernán Videla Lira.

E. Evaluación límite de Emisión de SO₂ anual en chimenea de plantas de ácido, 2019 -2021.



“El límite de emisión se deberá cumplir durante el 95% de las horas de funcionamiento de la planta de ácido”



Límite de emisión:
Fundiciones Existentes: 600 ppm; Otras fuentes Emisoras de As: 400 ppm No es posible evaluar cumplimiento normativo para la Fundición Hernán Videla Lira.
2019: No es posible evaluar cumplimiento normativo para la Fundición Hernán Videla Lira.

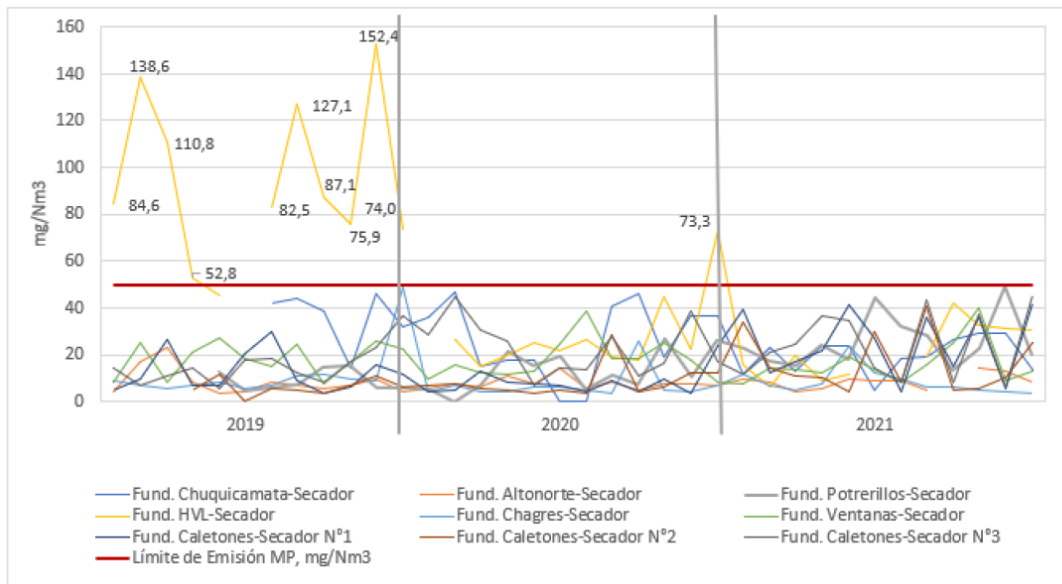


Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico



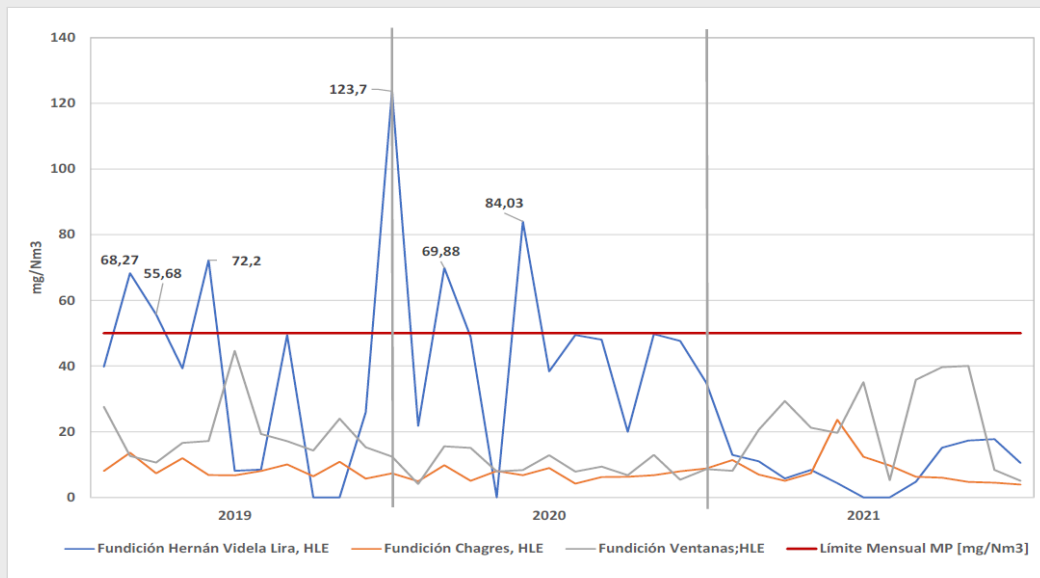
F. Evaluación Límite de Emisión de MP Chimenea Secador, 2019 -2021.

Límite de emisión MP: 50 mg/Nm³

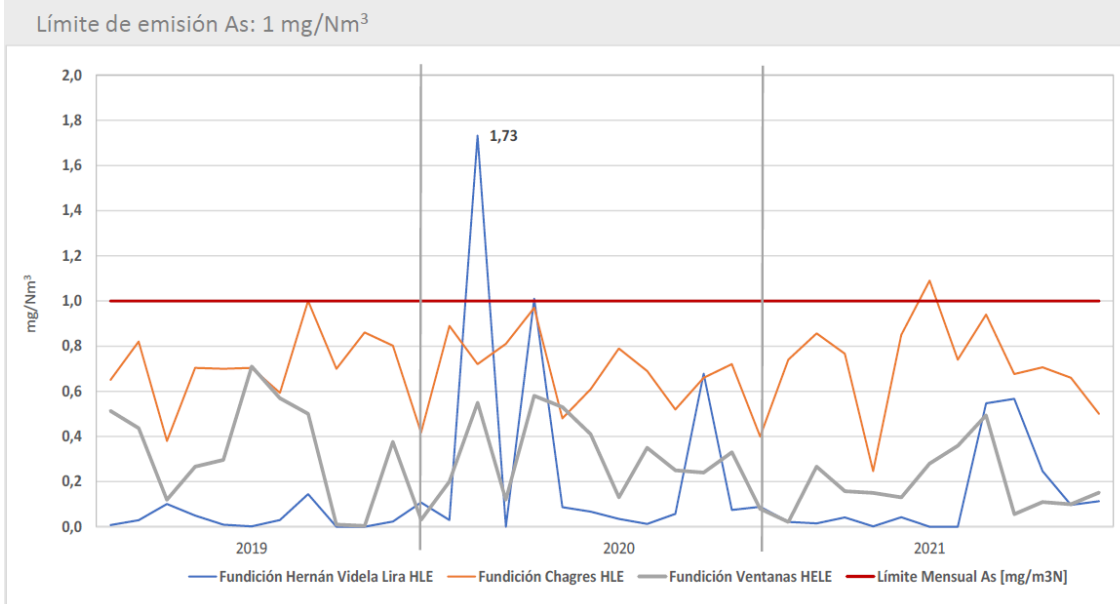


G. Evaluación límite de emisión de MP Chimenea, Horno de Limpieza de Escoria, 2019 -2021.

Límite de emisión MP: 50 mg/Nm³



H. Evaluación límite de emisión mensual de As Chimenea, Horno de Limpieza de Escoria, 2019 -2021.



I. Evaluación límite de emisión mensual de As Chimenea, planta de ácido, 2019 -2021.

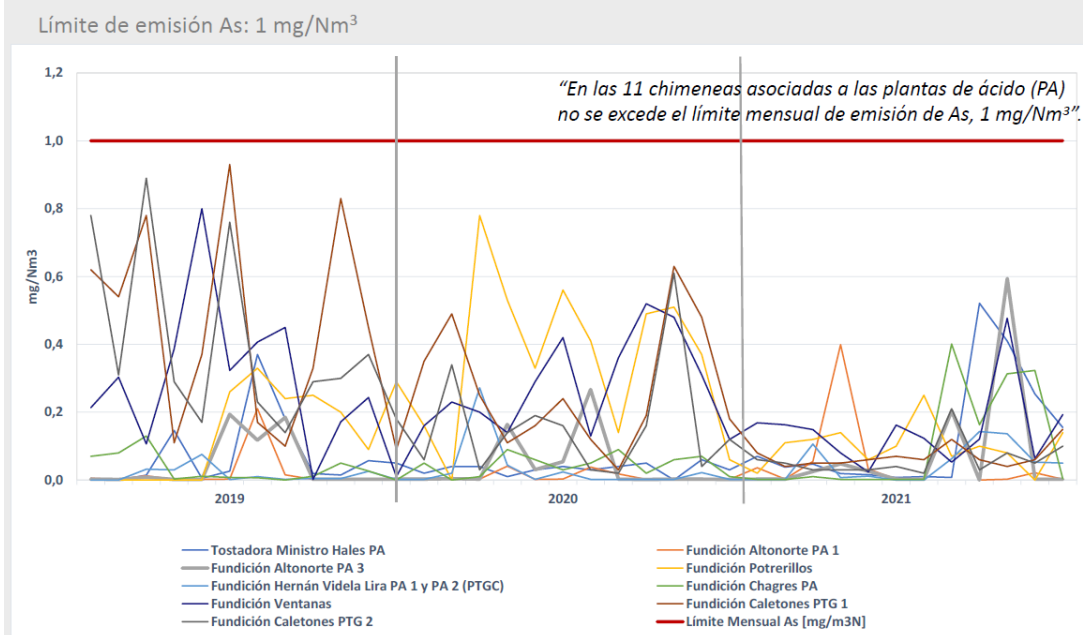


Figura 4: Presentación de cumplimiento de la SMA, gráficos desde A hasta I

4. Cambio en las condiciones actuales

Desde la implementación del D.S N° 28 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, se han implementado diferentes medidas de mitigación de las emisiones, que han resultado en la reducción de las emisiones de los contaminantes, lo cual se refleja en la mejora de la calidad del aire en la mayoría de las zonas en torno a la fundición.

Respecto a la evolución y cambios en calidad del aire, desde la dictación del D.S. N° 28 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, se observa que, en general, luego del comienzo de la vigencia de la norma de emisión, de acuerdo a la fecha correspondiente para cada una de las fundiciones, las concentraciones promedio de estos contaminantes tienden a disminuir. (Ver figuras 5, 6 y 7)

Se identifican algunas excepciones, observándose un aumento de las concentraciones de arsénico, luego del inicio de la vigencia de la norma en los alrededores de las Fundiciones Hernán Videla Lira y Chagres, y un aumento de las concentraciones de SO₂ en las cercanías de las Fundiciones Hernán Videla Lira y Caletones.

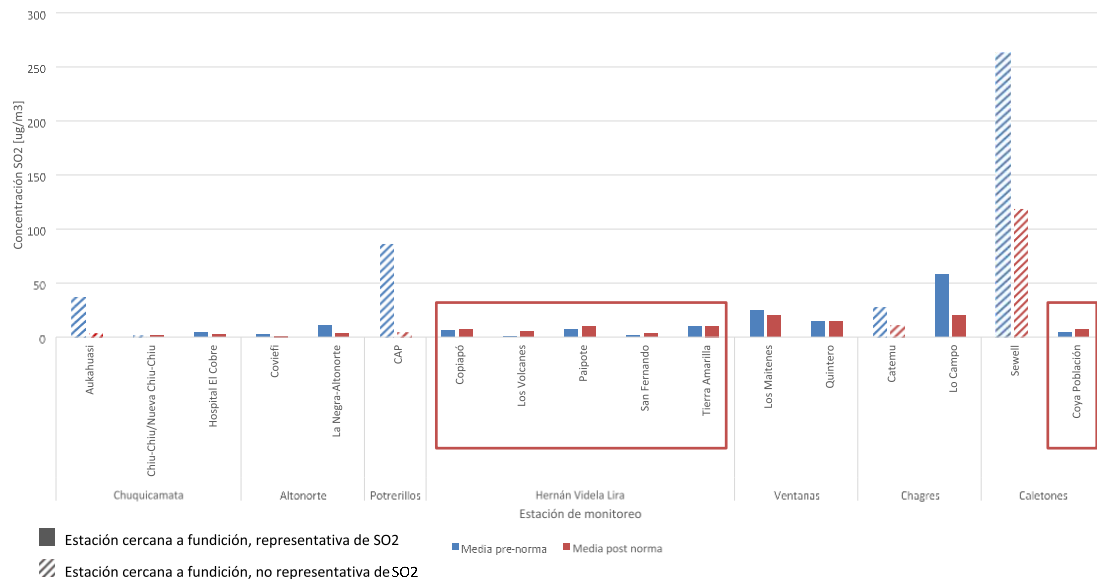


Figura 5: Evolución de cambios de calidad del aire SO₂

Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

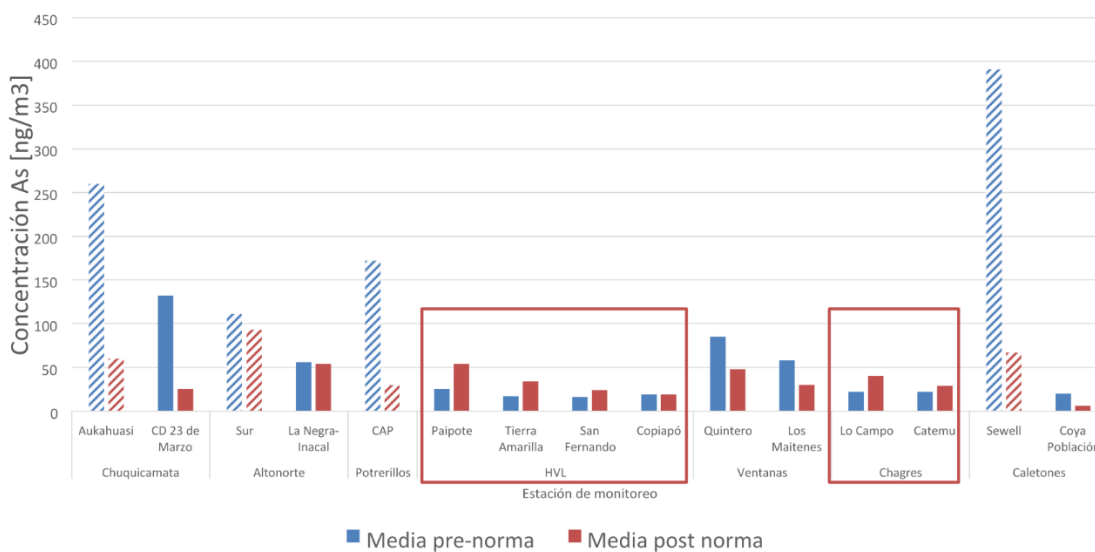


Figura 6: Evolución de cambios de calidad del aire Arsénico

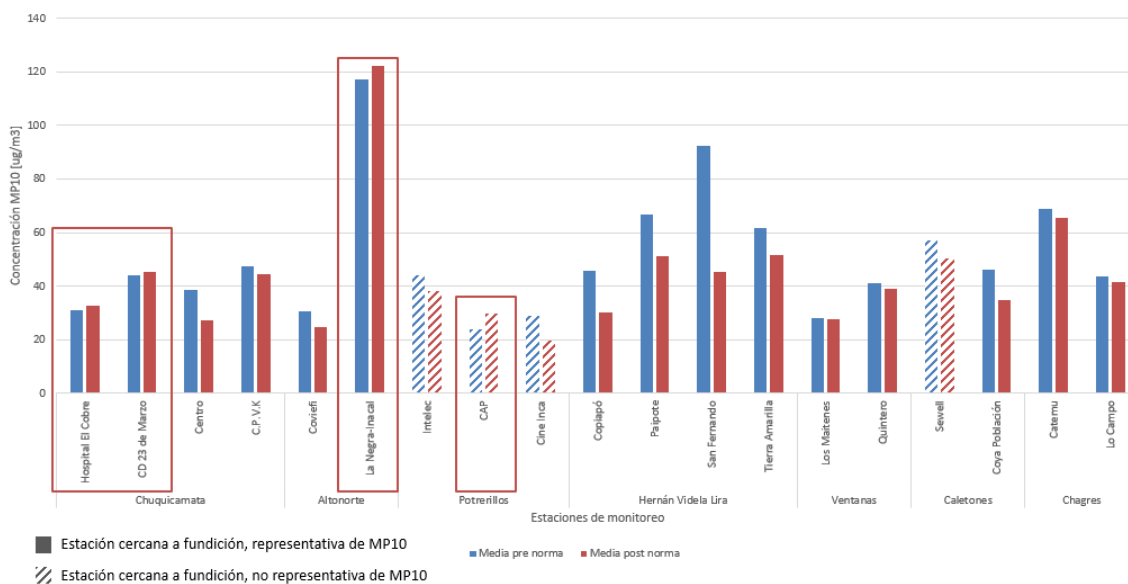


Figura 7: Evolución de cambios de calidad del aire SO₂



5. Resultados de investigaciones científicas

El estudio¹⁰ indica que la evidencia ha robustecido la relación entre la exposición a los contaminantes y efectos ya conocidos, dentro de los efectos sobre la salud humana, se destacan aumento del riesgo de muertes prematuras (MP, SO₂), aumento del riesgo incremental de cáncer (As, MP), aumento de casos de morbilidad por causas respiratorias (MP, SO₂, Hg), aumento de morbilidad por causas cardíacas (MP) y efectos sobre el sistema nervioso (Hg).

La Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC) tiene clasificado a:

- Partículas suspendidas (MP) y Arsénico y compuestos inorgánicos de Arsénico en Grupo 1, carcinógeno para los humanos (Evidencia suficiente en humanos. Relación causal establecida)
- SO₂ y Mercurio (Hg) elemental e inorgánico en: Grupo 3, carcinogenicidad no clasificable (Evidencia insuficiente en humanos. Evidencia insuficiente en animales)

¹⁰ https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Estudio_terminado_99-579.pdf



6. Antecedentes de actualización de norma

6.1 Estado actual de las fundiciones de cobre

En relación a la producción mundial de cobre fundido, esta alcanzó 21,1 millones de toneladas el año 2020, donde un 83% corresponde a fundición primaria de cobre. Actualmente existen 121 fundiciones de cobre en operación en el mundo, de las cuales se estima que más de 100 son fundiciones primarias. Desde hace más de una década, China ha sido el principal fundidor de cobre en el mundo, luego sigue Chile, segundo fundidor a nivel mundial, en tercer lugar, se encuentra Japón. Se observa que la producción mundial ha tendido al aumento, variando un 3% en promedio entre los años 2000 y 2018. En este sentido, si bien Chile se ha mantenido como un actor relevante en la producción, ha retrocedido en la participación del mercado frente al significativo avance de China.

En cuanto a la capacidad de fusión, China es el país con mayor capacidad instalada, la cual ha ido en aumento durante las últimas dos décadas, representando un 37,4% de la capacidad instalada mundial al año 2020. A este le siguen Chile, con un 9,6% y Japón, con un 9,5%. Por otra parte, durante el mismo periodo de tiempo la capacidad de fusión en países latinoamericanos ha disminuido, mientras que la producción de concentrados de cobre ha aumentado, lo que implicó un aumento en las exportaciones de concentrados de cobre desde la región, destacando Chile y Perú como principales exportadores. De esta forma el año 2020, más de dos tercios de los concentrados chilenos producidos no pasaron por fundiciones chilenas, implicando un aumento desde la situación observada en la década 2000-2009.

Los costos de operación de las fundiciones nacionales están por sobre los costos medios del mercado mundial. Más aún, los ingresos por tratamiento de concentrado están entre los 160 y 200 USD/t, lo cual se traduce a que algunas de las fundiciones de mayor costo operen con pérdidas de manera regular (Ministerio de Minería, 2021). Se observa que las fundiciones de propiedad pública en Chile tienen peor desempeño económico que las privadas. Pérez et al. (2021)¹¹ presenta un análisis por componente para una fundición promedio en China y en Chile, respecto a los factores ambientales, económicos y tecnológicos, observándose que los costos nacionales son más altos en las cuatro componentes consideradas, donde resalta la alta diferencia en mano de obra. Asimismo, observa que la provisión de energía (potencia y/o combustible) también son más costosas, lo cual respondería tanto a una matriz energética más costosa y a tecnología envejecida y menos eficiente. El mismo artículo destaca que la diferencia en los costos es producto de una combinación de salarios altos, falta de automatización y más contratación que la necesaria, bajas leyes de cobre, baja recuperación de co-productos comercializables, e inversiones inadecuadas en nuevas tecnologías.

Sin perjuicio de lo anterior, las fuentes de emisión reguladas actualmente por el D.S N° 28 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, juegan un rol relevante en entregar valor agregado al concentrado de cobre extraído en el país, así como es una relevante fuente de empleo para las zonas donde se ubican.

Los antecedentes de este punto se pueden revisar en el Estudio desarrollado ¹², a partir de los folios 384 y siguientes.

¹¹ Pérez, K., Toro, N., Gálvez, E., Robles, P., Wilson, R., & Navarra, A. (2021). Environmental, economic and technological factors affecting Chilean copper smelters – A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.007>

¹² https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Estudio_terminado_99-579.pdf



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

En la actualidad, existen siete fundiciones en Chile, cinco de carácter estatal, considerando Ventanas, y dos privadas. Respecto a Ventanas¹³, ésta ha cesado su operación y está en proceso de cierre.

En julio de 2023, el Ministerio de Minería presentó la Estrategia nacional para el fortalecimiento, de la capacidad de fundición, y refinería¹⁴, que corresponde a un análisis de la situación de las fundiciones y refinерías, más propuestas enfocadas en tres objetivos para fortalecer y aumentar la capacidad de Fundición Refinería (FURE) en Chile:

- **Eje 1: Una industria FURE acorde a los desafíos actuales, que consiste en una serie de iniciativas de carácter habilitante para fortalecer la industria FURE nacional y proyectar su continuidad. Las iniciativas corresponden a:**

- Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE: que permita a través de la complementariedad público-privada, avanzar progresiva y responsablemente en la mejora del desempeño ambiental y continuidad operacional de las fundiciones. El Estado procurará que este acuerdo se transforme en un plan de desarrollo industrial consensuado y respetado por las partes, para el cual velará tanto en su coordinación con los titulares como en la generación de condiciones habilitantes para que éste se ejecute en el tiempo esperado.

- Plan de Adecuación Normativa para una Industria FURE Sostenible: que permita realizar una revisión de la normativa actual, atendiendo a adecuaciones que habiliten mejorar la sustentabilidad socioambiental de la industria y los modelos de negocio con enfoque en la economía circular y la transición justa (Ej: reprocesamiento de residuos, tales como las escorias de fundición).

- Otras: Promoción de Transparencia y Acceso a la información; Programa Tecnológico FURE; Impulso a la Formación y Capacitación de Capital Humano; Iniciativa de difusión de información

- **Eje 2: Fortalecimiento de la capacidad estatal, consiste en asegurar que la capacidad estatal de fundición y refinería se mantenga o aumente en el tiempo, que especifica iniciativas a ENAMI (Modernización de HVL) y CODELCO (Expansión y nueva fundición). Específicamente indica:**

“ENAMI se le encarga liderar un proyecto de aumento de capacidad de fundición y refinería en la Región de Atacama. Para esto, la empresa cuenta actualmente, con un proyecto que está a nivel de estudio, para la modernización de la Fundición Hernán Videla Lira. Con todo, ENAMI deberá generar las condiciones para entregarle a la Región de Atacama una fundición moderna, económicamente rentable y con los más altos estándares ambientales”.

“Con CODELCO pueda asegurar que su capacidad de fundición y refinería se mantenga o aumente. Para esto, se identifican como opciones el diseño e implementación de un plan que apunte a mejorar la productividad de sus instalaciones mediante una adecuada gestión de activos, para, de este modo asegurar una alta disponibilidad y continuidad operacional necesarias para mantener elevados niveles de producción de cobre refinado; además de la identificación e implementación oportunas de las eventuales modernizaciones tecnológicas requeridas para cumplir con la actualización normativa.

Se espera, además, que CODELCO apoye el esfuerzo que necesitamos como país para aumentar la capacidad FURE a través de la evaluación y ejecución de proyecto(s) de expansión (proyecto(s)

¹³ LEY 21.546, modifica la Ley N° 19.993, con el objeto de permitir que el tratamiento de los productos de la pequeña y mediana minería de ENAMI pueda realizarse por Codelco en instalaciones distintas de la fundición ventanas. <https://bcn.cl/3dbtt>

¹⁴ <https://www.minmineria.cl/wp-content/uploads/2023/07/Documento-FURE.pdf>



Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

brownfield), apoyando la construcción de una nueva fundición (proyecto greenfield) o en la participación en el desarrollo de nuevos proyectos FURE. Como consecuencia de lo anterior, la empresa podría reducir la cantidad de concentrado que exporta sin refinar y que, a la fecha, supera el millón de toneladas anuales”.

- **Eje 3: Desarrollo de nuevos proyectos de fundición y refinería en Chile: consiste en establecer las acciones para propender a contar con nueva capacidad de FURE en Chile y que implica materializar la construcción, puesta en marcha y operación de una o más nuevas fundiciones.**

- Iniciativas: Incentivo a la inversión FURE; Certificación de cobre refinado en Chile; Pre-Identificación de potenciales localizaciones para nueva(s) unidades FURE; Roadshow FURE (potenciales actores)

Así, el escenario de las fundiciones se encuentra en periodo de transición, debido a la futura modernización de la Fundición Hernán Videla Lira informada por representantes del titular correspondiente, y el tratamiento de los productos de la pequeña y mediana minería de Enami en instalaciones distintas de la Fundición Ventanas, y el inicio de evaluación de Nueva Fundición para Chile: Nueva Capacidad¹⁵, entre otros puntos, presentadas en la Estrategia del Ministerio de Minería.

6.2 Proyección de emisiones

De acuerdo a la proyección de emisiones realizada por el Estudio, de no mediar cambios tecnológicos se espera que el año 2035 las emisiones sean mayores a las emisiones actuales, donde se proyecta que las emisiones de As se encuentren en torno a 600 [ton/año], mientras que las de SO₂, en torno a 90.000 [ton/año].

Tal como se mencionó, las emisiones de las fundiciones están directamente relacionadas con el nivel de la operación de las fuentes, las características de los concentrados y la tecnología instalada en las diferentes fuentes emisoras, y cuyas emisiones pueden ser reducidas mediante tres líneas de acción: (1) medidas operacionales de manejo de materia prima, proceso y maquinaria; (2) medidas tecnológicas de recambio de tecnología a tecnología más limpia y (3) medidas tecnológicas de equipos adicionales para abatimiento de las emisiones de los contaminantes.

6.3 Revisión de normativa internacional

A partir de la revisión de la regulación nacional e internacional para fundiciones y fuentes emisoras de arsénico, se identificaron como principales países fundidores de cobre primario siete países (China, Chile, Japón, Zambia, Estados Unidos, Alemania y Canadá) y se analizó la normativa asociada a emisiones de las fundiciones de cobre y otras fuentes de arsénico de cada uno de ellos. Se destaca el caso de EEUU el cual ha avanzado en la regulación de estas fuentes por una serie de regulaciones complementarias que han permitido un control de sus emisiones, encontrándose actualmente en revisión de una nueva propuesta de regulación (US-EPA, 2022¹⁶).

¹⁵ Cuenta Pública 2021, punto 10. Hitos y Prioridades en Minería para el 2022 - 2023 <http://cuentapublica.minmineria.cl/doctos/cuentapublicaMINMINERIAversion3.pdf>

¹⁶ PROPOSED RULE: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Primary Copper Smelting Residual Risk and Technology Review and Primary Copper Smelting Area Source Technology Review, Environmental Protection Agency on Jan 11, 2022, <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OAR-2020-0430-0001>



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

El estudio realizado, presenta en el folio 349 y siguientes¹⁷, las normas de emisión para diferentes países y el resumen se puede revisar en los folios 368 al 373, los valores límites de emisión de otros contaminantes diferentes al arsénico para fundiciones.

En resumen, en las diferentes normativas se observa que las regulaciones optan por un amplio rango de límites que varían según el punto de medición, frecuencia de medición, contaminantes y niveles permitidos. Aun así, de forma general se regulan las emisiones puntuales enfocándose en contaminantes asociados a las fundiciones tales como el SO₂, MP, As, Hg y otros metales con impactos sobre la salud humana. Por lo que, se observa que la regulación chilena está en línea con las regulaciones internacionales, aunque se observa espacios de mejora.

6.4 Propuesta de actualización

Desde la publicación del D.S. N° 28 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, las fundiciones han implementado medidas tecnológicas y mejoras operativas que han permitido dar cumplimiento a las exigencias de la norma, lo cual ha implicado la modificación de algunos de los procesos unitarios y, por lo tanto, de la distribución de las emisiones en las diferentes etapas.

Por otro lado, en esta revisión se contó con nuevos antecedentes que permiten caracterizar de mejor forma las emisiones. En este sentido, es claro que la medición y monitoreo de contaminantes en las chimeneas han permitido contar con mejores aproximaciones de las emisiones. De esta forma, de los procesos unitarios se contó con estimaciones para SO₂ en las chimeneas de las plantas de ácido y de As en las mismas chimeneas, además de las chimeneas de los Horno eléctrico/ Horno de Limpieza de Escorias.

Se sabe, 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.

Por lo tanto, la presente revisión de norma establecerá acciones que se desarrollarán en el corto, mediano y largo plazo, es decir, considerarán gradualidad para que el sector regulado logre adaptarse a las nuevas o mayores exigencias. Con la revisión de la norma de emisión, se reducirán las emisiones al aire de sustancias tóxicas como As y Hg y las emisiones directas de MP y de SO₂. Este último contaminante es a su vez uno de los principales precursores en la formación de material particulado fino (MP_{2,5}).

En la entrada en vigencia, a corto plazo, se congelarán nuevamente las emisiones anuales, considerando los criterios de cálculo utilizados en la elaboración de la norma, donde se mantendrá la captura del 95% hasta el tercer año, luego se solicitará 96% de captura y se actualizará el nivel de actividad, donde no se considerará holgura en el nivel de actividad, esto debido a nivel de tratamiento de concentrado que han tenido las fundiciones y se actualizarán los valores de contenido de S y As, considerando el promedio de los últimos 3 años (2020 al 2022), por lo que, finalmente se disminuirá

¹⁷ https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/Estudio_terminado_99-579.pdf



**Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico**

el techo de emisiones. En caso de que el cálculo sea mayor que lo establecido en la RCA, se mantendrá el valor de RCA.

Tabla 5: Cálculo de las metas de emisiones anuales para las fundiciones de cobre en la revisión normativa (Nuevo congelamiento para Anteproyecto).

CONGELAMIENTO 2024

95%+ 100% NA sin 5% adicional + Cont S y As (%), promedio de 3 años

	Nivel de Actividad (ton/año)		Contenidos en el Concentrado		Tasas de Captura (tecnológicas)		Metas de Emisión (ton/año)		Metas de Emisión (ton/año) CONGELAMIENTO		
	Base 2022	Base 2022 + 0%	S (%)	As (%)	SO ₂ (%)	As (%)	SO ₂	As	SO ₂	As	
Chuquicamata	1.170.000	1.170.000	30,20	0,817	0,95	0,95	35.334	478	35.300	476	
Potrerrillos	680.000	680.000	31,67	0,330	0,95	0,95	21.533	112	21.000	125	
Paipote (HVL)	350.000	350.000	29,35	0,100	0,95	0,95	10.273	17	10.200	10**	
Caletones	1.372.000	1.372.000	30,17	0,177	0,95	0,95	41.389	121	41.300	120	
Chagres	660.000	660.000	29,36	0,090	0,95	0,95	19.380	30	14.400	30	RCA
Altonorte	1.160.000	1.160.000	31,71	0,509	0,95	0,95	36.787	295	24.000	126	RCA
							TOTAL		178.648	1.099	
									146.200	887	

**Se ajusta la emisión de arsénico (As) considerando información presentada durante el proceso de evaluación ambiental del proyecto de Modernización de la Fundición HVL – Paipote (https://seia.sea.gob.cl/archivos/2024/09/12/ea0_Anexo_1.4_Actualizacion_Emisiones_Parte1.zip)

En el mediano plazo, 3 años, se establece actualizar los 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.

Respecto a la emisión de material particulado (emisiones fugitivas), considerado para las emisiones puntuales, se modifica el valor límite de emisión en los hornos de limpieza de escoria y secador establecidos en la norma vigente. Adicionalmente se incorporará un nuevo límite de emisión para hornos de refino, en reemplazo de la opacidad de Ringelman que establece la norma vigente y se solicitará controlar las emisiones fugitivas de MP en la descarga y transporte del concentrado.

Por su parte, para el largo plazo, 9 años, se contempla el avanzar nuevamente en el control de las emisiones fugitivas, que es de gran importancia, ya que los procesos de fusión y conversión, cuando corresponden a procesos abiertos y discontinuos como es el caso general, emiten la mayor proporción de contaminantes. Por tal razón, con la actualización de la norma se espera optimizar la captura de gases fugitivos, mejorando la calidad del aire del entorno.

Tabla 6: Cálculo de las metas de emisiones anuales para las fundiciones de cobre en la revisión normativa (Nuevo valor emisión para Anteproyecto- Cantidad máxima permitida de SO₂ y As para fuentes existentes).

E2: 98%+ 100% NA sin 5% adicional + Cont S y As (%), promedio Max de 3 años

Conclusiones: NO, valor de HVL muy altos para As.

	Nivel de Actividad (ton/año)		Contenidos en el Concentrado		Tasas de Captura (tecnológicas)		Metas de Emisión (ton/año)		Metas de Emisión (ton/año)		
	Base 2022	Base 2022 + 0%	S (%)	As (%)	SO ₂ (%)	As (%)	SO ₂	As	SO ₂	As	
Altonorte	1.160.000	1.160.000	32,96	0,662	0,98	0,98	15.293	153,5	15.500	120	RCA
Caletones	1.372.000	1.372.000	32,80	0,190	0,98	0,98	18.001	52,1	18.500	70	
Chagres	600.000	600.000	33,42	0,148	0,98	0,98	8.021	17,7	8.000	18	
Chuquicamata	1.170.000	1.170.000	33,00	1,080	0,98	0,98	15.444	252,7	15.750	275	
Paipote (HVL)	850.000	850.000	35,00	0,150	0,99	0,99	5.950	12,8	4.100**	4**	
Potrerrillos	680.000	680.000	33,32	0,500	0,98	0,98	9.063	68,0	9.500	68	
							TOTAL		71.772	557	
									71.350	555	



*Informe Técnico del Anteproyecto de la revisión
Norma de Emisión para Fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico*

**Se ajusta emisión de arsénico (As) y dióxido de azufre (SO₂), considerando información presentada durante el proceso de evaluación ambiental del proyecto de Modernización de la Fundición HVL – Paipote (https://seia.sea.gob.cl/archivos/2024/09/12/ea0_Anexo_1.4_Actualizacion_Emisiones_Parte1.zip)

Por otro lado, en las emisiones fugitivas, si bien la propuesta de la norma de emisión de EEUU (US-EPA, 2022) mencionada en el estudio, indicó regular el MP, se informa que se realiza con el objetivo de controlar las emisiones de componentes tóxicos como arsénico y mercurio, pero, considerando que la norma vigente reguló las emisiones de arsénico, mediante porcentaje de captura para arsénico, límite de emisión anual para arsénico y límites de emisión en chimenea para arsénico, se ha incorporado en esta revisión el control de emisiones fugitivas de MP mediante la eficiencia de captura de emisión de MP en las diferentes etapas de la recepción de los concentrados y transporte mediante correas.

Con respecto a los límites de emisión para MP y SO₂ en chimenea, se consideró avanzar en los valores límites considerando especialmente la disponibilidad de tecnologías implementadas para recuperar el material y reducir las emisiones.

En relación a los límites de emisión de Hg en las plantas de ácido, se ha estimado pertinente exigirles a las fuentes existentes la medición 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.

Finalmente, se ha estimado pertinente avanzar en un valor más estricto para la emisión de As en las chimeneas de los hornos de limpieza de escoria de las fuentes existentes. Para las fuentes nuevas se han considerado para fijar el parámetro las mejores técnicas disponibles.

Para tratar las corrientes de gases efluentes de la fundición de cobre, el control del dióxido de azufre- SO₂ de las fundiciones se realiza comúnmente en una planta de ácido sulfúrico. Las plantas de ácido sulfúrico se clasifican en simple contacto y doble contacto. El proceso de contacto incorpora varias operaciones básicas, cada una de las cuales corresponde a las etapas de limpieza de gases, secado, conversión del SO₂ a SO₃ y absorción del SO₃ a ácido sulfúrico H₂SO₄.

A nivel nacional, en la mayoría de las fundiciones se encuentran implementadas plantas de ácido de doble contacto y en dos fundiciones fueron implementados procesos de limpieza y tratamiento de gases que tiene por misión limpiar los gases metalúrgicos, capturados en las unidades de fusión y conversión, extrayendo principalmente el SO₂, As y otras impurezas, por lo que se avanzará a un valor más estricto.

Los plazos de cumplimiento dispuestos en la presente norma, atendido el principio de gradualidad, se han establecido en consideración a la factibilidad técnica y al tipo de adecuaciones que se requiere implementar en cada una de las fuentes existentes.



7. Conclusiones

El presente informe presenta los principales antecedentes que se tuvieron en cuenta para la elaboración del anteproyecto de revisión de la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico.

Este documento cumple con los requerimientos establecidos en el D.S. N° 38 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, donde se presentan los cambios en las condiciones ambientales, el estado de cumplimiento de la Superintendencia del Medio Ambiente, la nueva evidencia científica respecto de los contaminantes y la tendencia de la normativa internacional.